



CONVENTION DE BÂLE

Distr. générale  
26 juillet 2013

Français  
Original : anglais

---

**Conférence des Parties à la Convention de Bâle  
sur le contrôle des mouvements transfrontières  
de déchets dangereux et de leur élimination  
Onzième réunion**

Genève, 28 avril – 10 mai 2013  
Point 4 e) i) de l'ordre du jour

**Questions relatives à l'application de la Convention :  
coopération, coordination et partenariats au niveau  
international : programme de partenariats de  
la Convention de Bâle**

**Directives révisées concernant la valorisation matière et  
le recyclage écologiquement rationnels des équipements  
informatiques en fin de vie**

**Note du secrétariat**

L'annexe de la présente note contient la version finale des directives révisées concernant la valorisation matière et le recyclage écologiquement rationnels des équipements informatiques en fin de vie. Les directives ont été révisées afin de les harmoniser avec la section 5 du document d'orientation révisé sur la gestion écologiquement rationnelle des équipements informatiques usagés et en fin de vie et avec les modifications apportées au glossaire figurant dans l'appendice I de ce document (UNEP/CHW.11/6/Add.1/Rev.1), tel qu'adopté par la Conférence des Parties à sa onzième réunion. La version anglaise de l'annexe n'a pas été revue par les services d'édition.

**Annexe**



**PARTENARIAT POUR UNE ACTION SUR LES ÉQUIPEMENTS  
INFORMATIQUES (PACE)**

**PROJET 2.1**

**DIRECTIVES CONCERNANT LA VALORISATION MATIÈRE ET  
LE RECYCLAGE ÉCOLOGIQUEMENT RATIONNELS DES ÉQUIPEMENTS  
INFORMATIQUES EN FIN DE VIE**

Approuvées par le Groupe de travail du PACE – 17 février 2011

Version révisée du 10 mai 2013

## Remerciements

Le Groupe de travail du Partenariat pour une action sur les équipements informatiques (PACE) souhaiterait saluer les efforts déployés par le groupe de projet 2.1 pour établir les directives concernant la valorisation matière et le recyclage écologiquement rationnels des équipements informatiques en fin de vie. Sur la page suivante des présentes directives figurent les noms des membres de ce groupe de projet.

La version précédemment approuvée des directives concernant la valorisation matière et le recyclage écologiquement rationnels des équipements informatiques en fin de vie a été évaluée pour tenir compte de la situation concrète. Le Groupe de travail du PACE aimerait présenter ses remerciements à City Waste Management Company Limited (Ghana), Evcilerkimya (Turquie), Galloometal (Belgique), Reclaimed Appliances Limited (Royaume-Uni de Grande-Bretagne et d'Irlande du Nord), Recycling Facility (Serbie), Sims Recycling Solutions (Inde), TES-AMM (Malaisie), Umicore (Belgique) et WeRecycle (États-Unis d'Amérique) pour avoir évalué les directives et proposé des révisions aux directives précédemment approuvées.

De plus, des remerciements sont expressément adressés aux coprésidents du groupe de projet 2.1, M. Joachim Wuttke (Allemagne), M. John Bullock et Mme Renee St. Denis de Sims Recycling Solutions, pour avoir montré la voie à suivre dans la finalisation des directives et pour avoir veillé à l'examen et, le cas échéant, à l'incorporation de toutes les modifications proposées et des observations des participants au groupe de projet 2.1 et des entreprises qui ont évalué les directives dans les directives révisées. Celles-ci tiennent également compte des modifications apportées à la section 5 et au glossaire figurant dans l'appendice I du document d'orientation révisé sur la gestion écologiquement rationnelle des équipements informatiques usagés et en fin de vie adopté par la Conférence des Parties à la Convention de Bâle sur le contrôle des mouvements transfrontières de déchets dangereux et de leur élimination à sa onzième réunion (document UNEP/CHW.11/6/Add.1/Rev.1).

Enfin, le Groupe de travail du PACE aimerait exprimer sa profonde tristesse face au décès de M. John Myslicki. John a énormément contribué aux travaux du PACE en général et à l'élaboration des présentes directives en particulier. Nous avons perdu en lui un collègue et ami qui a toujours œuvré en faveur de la protection de l'environnement et dont l'enthousiasme était et reste une source d'inspiration pour la poursuite de notre travail.

## Participants au groupe de projet 2.1

- Coprésidents :**
1. M. Joachim Wuttke (Allemagne)
  2. Mme Renee St. Denis, Sims Recycling Solutions

**Participants :**

3. M. Andy Howarth (Royaume-Uni)
4. M. Atsushi Terazono, National Institute for Environmental Studies (Japon)
5. M. Aya Yoshida, National Institute for Environmental Studies (Japon)
6. Mme Cori Ong, TES-AMM (Singapor) Pte Ltd
7. M. Eric Harris, Institute of Scrap Recycling Industries (ISRI)
8. Mme Helen Bolton (Nouvelle-Zélande)
9. M. Ibrahim Shafii, secrétariat de la Convention de Bâle
10. Mme Isabelle Baudin (Suisse)
11. M. Jean-Marie Vianney Minani (Rwanda)
12. M. Jim Puckett, Réseau d'action de la Convention de Bâle
13. M. Jinhui Li, centre régional de la Convention de Bâle pour la Chine
14. M. Jinya Kikuhara (Japon)
15. M. José María Lorenzo Alonso (Mexique)
16. Mme Karen Pollard (États-Unis d'Amérique)
17. Mme Katarina Magulova, Secrétariat de la Convention de Stockholm
18. M. Mathias Schlupe, EMPA
19. M. Matthias Kern, Secrétariat de la Convention de Bâle
20. M. Melissa Lim, Secrétariat de la Convention de Stockholm
21. M. Michael VanderPol (Canada)
22. M. Mostafa Kamel, centre régional de la Convention de Bâle pour l'Égypte
23. M. Ole Thomas Thommesen (Norvège)
24. M. Otmar Deubzer, Université des Nations Unies (UNU)
25. Mme Patricia Whiting (États-Unis d'Amérique)
26. M. Paul Hagen, Information Technology Industry Council (ITI)
27. M. Ramkripal Pandey, TES-AMM (Singapore) Pte Ltd
28. M. Richard Goss, Information Technology Industry Council (ITI)
29. M. Ross Bartley, Bureau of International recycling (BIR)
30. M. Ruediger Kuehr, Université des Nations Unies (UNU)
31. Mme Sarah Westervelt, Réseau d'action de la Convention de Bâle
32. M. Shunichi Honda (Japon)
33. Mme Wen-Ling Chiu, Institut de l'environnement et des ressources
34. M. Willie Cade, PC Rebuilders & Recyclers (PCRR)
35. M. John Myslicki, consultant auprès du secrétariat de la Convention de Bâle

**Experts techniques invités :**

1. M. Christian Hagelueken, UMICORE
2. Mme Heidelore Fiedler, Service Substances chimiques de la DTIE du PNUE

## TABLE DES MATIÈRES

1.	RÉSUMÉ.....	8
2.	INTRODUCTION.....	11
3.	ÉQUIPEMENTS INFORMATIQUES CONCERNÉS PAR LES PRÉSENTES DIRECTIVES.....	15
4.	ÉQUIPEMENT INFORMATIQUE : CONTENU MATÉRIEL.....	18
5.	COLLECTE, DÉMANTÈLEMENT, SÉPARATION ET PRATIQUES DE DÉMANTÈLEMENT ET DE SÉPARATION MÉCANISÉES.....	24
5.1	Mesures que doivent prendre les installations pour assurer une gestion écologiquement rationnelle.....	24
5.2	Récupération potentielle de matériaux provenant d'équipements informatiques.....	26
5.3	Collecte/réception.....	27
5.4	Évaluation et triage initial.....	28
5.5	Démantèlement.....	30
5.5.1	Démantèlement et séparation manuels/retrait initial de substances dangereuses.....	30
5.5.2	Suite du démantèlement – procédés manuels et mécanisés.....	31
5.5.3	Démantèlement mécanisé.....	33
6.	STOCKAGE ET TRANSPORT DE MATÉRIAUX EN TOUTE SÉCURITÉ EN VUE D'AUTRES TRAITEMENTS.....	36
6.1	Stockage sur site.....	36
6.2	Emballage et transport.....	36
7.	RÉCUPÉRATION DES MATÉRIAUX CONTENUS DANS LES FLUX OBTENUS À L'ISSUE DE LA SÉPARATION.....	37
7.1	Gestion et récupération des métaux.....	37
7.1.1	Traitement pyrométallurgique.....	38
7.1.2	Traitement hydrométallurgique.....	41
7.1.3	Lixiviation acide dans le secteur informel.....	42
7.1.4	Gestion et valorisation matière des tubes cathodiques et des verres sans plomb.....	43
7.1.5	Gestion et récupération des plastiques.....	46
7.2	Gestion et valorisation matière des batteries.....	47
7.3	Gestion et valorisation matière des lampes au mercure.....	49
7.4	Gestion et valorisation matière de l'encre et du toner.....	50
7.5	Gestion et valorisation matière des tambours contenant du sélénium.....	51
7.6	Gestion des polychlorobiphényles (PCB).....	51
8.	GESTION ET ÉLIMINATION DES RÉSIDUS.....	51
8.1	Poussières retenues par les dépoussiéreurs à manches et résidus des filtres.....	51
8.2	Résidus de nettoyage.....	51
8.3	Scories.....	51
8.4	Verre et poussières de verre de tubes cathodiques.....	52
8.5	Luminophores.....	53
8.6	Polychlorobiphényles (PCB).....	53
8.7	Plastiques.....	53
8.8	Préoccupations liées à l'incinération de déchets.....	54
8.9	Préoccupations liées aux décharges.....	55

9.	OBLIGATIONS JURIDIQUES .....	55
9.1	Obligations juridiques nationales .....	55
9.2	Obligations juridiques pour le commerce international .....	55
10.	CONSIDÉRATIONS ET QUESTIONS COMMERCIALES .....	56
11.	RECOMMANDATIONS .....	58
11.1	Buts et objectifs .....	58
11.2	Mise en place d'infrastructures de recyclage .....	59
11.3	Directives concernant les installations .....	60
11.4	Conception en vue du recyclage .....	61
11.5	Futures étapes de la collaboration .....	62
	APPENDICE I - SUBSTANCES .....	63
1.1	Aluminium .....	63
1.2	Antimoine .....	63
1.3	Argent .....	63
1.4	Arsenic .....	63
1.5	Béryllium .....	64
1.6	Cadmium .....	64
1.7	Chrome .....	64
1.8	Cobalt .....	64
1.9	Cuivre .....	64
1.10	Gallium .....	65
1.11	Hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) .....	65
1.12	Lithium .....	65
1.13	Magnésium .....	65
1.14	Manganèse .....	65
1.15	Mercure .....	65
1.16	Nickel .....	65
1.17	Or .....	65
1.18	Palladium .....	65
1.19	Platine .....	65
1.20	Plomb .....	66
1.21	Polychlorobiphényles (PCB) .....	66
1.22	Sélénium .....	66
1.23	Silicium .....	66
1.24	Zinc .....	66
	APPENDICE II – Glossaire .....	67
	APPENDICE III – CONVENTION DE BÂLE – ANNEXE IV – OPÉRATIONS D'ÉLIMINATION .....	71

## FIGURES

Figure 1 : Schéma de déroulement de la gestion écologiquement rationnelle des équipements informatiques usagés .....	12
Figure 2 : Aperçu des étapes initiales .....	29
Figure 3 : Démantèlement et séparation manuels des matériaux .....	32
Figure 4 : Démantèlement mécanique et séparation technique des matériaux .....	35
Figure 5 : Récupération de métaux – récupération pyrométallurgique de cuivre et de métaux précieux .....	39
Figure 6 : Récupération de métaux – récupération hydrométallurgique d'or .....	43
Figure 7 : Traitement des tubes cathodiques .....	45

## TABLEAUX

Tableau 1 : Ordinateurs de bureau .....	20
Tableau 2 : Ordinateurs portables .....	20
Tableau 3 : Écrans (tubes cathodiques, affichage à cristaux liquides).....	21
Tableau 4 : Imprimantes (jet d'encre, laser).....	22
Tableau 5 : Contenu en métaux précieux des cartes de circuits imprimés provenant d'équipements informatiques .....	23

## 1. RÉSUMÉ ANALYTIQUE

Établies par le Partenariat pour une action sur les équipements informatiques (PACE), les présentes directives concernent les ordinateurs personnels et les périphériques utilisés par des centaines de millions de personnes et mis au rebut partout dans le monde : unités centrales d'ordinateurs de bureau et d'ordinateurs portables ; moniteurs à écran cathodique ou écran plat à cristaux liquides ; claviers et souris ; imprimantes et numériseurs. Ces équipements informatiques contiennent de nombreux types de métaux, plastiques et autres substances dont certains sont dangereux, d'autres des ressources précieuses et d'autres encore les deux. Afin d'éviter une exposition des personnes, des populations et de l'environnement aux substances dangereuses concernées et de réduire la consommation de ressources, il convient que les équipements informatiques en fin de vie soient réutilisés dans la mesure du possible ou, sinon, acheminés en vue de leur valorisation matière ou de leur recyclage vers des installations idoines pouvant assurer leur gestion écologiquement rationnelle et que leur élimination finale ne se fasse qu'en dernier recours.

L'objet des présentes directives est de décrire les étapes que les installations de valorisation matière et de recyclage d'appareils électroniques devraient suivre pour assurer une gestion écologiquement rationnelle de ces derniers et d'encourager à chaque étape les opérateurs à se tenir informés, collaborer et prendre leurs responsabilités concernant la santé humaine, la sécurité et l'environnement, de sorte que l'ensemble de la chaîne de valeur fonctionne d'une manière économiquement et écologiquement durable.

En théorie, chaque élément d'un équipement informatique en fin de vie devrait pouvoir faire l'objet d'une utilisation avantageuse tout au long de la chaîne de valeur, depuis la réutilisation directe sous forme d'ordinateur complet jusqu'à l'incorporation sous forme de scories dans des agrégats de construction. En pratique, la récupération des matériaux se heurte à des limites économiques et certains des résidus produits au cours des six étapes devront faire l'objet d'une élimination finale en veillant à protéger soigneusement l'environnement.

Les équipements informatiques contiennent plus de 60 types de métaux et autres matériaux, dont certains sont des « constituants primaires » présents en grandes quantités, à l'exemple de l'acier, d'autres des « constituants mineurs » qui apparaissent en petites quantités, à l'exemple l'argent, et d'autres encore des « microconstituants » ou « constituants traces » qu'on trouve en très petites quantités, à l'exemple de l'or. Les matériaux exacts diffèrent évidemment d'un fabricant et d'un appareil à l'autre et évoluent avec la technologie. Les installations de valorisation matière des équipements informatiques en fin de vie doivent être prêtes à prendre en charge des appareils de facture récente et moins récente faisant appel à des technologies actuelles et d'anciennes générations.

Certains des matériaux mentionnés précédemment, tels que l'acier, présentent peu ou pas de danger ou de motif de préoccupation particulier. Certains autres peuvent en présenter lors de leur broyage, concassage, déchiquetage ou fusion, à moins d'utiliser des méthodes de gestion écologiquement rationnelle. De plus, leur recyclage peut nécessiter l'utilisation, ou conduire à la production, d'autres substances. Il existe trois principaux groupes de substances susceptibles d'être émises au cours de la valorisation matière qui devraient susciter des préoccupations, à savoir les constituants originaux des équipements informatiques tels que le plomb, le mercure, etc., les substances qui peuvent être ajoutées dans le cadre de certains procédés de récupération telles que le cyanure et les substances qui peuvent se former au moment du recyclage telles que les dioxines. Il convient de prendre des mesures pour éviter les rejets de ces substances.

Pour protéger leurs employés et les populations environnantes, les installations de valorisation matière devraient prendre des mesures guidées par des critères de gestion écologiquement rationnelle produisant des effets complémentaires conçus pour orienter ces installations et les aider à assurer la gestion écologiquement rationnelle et la valorisation matière des équipements



informatiques. Elles devront obtenir des informations techniques plus détaillées que celles fournies par les présentes directives pour déterminer avec précision la technologie et les pratiques les plus appropriées et les plus efficaces. Cependant, les présentes directives devraient leur donner une vue d'ensemble sur bon nombre d'étapes de récupération de matériaux et sur la façon dont elles convergent vers le même but.

Lorsqu'elles appliquent les critères de gestion écologiquement rationnelle, les installations de valorisation matière devraient d'abord collecter les équipements informatiques en fin de vie, mais uniquement ceux que leurs structures, qualifications et autorisations leur permettent d'accepter et de traiter. Elles devraient ensuite retirer et séparer soigneusement les constituants les plus problématiques, à savoir ceux contenant des substances dangereuses susceptibles de contaminer d'autres matériaux (mercure, batteries, tubes cathodiques), qui doivent dans la majorité des cas faire l'objet de traitements supplémentaires et/ou d'une élimination finale écologiquement rationnelle. La récupération subséquente des matériaux restants fait le plus souvent intervenir une longue succession d'étapes et d'opérations pouvant parfois durer des mois, qui apportent chacune une valeur ajoutée. Comme toutes ces opérations peuvent également produire des rejets de substances dangereuses, la formation et la protection rigoureuses des travailleurs, ainsi que la protection des populations environnantes, sont des éléments indispensables de la gestion rationnelle des installations. L'objectif de chaque étape est généralement de trier les matériaux complexes et de séparer les différents constituants selon les spécifications et les exigences en matière de qualité convenues avec les installations de traitement assurant leur gestion écologiquement rationnelle en aval, afin d'optimiser leur valeur et les quantités récupérées. Chaque étape produit un matériau plus concentré et de plus grande valeur utilisé comme intrant dans un autre processus, la dernière aboutissant à un produit prêt à être commercialisé en tant que nouveau matériau. De plus, outre qu'elle permet de réduire à un minimum les déchets à éliminer, la valorisation matière des équipements informatiques peut être écologiquement plus rationnelle que l'extraction des mêmes matériaux du milieu naturel.

Parfois, les installations de valorisation matière peuvent utiliser des méthodes manuelles pour certaines de leurs opérations et des procédés mécaniques perfectionnés pour le tri. Beaucoup d'installations font appel aux deux, en fonction de la solution offrant la plus grande efficacité pour une opération donnée. Dans les pays en développement et les pays en transition où le coût de la main-d'œuvre est bas, on recourt plus souvent au démantèlement manuel, ce qui crée des emplois. Même dans les pays développés, l'expérience montre que le démantèlement et le triage manuels peuvent, en prenant des précautions appropriées, constituer une étape utile complémentaire aux procédés mécaniques, permettant de maximiser le taux de récupération des matériaux. Certaines compétences techniques et, surtout, une connaissance des éléments pouvant contenir des substances dangereuses (par ex., commutateurs contenant du mercure, condensateurs contenant des PCB et d'autres substances, plastiques contenant des retardateurs de flamme bromés) sont essentielles pour les opérations de démantèlement manuel et pour le traitement et l'élimination connexes. Un programme de formation et d'éducation en matière de risques dans le cadre de l'information préalable à l'entrée en fonctions ainsi que des mesures d'évaluation continue et de perfectionnement professionnel devraient être prévus pour tous les travailleurs participant à des opérations de démantèlement. Des matériaux propres et des composants en état de marche triés, tels que des puces électroniques et des fils/câbles, peuvent être produits, ajoutant ainsi de la valeur. Toutefois, ces opérations ne sont pas sans risque d'exposition à des substances dangereuses, de sorte qu'une attention toute particulière devrait être accordée à la santé, à la sécurité et à l'environnement.

La récupération mécanisée de matériaux au moyen de déchiqueteurs, broyeurs et séparateurs est plus susceptible d'avoir lieu dans le cadre d'opérations de grande envergure à fort débit comportant plusieurs phases de déchiquetage suivies d'étapes très complexes et sophistiquées d'identification et de séparation faisant appel à des moyens optiques et des rayons X pour

les plastiques, à des électroaimants pour les métaux ferreux, aux courants de Foucault pour le cuivre et l'aluminium, etc.

Les flux de métaux concentrés obtenus sont habituellement soumis à d'autres opérations de raffinage pyro- ou hydrométallurgique idoines. Les déchets d'acier peuvent être recyclés dans des fours à arc électriques et ceux d'aluminium dans des fours à aluminium secondaire. Le cuivre, les métaux précieux et les autres métaux (spéciaux) non ferreux contenus dans les circuits imprimés des ordinateurs et dans les autres composants/fractions sont généralement récupérés au moyen de procédés pyrométallurgiques et/ou méthodes de raffinage hydrométallurgiques adaptés au métal considéré. Les opérations informelles de valorisation matière des circuits imprimés et autres composants contenant des métaux précieux, par exemple par lixiviation à l'acide, sont inefficaces et exposent les travailleurs, les populations et l'environnement à des cyanures, des acides forts, des gaz toxiques et d'autres dangers.

Certains écrans cathodiques qui fonctionnent encore peuvent être réutilisés tels quels ou servir à produire des téléviseurs ou d'autres écrans d'affichage électronique. Le verre de ceux qui ne sont pas réutilisables peut, une fois nettoyé et trié, servir à fabriquer de nouveaux tubes cathodiques. L'apparition d'autres technologies d'affichage a toutefois fait baisser la demande dans ce domaine, une tendance qui est appelée à se poursuivre. Parallèlement, les options traditionnelles de recyclage du verre de ces écrans, en particulier celles permettant d'en récupérer le plomb dans des fonderies, sont en train de disparaître progressivement. Il est nécessaire de trouver d'autres utilisations pour les fractions obtenues (verre séparé provenant de la dalle ou du cône, ou verre mélangé) ou de les éliminer en toute sécurité conformément à la législation applicable en matière d'environnement. De nouvelles applications se font jour dans le secteur des industries manufacturières pour le verre des tubes cathodiques usagés (par ex., fabrication d'isolants en laine de verre, de matériaux de construction et de matériaux abrasifs ou réfléchissants), et d'autres utilisations sont actuellement à l'étude. Il convient dans tous les cas d'enlever et de traiter leurs revêtements phosphorés de manière écologiquement rationnelle. Néanmoins, toute nouvelle application devrait être inspectée à la loupe afin de s'assurer qu'elle ne donne pas aux substances dangereuses présentes dans les verres contenant du plomb la possibilité de s'échapper ou de nuire à la santé humaine ou à l'environnement.

Les écrans d'affichage à cristaux liquides peuvent contenir des lampes au mercure pour le rétro-éclairage, qui devraient être retirées manuellement avec précaution avant d'être traitées ou gérées dans des systèmes clos hautement mécanisés (nouvelles technologies). Les lampes au mercure devraient être soigneusement emballées et expédiées vers des installations spécialisées dans la récupération du mercure. Une surveillance régulière des concentrations de mercure dans l'atmosphère et l'environnement des lieux de travail devrait être effectuée.

Les plastiques peuvent être recyclés lorsqu'ils sont séparés par type, sont pratiquement exempts de métaux ou d'autres contaminants et ne contiennent pas certains retardateurs de flamme bromés, à moins que ceux-ci puissent être retirés ou légalement réutilisés aux mêmes fins. Il est possible d'utiliser les plastiques comme combustibles ou agents réducteurs dans les fonderies lorsque les émissions de ces dernières sont soigneusement contrôlées, en particulier pour ce qui est des dioxines et des furanes.

Les batteries provenant d'équipements informatiques, qui pour la plupart sont maintenant des batteries au lithium ou au nickel-hydrure métallique, devraient faire l'objet d'une évaluation de leur aptitude à la réutilisation, effectuée au regard des critères de contrôle et de performance minimum des batteries énoncés dans la directive 1.1 du Partenariat. Lorsqu'une batterie n'est plus utilisable, elle ne devrait être traitée que dans des installations spécialisées agréées capables d'assurer la gestion en toute sécurité de caractéristiques de danger telles que la corrosivité ou la toxicité. Les bornes de chaque batterie devraient être recouvertes ou pourvues d'une séparation physique destinée à éviter toute décharge électrique non intentionnelle pouvant entraîner un incendie ou une explosion durant leur transport et leur manutention. Les métaux les plus

intéressants sont le cobalt, le nickel et le cuivre, le lithium pouvant aussi devenir une substance intéressante du point de vue de la récupération.

Les résidus des opérations de traitement et des systèmes antipollution qui ne peuvent pas être récupérés de manière efficace contiennent vraisemblablement des métaux et d'autres substances préoccupantes qu'il convient de gérer avec soin, souvent comme des déchets dangereux. C'est, entre autres, le cas pour les dépoussiéreurs à manches des dépoussiéreurs à manches et les poussières qu'ils contiennent, les résidus de nettoyage, les poussières de verre, les luminophores, les plastiques et les scories. Du fait que ces résidus contiennent vraisemblablement des métaux, des plastiques et des halogènes, l'élimination dans un incinérateur non couplé à un système antipollution efficace est à écarter. De même, il est déconseillé d'éliminer les résidus des opérations de traitement dans des décharges non contrôlées, car ils peuvent libérer des constituants dangereux.

Étant donné que de nombreux résidus générés au cours des différentes étapes de valorisation matière sont destinés à d'autres opérations de récupération ou à une élimination finale et seront classés comme des déchets dangereux, il importe que les installations de valorisation matière et énergétique ainsi que celles d'élimination utilisées pour traiter les déchets dangereux soient dûment autorisées et agréées et respectent l'ensemble des législations locales, nationales, régionales, multilatérales et internationales applicables, notamment les dispositions de la Convention de Bâle en cas de mouvement transfrontière, ce qui arrive fréquemment pour les équipements informatiques en fin de vie.

## 2. INTRODUCTION

1. À mesure que l'utilisation des ordinateurs se répand dans tous les pays, leurs nombreux avantages s'accompagnent de nouveaux défis à leur arrivée en fin de vie. Les ordinateurs contiennent de nombreux métaux, plastiques et autres substances<sup>1</sup>, dont certains sont dangereux (par ex., le plomb, le béryllium, le mercure, les halogènes) ou sont des ressources précieuses (par ex., l'or, l'argent, le palladium, le cuivre, l'aluminium et les plastiques) qui ne devraient pas être gaspillées et peuvent être récupérées pour être utilisées dans de nouveaux produits. La récupération peut également fournir des matières premières au marché en laissant une empreinte environnementale inférieure à celle de l'extraction des mêmes matières premières du milieu naturel<sup>2</sup>.

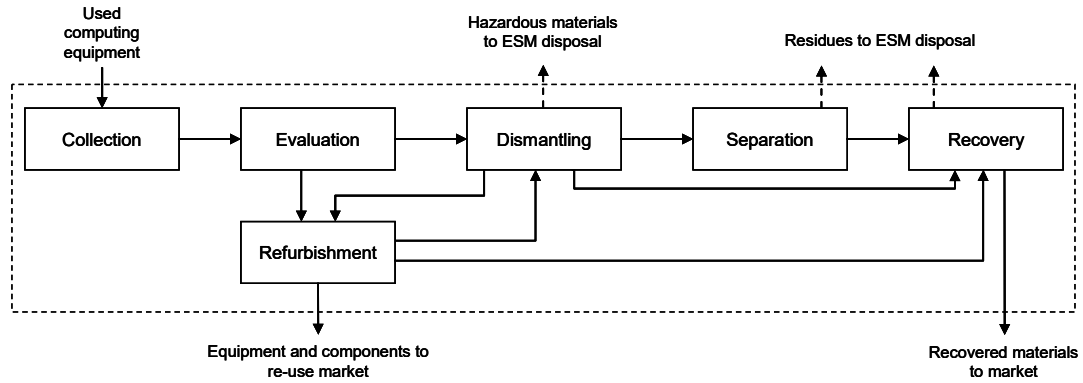
2. Parmi les substances concernées, il s'en trouve qui, comme le plomb, sont en même temps dangereuses (si elles sont rejetées) et précieuses (si elles sont récupérées de manière adéquate) ou qui, comme les métaux « de haute technicité » (par ex., le cobalt, le platine et les terres rares), sont de plus en plus difficiles à obtenir, ce qui donne une importance croissante à leur récupération en vue de leur réutilisation dans des produits. La législation et l'élimination progressive volontaire visent de plus en plus la suppression des matériaux dangereux dans les nouveaux produits. Il convient plutôt de stocker ou d'éliminer ces matériaux d'une manière permanente et écologiquement rationnelle. Par exemple, la Directive de l'Union européenne relative à la limitation de l'utilisation de certaines substances dangereuses (RoHS)<sup>3</sup> demande que certains matériaux dangereux comme le mercure, le cadmium, le plomb et certains retardateurs de flamme bromés ne soient plus utilisés dans les nouveaux produits, certaines dérogations étant prévues.

<sup>1</sup> "For example, computer chips made use of 11 major elements in the 1980s but now use about 60" (Par exemple, les puces informatiques étaient composées de 11 éléments majeurs dans les années 80 mais sont aujourd'hui composées d'environ 60). The Consumption Conundrum: Driving the Destruction Abroad, Oswald J. Schmitz and T.E. Graedel, Yale University, School of Forestry and Environmental Studies, 2010

<sup>2</sup> Voir, par exemple, <http://www.epa.gov/epawaste/conservation/rrr/recycle.htm>. L'Agence pour la protection de l'environnement des États-Unis indique que le recyclage de l'aluminium permet d'économiser 92 % de l'énergie nécessaire pour produire de l'aluminium à partir du minerai de bauxite.

<sup>3</sup> [http://ec.europa.eu/environment/waste/rohs\\_eee/legis\\_en.htm](http://ec.europa.eu/environment/waste/rohs_eee/legis_en.htm)

**Figure 1 : Schéma de déroulement de la gestion écologiquement rationnelle des équipements informatiques usagés**



3. Les processus de recyclage (et d'élimination des résidus non recyclés) peuvent, lorsqu'ils sont effectués d'une manière écologiquement non rationnelle, rejeter des substances et exposer les travailleurs et les populations à des problèmes environnementaux et sanitaires. Afin d'éviter ou d'atténuer les problèmes liés aux équipements informatiques usagés et en fin de vie, ces derniers devraient être soigneusement gérés en suivant une chaîne d'étapes interconnectées :

4. Première étape – **collecte**. Cette étape peut être difficile mais est essentielle.

Les équipements informatiques jetés à la poubelle avec les ordures ménagères peuvent ne jamais arriver aux étapes suivantes, ne plus pouvoir faire l'objet d'une autre utilisation intéressante et être gérés incorrectement. Dans les pays où certains habitants vivent de la récupération informelle de déchets, les équipements informatiques usagés et en fin de vie ainsi mis au rebut présentent souvent une valeur suffisante aux yeux de ces derniers pour qu'ils les ramassent. Toutefois, ce secteur informel doit être transformé en un système de collecte officiel, intégrant des normes et des protections pour toutes les personnes concernées. Les programmes de collecte officiels nécessitant souvent des efforts et des dépenses importants, il peut s'avérer nécessaire de trouver des moyens de subventionner les systèmes de collecte dans tous les pays pour acheminer les équipements informatiques vers des installations pouvant les gérer de manière écologiquement rationnelle aux fins de traitement<sup>4</sup>. Le secteur formel et les gouvernements devraient étudier les possibilités de mobiliser, d'employer et de démarginaliser le secteur informel afin de l'aider à établir des structures répondant aux exigences juridiques et autres, en particulier les dispositions relatives à la protection de la santé humaine, à la sécurité des travailleurs et à l'environnement. La collecte fait souvent l'objet d'opérations spéciales, mais elle peut aussi s'effectuer en

<sup>4</sup> Exemples de mécanismes de financement :

- Taxe anticipée d'élimination – acquittée par le consommateur au moment de la vente, soit sous la forme d'une redevance visible (explicitement mentionnée sur la facture comme un poste de dépense distinct) soit comme une taxe invisible (faisant partie du prix de vente total).
- Taxe d'importation – acquittée par l'importateur du produit au point d'entrée dans le pays (perçue et gérée soit par l'industrie soit par le gouvernement).
- Quantité de déchets produits – les coûts de collecte/recyclage sont pris en charge par le producteur au moment où le produit entre dans le flux de déchets. Ils peuvent être calculés sur la base de la part de marché actuelle ou des parts de marché antérieures et peuvent ou non s'appliquer aux déchets anciens ou dont l'origine n'est pas connue.
- L'utilisateur final paie – l'utilisateur final acquitte une taxe pour les coûts de collecte/recyclage au moment de l'élimination.
- Contribuable – les coûts de collecte/recyclage sont pris en charge par tous les contribuables par le biais de leurs taxes.
- Financement d'une subvention de courte durée – des subventions peuvent être accordées pour des projets de courte durée tels que la mise en place d'une infrastructure de collecte et peuvent être obtenues de différentes sources - secteur privé, fonds, gouvernements, loteries, taxes sur la mise en décharge, etc.

permanence dans des magasins de détails ou par envoi postal à des points de collecte. Les associations caritatives collectent parfois des ordinateurs pour les réutiliser. La collecte d'ordinateurs auprès de grandes entreprises offre une occasion importante en raison non seulement des larges volumes d'équipements qu'il est possible d'obtenir de chaque source, mais aussi du fait que bon nombre de ces équipements sont relativement récents et possèdent donc une valeur appréciable sur le marché des appareils remis à neuf.

5. **Deuxième étape – évaluation.** Une fois collecté, chaque équipement informatique devrait être évalué pour savoir s'il convient de le remettre à neuf ou d'en récupérer les matériaux, en fonction de son aptitude à la réutilisation, des capacités des installations, du contexte économique et d'autres facteurs. L'évaluation initiale de chaque appareil peut s'effectuer sur le site de collecte ou ultérieurement, avant sa remise à neuf ou son démantèlement. Par contre, l'évaluation des composants individuels pour déterminer s'il convient de les réutiliser après remise à neuf ou réparation ou d'en récupérer les matériaux se fera durant la remise à neuf, la réparation ou le démantèlement. Continuer à utiliser un appareil permet de préserver la haute valeur ajoutée du produit original, d'économiser les ressources et l'énergie nécessaires pour en fabriquer un nouveau et de mettre des outils informatiques à la portée de ceux qui ne peuvent pas s'en offrir à l'état neuf. Les méthodes permettant ce type d'évaluation n'entrent pas dans le cadre des présentes directives (se reporter aux directives établies par le Groupe de projet 1.1 du Partenariat), mais une personne expérimentée et bien informée peut souvent déterminer rapidement, en se fondant sur le modèle, l'âge, l'état et l'apparence de l'équipement, si celui-ci peut présenter une valeur marchande dans le cas d'une utilisation continue ou s'il convient de l'envoyer, directement ou après démantèlement et séparation, à la casse afin d'en récupérer les matériaux.

6. **Troisième étape – remise à neuf ou réparation.** L'équipement informatique qui a été évalué et peut encore être utilisé comme tel pourrait devoir être remis à neuf ou réparé. Cela comprend le remplacement de composants matériels ou logiciels, selon le cas, le nettoyage, l'étiquetage et la distribution dans l'intention de remettre sur le marché un ordinateur et/ou un composant utile et de prolonger ainsi son utilisation. Selon le type de composant ou de pièce, il convient d'acheminer les éléments qu'on ne peut réparer ou réutiliser vers une installation pouvant assurer de façon écologiquement rationnelle leur démantèlement ou la récupération de leurs matériaux. Les présentes directives ne traitant pas des activités ou normes de remise à neuf ou de réparation, il convient de se reporter aux directives en la matière établies par le Groupe de projet 1.1 du Partenariat.

7. **Quatrième étape – démantèlement.** Un équipement informatique doit souvent être ouvert pour savoir si ses composants fonctionnent et peuvent encore être utilisés ou ne conviennent qu'à la valorisation matière. Le démantèlement devrait être effectué manuellement s'il a pour objet de maintenir un ordinateur usagé ou en fin de vie en état de fonctionner. Les pièces d'un ordinateur sont généralement maintenues assemblées à l'aide de vis et de simples fixations que l'on peut ôter facilement, même si certaines pièces sont soudées ou brasées et, donc, plus difficiles à séparer. Le démantèlement peut aussi être le début de la valorisation matière. Le démantèlement manuel permet de récupérer non seulement des composants en état de fonctionner mais aussi des matériaux propres destinés à la récupération tels que les boîtiers en acier. Cette séparation manuelle se distingue de l'opération automatisée qui a lieu à l'étape suivante. Elle peut également comporter une séparation mécanique énergétique des pièces et composants, par exemple par déchiquetage, qui peut entraîner des rejets de substances sous forme de poussières et de vapeurs. Il sera alors nécessaire de retirer préalablement à la main certains composants, tels que les lampes au mercure et les batteries, afin d'éviter qu'ils soient traités avec l'ensemble de l'appareil lors de l'étape de démantèlement mécanique et que les substances qu'ils contiennent, dont certaines sont dangereuses, ne s'échappent et/ou se mélangent à d'autres matériaux. En revanche, dans le cas des écrans à cristaux liquides, il a été solidement établi que des émissions de mercure étaient produites, exposant les travailleurs à des risques élevés. Les cartouches de toner devraient aussi

être retirées sauf si les équipements de recyclage ou de déchetage ont été expressément conçus pour fonctionner dans des milieux pouvant présenter des concentrations élevées de poussières. Comme beaucoup de matières organiques sous forme de poudre, le toner peut, lorsqu'il est finement dispersé, former un mélange explosif avec l'air. Dans ces conditions, il est nécessaire de protéger la santé et la sécurité des travailleurs ainsi que l'environnement, notamment au moyen de systèmes techniques antipollution, d'équipements de protection individuelle tels que des gants et des lunettes, et d'autres mesures plus complexes comme, par exemple, des équipements de protection respiratoire.

8. Cinquième étape – **séparation**. La séparation est le processus qui consiste à faire le tri des matériaux démantelés, à les regrouper en lots distincts et à les assembler en vue d'une valorisation matière spécialisée. Un équipement informatique qui a été considéré comme ne pouvant pas continuer à avoir de la valeur moyennant une opération de remise à neuf et qui n'a plus de composants en état de fonctionner présentant un intérêt sera démantelé, manuellement ou mécaniquement, pour séparer l'acier, les plastiques, les circuits imprimés, etc. Des niveaux plus importants de protection des travailleurs et de l'environnement sont nécessaires, qui devront parfois être très élevés selon l'opération de séparation entreprise et les matériaux traités. Certains de ces matériaux triés peuvent être rapidement remis sur le marché (par ex., les boîtiers en acier sur le marché de la ferraille), tandis que d'autres peuvent nécessiter plusieurs procédés de séparation avant d'être regroupés de manière adéquate. À l'issue de la séparation, il est tout à fait crucial, pour une gestion écologiquement rationnelle, de trouver des installations de récupération appropriées pour les différents flux de déchets, ce dernier maillon de la chaîne étant le facteur qui détermine en grande partie le pourcentage définitif de matériaux récupérés ainsi que l'ampleur de l'impact sur l'environnement.

9. Sixième étape – **récupération**. La récupération consiste à soumettre des lots distincts de matériaux à des opérations plus spécialisées souvent constituées en séries. Par exemple, les circuits imprimés sont d'abord soumis à une opération de récupération du cuivre, suivie d'un raffinage spécialisé des résidus pour récupérer d'autres métaux, tandis que les thermoplastiques techniques sont soumis à une opération de comminution (réduction de taille) et à un processus de granulation. L'acier, l'aluminium, le magnésium et le verre constituent d'autres exemples. Ces opérations se déroulent souvent à haute température (par ex., fusion et autres procédés pyrométallurgiques) ou font intervenir de puissants produits chimiques (comme dans le cas des traitements hydrométallurgiques à l'aide d'acides ou de cyanure) ou émettent des produits dangereux, ce qui rend nécessaires des technologies extrêmement pointues, des contrôles ainsi qu'une protection des travailleurs et de l'environnement.

10. En théorie, chaque élément d'un équipement informatique usagé ou en fin de vie devrait pouvoir faire l'objet d'une utilisation avantageuse tout au long de cette chaîne d'étapes, depuis la réutilisation directe sous forme d'ordinateur complet jusqu'à la production de matières premières de haute qualité destinées à être incorporées, après autorisation et contrôle rigoureux, dans des agrégats de construction. En pratique, la valorisation matière se heurte toutefois à des limites techniques et économiques et, dans certains pays, à des restrictions liées à la législation sur la réutilisation des matériaux dangereux. Les limites économiques sont atteintes lorsque les coûts d'investissement, de transport et autres dépassent les prix du marché pour les matières premières récupérées et lorsqu'aucun programme de subvention n'est en place pour financer le service de recyclage, ou lorsqu'il n'existe pas de marché pour certains matériaux. Certains des résidus produits au cours des six étapes devront faire l'objet d'une élimination finale, par incinération dans des fours de dernière génération ou par mise en décharge contrôlée, en veillant à protéger soigneusement l'environnement.

11. Les différentes étapes de la chaîne peuvent être exécutées dans de nombreux endroits et peuvent prendre énormément de temps avant que des matières premières commercialisables soient produites. Pour autant, les personnes qui exécutent une étape devraient avoir une bonne

compréhension de la chaîne entière de récupération, étant donné que chaque personne a des responsabilités vis-à-vis d'autres personnes chargées d'autres étapes. Chaque personne de la chaîne devrait connaître toutes les autres étapes et travailler de manière transparente avec les autres afin de veiller à ce que chacune des étapes soit écologiquement rationnelle, économe en ressources et autorisée par la loi tout au long de la chaîne. Les présentes directives devraient aider les personnes chargées de la collecte, de la remise à neuf, de la valorisation matière, de la fusion et du raffinage ainsi que les organismes publics de réglementation concernés à assumer cette responsabilité de diligence raisonnable.

12. Enfin, il est apparu clairement qu'à certains endroits, en particulier dans les pays en développement et en transition, une partie ou la plupart des étapes de la chaîne sont exécutées dans des secteurs commerciaux informels par des entreprises ne faisant souvent pas l'objet de contrôles réglementaires étroits et n'assurant généralement pas une gestion écologiquement rationnelle ainsi que par des travailleurs qui ne sont pas formés, obligés ni même encouragés à effectuer les opérations décrites dans les présentes directives. Les opérations informelles de ce genre peuvent occasionner des dommages importants à la santé de ces personnes et à leur environnement. Toutefois, il convient également de reconnaître qu'il ne serait pas réaliste de s'attendre à ce que des contrôles réglementaires étroits soient immédiatement mis en place dans ces circonstances. Certaines mesures peuvent être prises maintenant, comme la sensibilisation et la formation, et il sera nécessaire que ces entreprises et travailleurs informels ainsi que les gouvernements concernés intègrent à leurs opérations une gestion écologiquement rationnelle. De nombreuses informations techniques supplémentaires peuvent être nécessaires pour certaines opérations. Les progrès se feront probablement de manière progressive et la mise en place complète d'une gestion écologiquement rationnelle prendra du temps. Toutefois, l'ampleur des problèmes causés par le traitement irresponsable des équipements informatiques en fin de vie requiert que nous agissions rapidement afin d'éviter des dommages supplémentaires aux populations et aux écosystèmes et de récupérer davantage de ces ressources précieuses qui deviennent de plus en plus difficiles à extraire de la nature.

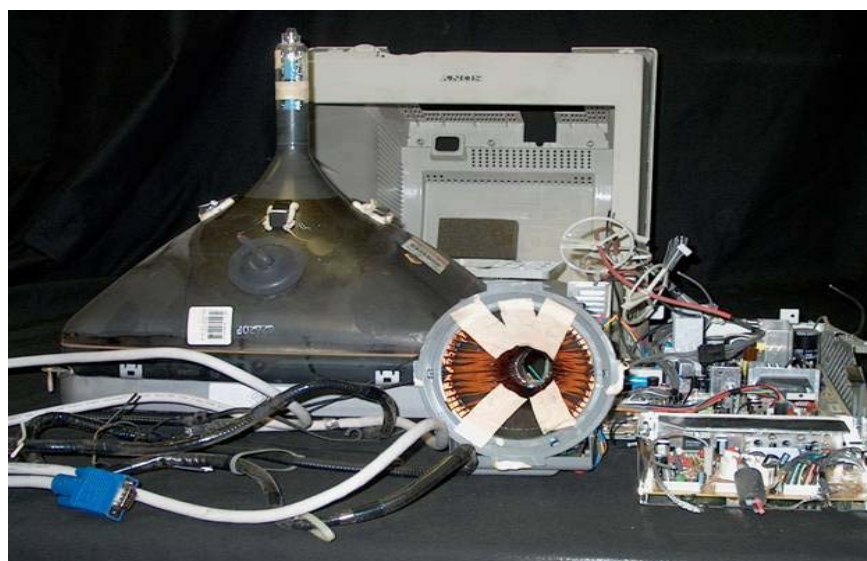
### **3. ÉQUIPEMENTS INFORMATIQUES CONCERNÉS PAR LES PRÉSENTES DIRECTIVES**

13. Le PACE porte sur les ordinateurs personnels (PC) et les systèmes de visualisation, imprimantes et périphériques connexes. Cela inclut les ordinateurs de bureau personnels, y compris l'unité centrale et toutes les autres pièces que celle-ci contient, les ordinateurs bloc-notes et les ordinateurs portables personnels, y compris la station d'accueil, l'unité centrale et toutes les autres pièces que celle-ci contient, les écrans d'affichage, notamment ceux a) à tube cathodique, b) à cristaux liquides et c) à plasma, les claviers, souris et câbles d'ordinateurs, les imprimantes personnelles, dont a) celles de type i) matriciel, ii) à jet d'encre, iii) laser, iv) thermique et b) toute autre imprimante dotée d'un dispositif de numérisation ou de télécopie, ou des deux. D'une manière générale, un ordinateur personnel est composé des éléments ci-après :

A. Une unité centrale ;



B. Un moniteur ou un écran (tube cathodique ou écran plat) ;



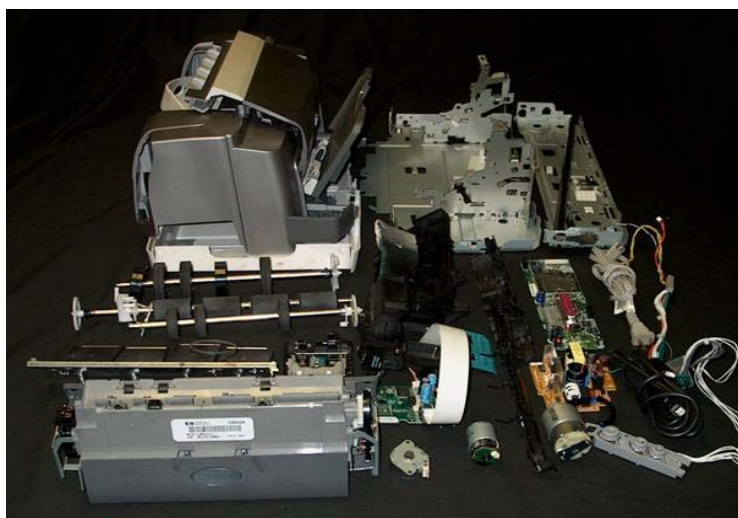


C. Des périphériques pour entrer des informations, pour interagir avec l'affichage et pour modifier ce dernier, comme un clavier et une souris ;



Dans un ordinateur de bureau, ces pièces sont séparées. Dans un ordinateur portable, ces pièces sont combinées dans un appareil unique.

D. Une imprimante (qui peut également avoir un dispositif de numérisation) ;



E. Un numériseur (qui peut avoir un dispositif d'impression) ;



Pour des informations, descriptions et photos supplémentaires d'équipements informatiques, prière de consulter « Manually Dismantling a Computer: Guidebook » (Démanteler manuellement un ordinateur : guide), EMPA, Swiss E-Waste Program.

#### 4. ÉQUIPEMENT INFORMATIQUE : CONTENU MATÉRIEL

14. Le secteur des équipements informatiques a vu passer une grande variété de technologies et de modèles recourant de moins en moins à des matériaux dangereux, les derniers en date pouvant même n'en nécessiter aucun. Les matériaux qui peuvent être rencontrés lors de la valorisation matière des appareils en fin de vie, qui diffèrent sur le plan de la conception, du fabricant et de l'âge, varieront donc également. Les boîtiers sont, par exemple, généralement en acier pour les ordinateurs de bureau et en plastique pour les ordinateurs portables/bloc-notes, mais il s'en trouve qui sont en aluminium ou en magnésium. Certains matériaux qui étaient utilisés dans les premiers modèles peuvent ne plus se retrouver dans les modèles plus récents, notamment en raison de la prise en compte de l'évolution des préférences des consommateurs par les fabricants, des préoccupations en matière de sécurité et des restrictions relatives à l'utilisation de matériaux dangereux. La popularité des écrans d'affichage à cristaux liquides face à ceux à tube cathodique a entraîné une forte baisse des quantités de plomb à traiter, car chaque moniteur à tube cathodique en contient de 2 à 3 kg, alors que ceux à cristaux liquides n'en comportent que des traces, mais a introduit un autre problème, à savoir le mercure que ceux-ci renferment dans leurs lampes, à raison de 5 à 50 mg par appareil.

15. Toutefois, des équipements et matériaux plus anciens continueront d'être collectés et les installations devraient être prêtes à recevoir des équipements informatiques de différents types, sans savoir exactement ce qu'un produit ou un envoi contiendra. Souvent, il est difficile pour l'installation de recyclage d'obtenir du fabricant des informations complètes sur les matériaux constitutifs spécifiques d'un produit donné aux fins de planification de la meilleure manière de protéger les travailleurs et l'environnement. Ce manque d'information engendrera des difficultés pour les installations de recyclage, qui devraient se préparer à des risques plutôt élevés que moindres, tout en étant conscientes qu'il faut parfois de nombreuses années pour qu'un matériau dangereux qui a été interdit ou éliminé diminue de manière significative dans les flux de déchets. (Il peut également arriver qu'il soit demandé à une installation d'accepter, ou que celle-ci se rende compte qu'elle a reçu, d'autres équipements électriques ou électroniques qui ne sont pas mentionnés dans les présentes directives et qui peuvent contenir d'autres substances. L'installation devrait rejeter les équipements dont elle n'est pas prête à assurer la gestion écologiquement rationnelle ou prendre des dispositions pour les faire parvenir à une installation de gestion écologiquement rationnelle qui est prête à les accepter).

16. Des tableaux présentant un certain nombre de matériaux qui se trouvent habituellement dans les équipements informatiques de différents types et âges sont fournis ci-après. Ces tableaux requièrent une certaine précaution, dans la mesure où ils ne sont pas destinés à fournir une description complète de toutes les substances contenues dans l'ensemble des équipements informatiques en fin de vie qui peuvent être collectés et récupérés par une installation de valorisation matière. Par exemple, les fabricants d'ordinateurs ont en grande partie cessé d'utiliser du plomb au cours des dernières années, que ce soit dans les soudures ou dans les écrans, en raison des directives RoHS de l'Union européenne et de la Chine ainsi que de leurs propres préoccupations en matière d'environnement et de sécurité. Néanmoins, des ordinateurs plus anciens qui contiennent des soudures au plomb et des écrans à tube cathodique seront reçus à des fins de valorisation matière. L'exposition possible des travailleurs et de l'environnement au plomb sera donc une préoccupation et devrait être contrôlée. Ces écrans à tube cathodique ont été remplacés par de nouveaux écrans à cristaux liquides. Les plus récents utilisent des diodes électroluminescentes (LED) pour le rétroéclairage mais des modèles plus anciens (et certains actuels) utilisent des lampes au mercure. L'exposition au mercure sera donc également une préoccupation et devrait être contrôlée. Encore une fois, il est important de comprendre que certains équipements peuvent contenir des substances différentes de celles énumérées ci-après (par ex., sélénium dans les tambours d'anciennes imprimantes laser, plomb dans les composants soudés, béryllium dans les alliages de cuivre) et il est essentiel que les installations de valorisation matière soient prêtes à faire face à une large gamme de substances et de dangers. Une gestion

écologiquement rationnelle nécessite dans ce cas une approche proactive dans le cadre de laquelle les installations analysent continuellement la composition variable des éléments qu'elles reçoivent afin de veiller à ce que leurs procédés restent sûrs et efficaces. Certaines étapes de la gestion écologiquement rationnelle, comme la collecte technique des poussières et des émanations, permettront une protection contre de nombreuses substances. Dans d'autres cas, il est nécessaire de connaître les caractéristiques uniques des équipements informatiques qui sont traités.

Que l'équipement informatique soit nouveau ou ancien, il est important de connaître les substances qui peuvent être rejetées ainsi que la manière dont ces substances sont rejetées et peuvent exposer les travailleurs et l'environnement à un possible danger. En outre, il est essentiel d'analyser continuellement les compositions des matériaux contenus dans les produits, qui changent au fil du temps, de sorte que l'installation de récupération puisse adopter une approche proactive aux fins d'un recyclage écologiquement rationnel. Ces substances comprennent non seulement celles énumérées ci-après qui sont contenues dans des équipements informatiques mais également des substances ajoutées à des fins de traitement, notamment des acides, et de nouvelles substances générées durant le traitement, dont certaines peuvent également être dangereuses. Certaines substances énumérées ci-après en tant que constituants mineurs ou traces peuvent néanmoins présenter une toxicité importante ou d'autres caractéristiques dangereuses. L'inscription sur une liste n'est pas un indicateur d'une préoccupation environnementale ou sanitaire concernant une substance.

17. Bon nombre des matériaux figurant dans les tableaux susmentionnés présentent peu ou pas de danger ou de motif de préoccupation spécifique, à l'exemple de l'acier des boîtiers des unités centrales et du cuivre des fils, en particulier dans les premières étapes du recyclage telles que le démantèlement manuel. Cependant, certaines substances pouvant être assez dangereuses, les installations devraient se procurer des fiches de données de sécurité et les tenir à jour. Certains matériaux peuvent présenter un danger lors de leur broyage, concassage, déchiquetage, fusion, incinération ou mise en décharge, à moins d'utiliser des méthodes de gestion écologiquement rationnelle. Par exemple, le béryllium des connecteurs cuivre-béryllium présente un risque minime, voire nul, lorsque l'équipement informatique est démantelé manuellement. Par contre, à l'état de poussières fines en suspension dans l'air et, en particulier, s'il est fondu et crée des émanations qui ne sont pas contrôlées et sont inhalées par les travailleurs, il peut endommager les poumons de façon permanente, entraînant de sérieux problèmes de santé et des décès. De plus, les substances contenues dans les équipements informatiques, telles que celles énumérées ci-dessus, ne sont pas les seules à susciter des préoccupations. D'autres substances peuvent être utilisées, produites ou émises lors du recyclage. Par exemple, l'isolant en polychlorure de vinyle des fils n'est pas dangereux en utilisation normale, mais brûlé en l'absence d'équipements et de systèmes anti-émissions appropriés en vue d'en récupérer le cuivre, il peut produire des dioxines, des furanes et d'autres émissions liées à la combustion. Trois principaux groupes de substances, qui peuvent être rejetées durant le recyclage, l'incinération ou la mise en décharge, devraient être considérés comme préoccupants :

- i) Les constituants originaux des équipements informatiques, tels que le plomb, le mercure, le cadmium, etc. ;
- ii) Les substances ajoutées (cyanure, acides forts, bases fortes et autres réactifs) qui sont utilisées dans des procédés de recyclage ; et
- iii) Les nouvelles substances qui peuvent être formées (parfois non intentionnellement) lors du recyclage, notamment les émanations dégagées par les réactions avec des acides, notamment celles d'oxydes d'azote, de dioxyde de soufre et de nouveaux composés formés à partir d'éléments présents dans l'équipement informatique, qui peuvent être plus dangereux que la forme initiale de ces éléments, comme les dioxines et les furanes halogénés.

## Tableau 1 : Ordinateurs de bureau

Constituants primaires	Emplacement dans l'appareil
Fer (Fe) et composés <sup>1</sup>	Boîtier, composants
Plastiques <sup>2</sup>	Boîtier, circuit imprimé, connecteurs, composants
Cuivre (Cu) et composés (y compris laiton)	Circuit imprimé, fils, connecteurs
Aluminium (Al)	Dissipateurs thermiques, composants
Polychlorure de vinyle (PVC)	Fils et câbles
Verre, céramique, semi-conducteur	Circuits imprimés, composants
Nickel (Ni) et composés	Composants, fixations
Étain (Sn)	Soudures, composants
<b>Constituants mineurs</b>	<b>(généralement moins de 0,1 %)</b>
Liquides (solvants organiques et eau)	Condensateurs
Plomb (Pb)	Soudures, composants, câbles
Béryllium (Be)	Connecteurs, alliages de cuivre
Lithium	Batteries (piles « plates » ou « boutons »)
Argent (Ag)	Soudures, composants, circuits imprimés
Carbone (C)	Batteries, composants
<b>Microconstituants ou constituants traces</b>	<b>(généralement moins de 0,01 %)</b>
Titanium (Ti) et composés	Circuit imprimé, composants, plastiques
Papier	Composants
Tantale (Ta) et composés	Composants
Néodyme (Nd)	Composants
Oxide de zinc (ZnO)	Composants
Or (Au)	Composants
Lithium (Li) et composés	Batteries, composants
Huile/lubrifiants	Ventilateur
Carbonate de calcium (CaCO <sub>3</sub> )	Composants
Talc	Composants
Cadmium (Cd)	Composants
Arsenic (As)	Voyants LED orange (arséniure de gallium)
Magnésium (Mg)	Composants
Sélénium (Se)	Composants
Palladium (Pd)	Composants
Vanadium (V)	Composants
Tungstène (W)	Composants

- 1) Les alliages de fer peuvent contenir une grande variété d'éléments, tels que Cr, C, Ni, Co, C, Si et Mn.  
 2) Les plastiques peuvent contenir une grande variété d'additifs, notamment des plastifiants, des retardateurs de flamme, etc.

## Tableau 2 : Ordinateurs portables

Constituants primaires	Emplacement dans l'appareil
Plastiques <sup>1</sup>	Boîtier, circuit imprimé, connecteurs, composants
Fer (Fe) et composés <sup>2</sup>	Boîtier, châssis, chargeur, batteries
Verre/céramique/semi-conducteur	Écran, composants, circuit imprimé, connecteurs
Cuivre (Cu) et composés (y compris laiton)	Circuit imprimé, fils, connecteurs, batteries, dissipateurs thermiques
Aluminium (Al) <sup>3</sup>	Batteries, boîtier
Lithium (Li) et composés	Batteries
Cadmium	Batteries
Cobalt	Batteries
Retardateurs de flamme	Circuit imprimé, composants, plastiques structuraux
Liquides (solvants organiques et eau)	Batteries, condensateurs

Nickel (Ni) et composés	Composants
Étain	Soudures, composants
<b>Constituants mineurs</b>	<b>(généralement moins de 0,1 %)</b>
Argent (Ag)	Soudures
Plomb (Pb)	Soudures, composants, câbles
Polychlorure de vinyle (PVC)	Fils et câbles
Béryllium (Be)	Connecteurs
<b>Microconstituants ou constituants traces</b>	<b>(généralement moins de 0,01 %)</b>
Tantale (Ta) et composés	Composants
Mercure (Hg)	Rétroéclairage d'écran à affichage à cristaux liquides
Polymère à cristaux liquides	Écran à affichage à cristaux liquides
Or (Au)	Connecteurs, composants
Fluor (F) et composés	Composants, circuit imprimé
Titanium (Ti) et composés	Circuit imprimé, composants
Carbonate de calcium (CaCO <sub>3</sub> )	Composants
Talc	Composants
Huile/lubrifiants	Ventilateur
Oxyde de plomb (PbO)	Composants
Papier	Composants
Oxyde d'étain et d'indium (ITO)	Écran
Arsenic	Voyants LED orange (arséniure de gallium)
Palladium (Pd)	Composants
Magnésium (Mn)	Composants
Tungstène (W)	Composants
Gallium (GaAs)	LED/éclairage
Germanium (Ge)	Composants
Vanadium (V)	Composants
1) Les plastiques peuvent contenir une grande variété d'additifs, notamment des plastifiants, des retardateurs de flamme, etc.	
2) Les alliages de fer peuvent contenir une grande variété d'éléments, tels que Cr, C, Ni, Co, C, Si et Mn.	
3) Le pourcentage d'aluminium (ou de magnésium dans certains cas) sera bien plus élevé si celui-ci est utilisé dans le boîtier.	

**Tableau 3 : Écrans (tubes cathodiques, affichage à cristaux liquides)**

<b>Constituants primaires</b>	<b>Emplacement dans l'appareil</b>
Fer (Fe) et composés <sup>1</sup>	Boîtier, composants
Plomb (Pb)	Verre des tubes cathodiques, soudures
Plastiques <sup>2</sup>	Boîtier, circuit imprimé, connecteurs, composants
Verre/céramique/semi-conducteur	Circuit imprimé, composants
Cuivre (Cu) et composés	Circuit imprimé, fils, connecteurs
Retardateurs de flamme	Circuit imprimé, composants, plastiques structuraux
Polychlorure de vinyle (PVC)	Fils et câbles
Aluminium (Al)	Dissipateurs thermiques, composants
<b>Constituants mineurs</b>	<b>(généralement moins de 1 %, plus de 0,1 %)</b>
Papier	Circuit imprimé, composants
Nickel (Ni) et composés	Composants, fixations
Étain (Sn)	Soudures, composants
Carbone	Composants
Polymère à cristaux liquides	Écran à affichage à cristaux liquides
<b>Microconstituants ou constituants traces</b>	<b>(généralement moins de 0,1 %)</b>
Liquides (solvants organiques et eau)	Composants, condensateurs
Mercure (Hg)s	Rétroéclairage d'écran à affichage à cristaux liquides

Cadmium (Cd)	Luminophore d'écran à affichage à cristaux liquides
Oxide de zinc (ZnO)	Composants
Argent (Ag)	Soudures, composants
Tantale (Ta) et composés	Composants
Oxyde de plomb (PbO)	Composants
Titanium (Ti) et composés	Circuit imprimé, composants
Arsenic	Voyants LED orange (arséniure de gallium)
Or (Au)	Connecteurs, composants
Carbonate de calcium (CaCO <sub>3</sub> )	Composants
Talc	Composants
Oxyde d'étain et d'indium (ITO)	Écran
Palladium (Pd)	Composants
Tungstène (W)	Composants

1) Les alliages de fer peuvent contenir une grande variété d'éléments, tels que Cr, C, Ni, Co, C, Si et Mn.

2) Les plastiques peuvent contenir une grande variété d'additifs, notamment des plastifiants, des retardateurs de flamme, etc.

#### Tableau 4 : Imprimantes (jet d'encre, laser)

<b>Constituants primaires</b>	<b>Emplacement dans l'appareil</b>
Plastiques <sup>1</sup>	Boîtier, circuit imprimé, composants
Fer (Fe) et composés <sup>2</sup>	Boîtier, composants
Cuivre (Cu) et composés	Circuit imprimé, fils, connecteurs
Verre, céramiques	Écran à affichage à cristaux liquides, circuit imprimé, composants
Polychlorure de vinyle (PVC)	Fils et câbles
Retardateurs de flamme	Circuit imprimé, composants
<b>Constituants mineurs</b>	<b>(généralement moins de 1 %, plus de 0,1 %)</b>
Aluminium (Al)	Dissipateurs thermiques, composants
Nickel (Ni) et composés	Composants, fixations
Plomb (Pb)	Soudures
Éthylène glycol	Encres
Liquides (solvants organiques, eau)	Composants, encre
<b>Microconstituants ou constituants traces</b>	<b>(généralement moins de 0,1 %)</b>
Étain (Sn)	Soudures, composants
Carbone	Composants, encres, toners
Papier	Circuit imprimé, composants
Argent (Ag)	Soudures, composants
Titanium (Ti) et composés	Circuit imprimé, composants
Or (Au)	Connecteurs, composants
Oxyde de plomb (PbO)	Composants
Arsenic	Voyants LED orange (arséniure de gallium)
Tantale (Ta) et composés	Composants
Oxyde de zinc (ZnO)	Composants
Carbonate de calcium (CaCO <sub>3</sub> )	Composants
Talc	Composants
Palladium (Pd)	Composants
Tungstène (W)	Composants

1) Les plastiques peuvent contenir une grande variété d'additifs, notamment des plastifiants, des retardateurs de flamme, etc.

2) Les alliages de fer peuvent contenir une grande variété d'éléments, tels que Cr, C, Ni, Co, C, Si et Mn.

18. Le tableau ci-après présente des données moyennes concernant les cartes de circuits imprimés contenues dans différents équipements informatiques en 2009. L'argent (Ag), l'or (Au) et le palladium (Pd) sont les métaux précieux pris en considération, dans la mesure où ils constituent généralement la principale source de valeur matérielle dans ces circuits imprimés. Ces valeurs peuvent changer au fil du temps en raison de modifications dans la conception et la fabrication des produits.

**Tableau 5 : Contenu en métaux précieux des cartes de circuits imprimés provenant d'équipements informatiques**

Type d'équipement	Poids de la carte par rapport à celui de l'équipement (%)	Concentration en métaux des cartes (g/mt de cartes)		
		Ag	Au	Pd
Clavier d'ordinateur	2 %	700	70	30
Écran à affichage à cristaux liquides	4 %	1 300	490	99
Souris d'ordinateur	8 %	700	70	30
Ordinateur portable	15 %	1 000	250	110
Ordinateur personnel	13 %	1 000	250	110
Imprimante, télécopieur	8 %	350	47	9

Source : Chanceler et al., Precious Metal Flows During the Preprocessing of Electronic Waste, Journal of Industrial Ecology, 2009

19. Certains procédés sont plus susceptibles que d'autres de rejeter des substances spécifiques figurant dans ces trois groupes. Le déchetage, la fusion et la lixiviation sont des exemples de procédés qui sont susceptibles de rejeter ces types de substances et devraient, par conséquent, être uniquement entrepris s'ils sont accompagnés de mesures de prévention technique appropriées, tandis que d'autres pratiques, comme le brûlage à l'air libre, devraient être complètement évitées, dans la mesure où elles ne peuvent pas être exécutées d'une manière écologiquement rationnelle. Certains procédés peuvent générer des émanations et des particules fines ainsi que des fragments plus importants. Les particules qui pénètrent dans l'air peuvent contenir des substances dangereuses présentes dans les équipements informatiques, auquel cas les travailleurs devront être protégés par des systèmes techniques de ventilation qui aspirent les émanations et les poussières ainsi que par des équipements de protection individuelle destinés à les protéger des risques spécifiques, comme des masques à poussières et des appareils respiratoires. Les poussières aspirées ne doivent pas être simplement rejetées vers l'air extérieur et la population, mais doivent être filtrées et collectées dans des dépoussiéreurs à manches et des filtres remplaçables et gérées de manière adéquate. Ces poussières peuvent contenir des métaux de valeur susceptibles d'être recyclés ou peuvent ne convenir qu'à une élimination finale d'une manière écologiquement rationnelle, souvent en tant que déchet dangereux

20. Bien que les présentes directives portent sur les équipements informatiques, il est probable que les installations assurant leur recyclage recevront également, ou qu'il leur sera demandé d'accepter, d'autres produits en fin de vie présentant des constituants, des dangers et des risques très différents. Une installation de recyclage devrait uniquement accepter des équipements et des matériaux qu'elle connaît et comprend, ce dont elle devrait informer le public et ses fournisseurs, et disposer d'une procédure de réception lui permettant de déterminer et de rejeter les types d'équipements et matériaux qu'elle n'est pas en mesure de gérer en toute sécurité ou ne veut pas accepter pour toute autre raison. Elle devrait également essayer d'obtenir des informations sur les autres installations qui peuvent gérer en toute sécurité les autres types de matériaux qu'elle ne souhaite pas gérer, de manière à pouvoir orienter les clients vers ces installations ou leur envoyer des équipements informatiques qu'elle ne peut pas gérer elle-même.

## 5. COLLECTE, DÉMANTÈLEMENT, SÉPARATION ET PRATIQUES DE DÉMANTÈLEMENT ET DE SÉPARATION MÉCANISÉES

### 5.1 Mesures que doivent prendre les installations pour favoriser une gestion écologiquement rationnelle

21. Pour protéger les travailleurs et les populations, les installations de valorisation matière devraient prendre des mesures répondant aux critères de gestion écologiquement rationnelle ci-après (tous sont décrits de manière plus détaillée dans les paragraphes suivants) :

- i. Engagement de la direction à adopter une approche systématique ;
- ii. Évaluation des risques ;
- iii. Prévention et réduction au minimum des risques ;
- iv. Obligations juridiques ;
- v. Sensibilisation, compétence et formation ;
- vi. Tenue de registres et évaluation des résultats ;
- vii. Mesures correctrices ;
- viii. Transparence et vérification.

22. *Engagement de la direction à adopter une approche systématique* : la direction d'une installation de valorisation matière devrait clairement s'engager à adopter une approche systématique visant à parvenir à une gestion écologiquement rationnelle de tous les aspects des activités de l'installation et à continuellement améliorer celle-ci, y compris dans le but de prévenir la pollution et d'assurer la salubrité et la sécurité de l'environnement. Des ressources financières et humaines suffisantes devraient être mises à disposition. Cette politique devrait être documentée, mise en œuvre et communiquée à tout le personnel, ainsi qu'aux entrepreneurs et aux visiteurs, selon qu'il convient. Les résultats de la politique devraient faire l'objet de rapports et être périodiquement examinés par la direction. Dans le cas de grandes installations de valorisation matière, un (des) représentant(s) de la direction devrai(en)t être expressément désigné(s) pour superviser la mise en œuvre de la politique grâce à un système de gestion conçu, mis en œuvre et perpétué à cette fin.

23. *Évaluation des risques* : les installations de valorisation matière procèdent à des opérations industrielles d'envergure faisant intervenir des machines puissantes, de très hautes températures ou des produits chimiques forts et dangereux. Elles diffèrent du point de vue de leurs opérations et de leur implantation, mais présentent toutes de nombreux risques pour la santé et la sécurité des travailleurs ainsi que des incidences potentielles sur l'environnement tant dans leur périmètre qu'au-delà. Les responsables de la gestion de ces installations devraient chercher à recenser et signaler les dangers et les risques pour la santé et la sécurité des travailleurs ainsi que pour l'environnement liés à leurs activités, produits et services de valorisation matière actuels et prévus. Il importe en particulier d'anticiper les situations d'urgence et accidents qui pourraient se produire et de définir les procédures d'intervention correspondantes, lesquelles devraient être testées et analysées de temps à autre, en particulier après tout événement nécessitant leur application. Les plans et procédures d'urgence devraient être conçus de manière à éviter et atténuer les incidences sur la salubrité et la sécurité de l'environnement au cours des interventions. Ils devraient également être fournis aux organismes locaux d'intervention en cas d'urgence, comme les services de police et de lutte anti-incendie, hôpitaux et autres services de santé, et il conviendrait de tenir compte de leurs observations à des fins d'amélioration. Les dangers et risques existants dans l'éventualité d'un déclassement et de la fermeture d'une installation devraient également être prévus et un plan devrait être établi pour le site, y compris des mesures de remise en état et des mécanismes de financement, pour garantir, le cas échéant, la gestion à long terme du site.



24. *Prévention et réduction au minimum des risques* : après avoir évalué les dangers et les risques présentés par les activités, les produits et les services de l'installation de valorisation matière dont elle a la charge, la direction de celle-ci devrait systématiquement s'employer à réduire au minimum ou à éliminer ces dangers et ces risques. Cette approche systématique devrait, dans un premier temps, viser les risques importants avérés pour l'environnement, la santé et la sécurité, outre le non-respect des obligations juridiques applicables. Elle devrait prendre en compte les évolutions technologiques, opérationnelles et industrielles, y compris l'amélioration des procédures et des équipements, ainsi que différentes pratiques industrielles, y compris les mesures de prévention technique (par ex., confinement, ventilation et dépoussiérage, systèmes d'arrêt d'urgence), les contrôles administratifs et pratiques de travail (par ex., formation en matière de santé et de sécurité, surveillance médicale) et l'utilisation d'équipements de protection individuelle (par ex., appareils respiratoires, verres protecteurs, gants). Au-delà des dangers et des risques importants existants, une installation de valorisation matière devrait s'efforcer d'améliorer de manière continue la conception du milieu du travail, les procédés, les installations, les machines, les procédures de fonctionnement et l'organisation du travail dans le but d'éliminer et/ou de réduire à la source les dangers et les risques pour la salubrité et la sécurité de l'environnement. Toutes ces améliorations devraient être documentées et communiquées à tout le personnel, ainsi qu'aux entrepreneurs et aux visiteurs, le cas échéant. Il est particulièrement important d'avoir une bonne communication avec les fournisseurs et les acheteurs de matériaux de récupération au sujet de la composition de ces matériaux et des risques qu'ils présentent en fonction des conditions très particulières dans lesquelles se déroulent la valorisation matière.

25. *Obligations juridiques* : les installations de valorisation matière d'équipements informatiques usagés et en fin de vie doivent posséder tous les permis d'exploitation, licences ou autres autorisations concernant leurs opérations, en particulier lorsque ces matériaux sont qualifiés de déchets par leur pays ou une entité gouvernementale, ce qui est souvent le cas. Une installation devrait toujours respecter les obligations énoncées par ces permis, licences et autorisations. Une approche systématique de gestion écologiquement rationnelle demande la réalisation d'évaluations à intervalles réguliers pour se tenir au fait des législations applicables, y compris les amendements et nouvelles législations, et déterminer la manière dont ces obligations s'appliquent spécifiquement à l'installation et à ses opérations. Elle demande également des communications périodiques et de bonnes relations de travail avec les autorités compétentes. Étant donné que les opérations de valorisation matière peuvent comprendre des opérations réalisées par d'autres installations, notamment des mouvements transfrontières de fournitures, de déchets et de produits, une installation de valorisation matière devrait aussi veiller à ce que non seulement ses propres opérations mais également les opérations de valorisation matière menées en aval respectent les législations internationales applicables ainsi que les législations des autres pays concernés.

26. *Sensibilisation, compétence et formation* : les gestionnaires d'une installation devraient veiller à ce que toutes les personnes qui participent à des opérations de valorisation matière soient correctement formées pour s'acquitter de leurs responsabilités en toute sécurité et que ladite formation soit régulièrement actualisée et répétée. Cela signifie que les employés doivent non seulement être formés à l'exécution des opérations effectuées par l'installation mais aussi être suffisamment sensibilisés aux dangers et aux risques et posséder les compétences nécessaires pour les gérer efficacement, en particulier savoir comment réagir et faire face aux situations d'urgence ou accidents. Cela devrait découler des mesures exposées plus haut en matière d'évaluation des risques et de prévention et de réduction au minimum des risques. Pour que les travailleurs acquièrent ces compétences, il faut qu'ils aient accès aux outils spéciaux associés aux opérations de valorisation matière, aux appareils utilisés pour les essais et la manipulation des matériaux ainsi qu'aux informations figurant dans les fiches de données de sécurité ou autres sources comparables concernant toutes les substances, outre la formation nécessaire pour qu'ils puissent les comprendre

et les utiliser. Dans la mesure du possible, des photos et des diagrammes devraient accompagner les instructions écrites utilisées pour former les travailleurs aux opérations de valorisation matière.

27. *Tenue de registres et évaluation des résultats* : une approche systématique de gestion écologiquement rationnelle demande l'établissement et la tenue à jour de documents détaillant cette gestion. Lorsqu'une procédure opérationnelle a été documentée, elle peut à chaque fois être exécutée correctement en toute sécurité, et être régulièrement améliorée. Les documents consignants la formation des employés peuvent être révisés afin de faire en sorte que celle-ci soit complète et adaptée aux tâches attribuées. Les inspections, essais et évaluations auxquels les équipements informatiques usagés sont soumis peuvent être passés en revue pour vérifier la gestion efficace et écologiquement rationnelle de ces derniers conformément aux exigences techniques et obligations juridiques en la matière. Des registres des arrivages, des résultats des procédés ainsi que des chargements en provenance et à destination d'autres installations de valorisation matière et/ou de remise à neuf faciliteront l'examen interne et externe des résultats des opérations de l'installation. Cette démarche aidera à assurer le suivi et la localisation de matériaux en aval de l'installation de traitement, qui sont indispensables s'agissant en particulier des matériaux dangereux. Cette documentation du système de gestion et cette tenue rigoureuse de registres contribuent à renforcer la confiance dans le fonctionnement d'une installation en conformité avec les réglementations applicables et les normes volontaires. Il existe peu d'activités, voire aucune, dans une installation de recyclage ou de valorisation matière, qui ne puissent être améliorées par des registres appropriés concernant ces activités, assortis d'un examen périodique à des fins d'amélioration.

28. *Mesures correctrices* : une installation de valorisation matière devrait prendre des mesures appropriées pour éliminer les risques pour la santé et la sécurité des travailleurs et pour l'environnement recensés au cours de l'évaluation des risques ou portés à son attention par d'autres, notamment par les autorités compétentes ou de tierces parties concernées. Les lacunes en matière de gestion écologiquement rationnelle devraient également être comblées. Les mesures préventives et correctrices devraient être pertinentes, à la mesure de la situation et documentées. Les mesures correctrices nécessaires ainsi que leurs résultats devraient être soumis à la direction.

29. *Transparence et vérification* : les installations de valorisation matière prennent en charge des équipements informatiques en fin de vie pouvant présenter des risques pour la santé et la sécurité des travailleurs et pour l'environnement. Il conviendrait donc qu'elles fassent régulièrement l'objet d'inspections programmées et de contrôles de ces risques conformément à des procédures documentées. Dans la mesure du possible, ces inspections/vérifications et contrôles devraient être effectués par des personnes indépendantes des opérations de l'installation ou par de tierces parties. Ces inspections et contrôles peuvent être des exigences réglementaires, mais devraient, en tout état de cause, être utilisés dans le cadre d'une approche systématique de la gestion écologiquement rationnelle. La politique d'une installation en matière d'environnement, de santé et de sécurité ainsi que son programme d'inspection et de contrôle et les résultats en découlant devraient être communiqués au public, aux travailleurs et aux clients qui veulent, dans le cadre de leur devoir de diligence raisonnable, obtenir des renseignements sur les activités et opérations de l'installation. Une installation de valorisation matière devrait également examiner les documents concernant les opérations de valorisation matière effectuées en aval afin de s'assurer que ces dernières respectent les principes d'une gestion écologiquement rationnelle.

## 5.2 Récupération potentielle de matériaux provenant d'équipements informatiques

30. En théorie, tout ce qui se trouve dans un équipement informatique usagé peut être réutilisé ou récupéré pour la fabrication d'autres matériaux. En pratique, la récupération d'un matériau donné dépend en premier lieu de sa valeur économique, les métaux précieux et autres, mais aussi les plastiques et le verre, étant principalement ceux qui en possèdent le plus. Les équipements informatiques en fin de vie, lorsqu'ils sont collectés en volumes suffisants et envoyés à des installations de valorisation matière, sont une source précieuse de cuivre, d'étain, d'acier, d'or,

d'argent et de palladium, entre autres. La récupération du verre des tubes cathodiques est également possible (actuellement) et préférable du point de vue écologique, l'utilisation de verre provenant d'anciens tubes cathodiques dans la fabrication de nouveaux tubes cathodiques diminuant significativement les apports d'énergie nécessaires aux fours de verrerie. Le recyclage des plastiques techniques provenant d'équipements informatiques est également possible sur le plan technique et peut être viable d'un point de vue économique, en particulier lorsqu'ils sont soigneusement séparés par type. Le plastique n'est parfois pas récupéré en raison de la présence de retardateurs de flamme bromés, à moins qu'il ne puisse en être débarrassé ou qu'on ne lui trouve d'autres utilisations nécessitant des retardateurs de flamme. Dans certains pays où le recours à certains retardateurs de flamme bromés tels que le pentabromodiphényléther est interdit, les plastiques qui en contiennent ne peuvent pas être recyclés et doivent être éliminés de manière écologiquement rationnelle<sup>5</sup>. Si plusieurs types de plastiques sont mélangés ou que leur composition ne peut pas être déterminée, leur valeur économique baisse. Toutefois, la fraction de plastique qui ne peut pas être récupérée de l'équipement informatique peut également contribuer à des procédés de recyclage efficaces du point de vue énergétique en tant qu'agents réducteurs ou carburant de remplacement dans les fonderies et les raffineries.

31. En outre, un intérêt accru pour la récupération de « matériaux critiques » ou de « matériaux spéciaux », comme les platinoïdes, le gallium, l'indium, les terres rares, le cobalt et l'antimoine a été récemment constaté. En raison de leurs propriétés uniques, ces matériaux jouent un rôle important dans des applications et procédés de fabrication modernes, notamment dans les équipements informatiques. Il est toutefois à craindre que l'accès commercial à ces matériaux puisse devenir limité ou même que ceux-ci deviennent indisponibles pour des raisons géologiques, économiques et politiques, ce qui peut gravement perturber l'industrie moderne<sup>6</sup>. Dans certains cas (par ex., les platinoïdes), des prix élevés du marché rendent la récupération rentable. Cependant, pour d'autres métaux, comme ceux du groupe des terres rares, dont la récupération est techniquement très difficile, ces préoccupations concernant la rareté n'ont pas fait monter les prix du marché à des niveaux auxquels la récupération devient profitable. S'agissant du mélange de métaux contenu dans les équipements informatiques, certaines mesures de récupération des métaux précieux permettent une récupération plus efficace d'autres « métaux critiques » au cours d'étapes de traitement ultérieures, au moyen de technologies avancées, mais ces « métaux critiques » ne sont pas tous récupérés pour des raisons économiques et/ou techniques. Toutefois, des recherches sont en cours afin de pouvoir récupérer plus efficacement ces matériaux, dont les prix sur le marché sont actuellement en hausse, et il existe des propositions visant à subventionner leur récupération, de sorte que des possibilités d'élargissement de la valorisation matière des équipements informatiques peuvent apparaître dans le futur. Il est néanmoins important de comprendre que les limites thermodynamiques représenteront toujours une contrainte, rendant impossibles des taux de récupération des matériaux de 100 %.

### 5.3 Collecte/réception

32. Comme expliqué plus haut, la valorisation matière est guidée par la valeur économique des matériaux récupérés qui ont été collectés en volumes suffisants. La collecte est une première étape nécessaire. Bien que les présentes directives ne concernent pas la collecte, il importe que les installations de valorisation matière ne collectent et reçoivent que des équipements qu'elle peut accepter et traiter en toute sécurité. Il convient que chaque installation établisse et publie une liste des types d'équipements qu'elle accepte et/ou une liste d'articles qu'elle n'accepte pas. Les installations doivent éviter d'accepter des matériaux et des équipements qu'elle n'est pas

<sup>5</sup> Directive 2003/11/EC de l'Union européenne. La directive RoHS de l'Union européenne limite également l'utilisation des biphenyles polybromés dans les produits électroniques.

<sup>6</sup> Voir, par exemple, U.S. Department of Energy, Critical Metals Strategy, December 2010 ; European Commission, Enterprise and Industry, Critical Raw Materials for the EU, July 2010 ; U.S. National Academy of the Sciences, Critical Minerals and the U.S. Economy, 2008.

en mesure de gérer et de traiter de manière écologiquement rationnelle, et leur personnel doit être formé pour rejeter d'autres matériaux indésirables. Néanmoins, chaque installation devrait également posséder des informations sur d'autres installations qui traitent d'autres types de matériaux et d'équipements, de manière à pouvoir envoyer ces matériaux et équipements vers une installation compétente assurant une gestion écologiquement rationnelle.

#### 5.4 Évaluation et triage initial

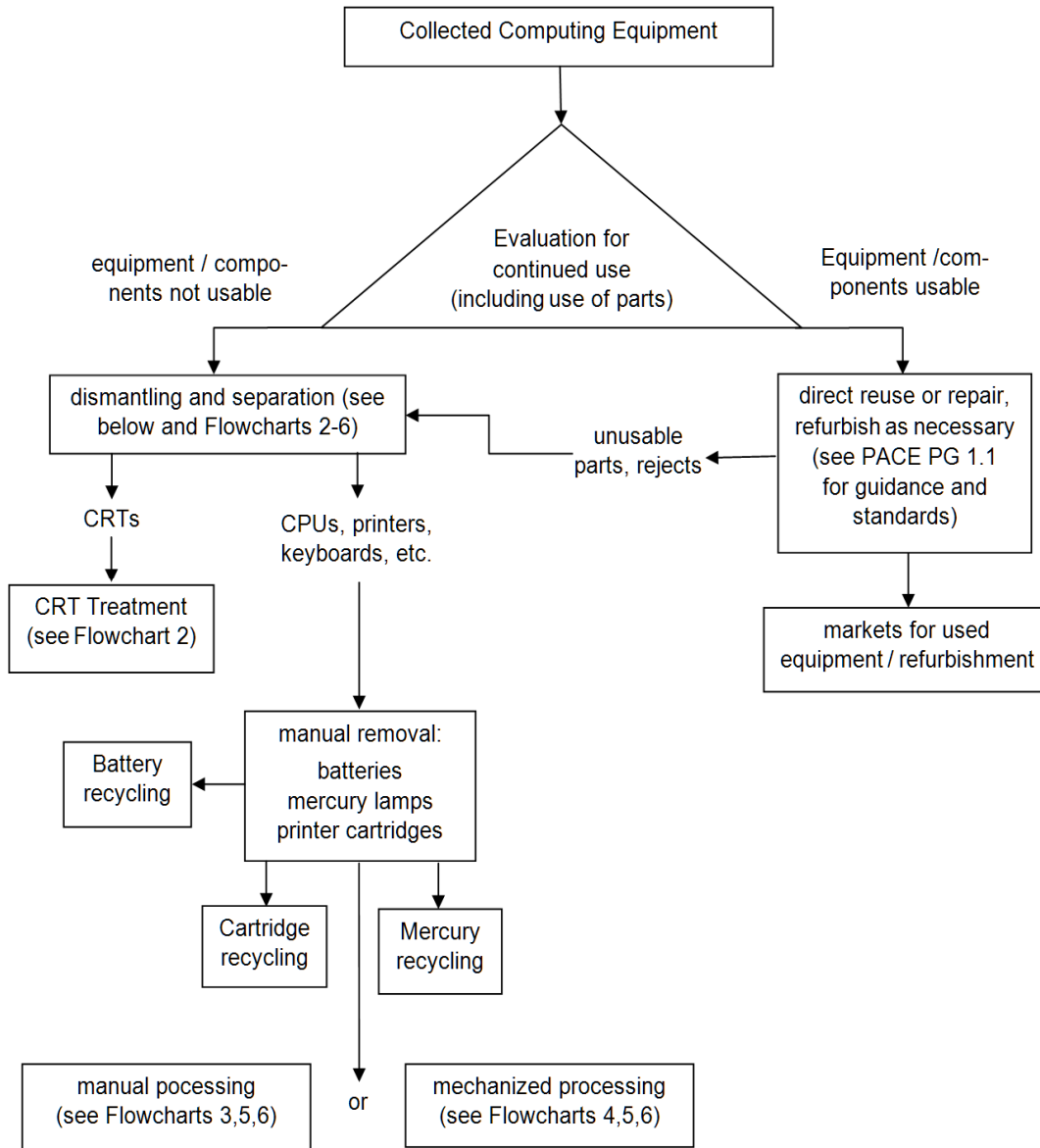
33. Lorsqu'un équipement informatique acceptable a été collecté et reçu par une installation de valorisation matière, les opérations de récupération peuvent commencer. Afin d'optimiser la récupération, les équipements électroniques doivent être évalués et triés afin de déterminer les étapes ultérieures qui conviennent le mieux pour en tirer le plus de valeur.

34. La valorisation matière des équipements informatiques est généralement composée d'une longue série d'étapes et de procédés, dont certains durent plusieurs mois, chaque étape apportant de la valeur. L'objectif général de la première étape de la valorisation matière est de trier autant que possible les matériaux complexes par types de matériaux similaires (par ex., l'acier avec l'acier, l'aluminium avec l'aluminium, le cuivre avec le cuivre, le verre avec le verre, le thermoplastique technique en polystyrène choc avec le thermoplastique technique en polystyrène choc, etc.). Certaines étapes peuvent produire un résultat rapide, comme le retrait d'un boîtier en acier qui peut être recyclé dans un four à acier. D'autres étapes prennent plus de temps, à l'exemple du regroupement d'un matériau pour l'étape suivante, le résultat d'un procédé en alimentant un autre. Ainsi, le démantèlement ou le déchiquetage d'un ordinateur est suivi d'étapes de séparation visant à enlever l'acier, l'aluminium, le plastique, etc. Chaque étape variera en fonction du contenu du déchet et du rebut, du produit final souhaité et des capacités des installations. Dans certains cas, il convient d'envoyer les matériaux obtenus à l'issue d'un traitement vers des installations plus spécialisées pouvant se trouver dans d'autres pays ou sur d'autres continents aux fins d'une récupération ou d'un affinage plus poussé. Cette démarche cadre avec la section 9 de l'article 4 de la Convention de Bâle et la constatation que la gestion économiquement et écologiquement rationnelle de certains déchets sera assurée dans des installations spécialisées plus éloignées du lieu de leur production (« economically and environmentally sound management of some wastes will be achieved at specialized facilities located at greater distances from the point of generation »)<sup>7</sup>. Des flux typiques de matériaux provenant de la valorisation matière d'équipements informatiques en fin de vie sont présentés dans les figures 2 à 7.

---

<sup>7</sup> Document d'orientation sur l'élaboration de directives techniques pour la gestion écologiquement rationnelle des déchets visés par la Convention de Bâle, <http://www.basel.int/meetings/sbc/workdoc/framework.doc>

Figure 2 : Aperçu des étapes initiales



35. Afin de maximiser la valeur récupérée, il est nécessaire de réaliser un triage le plus proprement possible pour prévenir une contamination qui empêchera ou compliquera les étapes suivantes de récupération, ainsi que pour éviter des pertes subséquentes de matériaux de grande valeur. Lorsque la séparation commence par des matériaux complexes, comme c'est le cas pour les équipements informatiques, elle ne peut pas être parfaite. L'acier provenant d'équipements informatiques peut contenir de petites quantités de métaux non ferreux et de plastiques, qui ne peuvent pas être récupérés dans le cadre de la production d'acier subséquente. De façon similaire, les flux d'aluminium peuvent contenir de petites quantités d'acier et de métaux non ferreux, qui ne peuvent pas être récupérés dans le cadre de la production d'aluminium subséquente. Il convient de scrupuleusement maintenir les pertes de ces fractions non récupérées à un faible niveau et dans les limites de tolérance des procédés suivants (par ex., fours à acier et fonderies d'aluminium). Si une aciérie reçoit des matériaux qui ne sont pas correctement séparés et sont contaminés par d'autres matériaux, elle rejettera la cargaison. En outre, même si une aciérie accepte un lot de déchets d'acier contenant de faibles concentrations d'autres métaux, elle peut ne pas récupérer la totalité de ces derniers, puisque ceux qui ne peuvent pas servir à produire des alliages d'acier

représentent des contaminants indésirables, ce qui occasionne des pertes de métaux recherchés par ailleurs. Cela peut être particulièrement problématique s'agissant du cuivre et des métaux précieux se trouvant dans des flux d'acier, d'aluminium et de plastiques qui sont ainsi perdus, ces métaux étant les principaux contributeurs à la valeur économique des matériaux récupérés à partir des équipements informatiques. Le traitement mécanisé permet de prévenir les pertes indésirables de circuits imprimés dans les lots d'acier, d'aluminium et de plastiques expédiés et de nombreuses installations de recyclage enlèvent, pour cette raison économique, les circuits imprimés avant de commencer les opérations de déchetage.

36. Une séparation scrupuleuse visant à éviter les pertes présente également des avantages sur le plan environnemental, dans la mesure où la récupération et le recyclage des métaux nécessitent beaucoup moins d'énergie et entraînent une perturbation bien moindre des écosystèmes que l'extraction de ces métaux à partir de minerais. Par exemple, l'énergie nécessaire pour produire de l'aluminium à partir de déchets ne représente que 5 % de celle requise pour sa production à partir de minerais. L'or est présent dans de nombreux circuits imprimés d'ordinateurs à des concentrations 40 à 70 fois supérieures à celles des minerais, ce qui évite de devoir l'extraire de minerais où il se trouve à de très faibles concentrations (par ex., un gramme d'or par tonne de roche), en utilisant beaucoup d'énergie et de produits chimiques tels que le cyanure. Dans la mesure du possible, les composants électroniques entiers ou démantelés provenant d'équipements informatiques ne devraient être mélangés qu'avec d'autres déchets électroniques (par ex., ordinateurs, téléphones portables, etc.) lors du déchetage, plutôt qu'avec d'autres appareils (par ex., poêles, réfrigérateurs, etc.), afin de réduire au minimum la perte de métaux précieux. De fait, les circuits imprimés sont souvent traités à part, étant donné qu'une partie de leurs métaux précieux se perdent dès lors qu'ils sont mélangés à d'autres matériaux, dont il est ensuite difficile de les extraire de manière rentable.

## 5.5 Démantèlement

### 5.5.1 Démantèlement et séparation manuels/retrait initial de substances dangereuses

37. Comme indiqué à la figure 1, la valorisation matière des équipements devrait commencer par une séparation manuelle minutieuse des composants tels que les écrans d'affichage à tube cathodique et à cristaux liquides, les imprimantes, les ordinateurs portables et les ordinateurs de bureau. Ensuite, chaque type d'équipement sera encore séparé en vue d'opérations distinctes de recyclage et de valorisation matière selon des procédures adaptées à chaque type d'équipement. Par exemple, le traitement des imprimantes commencera par un retrait manuel des cartouches d'encre et de toner, de sorte que ces dernières puissent être recyclées de manière séparée en procédant à une recharge et une restauration (voir la section 7.4 Gestion et récupération des encres et toners). Les tubes cathodiques nécessitent une manipulation distincte portant une attention particulière à leur mise à la pression atmosphérique et aux luminophores et au plomb qu'ils contiennent (voir la section 7.1.4 Gestion et valorisation matière des tubes cathodiques et des verres sans plomb). Certains contenus particulièrement problématiques doivent être soigneusement retirés à la main des ordinateurs portables, des écrans d'affichage à cristaux liquides et de certains numériseurs plus anciens, notamment les batteries (voir la section 7.2 Gestion et valorisation matière des batteries) et les lampes au mercure (voir la section 7.3 Gestion et valorisation matière des lampes au mercure)<sup>8</sup>. Cette étape est importante étant donné que ces composants seront récupérés plus efficacement de manière séparée, qu'ils peuvent rendre plus compliquée la récupération d'autres matériaux s'ils ne sont pas retirés dès le départ et/ou qu'ils libéreront probablement des substances dangereuses dans les composants électroniques

<sup>8</sup> Il convient toutefois de noter que certaines installations envoient des écrans d'affichage à cristaux liquides entiers vers des installations de traitement et de récupération du mercure afin d'éviter des problèmes résultant du bris de lampes au mercure.

restants, le lieu de travail et/ou l'environnement au cours des procédés subséquents de valorisation matière.

38. Le démantèlement et le retrait initiaux de certains composants des équipements informatiques peuvent également être prescrits par la législation, notamment la directive DEEE de l'Union européenne.

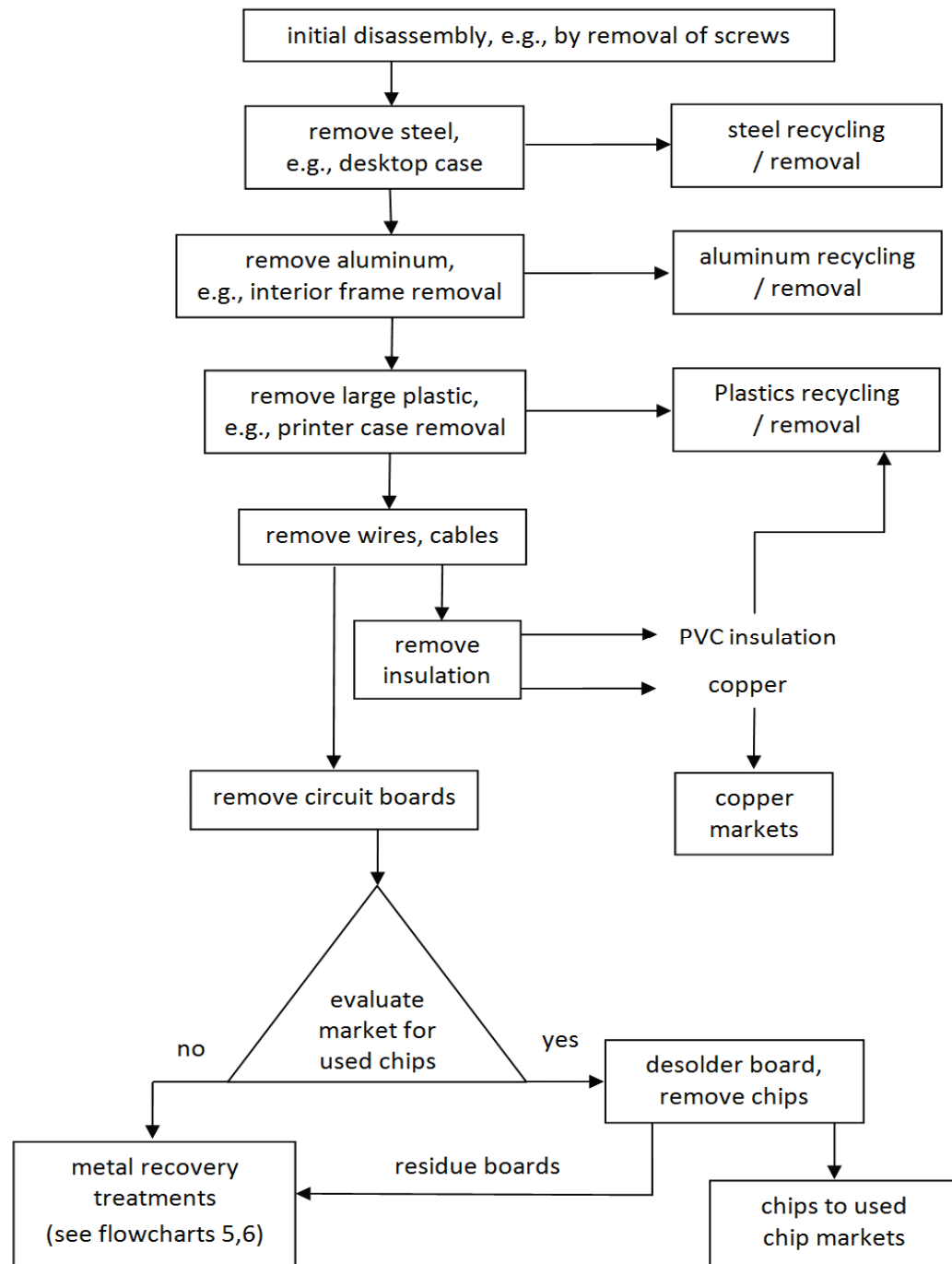
39. Le retrait de composants problématiques peut être potentiellement dangereux. Par exemple, le retrait des lampes au mercure des écrans d'affichage à cristaux liquides est susceptible d'entraîner un bris et de rejeter du mercure (voir la section 7.3 ci-après). Les lampes, qui se trouvent sur les côtés et derrière l'écran, sont des tubes de verre longs, fins et fragiles. Il est quasi certain que quelques-unes vont se briser durant le retrait et la manipulation, de sorte qu'une opération de démantèlement devrait être correctement préparée en prévoyant un contrôle de la présence de vapeurs de mercure dans l'atmosphère de travail et un nettoyage des fuites visibles de mercure. Certaines installations ont décidé de ne pas retirer les lampes au mercure en raison du problème qu'elles posent en cas de bris et envoient les écrans d'affichage de ce type directement à des installations agréées de traitement du mercure disposant de compétences spécialisées en la matière. Par ailleurs, des unités de déchiquetage qui seraient capables de recueillir le mercure en toute sécurité durant le traitement sont disponibles sur le marché. En prenant des précautions adéquates pour la santé humaine et l'environnement, le mercure ne devrait pas constituer un obstacle à une valorisation matière efficace des équipements informatiques.

#### **5.5.2 Suite du démantèlement – Procédés manuels et mécanisés**

40. Après le retrait des composants problématiques, il convient de poursuivre le démantèlement des équipements informatiques et de trier ces derniers en différents flux de matériaux (par ex., acier, aluminium, circuits imprimés, plastiques, etc.) qui devraient ensuite faire l'objet de traitements spécialisés. Ces étapes sont présentées dans les figures 3 à 7.

41. Le démantèlement et la séparation des matériaux peuvent être effectués soit à la main, soit par des procédés mécanisés ou les deux – une combinaison d'étapes manuelles et mécaniques. Le choix de la méthode à utiliser est principalement fondé sur des considérations économiques, tenant compte du coût initial des machines, du coût de la main d'œuvre, de la disponibilité d'installations de traitement en aval disposant de techniques de récupération adéquates et écologiquement rationnelles ainsi que de la valeur marchande des composants et des matériaux produits. La possibilité d'éviter les coûts élevés de l'élimination des déchets dangereux peut également être une incitation économique. Dans les pays en développement et les pays en transition, si les coûts de la main d'œuvre sont faibles, le choix se porte souvent sur le démantèlement manuel. Dans les pays industrialisés également, il est souvent opté pour le démantèlement manuel, ce dernier pouvant produire davantage d'équipements informatiques réutilisables ainsi que des matériaux séparés très propres aux fins d'une récupération ultérieure efficace des matériaux.

Figure 3 : Démantèlement et séparation manuels des matériaux



42. Le démantèlement manuel ne nécessite pas de compétences techniques particulières, bien que la formation des travailleurs pour exécuter en toute sécurité des tâches manuelles spécifiques soit toujours importante. Il fournit des emplois à la population et peut produire des matériaux triés propres qui peuvent être vendus. Il peut également faciliter un retrait soigneux des composants en état de marche, comme décrit à la figure 2, aboutissant à un supplément de valeur.

43. La récupération de puces fait parfois partie des opérations de démantèlement manuel, étant donné que les puces électroniques peuvent posséder une valeur supérieure à celle des matières premières, mais elle présente des risques pour la santé des travailleurs et l'environnement



qu'il convient de réduire au moyen d'une gestion écologiquement rationnelle. Le démontage des puces se fait en chauffant la soudure qui les fixe au circuit imprimé afin de la ramollir. Cette démarche nécessite de faire particulièrement attention à la température. Si une chaleur insuffisante est appliquée, la soudure ne va pas ramollir et la puce ne va pas se détacher du circuit. Si une chaleur trop importante est appliquée, la puce sera endommagée. Très souvent, la bonne température s'obtient en faisant fondre de la soudure dans un récipient de grande taille et en mettant ensuite le dessous du circuit imprimé en contact avec cette soudure fondue. Ce procédé permet de retirer les puces mais présente des risques pour les travailleurs et les populations. Le bac de soudure fondue et la soudure ramollie du circuit imprimé libéreront des vapeurs plombifères que le travailleur peut inhaler. Des substances contenues dans les circuits imprimés, comme le tétrabromobiphényle A, peuvent également être rejetées. La source de chaleur peut être un petit feu de charbon ou de charbon de bois libérant ses propres particules dangereuses. Un travailleur qui doit retirer de très petites puces d'un circuit imprimé se trouvera probablement très près de la source de chaleur, du circuit imprimé chauffé et de la soudure ramollie, qui sont tous des sources de préoccupation. La meilleure protection pour le travailleur consiste à retirer la puce sous une hotte de ventilation contrôlée ou à veiller à ce que toutes ces émissions dangereuses soient aspirées à l'intérieur d'un système de collecte du genre dépoussiéreur à manches.

44. De même, la récupération des fils et des câbles représente parfois une partie importante des opérations de démantèlement manuel. Les fils et les câbles qui ne sont pas endommagés peuvent se réutiliser directement. Le cuivre de haute qualité peut également être récupéré en retirant manuellement l'isolant à l'aide d'outils simples ou en hachant les fils en petits morceaux et en séparant ensuite les petits morceaux d'isolant par flottation. L'isolant propre retiré de cette manière peut être utilisé comme du plastique récupéré et également mis en décharge en toute sécurité, si nécessaire. En revanche, le brûlage à l'air libre des câbles afin de retirer l'isolant et de récupérer le fil de cuivre, qui est largement pratiqué dans des opérations informelles, est dangereux et devrait cesser, étant donné que l'isolant est probablement du polychlorure de vinyle (PVC) et contient peut-être également du plomb et que le brûlage produira des émissions d'hydrocarbures ainsi que des dioxines et furanes polychlorés<sup>9</sup>.

45. Les installations qui effectuent un démantèlement manuel devraient prendre en compte et réduire les nombreux risques liés à ces activités de traitement des équipements informatiques, notamment les expositions aux vapeurs et poussières dangereuses, les contraintes liées au soulèvement d'objets lourds et aux mouvements répétitifs, les coupures et les écorchures liées à la manipulation de matériaux et pièces coupants, les dangers que représentent les petits objets pour les yeux, les décharges électriques des batteries, etc.

46. Des outils manuels alimentés par de l'électricité ou de l'air comprimé peuvent rendre le démantèlement manuel bien plus efficace, tout en aidant les travailleurs à éviter certaines contraintes et blessures causées par les mouvements répétitifs.

### 5.5.3 Démantèlement mécanisé

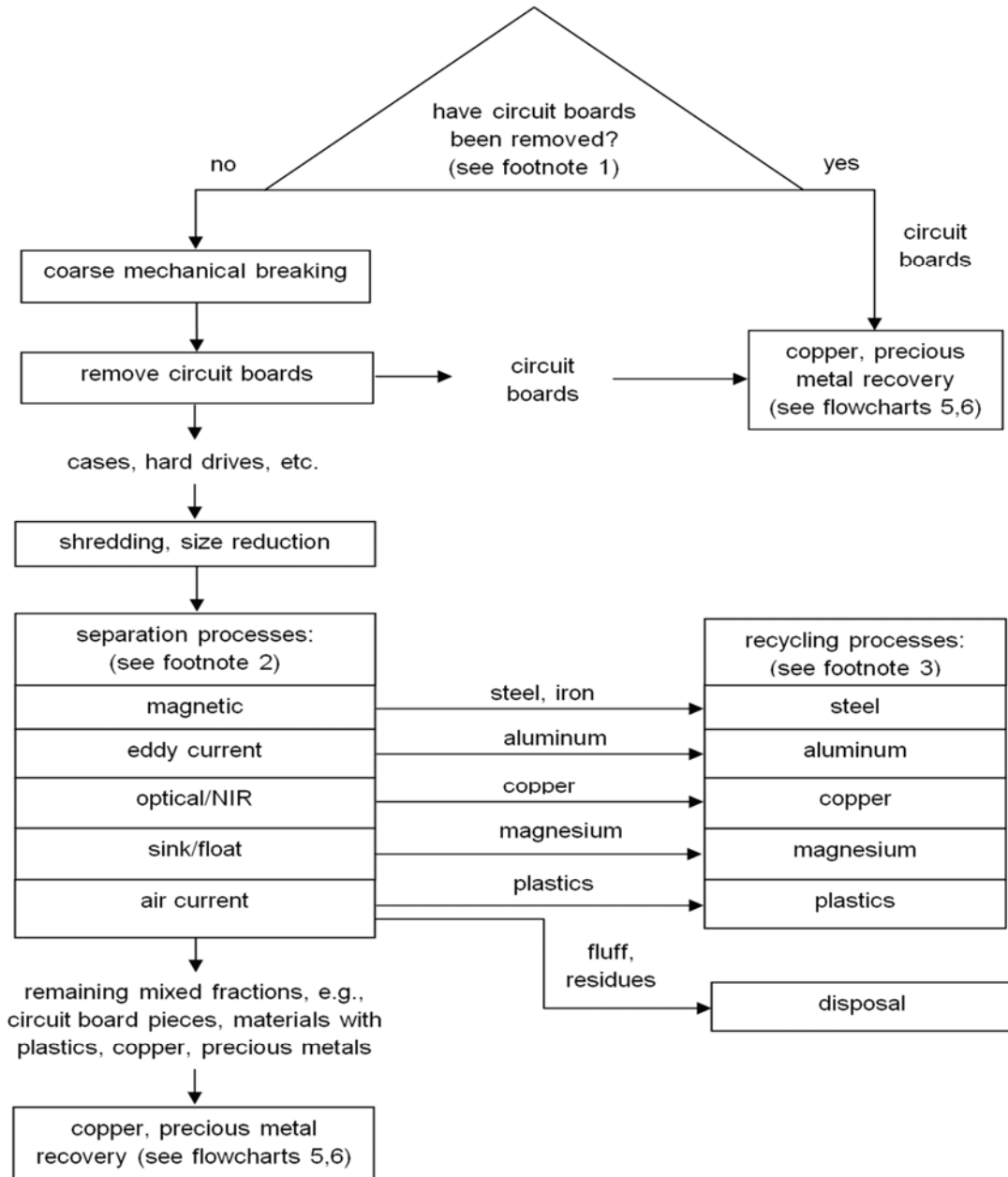
47. Le démantèlement et la séparation mécanisés des équipements informatiques permettent de traiter des volumes importants à des cadences élevées. Ces opérations consistent généralement en un déchetage des équipements informatiques en petits morceaux, suivi d'une série de techniques qui identifient les matériaux spécifiques contenus dans ces morceaux et ensuite d'autres techniques qui séparent ces matériaux identifiés en flux qui peuvent être vendus en tant que matériaux concentrés aux fins d'une récupération finale. Comme décrit plus haut, un retrait manuel initial est nécessaire pour les batteries, les lampes au mercure et les cartouches d'encre,

<sup>9</sup> Convention de Stockholm sur les polluants organiques persistants (POP) - Directives concernant les meilleures techniques disponibles et les meilleures pratiques environnementales - VI.L Le chauffage lent de câbles en cuivre, [http://chm.pops.int/Programmes/BAT/BEP/Guidelines/tabid/187/language/en-US/Default.aspx#\\_blank](http://chm.pops.int/Programmes/BAT/BEP/Guidelines/tabid/187/language/en-US/Default.aspx#_blank)

étant donné que celles-ci peuvent rejeter des substances dangereuses et causer des dommages aux équipements mécanisés. Les opérations de séparation mécanisée sont complexes et de plus en plus sophistiquées, et il n'appartient pas aux présentes directives de décrire tous les procédés en détail. Néanmoins, certaines étapes typiques du démantèlement et du traitement mécanisés des équipements informatiques sont présentées dans la figure 4 et décrites plus en détail dans les paragraphes suivants.

48. La première opération mécanique peut consister à déchiqueter grossièrement ou à ouvrir en le cassant un ordinateur personnel ou un périphérique, ce qui donne de gros morceaux, permettant ainsi l'extraction manuelle des circuits imprimés. Étant donné que les circuits imprimés sont davantage susceptibles de contenir des quantités importantes de cuivre et de métaux précieux, présentant une valeur économique plus élevée que l'acier ou les plastiques, cette séparation initiale constituera un moyen efficace d'accroître la valeur globale des produits obtenus d'un ordinateur personnel.

49. Les étapes de déchiquetage suivantes réduisent ensuite les équipements informatiques en des morceaux de bien plus petite taille, allant de 2 à 3 centimètres. Ces plus petits morceaux sont ensuite identifiés par type par une série de techniques sophistiquées et sont séparés les uns des autres en flux de matériaux aux fins d'une récupération finale.

**Figure 4 : Démantèlement mécanique et séparation technique des matériaux**

fn 1 – initial removal of circuit boards may be required by national law. If not required, may be removed for economic reasons, to avoid loss of precious metals into other fractions, e.g., steel.

fn 2 – this is not an exclusive list, and the types and order of separation processes will vary.

fn 3 – recycling processes vary, and should be reviewed independently for efficiency and ESM.

50. Des techniques d'identification autres que la détection couleur sont également utilisées. La technologie d'analyse de transmission de rayons X fait appel aux rayons X, dont l'énergie est absorbée différemment par les métaux (par ex., cuivre et aluminium) en fonction de leur densité atomique, pour identifier ceux-ci au moyen de capteurs qui pilotent des dispositifs de séparation. La spectrométrie proche infrarouge utilise une lumière infrarouge proche pour différencier les types de plastiques, notamment le polyéthylène haute densité (PEHD) et le polychlorure de vinyle (PVC).

51. La séparation magnétique utilise des aimants pour séparer les éléments sensibles aux ondes magnétiques, comme l'acier, des métaux non ferreux et des plastiques.

52. La séparation par courants de Foucault crée un champ électromagnétique autour d'une bande transporteuse de morceaux déchiquetés, qui ensuite induit une résistance électrique au mouvement des morceaux de certains métaux conducteurs tels que l'aluminium et le cuivre. La force de cette résistance électromagnétique sera plus importante pour les métaux plus conducteurs et peut être utilisée pour séparer ces derniers des autres matériaux.

53. La séparation par flottation utilise une technique dans laquelle un matériau plus léger, comme le plastique, peut être séparé d'un matériau plus lourd, comme un métal, en plongeant les deux matériaux dans un liquide dont la densité a été choisie de sorte que le plastique flotte et que le métal coule.

## **6. STOCKAGE ET TRANSPORT DE MATÉRIAUX EN TOUTE SÉCURITÉ EN VUE D'AUTRES TRAITEMENTS**

### **6.1 Stockage sur site**

54. Les équipements et composants informatiques, ainsi que tous les matériaux qui en proviennent et les produits chimiques utilisés lors de leur traitement devraient être stockés de manière à réduire au minimum les accidents, les déversements et les bris. Un stockage approprié devrait maximiser la valeur de récupération des matériaux et empêcher tout accès non autorisé. Les flux de matériaux qui présentent des risques pour l'environnement devraient être stockés de manière à éviter toute contamination de l'air, des sols, des eaux souterraines et des eaux de ruissellement, par exemple dans des bâtiments couverts et fermés dotés d'un sol imperméable (par ex., béton étanchéifié). Si d'autres matériaux doivent être temporairement stockés à l'extérieur, les dispositions nécessaires doivent être prises pour assurer un stockage approprié, dont la mise en place de mesures de prévention de la formation de poussières et l'utilisation de surfaces imperméables munies d'un dispositif de collecte et de traitement des eaux de ruissellement. Il n'est pas recommandé de stocker des matériaux dangereux à l'extérieur, sans autorisation ou dans des conditions qui risquent d'entraîner une contamination de l'air, des sols, des eaux souterraines et des eaux de ruissellement.

55. Les composants susceptibles de s'enflammer ou d'exploser, tels que certains toners, encres et batteries, devraient être stockés de manière à réduire au minimum les risques d'incendie, loin des étincelles et des sources de chaleur. Les batteries doivent être stockées de manière à empêcher leurs bornes d'entrer en contact avec des matériaux conducteurs et de provoquer des décharges électriques, des explosions ou des incendies. Les matériaux comprenant des particules de petite taille et des poussières susceptibles d'être rejetées et de se disperser sur le lieu de travail ou à l'extérieur, notamment les résidus et poussières produits par les opérations de traitement, devraient être stockés dans des conteneurs étanches appropriés comme, par exemple, des tonneaux hermétiques ou des « supersacs », dans des conditions protégées.

56. Il est important que tous les conteneurs soient correctement étiquetés selon leur contenu, le type d'emballage et la classe de danger (le cas échéant), et que les étiquettes soient clairement visibles. Les zones où les matériaux sont stockés devraient également être identifiées. Une carte de l'installation devrait être élaborée et tenue à jour, montrant ces zones de stockage et leur contenu afin que les membres du personnel, et en particulier des services d'intervention d'urgence, sachent à quels matériaux et à quels dangers et risques potentiels ils sont confrontés.

### **6.2 Emballage et transport**

57. Lorsque les flux de matériaux produits à l'issue du démantèlement sont transportés vers d'autres installations de valorisation matière en vue d'autres traitements, ils devraient être soigneusement emballés afin d'éviter les rejets et les pertes durant le transport. Les tubes

cathodiques, par exemple, devraient être fixés sur des palettes au moyen de films rétractables ou un conditionnement similaire. Le verre de tubes cathodiques cassés devrait être emballé dans des conteneurs étanches comme, par exemple, des tonneaux ou des « supersacs ». Les fractions de cuivre ou de circuits imprimés déchetés constituées de morceaux de plus petite taille susceptibles de se disperser (comme indiqué dans la section 6.1) devraient être transportées dans des conteneurs correctement fermés, munis d'un revêtement si nécessaire. Comme pour le stockage, il est particulièrement important d'étiqueter les conteneurs selon leur contenu, de sorte qu'ils ne puissent pas ensuite être mal gérés ou incorrectement traités. L'étiquetage et l'emballage sont souvent des obligations juridiques très spécifiques imposées par la législation nationale et internationale, qui doivent être connues et rigoureusement respectées<sup>10</sup>. Certains équipements informatiques ou fractions de ceux-ci peuvent faire l'objet d'interdictions spécifiques. Par exemple, il existe des restrictions concernant les batteries lithium-ion usagées qui interdisent leur transport par les airs et imposent qu'elles soient protégées contre les courts-circuits afin de prévenir les risques d'incendie<sup>11</sup>.

## 7. RÉCUPÉRATION DES MATÉRIAUX CONTENUS DANS LES FLUX OBTENUS À L'ISSUE DE LA SÉPARATION

### 7.1 Gestion et récupération des métaux

58. Les équipements informatiques contiennent pas moins de 60 substances, dont un grand nombre sont des métaux. Certains de ces métaux y sont utilisés en quantités relativement importantes (par ex., l'acier présent dans des millions de boîtiers d'ordinateurs de bureau), tandis que d'autres ne le sont qu'en très petites quantités (par ex., l'indium dans le revêtement intérieur des écrans d'affichage à cristaux liquides). La science de laboratoire dispose de procédés pour récupérer tout type de métal contenu dans les équipements informatiques, mais la récupération effective de quantités utiles est plus difficile, en particulier pour les substances complexes, et la récupération de tous les métaux n'est simplement pas possible. La récupération de certains métaux en fait inévitablement perdre d'autres. De plus, la récupération de tout métal, en particulier dans le cadre d'une gestion écologiquement rationnelle, coûte évidemment de l'argent. Elle peut comprendre de nombreuses étapes demandant des équipements, des systèmes antipollution, de la main d'œuvre, des fournitures, des dépenses opérationnelles, etc., que l'installation de récupération doit payer. Les métaux dont les équipements informatiques ne contiennent que de faibles quantités ou qui se négocient à bas prix sur le marché ne sont généralement pas récupérés. C'est, par exemple, le cas pour l'indium, dont on peut obtenir un assez bon prix sur le marché mais qui, du fait qu'il ne se trouve qu'en très petites quantités dans les écrans d'affichage à cristaux liquides, ne rapporte pas assez pour couvrir les coûts élevés de son extraction et n'est donc généralement pas récupéré des équipements informatiques en fin de vie<sup>12</sup>. Il en est de même pour les quantités relativement importantes de lithium présentes dans les batteries qui, aux prix actuels du marché, ne peuvent pas être rentablement exploitées. En revanche, bien que les circuits imprimés ne renferment que d'assez faibles quantités d'or, celui-ci est généralement récupéré, son cours actuel étant bien plus élevé. Dans certains cas, des alliages peuvent être directement recyclés pour former les mêmes alliages, ce qui améliore le rendement économique et peut être important pour les métaux critiques.

<sup>10</sup> Système général harmonisé de classification et d'étiquetage des produits chimiques (SGH) - Troisième édition révisée - [http://www.unece.org/fr/trans/danger/publi/ghs/ghs\\_rev03/03files\\_f.html](http://www.unece.org/fr/trans/danger/publi/ghs/ghs_rev03/03files_f.html)

<sup>11</sup> Pour de plus amples informations sur les prescriptions et les restrictions concernant le transport des marchandises dangereuses, les installations devraient prendre connaissance des réglementations locales (CFR 49 pour les États-Unis d'Amérique, TMD pour le Canada, ADG pour l'Australie) et internationales (code IMDG pour le transport maritime international, IATA DGR pour le transport aérien international) relatives aux marchandises dangereuses ou contacter les autorités locales.

<sup>12</sup> L'indium est récupéré des installations de fabrication d'écrans d'affichage à cristaux liquides, où il est plus concentré.

59. Le choix des métaux à récupérer est donc généralement commercial – si un métal spécifique peut être entièrement récupéré par une installation et vendu avec bénéfice, il sera récupéré. C'est le secteur privé qui, depuis plus de 50 ans, assure exclusivement la récupération finale des métaux contenus dans les équipements informatiques, toujours sur cette base de bénéfice commercial. Les intervenants de cette filière devraient être au courant des métaux présents dans ces équipements, de la gestion écologiquement rationnelle de ces derniers et de leurs options commerciales et devraient se pencher sur les procédés de récupération et les partenaires commerciaux permettant une récupération efficace de ces métaux dans le cadre d'une gestion écologiquement rationnelle. Il convient de noter que la récupération de matériaux critiques peut être encouragée en mettant en place une formule de compensation des coûts utilisant les métaux précieux des équipements.

60. La récupération finale effective des métaux s'effectue par étapes successives visant à les concentrer et les séparer d'autres métaux et d'autres matériaux jusqu'à ce qu'ils soient suffisamment purs pour pouvoir être vendus sur le marché. Dans certains cas, des alliages sont recyclés pour former les mêmes alliages, pouvant représenter des quantités importantes dans le cas des métaux critiques. Parfois classées parmi les traitements pyrométallurgiques et hydrométallurgiques, ces étapes, qui visent toutes à concentrer un ou plusieurs métaux recherchés et à les séparer d'autres matériaux, sont généralement exécutées l'une après l'autre par la même installation de récupération de métaux jusqu'à l'obtention d'un produit commercialisable. Toutefois, les entreprises et installations où elles ont lieu ne s'occupent bien souvent que d'un seul métal (par ex., une aciérie ou une usine d'aluminium ne produira respectivement que de l'acier ou de l'aluminium et des alliages de ces derniers, mais pas de cuivre ni d'or). Certaines installations produisent plusieurs métaux (par ex., fonderie intégrée de métaux non ferreux) mais il n'existe pas d'entreprise ou d'installation qui récupère et produit tous les métaux.

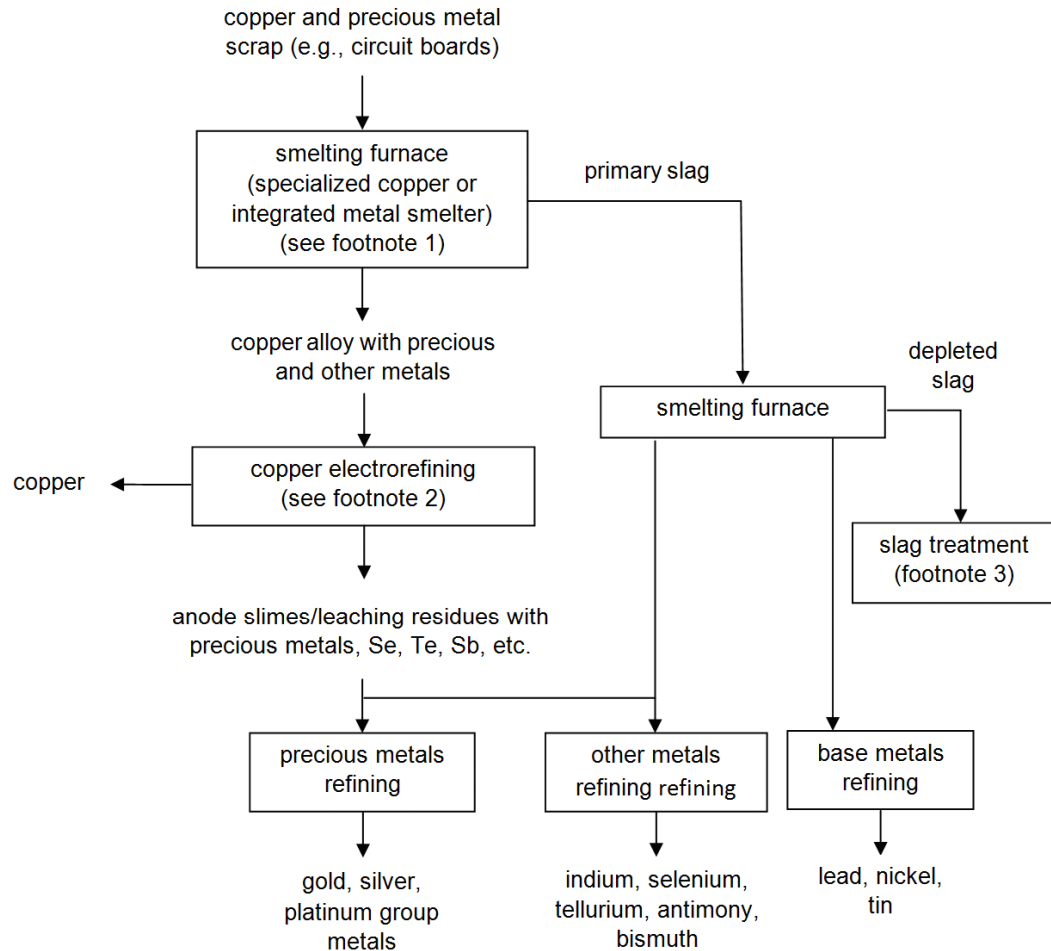
### 7.1.1 Traitement pyrométallurgique

61. Depuis de nombreuses années, la récupération à grande échelle des métaux contenus dans les équipements informatiques se fait par traitement pyrométallurgique pour ce qui concerne l'acier, l'aluminium, le cuivre et les métaux non ferreux. Cela consiste à chauffer le mélange de matériaux jusqu'à ce qu'il fonde et atteigne la température nécessaire pour déclencher des réactions chimiques permettant de séparer les métaux visés et de les extraire à une concentration plus élevée. De nombreux types de déchets métalliques sont couramment traités dans des fours de fusion conçus et utilisés pour le métal spécifique qu'ils traitent. Une fois les métaux et/ou les matériaux métallifères portés à leur température de fusion, d'autres matériaux sont ajoutés afin de les séparer par oxydation et/ou réduction, ou de modifier la composition de l'alliage métallique. Comme décrit plus en détail ci-après, ces opérations engendrent d'importants problèmes sur le plan de l'environnement, de la santé et de la sécurité, qui devraient être réduits au minimum et combattus au moyen de dispositifs techniques comme, par exemple, des épurateurs et des dépoussiéreurs à manches, et de l'adoption de bonnes pratiques de gestion des matériaux. Les fournisseurs d'équipements informatiques pour ces opérations devraient vérifier avec le soin qui s'impose qu'une gestion écologiquement rationnelle est assurée. Un examen des résultats en matière de gestion écologiquement rationnelle d'une installation et un suivi de tous les matériaux et déchets entrants et sortants peuvent former la base d'une telle vérification.

62. Les déchets d'acier, comme l'acier contenu dans les boîtiers d'ordinateurs, peuvent être traités dans des fours à arc électriques pour produire de l'acier de deuxième fusion. Les installations devraient être conscientes que les impuretés dans leurs déchets d'acier, en particulier le cuivre, peuvent réduire la valeur de ces déchets et, si ceux-ci sont trop contaminés par certains éléments, même causer leur rejet par les fabricants d'acier. Si les présentes directives ne peuvent pas entrer dans les détails concernant la production d'acier dans de tels fours, une installation qui produit des déchets d'acier à partir d'équipements informatiques devrait savoir que les fours à acier créent également des problèmes environnementaux, notamment par

les émissions de poussières et de gaz et les scories qu'ils produisent. Ces problèmes environnementaux peuvent être réduits au minimum et combattus au moyen de dispositifs techniques comme, par exemple, des épurateurs et des dépoussiéreurs à manches, et de l'adoption de bonnes pratiques de gestion des matériaux <sup>13</sup>.

**Figure 5 : Récupération de métaux – récupération pyrométallurgique de cuivre et de métaux précieux**



fn 1 – smelters differ in process flow and metals produced. For treatment of materials with plastic content, e.g., circuit boards, special emission pollution control treatment is required for all smelters.

fn 2 – either (1) copper anode directly electrorefined to cathode, and electrorefining residues (slimes) are further treated, or (2) copper alloy is leached, leachate is then electrorefined to cathodes, and leaching residues are further treated. Residues without value are disposed.

fn 3 – slag is stabilized and made suitable for construction products. Residues without value are disposed in controlled disposal operations.

63. Les déchets d'aluminium seront traités dans des fours à aluminium secondaire afin de produire de l'aluminium de deuxième fusion. Comme pour l'acier, les installations devraient être conscientes que les impuretés pourraient nuire à la viabilité économique du recyclage de ces déchets. En outre, s'agissant de l'aluminium, il peut y avoir un avantage économique

<sup>13</sup> Pour des informations supplémentaires concernant le recyclage de l'acier, veuillez consulter le site Web de la World Steel Association : <http://www.worldsteel.org/>.

important à garder certains alliages séparés, ce qui devrait être pris en compte dans le cadre des opérations d'une installation de démantèlement et de séparation. Les fours à aluminium fondent les déchets d'aluminium et éliminent les impuretés au moyen de fondants, souvent à base de chlore, et, comme les fours à acier, produisent des scories et des émissions atmosphériques dans le cadre de leurs opérations. Les émissions atmosphériques peuvent être réduites au minimum et combattues au moyen d'une sélection appropriée des fondants et d'équipements anti-émissions comme, par exemple, des épurateurs et des dépoussiéreurs à manches<sup>14</sup>.

64. Les déchets de cuivre, les déchets de métaux précieux et certains autres métaux non ferreux sont généralement récupérés des circuits imprimés des ordinateurs et d'autres composants/fractions dans le cadre de procédés intégrés de fusion-raffinage<sup>15</sup> ou d'un procédé de fusion du cuivre, suivi d'un raffinage spécifique à chaque métal dans d'autres sites ou entreprises. Il s'agit de la méthode qui a été établie pour la récupération de grandes quantités de métaux non ferreux et précieux provenant d'équipements informatiques. Les étapes typiques sont présentées dans la figure 5. Le procédé de fusion-raffinage est particulièrement utile et efficace pour les éléments très complexes tels que les circuits imprimés qui renferment de nombreux métaux à des concentrations relativement faibles contenus dans des petites pièces qui sont solidement liées à un substrat en plastique et qui ne peuvent pas être séparées efficacement par des procédés de déchiquetage mécanisé et de séparation technique. Il s'agit d'un procédé efficace pour les circuits imprimés car, en général, celui-ci permet de séparer rapidement les matériaux présentant une valeur supérieure (cuivre et métaux précieux) des matériaux de moindre valeur, même si les spécificités des procédés de fusion varient d'une installation à l'autre en fonction de la conception du four et des conditions de fonctionnement et déterminent les types et quantités de matériaux qu'une installation est en mesure de traiter.

65. Le produit primaire de la fusion est un métal relativement pur appelé cuivre blister, qui n'est pas tout à fait de qualité commerciale et dans lequel se trouvent encore des métaux précieux et d'autres métaux non ferreux formant un alliage complexe. Cet alliage de cuivre complexe provenant du four de fusion est coulé en forme de barres qui sont traitées par électroraffinage ou de granulés qui sont traités par lixiviation et électroextraction afin de récupérer le cuivre pur. À la fin de cette production de cuivre, il reste les métaux précieux et certains autres métaux non ferreux qui seront ensuite traités dans un certain nombre d'étapes supplémentaires spécifiques à chaque métal, généralement une série d'étapes hydrométallurgiques distinctes (voir description ci-après), qui peuvent être complétées par des traitements pyrométallurgiques pour les métaux précieux, afin de parvenir à des produits de qualité commerciale.

66. D'autres métaux peuvent également être extraits en cours de route, chaque métal possédant sa chimie et ses procédés de séparation propres, soit par le retraitement des scories de première fusion du cuivre, soit par le traitement des résidus de piles au cuivre, soit par le piégeage des cendres volantes dans le système d'épuration de l'air. Comme indiqué plus haut, la récupération de métaux supplémentaires dépend de la demande et du prix du marché, des technologies disponibles et du coût des étapes supplémentaires. Dans les fonderies de cuivre ou intégrées performantes, un certain nombre de processus de raffinage ont lieu à proximité immédiate du poste de fusion, afin de réduire au minimum les coûts de transaction et de fabrication et de maximiser les récupérations rentables.

67. Le procédé de fusion du cuivre et les procédés de raffinage subséquents pour le traitement du cuivre ainsi que des métaux précieux et des autres métaux non ferreux peuvent également

<sup>14</sup> Pour des informations supplémentaires concernant le recyclage de l'aluminium, veuillez consulter le site Web de la World Aluminum Association : <http://www.world-aluminum.org/>.

<sup>15</sup> Une fonderie/raffinerie intégrée combine de nombreuses étapes de récupération sur un seul site et selon un schéma fonctionnel particulier. Il s'agit généralement de toutes les étapes allant du four de fusion du cuivre jusqu'au raffinage des métaux précieux en passant par d'autres étapes de récupération de métaux (par ex., plomb, étain, métaux spéciaux).



présenter d'importants problèmes environnementaux s'ils ne sont pas basés sur une technologie appropriée et gérés d'une manière écologiquement rationnelle. La fusion du cuivre est une opération réalisée en grandes quantités et à haute température qui produit des émanations métalliques et des particules d'oxyde métallique. Celles-ci peuvent être rejetées, exposant les travailleurs et les populations voisines, à moins que les émissions ne soient correctement gérées. Les émissions les plus problématiques générées par la fusion des déchets provenant d'équipements informatiques sont celles de plomb, de béryllium et de dioxines et furanes polychlorés. Elles peuvent être correctement gérées mais uniquement au moyen de procédés techniques appropriés et de systèmes anti-émissions, ces derniers étant coûteux à construire et à utiliser et nécessitant une attention particulière ainsi qu'une gestion rationnelle. Les fonderies de cuivre sont confrontées à un problème particulier lié à la formation de dioxines et de furanes polychlorés, cette formation pouvant être catalysée par les particules de cuivre dans les émissions atmosphériques des fours. Afin d'éviter une telle formation, l'oxydation initiale devrait être réalisée à une température de 850 °C (1600 °F) ou plus, avec un temps de résidence de 2 secondes et avec suffisamment d'oxygène pour assurer la destruction des hydrocarbures. La température gaz d'échappement devrait ensuite être rapidement réduite à 200 °C (400 °F) ou moins à l'entrée d'un dépoussiéreur à manches ou d'un précipitateur électrostatique. La plupart des fonderies de cuivre n'installent pas de tels systèmes car ils sont très coûteux à construire et à utiliser et ne sont pas nécessaires pour les concentrés de minerais et les déchets de cuivre relativement purs. Ce sont les composants électroniques complexes et/ou les plastiques halogénés des circuits imprimés des ordinateurs qui nécessitent des systèmes anti-émissions spécialisés. En fait, seules quelques fonderies situées en Union européenne, en Amérique du Nord et au Japon construisent et utilisent de tels systèmes. Par conséquent, ces fonderies reçoivent des circuits imprimés et d'autres composants d'équipements informatiques provenant de nombreux pays qui ne sont pas en mesure de réaliser de telles opérations de fusion du cuivre. Pour des informations supplémentaires concernant le recyclage du cuivre, veuillez consulter le site Web du Groupe d'étude international du cuivre : <http://www.icsg.org>.

### 7.1.2 Traitement hydrométallurgique

68. Les traitements hydrométallurgiques consistent à dissoudre les métaux dans des acides forts, ou dans du cyanure en ce qui concerne l'or, et à les précipiter sélectivement un à un, selon des procédures spécialisées aboutissant à un métal pur, par l'adjonction d'autres métaux ou de réactifs. Pour certains métaux tels que le cuivre, le raffinage hydrométallurgique est utilisé après la fusion pour obtenir du cuivre d'une pureté supérieure, à l'exemple du raffinage électrolytique mentionné plus haut. Ensuite, après le retrait du cuivre, les résidus font l'objet d'une série d'étapes hydrométallurgiques supplémentaires visant à extraire d'autres métaux.

69. Bien que la fusion, un procédé pyrométallurgique, soit la méthode établie pour la récupération à grande échelle des métaux non ferreux contenus dans les équipements informatiques, certaines installations investissent dans des opérations de récupération hydrométallurgique. Dans certains cas, des traitements hydrométallurgiques peuvent être directement appliqués à certaines parties d'équipements informatiques, sans fusion préalable, en particulier si les déchets métalliques sont déjà d'une qualité élevée ou relativement purs. Par exemple, l'or des connecteurs en cuivre plaqués or est parfois retiré avant tout traitement de récupération du cuivre. De façon similaire, une partie de l'or qui se trouve dans un circuit imprimé peut être visible et retiré par immersion dans du cyanure ou de l'eau régale, un mélange d'acide nitrique concentré et d'acide chlorhydrique concentré. Toutefois, il n'est pas possible de retirer tout l'or d'un équipement informatique par des procédés hydrométallurgiques directs sans étapes supplémentaires. La récupération du reste de l'or contenu dans les composants et les couches intérieures des circuits imprimés, ainsi que d'autres métaux tels que l'argent et le palladium, nécessite un broyage du circuit et de ses composants en de très petites particules, suivi d'une lixiviation par cyanure ou acide, au cours de laquelle une collecte des poussières est indispensable pour éviter des pertes importantes de métaux précieux. Après la dissolution

des métaux visés, la solution de lixiviation est filtrée afin de retirer les matériaux indésirables et les métaux visés sont extraits par électrolyse ou précipitation sélective en ajoutant un métal, comme le zinc, ou un agent réducteur, comme le  $\text{SO}_2$ , l'hydrate d'hydrazine ou le sulfate de fer.

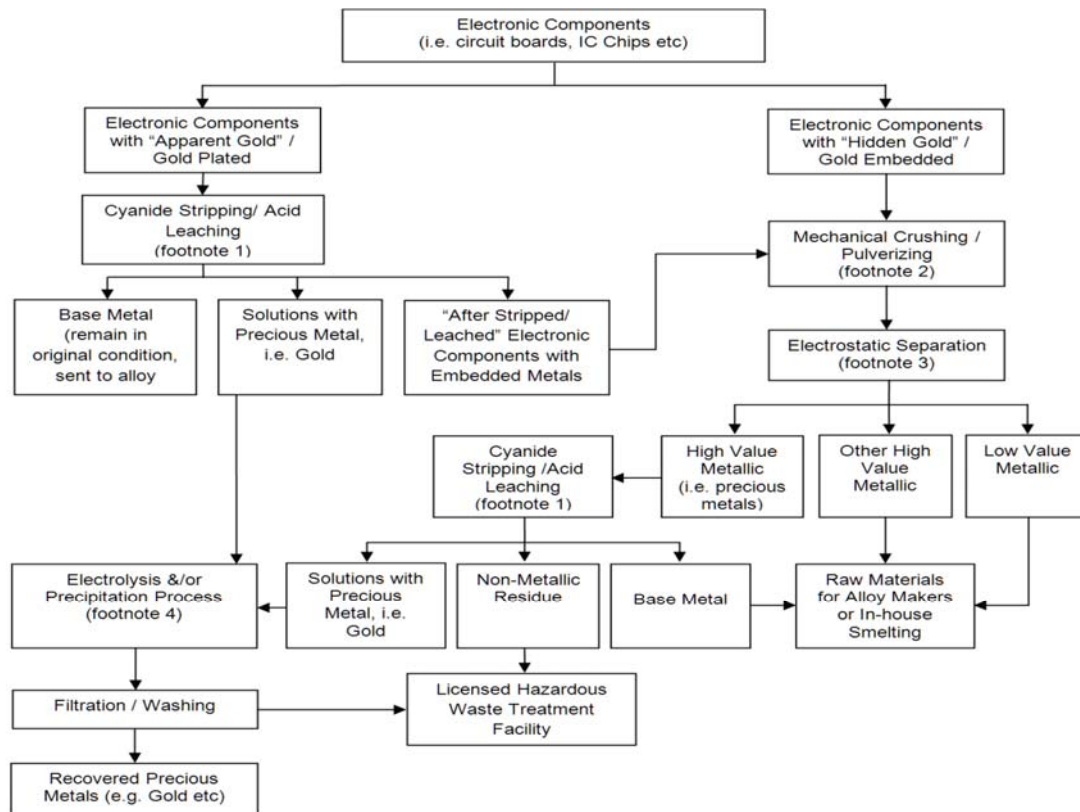
70. Les unités de traitement hydrométallurgique direct utilisées pour la valorisation matière des équipements informatiques sont plus petites et moins coûteuses à mettre en place que celles de traitement pyrométallurgique, du fait qu'elles nécessitent moins d'équipements et d'opérations. Le traitement des équipements informatiques sélectionnés est relativement rapide, en comparaison avec les opérations de fusion-raffinage, et de l'or relativement pur peut être produit, mais l'efficacité de l'extraction et la gamme des autres métaux pouvant être récupérés sont limitées. Les résidus du traitement hydrométallurgique direct des équipements informatiques peuvent être envoyés à des fonderies-raffineries intégrées aux fins d'un traitement supplémentaire permettant une récupération complète et l'extraction d'autres métaux. Les intervenants de la filière devraient étudier tous les aspects du traitement et de la récupération de métaux par des procédés pyrométallurgiques et hydrométallurgiques écologiquement rationnels et déterminer ce qui répond le mieux à leurs besoins.

71. Les étapes typiques de la récupération hydrométallurgique directe de l'or sont présentées dans la figure 6. Les installations de récupération hydrométallurgique industrielle qui possèdent les permis, licences ou autres autorisations nécessaires sont tenues de prendre des mesures spéciales pour confiner et manipuler les produits chimiques solides et liquides, les émanations et les vapeurs ainsi que les résidus des procédés afin d'assurer une gestion écologiquement rationnelle. Comme pour les procédés pyrométallurgiques, ces opérations engendrent d'importants problèmes sur le plan de l'environnement, de la santé et de la sécurité et les fournisseurs d'équipements informatiques pour ce genre d'opérations devraient vérifier avec le soin qui s'impose qu'une gestion écologiquement rationnelle est assurée. Un examen des résultats en matière de gestion écologiquement rationnelle d'une installation et un suivi de tous les matériaux et déchets entrants et sortants peuvent former la base d'une telle vérification.

### **7.1.3 Lixiviation acide dans le secteur informel**

72. Les opérations informelles de valorisation matière ne sont pas autorisées ou permises et peuvent être effectuées sans que le gouvernement en ait connaissance ou exerce une quelconque surveillance à leur égard. Certaines de ces opérations de récupération utilisent des procédés de lixiviation par cyanure ou acide pour des fractions choisies des équipements informatiques, comme les composants plaqués or visibles, afin de récupérer cet or. Cependant, du fait qu'une partie de l'or que renferment la plupart des circuits imprimés se trouve caché à l'intérieur d'éléments en céramique ou plastique, ou dans les résines, la lixiviation acide informelle est une méthode d'extraction peu efficace ne permettant qu'un taux de récupération atteignant au maximum 20 à 25 %. L'argent et le palladium, souvent présents dans les circuits imprimés, ne sont généralement pas récupérés. Malheureusement, une fois qu'ils en ont retiré l'or visible, les opérateurs informels se débarrassent tant des résidus des circuits imprimés que des produits chimiques utilisés, ce qui peut gravement nuire à la santé des travailleurs, en particulier dans le cadre des opérations informelles. Le cyanure, en particulier sous forme de cyanure d'hydrogène, est toxique et l'eau régale est très corrosive et requiert une manipulation très prudente. L'eau régale produit également des émissions de gaz chloré et ses réactions avec les métaux dégagent des oxydes d'azote.

Figure 6 : Récupération des métaux – récupération hydrométallurgique de l'or



Fn 1 - electronic components with "apparent gold" on its surface or gold plated would be processed using cyanide stripping (or acid leaching or aqua regia processes) to remove the surface precious metal contents; the entire process should be equipped with closed loop & complete environmental protection systems such as air emission monitoring devices, cyanide & fume scrubbers etc to eliminate the environmental hazards.

Fn 2 - electronic components with embedded gold will be mechanically crushed for size reduction followed by pulverization to reduce them into smaller particles. Those electronic components with surface gold & had been "stripped/leached" would also be channeled to this process to further recover the precious metals which could be "embedded"; the entire process should be equipped with closed loop & complete environmental protection systems such as dust collecting & noise reduction systems etc to eliminate the environmental hazards.

Fn 3 - after crushed/pulverized electronic components will undergo electrostatic separation and acid leaching to ensure the optimal recovery of high value metallic, i.e. those with precious metals or non-ferrous metals content.

Fn 4 - "acid leaching" solutions (i.e. from footnote 1 process) can be precipitated by addition of other substances, e.g. aluminium or other base metals that can be dissolved in nitric acid alone, leaving gold as precipitate; alternatively, "cyanide stripping" solutions (i.e. from footnote 1 process) used to dissolve the precious metal materials from the electronic components will undergo electrolysis; electrolysis allows the reduction of metals from metallic compounds to obtain the pure form of metal, i.e. the process causes the precious metals, i.e. Gold, to dislodge itself from other metals and "deposit" at the electrodes' after electrolysis, the "Gold Deposits" scrapped off from the electrodes are re-dissolved, refined & precipitated out as higher grade gold powder (minimum 99.9%).

Ces gaz sont âcres, asphyxiants et dangereux. Après son utilisation, l'eau régale restante requiert une neutralisation soignée avant d'être éliminée, une mesure qui n'est pas prise dans les opérations informelles. Il convient donc d'éviter ces opérations informelles, du fait qu'elles entraînent des pertes importantes de ressources précieuses, font courir des risques élevés de blessure aux travailleurs et posent des problèmes environnementaux aux communautés lorsque les résidus ainsi que les cyanures et les acides usés non traités sont mis au rebut.

#### 7.1.4 Gestion et valorisation matière des tubes cathodiques et des verres sans plomb

73. Certains tubes cathodiques retirés des équipements informatiques peuvent encore être utilisés tels quels dans des moniteurs d'ordinateurs restaurés ou être utilisés comme composants d'écrans de téléviseur. Si un moniteur à tube cathodique ne peut pas être réutilisé en tant que moniteur ou autre écran d'affichage, il peut encore être recyclé pour son contenu en cuivre et en

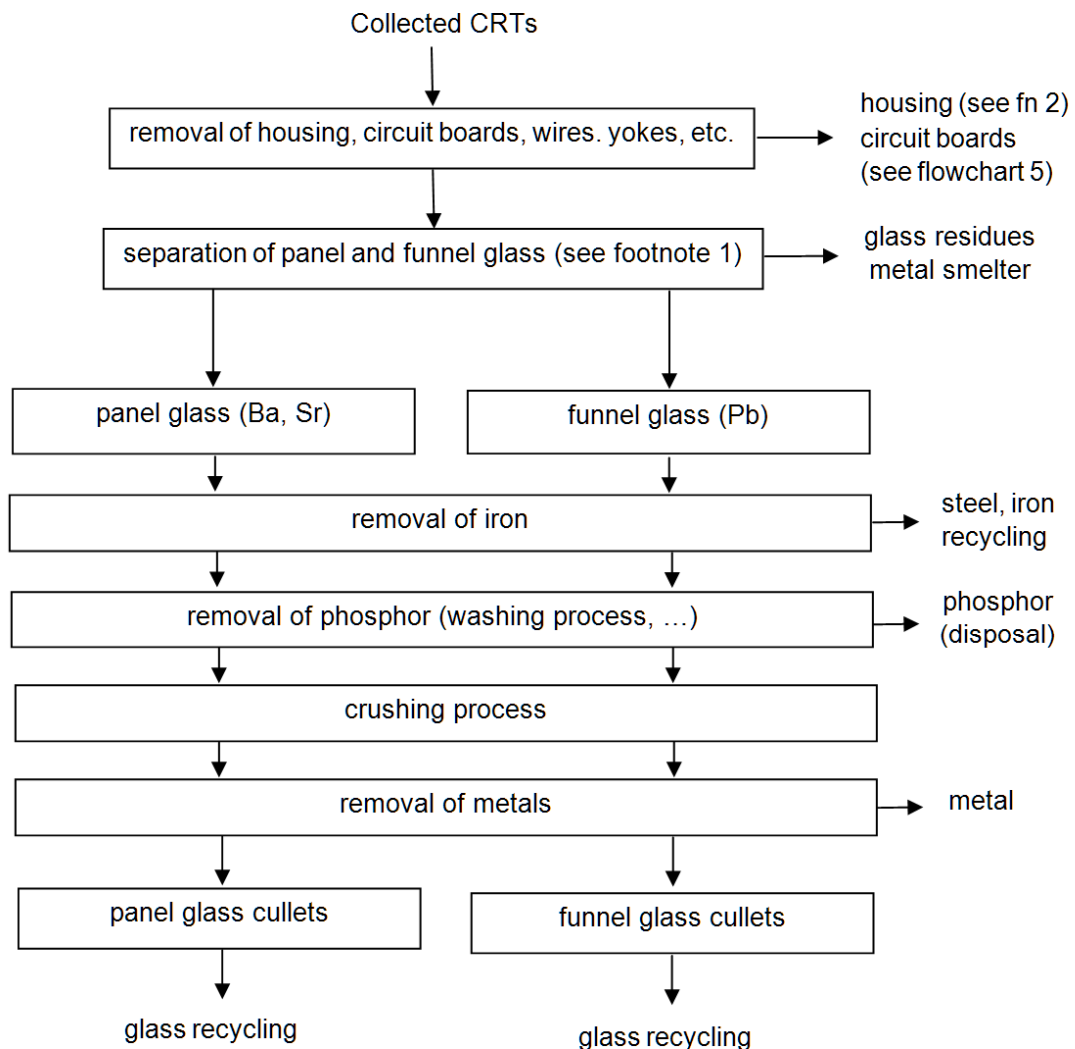
verre<sup>16</sup>. Il existe encore quelques installations de fabrication de nouveaux tubes cathodiques, où le verre récupéré peut être utilisé, mais leur nombre est limité et en baisse, et le marché est en train de se porter sur d'autres technologies, à savoir l'affichage à cristaux liquides. La figure 6 présente les étapes typiques du traitement des tubes cathodiques et de la récupération de leurs matériaux. Le tube cathodique lui-même est un grand tube à vide, avec une dalle de verre au baryum transparent revêtue d'une couche de luminophores et une partie arrière en forme de cône faite de verre au plomb. Le tube doit être soigneusement mis à la pression atmosphérique par une ouverture prévue à cet effet, permettant à l'air d'entrer lentement dans le tube, sinon une implosion peut arriver lorsque le tube est cassé et des éclats de verre coupants peuvent être projetés et blesser les travailleurs. Après avoir mis le tube à la pression atmosphérique, la bobine de déviation en cuivre située à l'extrémité plus petite du tube cathodique ainsi que les fils et le circuit imprimé peuvent être retirés pour récupérer le cuivre.

74. Le verre restant est composé de deux parties – la dalle faite de verre au baryum transparent et la partie arrière en forme de cône faite de verre au plomb, qui sont reliées par une soudure au verre au plomb appelée fritte. Les deux parties doivent être séparées pour pouvoir être recyclées en tant que verre, étant donné qu'elles contiennent des substances différentes et que les procédés et les températures de recyclage sont différents. La séparation peut être effectuée à l'aide d'un fil chauffé électriquement ou d'une scie mécanique mais, dans les deux cas, des particules fines ou des vapeurs dangereuses à inhaler seront produites, nécessitant l'utilisation d'équipements de protection respiratoire par les travailleurs.

75. La partie intérieure de la dalle contient un revêtement fin composé de plusieurs luminophores –substances qui émettent de la lumière lorsqu'elles sont énergisées par un faisceau d'électrons du tube cathodique. Ces luminophores sont exposés lorsque la dalle est séparée du verre arrière en forme de cône ou lorsque le tube cathodique est cassé et, s'ils sont légèrement collants et ne se détachent généralement pas de la dalle, ils peuvent être facilement enlevés par frottement. Un certain nombre de types de luminophores ont été utilisés, notamment le sulfure de zinc, mais le sulfure de cadmium a été utilisé dans le passé et il conviendrait de tenir compte de la possibilité d'expositions dangereuses aux poussières de cadmium dans le cadre de la protection des travailleurs. Les luminophores plus récents des tubes cathodiques utilisent des terres rares (par ex., l'euporium et l'yttrium) et, dans le futur, il peut être économiquement avantageux ou souhaitable de récupérer ces matériaux plutôt que d'éliminer les luminophores. Dans certains pays, les luminophores relèvent de la catégorie des déchets dangereux (voir ci-dessous).

---

<sup>16</sup> Les dispositifs entiers d'affichage à tube cathodique contiennent également des circuits imprimés, des alimentations électriques et d'autres métaux qui doivent être retirés mécaniquement et/ou manuellement et sont ensuite traités.

**Figure 7 : Traitement des tubes cathodiques**

fn1: a thermal treatment is used to separate the two different glasses; front panel without lead and rear funnel will be recycled in different processes

fn2: depending on the content of hazardous flame retardants the plastic can be recycled or may have to be disposed of

76. Comme bon nombre de tubes cathodiques sont volumineux et pesants, il convient de protéger les travailleurs contre les traumatismes pouvant résulter du soulèvement d'objets lourds. Des moyens techniques devraient être mis en place pour contrôler et réduire les expositions aux substances dangereuses, comme la silice, les particules de plomb et les luminophores. Des masques à poussières, des lunettes de sécurité, des vêtements de protection et des gants de travail, que les travailleurs ne devraient pas ramener à leur lieu de résidence, devraient être fournis afin de réduire au minimum l'exposition aux contaminants. De bonnes pratiques en termes de propreté sur le lieu de travail, y compris un lavage soigneux des mains et l'interdiction de manger et de fumer dans les zones de travail, aideront également à protéger les travailleurs, qui devraient être formés à reconnaître les dangers et les risques. Au cas où un tube cathodique se casse en dehors des zones prévues pour la séparation, les installations devraient disposer de procédures écrites et dispenser des formations pour de tels événements et devraient rapidement nettoyer le verre cassé, les éclats et les poussières pour ensuite les éliminer d'une manière appropriée. Les travailleurs affectés au

nettoyage devraient utiliser des équipements de protection individuelle afin de réduire leur exposition et les installations devraient disposer de plans de nettoyage et de kits de fournitures et d'équipements pour de tels accidents.

77. Le verre au plomb séparé et récupéré a longtemps été un problème dans le recyclage des ordinateurs personnels, en particulier dans les entreprises informelles. Bien que des tubes cathodiques soient encore fabriqués et que du verre au plomb propre puisse être utilisé dans le cadre de cette fabrication, le marché continue de décliner et la valeur du verre des tubes cathodiques n'est généralement pas suffisante pour financer son transport vers des installations où il peut être utilisé pour fabriquer du nouveau verre pour tube cathodique ou pour d'autres applications de verre au plomb. En conséquence, le verre au plomb est souvent envoyé vers des endroits où le plomb peut s'infiltrer dans les sols et les eaux souterraines. Le verre au plomb devrait plutôt être utilisé comme source de plomb de deuxième fusion ou servir de fondant dans la fusion du cuivre. Le verre au plomb dont les luminophores ont été retirés peut être éliminé en toute sécurité dans une décharge aménagée et contrôlée, si nécessaire et si une telle installation est disponible et autorisée à accepter du verre au plomb. Quant aux luminophores, ils relèvent de la catégorie des déchets dangereux dans certains pays<sup>17</sup> et devraient être éliminés dans des installations dûment autorisées.

### 7.1.5 Gestion et récupération des plastiques

78. Comme pour les métaux contenus dans les équipements informatiques, la récupération des plastiques contenus dans les équipements informatiques soulève une question économique – la valeur des plastiques récupérés va-t-elle dépasser les coûts de la récupération et permettre de dégager un bénéfice ? Certains types de plastiques utilisés dans les équipements informatiques sont des thermoplastiques techniques de valeur élevée pouvant être ramollis par la chaleur et durcis par le refroidissement de façon répétée et sont donc intéressants à recycler. Si ces thermoplastiques techniques peuvent être récupérés dans un flux constant et régulier de matières premières, ils peuvent être vendus avec bénéfice. Une bonne pratique de gestion consiste à séparer également les plastiques qui contiennent des retardateurs de flamme, comme les plastiques généralement utilisés pour les boîtiers de tubes cathodiques, en particulier ceux contenant des retardateurs de flamme bromés tels que les tétra-, penta-, octa- et décabromodiphényléthers, de ceux qui n'en contiennent pas. De nombreux acheteurs n'accepteront pas de plastiques contenant des retardateurs de flamme bromés et ceux qui peuvent les accepter doivent utiliser des procédés qui ne rejettent pas de tels retardateurs ni ne produisent des substances telles que les dioxines et les furanes bromés. Il peut tout de même y avoir certains marchés pour les plastiques qui contiennent des retardateurs de flamme bromés, où ils seront utilisés de la même manière, comme retardateurs de flamme. Il convient toutefois de noter que dans certains pays où le recours à certains retardateurs de flamme bromés tels que le penta- et l'octabromodiphényléther est interdit, les plastiques qui en contiennent ne peuvent pas être recyclés et doivent être éliminés de manière écologiquement rationnelle<sup>18</sup>. Le procédé de récupération des plastiques décrit ci-après étant susceptible d'entraîner une exposition à des retardateurs de flamme bromés et, éventuellement, à des dioxines en cas de traitement à basse température, il est nécessaire de prendre certaines précautions.

79. Le démantèlement manuel d'équipements informatiques peut produire des flux de plastiques séparés de manière satisfaisante dans le cas des ordinateurs portables/bloc-notes et celui des périphériques. Le démantèlement mécanisé peut également produire de grandes quantités de plastiques séparés d'autres composants et est généralement utilisé pour récupérer des volumes importants. Après le retrait, les morceaux de plastique devront peut-être être nettoyés pour,

<sup>17</sup> Catalogue européen des déchets, code de déchet 19 02 11\*

<sup>18</sup> Directive 2003/11/EC de l'Union européenne

en particulier, les débarrasser des substances contaminantes comme les peintures, les étiquettes et les métaux incrustés.

80. Afin de maximiser la valeur de revente, les plastiques doivent ensuite être triés par type de polymère (par ex., polystyrène choc, thermoplastique ABS) et par couleur (par ex., blanc, noir). L'identification du type de polymère peut être difficile, en particulier pour les équipements informatiques plus anciens. Le recours au système de codification américain, qui utilise un « triangle de recyclage » avec des chiffres et des lettres, peut être utile pour certains plastiques mais de nombreuses parties plastiques des équipements informatiques ne sont pas identifiées. En outre, certains plastiques sont constitués de plusieurs types ou peuvent contenir des fibres destinées à les renforcer. Dans les opérations de récupération mécanisées, il existe des techniques scientifiques de plus en plus sophistiquées pour reconnaître et séparer les polymères (par ex., séparation en fonction de la densité des plastiques contenant des retardateurs de flamme des plastiques ordinaires).

81. Après nettoyage et triage par type, il conviendra de réduire la taille des morceaux de plastique afin de les rendre plus faciles à stocker, transporter ou traiter. Cette réduction peut être réalisée au moyen d'outils manuels tels que des ciseaux, des cisailles, etc. ou par pressage, déchiquetage et calibrage. Certaines opérations mécanisées combinent le chauffage, le refroidissement rapide et le découpage en grains. Ces plus petits morceaux sont ensuite généralement chauffés et passés par compression à travers une filière (extrudés) pour former des fils ou des granulés afin d'être finalement vendus en tant que matières premières plastiques.

82. Si la collecte et la manipulation initiales des parties et boîtiers plastiques intacts ne devraient pas entraîner d'exposition à des substances dangereuses, les procédés subséquents nécessitant de casser les plastiques récupérés peuvent poser problème. Des particules de plastique, des additifs et des retardateurs de flamme bromés peuvent être rejetés, entraînant des expositions pour les travailleurs. Une pratique habituelle dans les opérations informelles consistant à faire fondre des plastiques contenant des retardateurs de flamme bromés à basse température est fortement susceptible de produire des dioxines et des furanes halogénés. La comminution et la granulation peuvent également générer de la chaleur et, si elles ne sont pas correctement gérées, provoquer des émanations et des incendies. Après la granulation, le plastique est formé par moulage à pression et température élevées et il peut à nouveau y avoir une exposition à des substances contenues dans le plastique et à de nouvelles substances telles que des dioxines et des furanes halogénés. Même lorsqu'aucun retardateur de flammes bromé n'est présent, les travailleurs devraient être protégés des inhalations d'hydrocarbures et d'agents de stabilisation par une ventilation et des équipements de protection individuelle appropriés.

83. La valeur économique des mélanges de plastiques non triés peut être moindre, bien que certains mélanges puissent servir à fabriquer des matériaux tels que le bois synthétique ou des palettes. Ceux auxquels on ne peut trouver aucune utilisation en tant que plastiques ni aucun marché peuvent servir de combustibles d'appoint ou de remplacement, ou d'agents réducteurs, dans les processus de récupération de métaux de certaines fonderies dotées de systèmes anti-émissions appropriés, qui peuvent en utiliser des quantités limitées. Une valorisation énergétique dans des incinérateurs disposant de systèmes de récupération de la chaleur ainsi que de systèmes anti-émissions appropriés peut également s'envisager.

## **7.2 Gestion et valorisation matière des batteries**

84. Les batteries utilisées dans les équipements informatiques sont de deux types, qui sont à présent tous deux à base de lithium. Le circuit imprimé primaire (la « carte mère ») possède une batterie au lithium très petite, environ la taille d'une pièce de monnaie et parfois appelée « pile plate » ou « pile bouton ». Les ordinateurs portables/bloc-notes/miniportables possèdent une batterie lithium-ion rechargeable de bien plus grande taille qui fournit l'alimentation électrique. Les ordinateurs plus anciens utilisaient des batteries rechargeables au nickel-hydrure

métallique (NiMH) et parfois au nickel-cadmium (NiCd). En conséquence, ces éléments se retrouveront également dans des ordinateurs en fin de vie. Ces batteries de plus grande taille doivent être retirées sans être déchiquetées, à moins que l'appareil de déchiquetage dispose des équipements antipollution nécessaires pour gérer de telles opérations et que l'installation soit agréée et autorisée à effectuer de tels procédés. Si la batterie reste dans l'équipement lorsque celui-ci est déchiqueté, elle va s'ouvrir et répandre de l'électrolyte caustique, engendrant des dangers pour les travailleurs, des risques d'incendie, des dommages aux appareils et une contamination des autres matériaux. Il peut également arriver que la batterie contienne encore une charge électrique. Si sa manipulation la fait entrer en contact avec un métal conducteur, elle peut se court-circuiter, c'est-à-dire se décharger rapidement en produisant de la chaleur, ce qui peut déclencher un incendie.

85. Une fois retirées, les batteries peuvent faire l'objet d'une évaluation aux fins d'une utilisation ultérieure, pour laquelle des normes de qualité devraient être établies<sup>19</sup>. Les batteries qui ne se prêtent pas à une réutilisation devraient être envoyées à des installations spécialisées de recyclage et de valorisation matière. Afin d'éviter les décharges non intentionnelles d'électricité résiduaire qui peuvent produire de la chaleur, il convient de recouvrir leurs bornes (par ex., d'un ruban adhésif ou de cire) ou de les emballer séparément de façon à empêcher tout contact entre leurs bornes et un autre conducteur.

86. Les métaux primaires contenus dans ces batteries et présentant un intérêt économique sont le cobalt, le nickel et le cuivre. En raison de la demande croissante dont il fait l'objet, le lithium peut également devenir un matériau valant la peine d'être récupéré.

87. Dans une installation de recyclage des batteries, l'électrolyte liquide devrait être retiré des batteries avant d'en récupérer les métaux. Cette opération peut être réalisée manuellement ou dans un four de pyrolyse (décomposition par la chaleur). Il n'existe pas de marché pour l'électrolyte recyclé, qui ne peut pas être récupéré sous sa forme pure. Par conséquent, il serait absurde de le retirer manuellement. Les composants plastiques des batteries peuvent également être séparés manuellement mais, en raison de leur contamination par des métaux, ne sont pas recyclés en tant que plastiques. Ils peuvent servir de source de chaleur et de carbone dans les procédés subséquents et ne sont donc généralement pas séparés. La pyrolyse produit un alliage métallique et des scories. Les scories peuvent être utilisées comme additifs dans le béton, dans la laine de roche ou dans des céramiques et l'alliage métallique peut faire l'objet d'un traitement hydrométallurgique visant à récupérer le cobalt, le nickel, le cuivre et le fer. Le lithium se retrouvera principalement dans les scories, dont il pourrait être récupéré si les prix du lithium sont suffisamment attractifs pour rendre le procédé économiquement viable. Les gaz produits par la pyrolyse (et la calcination, voir ci-après) nécessitent une épuration soignée, notamment une collecte des poussières, qui peuvent être réintroduites dans le four.

88. Comme alternative à la pyrolyse, les batteries peuvent également être calcinées (décomposition par la chaleur destinée à retirer les matériaux organiques tels que les composants plastiques), mais cette opération se traduit par un taux de récupération inférieur à celui de la pyrolyse complète et des étapes hydrométallurgiques subséquentes. Elle fait également peser un fardeau plus lourd sur l'environnement, étant donné que les composants plastiques, qui pourraient apporter de l'énergie à l'opération de pyrolyse, ne sont pas utilisés de manière optimale, entraînant une consommation énergétique et une production de CO<sub>2</sub> supérieures. Après la calcination, les batteries peuvent être ouvertes ou déchiquetées et ensuite séparées au moyen de séparateurs magnétiques et/ou à courants de Foucault afin de produire une fraction fer/acier (recyclée dans l'industrie de l'acier) et une fraction mélangée de cobalt et de nickel qui peut être séparée par lixiviation et précipitation sélective. Le déchiquetage et le broyage produisent

<sup>19</sup> Veuillez consulter les directives établies par le Groupe de projet 1.1 du PACE concernant les normes relatives à une utilisation ultérieure des batteries.



des poussières supplémentaires et créent un risque de pertes de Co et de Ni (en tant que poussières d'oxydes métalliques) dans l'environnement, s'il n'est pas fait usage de systèmes de suppression et de collecte des poussières.

89. Dans le cas où un procédé de calcination est utilisé, un triage préalable des batteries en fonction de leur composition chimique, en particulier pour les batteries NiMH et Li-ion, est recommandé afin d'optimiser la récupération des matériaux et l'efficacité du recyclage. Les procédés de pyrolyse conformes à l'état de l'art sont capables de traiter des fractions mélangées de piles NiMH et Lithium-Ion, tout en produisant des taux élevés de récupération des métaux.

### 7.3 Gestion et valorisation matière des lampes au mercure

90. Les moniteurs d'ordinateurs à écrans plats qui utilisent la technologie d'affichage à cristaux liquides contiennent une ou plusieurs petites lampes pour l'illumination, généralement situées le long du bord extérieur de l'écran. La technologie des diodes électroluminescentes (LED) est maintenant en train de conquérir rapidement le marché des écrans d'affichage, mais les écrans plats utilisant des lampes fluorescentes à cathode froide contenant du mercure continueront de représenter une part importante des flux de déchets des moniteurs pendant quelques années en raison de la durée de vie relativement longue des moniteurs. À moins que cela ne soit clairement indiqué sur l'écran ou autrement connu, les installations devraient appliquer le principe de précaution et traiter chaque écran d'affichage comme s'il pouvait contenir des lampes au mercure. Ces lampes au mercure se cassent souvent durant la manipulation et les procédés mécanisés, et rejettent des vapeurs de mercure. En conséquence, elles doivent être soigneusement retirées à la main, afin d'éviter qu'elles ne soient soumises à un traitement mécanisé tel que le déchiquetage, à moins que le déchiqueteur soit doté de l'équipement antipollution nécessaire et que l'installation soit habilitée et autorisée à assurer la gestion de telles opérations (par ex., des installations de traitement du mercure). Même dans le cas d'un retrait soigneux, il est très probable que des lampes se brisent et il conviendrait que des mesures de prévention technique soient mises en place et que des équipements de protection individuelle soient utilisés en permanence afin d'éviter l'inhalation de vapeurs de mercure. Veuillez consulter le « Manually Dismantling a Computer: Guidebook » (Démanteler manuellement un ordinateur : guide) EMPA, Swiss E-Waste Program. Certaines installations ont décidé de ne pas retirer les lampes au mercure en raison du problème qu'elles posent en cas de bris et envoient les écrans d'affichage de ce type directement à des installations de traitement du mercure.

91. Les lampes au mercure retirées ainsi que les déversements collectés et les résidus du nettoyage devraient être envoyés à des installations de récupération du mercure. Ces installations spécialisées chauffent les lampes et les résidus contenant du mercure dans un four fermé (une cornue), entraînant la vapeur de mercure dans une chambre de refroidissement où elle est condensée et collectée sous forme de mercure pur.

92. Étant donné qu'il est toujours possible que des lampes au mercure se cassent durant le retrait ou un autre traitement, les installations devraient périodiquement effectuer des analyses de l'air dans l'espace de travail et la zone de respiration des opérateurs, afin de vérifier que les concentrations de vapeurs de mercure ne dépassent pas les normes de sécurité professionnelle, ainsi que des analyses des sols et des surfaces de travail visant à détecter la présence de mercure qui pourrait être transporté vers d'autres espaces. La quantité de mercure que renferme une lampe est assez faible, se montant à environ 5 mg, et une partie de ce mercure s'échappera sous forme de vapeurs de mercure dans l'espace de travail. En outre, de nombreuses lampes peuvent être cassées au fil du temps. Une exposition à ces vapeurs peut être dangereuse pour la santé humaine et pour l'environnement. Une pièce ou un conteneur fermé où se trouvent des lampes cassées peut accumuler une concentration élevée de vapeurs de mercure. Une installation qui manipule des lampes au mercure devrait disposer de procédures écrites ainsi que de kits pour le nettoyage des déversements de mercure et former ses travailleurs à l'exécution de ces procédures. Certaines

installations peuvent préférer envoyer les écrans d'affichage à cristaux liquides ou les équipements contenant du mercure directement à des installations spécialisées de traitement du mercure plutôt qu'essayer de retirer les lampes au mercure très fragiles.

93. Après le retrait des lampes au mercure, les écrans d'affichage à cristaux liquides ne sont généralement pas dangereux et peuvent entrer en toute sécurité dans la chaîne de recyclage aux fins de récupération des métaux de valeur et des plastiques. Des recherches sont en cours pour déterminer si une récupération efficace de l'indium, un métal critique utilisé en petites quantités pour recouvrir l'intérieur de ces écrans, est réalisable dans l'immédiat ou plus tard.

#### **7.4 Gestion et récupération des encres et toners**

94. Les cartouches d'impression des imprimantes en fin de vie sont constituées d'un boîtier extérieur en plastique dans lequel se trouvent généralement des quantités résiduelles d'encre ou de toner, des pièces en plastique et en métal et des têtes d'impression ou puces intégrées. Certaines cartouches contiennent des circuits imprimés. Ces cartouches d'impression sont recyclables et, dans certains cas, peuvent être réutilisables ou rechargeables. Les opinions diffèrent quant au nombre de fois qu'une cartouche peut être réutilisée, certaines personnes estimant que la qualité de l'impression se détériore après l'utilisation initiale et d'autres qu'une cartouche peut être réutilisée jusqu'à six fois. Certaines entreprises commerciales de reconditionnement des cartouches n'acceptent que des cartouches de fabricants d'équipements d'origine qui n'ont jamais été recyclées auparavant. Dans la mesure où certains toners et encres (et donc certaines cartouches) contiennent des matériaux préoccupants, le reconditionnement de cartouches ne devrait être réalisé que par des entreprises spécialisées qui utilisent des techniques de gestion écologiquement rationnelle et veillent à la protection des travailleurs et de l'environnement. Dans tous les cas de réutilisation envisagée, il conviendrait de laver la cartouche, de vérifier si elle présente des fissures ou des pièces usées et de remplacer par de nouveaux composants les éléments importants qui altèrent la qualité et la performance. Uniquement de l'encre compatible devrait être utilisée pour recharger les cartouches. Une fois rechargées, elles devraient faire l'objet d'essais individuels pour vérifier la qualité d'impression.

95. Les cartouches de toner d'imprimantes laser étant plus complexes et mécaniques, leur recharge et leur réutilisation sont plus limitées. Étant donné qu'elles ne sont pas conçues pour être réutilisées, un petit trou devra être fait, généralement par forage ou fusion, pour ajouter de la nouvelle poudre de toner. Le trou est ensuite recouvert par une bande adhésive. Comme pour la recharge de cartouches d'encre, cette opération est très compliquée et présente des risques pour les travailleurs. Les cartouches devraient donc être envoyées vers des installations spécialisées.

96. Les cartouches de toner ne devraient pas être déchiquetées à moins que les équipements de recyclage ou de déchiquetage aient été spécifiquement conçus pour fonctionner dans des milieux pouvant présenter des concentrations élevées de poussières en suspension. Comme de nombreux matériaux organiques sous forme de poudre, le toner peut former des mélanges poussières/air explosifs lorsqu'il est finement dispersé dans l'air.

97. En général, les encres sont des liquides à base de solvants, tandis que les toners se présentent sous forme de poudre sèche. Certaines encres et certains toners peuvent contenir des substances dangereuses, comme de l'alcool isopropylique ou de l'éthylène glycol, qui peuvent être rejetées durant le recyclage. Dans le cas des cartouches dont le contenu n'est pas connu ou pour lesquelles un doute subsiste, les installations de recyclage devraient les gérer comme si leur contenu était dangereux. Si le plastique de la cartouche contient des retardateurs de flamme, il convient de se référer à la section 8.7 concernant les plastiques. Dans tous les cas, le contact avec la peau ou les yeux, l'ingestion ou l'inhalation d'encres et de toners devraient être limités ou évités. Les encres et toners déversés accidentellement devraient être enlevés et gérés comme des déchets dangereux à moins qu'il ne soit établi que les matériaux ne sont pas dangereux.

## **7.5 Gestion et valorisation matière des tambours contenant du sélénium**

98. Certaines imprimantes plus anciennes contiennent des tambours cylindriques brillants de couleur vive qui sont constitués d'aluminium recouvert de sélénium. Le sélénium est dangereux à doses élevées et susceptible d'entraîner une contamination de l'environnement dans les écosystèmes aquatiques. Une installation de valorisation matière ne devrait pas traiter ces tambours ou essayer d'en récupérer le sélénium ou l'aluminium à moins qu'elle ne possède les connaissances spécialisées et les équipements nécessaires pour gérer ces substances en toute sécurité. Ces tambours devraient plutôt être gardés intacts, retirés des imprimantes ou des photocopieurs et envoyés uniquement à des installations agréées autorisées à les gérer.

## **7.6 Gestion des polychlorobiphényles (PCB)**

99. Les polychlorobiphényles (PCB) n'ont pas été utilisés dans les équipements informatiques visés par les présentes directives. Ils ont été interdits d'utilisation aux États-Unis en 1976 et les premiers ordinateurs personnels destinés à la vente n'ont été produits que plusieurs années plus tard. Il est possible qu'une installation de valorisation matière trouve un condensateur contenant des PCB dans d'autres types d'équipements anciens, comme de vieux ordinateurs centraux. L'installation devrait alors prendre des mesures de précaution appropriées, en particulier pour éviter que de tels condensateurs ne soient brûlés ou déchiquetés, et faire le nécessaire pour les faire éliminer adéquatement dans une installation spécialisée et agréée de destruction des PCB.

# **8. GESTION ET ÉLIMINATION DES RÉSIDUS**

100. Un recyclage approprié produit souvent des résidus qui doivent être gérés de manière écologiquement rationnelle. Les plus importants résidus produits par les opérations de valorisation matière exécutées correctement sont, en volume, les scories provenant des opérations de fusion, qui peuvent être recyclées ou utilisées comme matériaux de construction, en fonction de leur composition. De plus, les équipements antipollution et anti-émissions produisent des résidus dangereux (cendres, poussières et résidus de nettoyage) qui sont retirés des filtres, des systèmes d'aspiration et autres dispositifs de capture. Alors que la plupart des matériaux contenus dans un ordinateur personnel peuvent être recyclés, une majeure partie ne l'est pas à l'heure actuelle, pour des raisons économiques. Une gestion soigneuse de leur élimination finale (gestion écologiquement rationnelle) est donc requise.

## **8.1 Poussières retenues par les dépoussiéreurs à manches et résidus des filtres**

101. Les filtres des dépoussiéreurs à manches, les résidus des filtres et les poussières peuvent contenir du zinc ou des métaux précieux présentant une valeur de récupération, à condition que l'installation de valorisation matière puisse les capturer et les transporter en toute sécurité. Si ces poussières ne peuvent pas être gérées en toute sécurité, l'installation de valorisation matière devrait les considérer comme des déchets dangereux, déterminer leurs caractéristiques de danger et les gérer de manière appropriée, par exemple en les mettant en décharge contrôlée.

## **8.2 Résidus de nettoyage**

102. Les particules fines et poussières tombées sur le sol et d'autres surfaces d'une installation devraient être régulièrement nettoyées mais ne devraient pas faire l'objet d'un balayage à sec qui dispersera ces particules dans l'air, notamment dans la zone de respiration des travailleurs. Elles devraient être collectées par essuyage humide ou aspiration et ensuite gérées et éliminées de la même façon que les poussières des dépoussiéreurs à manches et les résidus des filtres.

## **8.3 Scories**

103. Les scories – résidus des opérations pyrométallurgiques – prennent généralement la forme d'une substance dure, foncée et vitreuse. Celles provenant de la fusion de composants/fractions d'équipements informatiques contiennent, entre autres substances, du plomb, de l'oxyde de cadmium et de béryllium, de la silice, de l'alumine, de l'oxyde de fer et d'autres métaux oxydés.

Elles sont généralement traitées une nouvelle fois pour récupérer des métaux supplémentaires. Celles qui contiennent du plomb peuvent, par exemple, faire l'objet d'une autre fusion dans un haut fourneau à plomb. Le plomb agit comme un collecteur chimique pour les métaux précieux et autres métaux non ferreux restants tels que l'étain, le bismuth, l'indium et l'antimoine. Le plomb provenant de ce four est ensuite raffiné pour produire du plomb commercialisable et d'autres métaux, comme le nickel. Il est également possible de réduire les scories en poudre afin d'en extraire des substances recherchées au moyen de procédés de lixiviation utilisant des acides ou d'autres solvants.

104. Les scories présentant des concentrations de métaux peu intéressantes du point de vue économique peuvent servir d'agrégats pour la construction de bâtiments ou de routes, mais doivent auparavant être stabilisées et rendues insolubles par traitement à haute température. Les scories de fusion qui n'ont pas été stabilisées peuvent libérer des métaux dangereux dans le sol et les eaux souterraines et ne conviennent donc pas pour cette utilisation. En pareil cas, il est possible de les éliminer par mise en décharge industrielle contrôlée, en veillant convenablement à ce que des substances préoccupantes ne soient pas libérées.

105. Les traitements pyrométallurgiques appliqués aux fractions électroniques (par ex., circuits imprimés) exigent des systèmes anti-émissions qui capturent les particules et les gaz dangereux comme, par exemple, un venturi, un cyclone, un précipitateur électrostatique ou un filtre en tissu (dépoussiéreur à manches). Les particules collectées par ces appareils peuvent généralement faire l'objet d'autres procédés de récupération des métaux.

106. Le raffinage hydrométallurgique produit des effluents de déchets résiduels pouvant contenir des métaux dangereux ainsi que des acides, des cyanures et des solutions caustiques, qui peuvent nécessiter différentes méthodes de traitement et d'élimination. Ces solutions peuvent être entièrement réutilisées au sein d'une installation de raffinage mais requièrent, dans tous les cas, une attention particulière et une gestion rationnelle, notamment une précipitation et un filtrage des métaux ainsi qu'une neutralisation des acides. Les boues et les déchets solides produits par la précipitation des métaux et la neutralisation doivent être éliminés en toute sécurité lorsqu'ils ne peuvent plus faire l'objet de procédés visant à récupérer les métaux qu'ils contiennent.

#### **8.4 Verre et poussières de verre de tubes cathodiques**

107. Le verre des moniteurs à tube cathodique peut être utilisé pour fabriquer de nouveaux tubes cathodiques, même si cette technologie a été largement remplacée par les technologies d'affichage à cristaux liquides, plasma et LED. Néanmoins, plusieurs pays continuent de fabriquer des tubes cathodiques et les calcins de verre de tubes cathodiques triés peuvent être recyclés dans ces installations de fabrication, du moins sur le court terme. Les poussières de verre de tubes cathodiques se présentent sous forme de sable fin ou de poudre. Les opérateurs qui les manipulent devraient être protégés d'une inhalation de ces particules fines au moyen de systèmes de ventilation techniques ou d'équipements de protection individuelle. Les poussières de verre de tubes cathodiques qui sont collectées par les systèmes de ventilation ou lors du nettoyage des sols et d'autres surfaces ne seront probablement pas assez propres pour être recyclées. Le verre et les poussières de verre qui ne peuvent pas être recyclés peuvent être envoyés, s'il s'agit de verre au plomb, à des fonderies de plomb pour en extraire ce dernier. En raison de leur contenu en silicate, ils peuvent également être utilisés comme fondants, à la place d'autres silicates, dans les fonderies de cuivre. La dalle, qui n'est pas constituée de verre au plomb, peut être utilisée d'autres manières après l'avoir débarrassée de ses luminophores. Il est probable qu'aucune de ces autres utilisations ne soit économiquement rentable mais la valorisation du verre de tubes cathodiques par ces moyens est encouragée, dans la mesure où elle réduit l'espace nécessaire pour les décharges.

## 8.5 Luminophores

108. Les luminophores des tubes cathodiques sont des composés chimiques appliqués en fines couches sur la face intérieure de la dalle lors de la fabrication d'un tube cathodique. Ils absorbent l'énergie du faisceau d'électrons du tube cathodique et libèrent ensuite cette énergie sous forme de lumière visible à travers la dalle. Ils ne peuvent pas être réutilisés, même s'il est possible de recycler la dalle, et doivent, par conséquent, être enlevés du verre et, actuellement, faire l'objet d'une élimination finale en tant que déchets dangereux ou être soumis à des essais pour en déterminer le contenu en substances dangereuses, s'ils ne sont pas recyclés. À l'heure actuelle, il n'existe pas d'installation de recyclage connue pour les luminophores des tubes cathodiques, mais cela peut changer en fonction des évolutions du marché des métaux du groupe des terres rares.

109. Les luminophores sont aujourd'hui principalement composés de sulfure de zinc, de petites quantités d'autres substances étant ajoutées pour créer des couleurs telles que le rouge, le vert ou le bleu. Il s'agit souvent de métaux du groupe des terres rares, comme l'europium ou l'yttrium. Certains composés de ces métaux, comme ceux de l'yttrium, sont notoirement dangereux, mais on sait peu de choses sur les caractéristiques de danger de plusieurs autres. Toutefois, du fait que d'autres produits chimiques, comme le cadmium, ont été utilisés dans le passé, il convient de prendre des précautions pour protéger les travailleurs et l'environnement des luminophores dans un contexte de recyclage. Si la nature exacte d'un luminophore n'est pas connue, celui-ci devrait être traité comme s'il était dangereux ou faire l'objet d'essais pour démontrer qu'il ne contient pas de substances dangereuses et donc qu'il n'est pas dangereux. Il convient notamment d'utiliser des équipements de protection individuelle et techniques afin de veiller à ce que les luminophores ne pénètrent pas dans le milieu de travail, ne soient pas inhalés ou ne puissent pas entrer en contact avec la peau.

110. Lorsque la dalle et le cône d'un tube cathodique sont séparés, le revêtement de luminophore situé à l'intérieur de la dalle est visible. Il est légèrement collant car il doit adhérer au verre, mais il s'en détache facilement en cas de contact. Il devrait être retiré à l'aide d'un aspirateur muni d'un filtre HEPA et ensuite nettoyé avec des chiffons ou des lingettes. Les travailleurs exécutant ces opérations devraient utiliser des équipements de protection individuelle afin d'éviter une inhalation. Les luminophores aspirés ainsi que les chiffons et les lingettes devraient ensuite faire l'objet d'une élimination finale en tant que déchets dangereux ou d'essais pour démontrer qu'ils ne contiennent pas de substances dangereuses et donc qu'ils ne sont pas dangereux.

## 8.6 Polychlorobiphényles (PCB)

111. Comme indiqué plus haut, les équipements informatiques visés par les présentes directives ne contiennent pas de polychlorobiphényles (PCB), qui ne se rencontreront donc pas lors de la récupération de matériaux. Les condensateurs contenant des PCB qui peuvent se trouver dans d'autres types d'équipements électriques d'anciennes générations devraient être retirés et mis de côté. S'ils ne fuient pas, aucun danger immédiat n'est à craindre. Leur recyclage est proscrit par le droit international. Les PCB étant très susceptibles de produire des dioxines et des furanes lors de leur combustion, les condensateurs qui en contiennent devraient être envoyés aux fins d'une élimination appropriée (par ex., combustion à très haute température accompagnée de mesures anti-émissions) à une installation spécialisée et agréée de destruction des PCB.

## 8.7 Plastiques

112. Le plastique utilisé dans les équipements informatiques et les périphériques, principalement dans les boîtiers, est un autre matériau qui peut être avantageusement valorisé ou recyclé, mais pas toujours. La plupart des plastiques utilisés dans les équipements informatiques d'anciennes générations contiennent des retardateurs de flamme bromés et ne peuvent donc pas être vendus, étant donné que ces plastiques sont bien moins utilisés et que les marchés où des retardateurs de flamme sont encore utilisés sont très peu nombreux. Les plastiques techniques d'un seul type dépourvus de retardateurs de flamme bromés peuvent être réutilisés comme tels, moyennant

un retraitement. Cependant, ils se trouvent souvent mélangés à des plastiques d'autres types ou des matériaux incompatibles et autres comme, par exemple, des pièces métalliques, ce qui peut réduire les possibilités de retraitement et de réutilisation.

113. En tant que composés hydrocarbures, les plastiques peuvent être facilement recyclés ou réutilisés, en fonction de leur qualité technique ou commerciale. Lorsque des plastiques ou des résidus de plastiques ne peuvent pas être recyclés ou réutilisés dans des conditions techniques ou commerciales raisonnables, plutôt que de les éliminer dans une décharge, il est préférable de les utiliser comme combustibles, au même titre que les autres hydrocarbures, ou comme source de carbone pour la réduction chimique dans des opérations de fusion. Comme les plastiques utilisés dans les équipements informatiques peuvent contenir des halogènes – chlore ou brome – ou du plomb comme agent de stabilisation, leur combustion peut se révéler problématique. Certaines fonderies sont bien préparées à gérer ces constituants préoccupants et disposent de systèmes anti-émissions intégrés, mais beaucoup ne le sont pas. Une incinération dont la combustion et les émissions ne sont pas contrôlées ou, pire, un brûlage non contrôlé, qui peut avoir lieu dans le cadre d'opérations informelles, rejette dans l'air des quantités importantes de polluants sous forme de suies, de particules résultant d'une combustion incomplète, d'hydrocarbures complexes et de dioxines et furanes polychlorés, et laisse des résidus dangereux. Toutefois, une installation d'incinération qui dispose d'un système de récupération de l'énergie ainsi que d'un système anti-émissions peut être en mesure de réaliser une valorisation énergétique efficace et écologiquement rationnelle des plastiques provenant d'équipements informatiques.

114. De manière similaire, lorsqu'ils ne sont ni recyclables ni réutilisables, les plastiques ou les résidus de plastiques peuvent être éliminés en toute sécurité dans une décharge si cette élimination constitue une forme contrôlée de gestion mais, en revanche, si les décharges sont ouvertes aux personnes vivant de la récupération de déchets et en particulier si les déchets sont brûlés pour en réduire la taille, les décharges ne représentent pas une élimination finale appropriée. Les résidus de plastiques requièrent une gestion commençant par une planification destinée à faciliter une séparation en flux propres et recyclables, suivie par une collecte et une valorisation aux fins d'une réutilisation appropriée ou d'un recyclage et, si nécessaire, d'une élimination finale.

### **8.8 Préoccupations liées à l'incinération de déchets**

115. Comme expliqué ci-dessus, l'incinération de déchets d'équipements informatiques, en particulier des plastiques contenus dans les boîtiers et les circuits imprimés, peut ne pas être complète, ce qui peut produire des particules d'hydrocarbures et des suies. Certains métaux, en particulier le plomb, ont des températures de fusion relativement basses et peuvent fondre durant une telle incinération, produisant des émanations ou de minuscules particules d'oxyde métallique. Des hydrocarbures halogénés, notamment des dioxines et des furanes polychlorés, peuvent être produits, surtout dans le cas d'un brûlage informel sans aucune mesure antipollution. Les métaux qui ne fondent pas restent dans les cendres qui, si elles sont mises en décharge, peuvent présenter des risques d'exposition à des substances dangereuses, comme décrit plus haut. En outre, la lixiviation à partir des cendres mises en décharge peut être nettement plus rapide qu'à partir de composants non brûlés. En conséquence, bien que la valorisation matière soit préférable, si l'incinération est nécessaire, les composants combustibles qui ne peuvent pas être recyclés doivent être incinérés dans des installations d'incinération dont les techniques sont conformes à l'état de l'art<sup>20</sup> afin d'éviter, dans toute la mesure du possible, l'élimination dans une décharge et, si possible, de récupérer l'énergie de façon efficace. Si une telle incinération écologiquement

<sup>20</sup> Par « état de l'art », on entend l'état de développement des procédures, installations ou méthodes opérationnelles modernes qui, dans l'ensemble, étaye de manière fiable l'applicabilité, aux fins d'un niveau globalement élevé de protection de l'environnement, des mesures pertinentes visant à limiter les émissions dans l'air, l'eau et le sol, à garantir la sécurité des usines/installations, à assurer une gestion écologiquement rationnelle des déchets et à éviter ou réduire les incidences sur l'environnement.

rationnelle n'est pas possible, les déchets peuvent être éliminés dans une décharge aménagée et contrôlée.

### 8.9 Préoccupations liées aux décharges

116. De même, comme expliqué plus haut, la mise en décharge d'équipements informatiques en fin de vie peut créer un risque de contact humain direct, d'ingestion de contaminants et de contamination des sols et de l'eau, si les décharges concernées ne sont pas contrôlées. Certaines décharges sont souvent visitées par des personnes vivant de la récupération de déchets, y compris de petits enfants, qui cherchent des matériaux de valeur pour les récupérer. L'élimination par mise en décharge peut également mettre les équipements informatiques en contact avec des acides provenant d'autres sources comme, par exemple, les ordures et les aliments en décomposition. Sur une période prolongée, ces acides peuvent faire s'échapper des substances dangereuses, qui peuvent parcourir de longues distances en contaminant les eaux souterraines, les lacs, les cours d'eau ou les puits, conduisant à des incidences bien plus importantes<sup>21</sup>. L'élimination finale dans une décharge correctement aménagée et contrôlée est, pour les équipements informatiques, la seule solution de dernier recours qui convienne.

## 9. OBLIGATIONS JURIDIQUES

117. Chaque installation dans la chaîne de valorisation matière doit se conformer à l'ensemble des lois et réglementations nationales applicables ainsi qu'à l'ensemble des lois applicables dans les pays d'importation, de transit et d'exportation en cas de commerce international.

### 9.1 Obligations juridiques nationales

118. Les installations de valorisation matière et de recyclage sont tenues de respecter l'ensemble des lois et règlements locaux, infranationaux et nationaux se rapportant à leurs opérations et doivent être agréées et autorisées par toutes les administrations compétentes de leur pays.

119. Par exemple, les licences et les permis devraient être conformes aux obligations réglementaires gouvernementales, régionales et locales. Les permis spécifiques requis peuvent comprendre les suivants : permis de stockage, permis d'émissions atmosphériques, permis d'adduction d'eau, permis relatifs aux déchets dangereux et permis nécessaires pour respecter les réglementations relatives à l'élimination dans des décharges et autres formes d'élimination. Des procédures devraient être en place pour assurer un respect continu des obligations liées aux permis. Toutes les lois concernant la santé, la sécurité et les droits des travailleurs doivent être respectées ainsi que celles concernant les rejets de polluants dans l'environnement.

120. Une installation devrait toujours être en conformité avec les lois et réglementations applicables mais celles-ci sont parfois difficiles à trouver et à comprendre, et changent de temps à autre. En conséquence, une approche systématique représentera la meilleure manière de recenser régulièrement les lois et règlements applicables, y compris les amendements et les nouvelles lois, et de déterminer la manière dont ces obligations s'appliquent spécifiquement à l'installation et à ses opérations. Les publications, les bulletins d'information, les sites Web des gouvernements et les associations professionnelles peuvent être de précieuses sources d'information.

### 9.2 Obligations juridiques pour le commerce international

121. Étant donné que les opérations de valorisation matière peuvent comprendre des opérations réalisées par d'autres installation en aval et des mouvements transfrontières de déchets et de produits intermédiaires, une installation de valorisation matière devrait également veiller à ce que ses opérations ainsi que les opérations de valorisation matière en aval respectent les lois

<sup>21</sup> Pour de plus amples informations, veuillez consulter : Sepulveda, A., Schlupe, M., Renaud, F.G., Streicher, M., Kuehr, R., Hagelueken, C., Gerecke A.C. (2009), A review of the environmental fate and effects of hazardous substances released from electrical and electronic equipments during recycling: Examples from China and India, Environmental Impact Assessment Review, 30, 28-4.

applicables des pays concernés, y compris les accords multinationaux et bilatéraux relatifs aux mouvements de déchets. Une installation devrait être en conformité avec l'ensemble des réglementations applicables au transport de déchets, notamment celles relatives aux manifestes de conditionnement, aux connaissements et aux documents concernant la chaîne de traçabilité. Des contrôles de mouvements transfrontières au titre de la Convention de Bâle devraient être mis en œuvre pour les équipements informatiques en fin de vie destinés à une récupération et un recyclage des matériaux lorsque ces équipements contiennent des constituants figurant à l'Annexe I, à moins qu'il puisse être démontré que l'équipement informatique en fin de vie n'est pas dangereux, selon les caractéristiques énoncées à l'Annexe III. Pour des informations concernant les procédures en matière de mouvements transfrontières, veuillez consulter le chapitre 3 du document d'orientation du PACE, sur les mouvements transfrontières d'équipements informatiques usagés et en fin de vie, ainsi que les autres directives relatives aux mouvements transfrontières.

## 10. CONSIDÉRATIONS ET QUESTIONS COMMERCIALES

122. Un des principaux objectifs du PACE est d'accorder une attention particulière aux pays en développement et en transition, où les économies informelles et les infrastructures environnementales limitées peuvent créer des difficultés particulières, exacerbées par une réception non souhaitée d'équipements informatiques qui ne peuvent pas être remis à neuf et réutilisés. Comme indiqué plus haut dans la section 7.1.3, la récupération informelle de métaux précieux ainsi que d'autres composants et matériaux est particulièrement dangereuse et inefficace. Un des objectifs du PACE est donc d'en faire une filière plus sûre, plus respectueuse de l'environnement et plus efficace.

123. Pratiquée depuis au moins 50 ans, la valorisation matière des équipements informatiques est, dans les pays industrialisés, une activité commerciale bien développée de portée internationale donnant lieu à beaucoup de mouvements transfrontières vers des installations de récupération spécialisées. Pendant longtemps, le principal aspect pris en considération dans cette activité a été le profit – la récupération de métaux de valeur, principalement l'or mais également l'argent, le platine, le palladium et le cuivre, et la vente de ces métaux à des acheteurs. Comme les circuits imprimés électroniques présentent généralement des concentrations bien plus élevées de ces métaux que les minerais, ils ont été collectés en grandes quantités et la récupération des métaux s'est avérée une entreprise rentable. Alors même que le coût total de la gestion écologiquement rationnelle a été ajouté aux opérations de valorisation matière qui, dans certains cas, requièrent un appui financier dans le cadre de mécanismes de responsabilité étendue des producteurs, la valeur marchande des matériaux récupérés continue d'être un élément important.

124. Dans les pays en développement et en transition, la valorisation matière est également menée à des fins de profit mais pas toujours d'une manière écologiquement rationnelle. Afin de comprendre et de combattre ces pratiques non rationnelles de valorisation matière, il est utile d'appréhender les pratiques économiques et commerciales ainsi que les facteurs qui influencent ces activités.

125. Comme dans toutes les entreprises, des complications peuvent apparaître et modifier la rentabilité, entraînant parfois des pertes. Pour toutes les entreprises du secteur des métaux, les prix sont déterminés par un marché mondial concurrentiel et présentent souvent une grande volatilité sur des périodes relativement courtes. Les métaux sont des matières premières qui peuvent être achetées et vendues à de nombreux endroits et, même si le transport et certains autres facteurs sont intégrés, il existe généralement un prix standard mondial. Dans le cas de l'or, par exemple, un prix standard mondial est fixé à Londres deux fois par jour ouvrable<sup>22</sup>. Personne n'est tenu par la loi de suivre ce prix mais quasiment tout le monde achète et vend l'or au prix de

<sup>22</sup> L'organisation responsable est la société London Gold Market Fixing Ltd.



Londres ou à un prix s'en approchant. Donc, si un producteur d'or provenant de circuits imprimés fait face à des coûts élevés, cela ne signifie pas qu'il peut pratiquer des prix plus élevés car personne n'achètera de l'or dont le prix est basé sur les coûts du producteur. Ce raisonnement est également valable pour l'ensemble des métaux qui sont récupérés d'équipements informatiques usagés (par ex., cuivre, acier). Le producteur doit maintenir ses coûts à des niveaux compétitivement faibles, étant donné qu'il vend ses métaux récupérés sur des marchés concurrentiels alimentés tant par des mines que par des installations de recyclage.

126. En outre, la récupération des métaux contenus dans les circuits imprimés, tout comme l'extraction à partir de minerais, prend du temps. Les circuits imprimés doivent faire l'objet de traitements visant à en retirer les métaux, qui doivent ensuite être raffinés pour parvenir à la pureté exigée par le marché mondial. Jusqu'à présent, ces traitements prenaient environ six mois du début à la fin. Or, le prix mondial de l'or change, par exemple, deux fois par jour. Par conséquent, entre le moment où les circuits imprimés sont collectés et celui où l'or qu'ils renferment est prêt à être vendu, le prix de celui-ci peut avoir considérablement changé.

127. Dans les grandes entreprises commerciales de métaux des pays développés, les prix des métaux sont couverts contre les risques de fluctuation au fil du temps. Les techniques de couverture sont parfois très complexes. À titre d'exemple simple, un grand producteur d'or peut acheter à un prix actuel et simultanément vendre à un prix sensiblement le même à quelqu'un qui souhaite n'être livré que plus tard, par exemple dans six mois. L'acheteur et le vendeur fixent alors le prix actuel. Ainsi, l'acheteur évite le risque de devoir payer un prix bien plus élevé et le vendeur celui d'obtenir un prix bien plus bas, qui serait déterminé par le marché six mois plus tard, lorsque l'or est finalement produit sous sa forme pure et prêt à être vendu.

128. Toutefois, les petites entreprises locales de collecte, en particulier dans les pays en développement, ne peuvent pas se couvrir de cette manière. Elles n'ont pas accès aux techniques et mécanismes de couverture. Elles n'ont pas de connaissance précise de la quantité exacte d'or qui est contenue dans les ordinateurs qu'elles ont collectés ni du temps qui sera nécessaire pour accumuler une quantité suffisante pour une commercialisation. Elles ne font pas partie de réseaux stables de l'industrie des métaux, grâce auxquels la volatilité du prix des métaux est parfois amortie par des relations commerciales de longue date. En conséquence, elles cherchent à extraire l'or le plus rapidement possible, même s'il ne s'agit pas du procédé le plus efficace et que c'est dangereux pour la santé des travailleurs et écologiquement non rationnel, plutôt que de risquer d'obtenir plus tard un prix plus bas pour l'or, lorsqu'elles sont finalement prêtes à le vendre.

129. Il s'agit d'un problème important de la récupération des métaux provenant d'équipements informatiques en fin de vie dans les pays en développement, pour des raisons tant commerciales que sanitaires et environnementales. La lixiviation informelle de l'or par cyanure et/ou acide laisse des résidus importants qui ne sont pas bien gérés car les circuits imprimés dont l'or visible a été retiré possèdent une valeur bien moindre dans l'industrie formelle de la récupération de métaux et sont généralement mis au rebut (étant devenus encore plus dangereux après l'agitation chimique, du fait d'une lixiviation accrue de substances dangereuses dans l'environnement). De plus, sans son contenu en métaux précieux, un ordinateur personnel possède également une valeur bien inférieure et risque davantage d'être mis au rebut. La chaîne de valorisation matière écologiquement rationnelle peut être interrompue au tout début si une quantité importante d'or est retirée à ce stade.

130. Dans la mesure où l'or est retiré pour des raisons commerciales, il peut être nécessaire que les gouvernements et les organisations professionnelles établissent des pratiques commerciales et mettent en place des infrastructures qui répondent au besoin de compensation économique rapide des entreprises informelles de récupération de métaux, en attendant que celles-ci soient intégrées dans des infrastructures de valorisation matière plus larges et formelles.

131. Dans le cadre de l'initiative StEP (Résoudre le problème des déchets électroniques) de l'Université des Nations Unies, l'approche « Best of two worlds » (le meilleur des deux mondes) a été élaborée. L'idée de base est de fournir une formation et une structure organisationnelle au secteur informel dans les pays en développement et en transition afin d'améliorer le démantèlement des équipements informatiques. Les fractions moins complexes (et moins critiques sur le plan de l'environnement) qui en résultent peuvent ensuite faire l'objet de processus de récupération finale de matériaux au niveau local. En revanche, les fractions complexes et critiques, comme les circuits imprimés ou les batteries, doivent être envoyées vers de grandes usines industrielles appliquant des techniques de pointe qui, pour l'heure, se trouvent principalement dans des pays industrialisés. La valeur nette supérieure générée par ces procédés industrialisés à grande échelle peut être l'incitation à cesser les dangereux procédés de traitement sauvage des circuits imprimés dans le secteur informel (par ex., alors que le rendement en or des procédés sauvages n'est que d'environ 25 %, les procédés industrialisés à grande échelle permettent de récupérer et revendre plus de 95 % de l'or contenu dans les circuits imprimés ainsi que de l'argent, du palladium et du cuivre). Cela suppose toutefois que les opérateurs informels profitent directement de la valeur nette supérieure obtenue et axent leurs efforts sur la collecte et le démantèlement (le profit additionnel ne doit pas être capté par les filières en aval). La mise en place d'une structure organisationnelle appropriée pour une partie du secteur informel – prévoyant notamment des paiements anticipés – est l'une des tâches difficiles à laquelle il faut s'atteler. Dans ce cadre, le PACE et les centres régionaux de la Convention de Bâle pourraient également jouer un rôle important. Les considérations économiques ne devraient cependant pas l'emporter sur les considérations environnementales et sanitaires ni externaliser les véritables incidences du recyclage des équipements informatiques usagés et en fin de vie ainsi que de l'élimination des résidus, et devraient être prises en compte dans le cadre d'une politique de développement durable.

## **11. RECOMMANDATIONS**

### **11.1 Buts et objectifs**

132. Les installations de valorisation matière et énergétique et d'élimination devraient être en possession d'autorisations et de licences en bonne et due forme et respecter toutes les législations applicables – locales, nationales, régionales, multilatérales et internationales. Il s'agit notamment de la mise en œuvre, au niveau national, de la Convention de Bâle chaque fois qu'il y a mouvement transfrontière, ce qui arrive fréquemment dans le cas des équipements informatiques en fin de vie et des résidus.

133. Les Parties et les signataires de la Convention de Bâle sont encouragés à mettre en œuvre des politiques et/ou programmes favorisant la récupération écologiquement et économiquement rationnelle de matériaux ainsi que le recyclage des équipements informatiques en fin de vie.

134. Conformément à la Déclaration ministérielle de Bâle pour une gestion écologiquement rationnelle, les équipements informatiques usagés devraient faire l'objet d'un programme de collecte bien conçu pour être soustraits aux opérations d'élimination, comme la mise en décharge et l'incinération, et soumis à des pratiques écologiquement plus rationnelles, à savoir la réutilisation, la remise à neuf ainsi que la récupération et le recyclage de matériaux.

135. Il est très important que les équipements informatiques en fin de vie soient collectés de façon efficace (ce qui n'est généralement pas le cas aujourd'hui, même dans les pays industrialisés). Au besoin, un financement devrait être mis en place et fourni pour la collecte.

136. La valorisation matière et le recyclage écologiquement rationnels des équipements informatiques en fin de vie supposent la mise en place d'une chaîne efficace de recyclage constituée d'une série d'étapes bien conçues : collecte des équipements informatiques usagés, évaluation, essais/remise à neuf/réutilisation, le cas échéant, préparation/démantèlement

des équipements informatiques ou des éléments d'équipements non réutilisables, séparation en flux de matériaux, récupération finale des matières premières commercialisables et élimination des fractions non recyclables et des résidus des procédés de traitement. Certaines fractions dangereuses devraient être envoyées vers des installations pour détruire les substances dangereuses qu'elles contiennent et veiller à ce que celles-ci soient mises hors d'usage. Les Parties et les personnes qui interviennent aux différentes étapes devraient comprendre en quoi celles-ci consistent et communiquer avec les personnes participant à chacune des étapes de la chaîne. Les installations de recyclage écologiquement rationnel devraient veiller à ce que les équipements informatiques et les matériaux provenant de ceux-ci soient uniquement gérés dans des installations assurant une gestion écologiquement rationnelle qui disposent de licences et de permis les autorisant à gérer ces matériaux.

137. Il existe un certain nombre de composants et de matériaux suscitant des préoccupations, tels que les batteries et les lampes au mercure, qui peuvent rejeter des substances dangereuses dans le cadre des procédés de valorisation matière. Ceux-ci devraient être identifiés et soigneusement retirés afin d'éviter qu'ils soient soumis à des traitements plus intensifs, tels que le déchiquetage.

138. La valorisation matière et le recyclage écologiquement rationnels des équipements informatiques ne sont pas des opérations simples et peuvent entraîner des expositions à des substances dangereuses si elles ne sont pas correctement effectuées. Il convient de bien les comprendre, les gérer correctement et les exécuter conformément aux pratiques exposées dans les présentes directives de façon à protéger les travailleurs et les populations. Toutes les mesures possibles devraient être prises pour éviter les pratiques non rationnelles de recyclage et de valorisation matière des équipements informatiques, notamment celles qui n'appliquent pas les mesures appropriées de protection des travailleurs et de l'environnement (par ex., opérations informelles sauvages) et celles qui ne visent pas à maximiser la récupération de matériaux.

139. Il conviendrait d'accorder la priorité aux procédés de valorisation matière qui respectent une certaine hiérarchie en matière de gestion des déchets et en accroissent les avantages : prévention des déchets, réduction au minimum des déchets, réutilisation, recyclage, valorisation énergétique et élimination. De tels procédés aboutissent à une récupération particulièrement efficace des matériaux contenus dans les équipements informatiques, réduisent au minimum la perte et l'élimination finale de matériaux de valeur et réduisent la consommation d'énergie, la production de gaz à effet de serre et d'autres incidences négatives sur l'environnement et la santé.

## **11.2 Mise en place d'infrastructures de recyclage**

140. Les obligations générales imposées par la Convention de Bâle en matière d'autonomie nationale, de proximité, de réduction au minimum des mouvements transfrontières et de gestion écologiquement rationnelle ainsi que l'impératif de rentabilité économique devraient être pris en compte lors de la prise de décisions concernant le choix des installations ou opérations de valorisation matière et de recyclage d'équipements informatiques ainsi que lors de l'élaboration de politiques nationales de valorisation matière et de recyclage écologiquement rationnels. Toutefois, il existe actuellement de nombreux pays qui ne possèdent pas d'installation de valorisation matière remplissant les critères de gestion écologiquement rationnelle. Dans ces cas, il peut être préférable d'exporter certains composants susceptibles d'être dangereux ou exigeant des procédés spécialisés pour parvenir à des taux élevés de récupération des matériaux. Ces matériaux (par ex., verre des tubes cathodiques, lampes et commutateurs au mercure, écrans à cristaux liquides, batteries, plastiques contenant des retardateurs de flamme bromés ou circuits imprimés) devraient être exportés pour être traités dans une installation assurant une gestion écologiquement rationnelle conformément à la Convention de Bâle.

141. Le respect des présentes directives pouvant entraîner une augmentation des coûts du recyclage, les Parties, l'industrie, y compris les producteurs, les importateurs et les autres parties prenantes concernées devraient collaborer afin de veiller à ce qu'il y ait suffisamment de fonds pour procéder à valorisation matière et au recyclage des équipements informatiques. L'homologation et les audits pouvant être très coûteux, il convient de veiller à ce que les procédures nécessaires pour que les installations de récupération et de recyclage obtiennent leur homologation soient abordables et applicables par les installations du monde entier. L'appui de banques de développement multilatérales et régionales ainsi que de donateurs bilatéraux serait particulièrement utile pour la mise en place de programmes d'investissement importants et attrayants qui visent à mettre en place des infrastructures de recyclage assurant une gestion écologiquement rationnelle dans les pays en développement.

142. Il conviendrait que les Parties soient prêtes à donner en temps utile leur accord et d'autres autorisations pour l'exportation ou l'importation légale de déchets d'équipements informatiques vers des installations gérées de manière écologiquement rationnelle.

### **11.3 Directives concernant les installations**

143. Les dirigeants d'entreprises devraient systématiquement prévoir et entreprendre des opérations de récupération et de recyclage écologiquement rationnels des matériaux dans des installations prévues à cet effet. Sans leur engagement continu, il est peu probable qu'une installation puisse de manière constante ou croissante suivre un mode de fonctionnement réduisant au minimum les incidences sur la santé humaine et l'environnement. Les installations sont encouragées à mettre au point et à utiliser, aux fins de définition et de suivi de leurs pratiques en la matière, un système global certifié de gestion de l'environnement, de la santé et de la sécurité comprenant des éléments spécifiques relatifs à la valorisation matière et au recyclage écologiquement rationnels des équipements informatiques usagés et en fin de vie.

144. La certification de la conformité d'une installation avec un système de gestion global homologué est souhaitable et aidera les gouvernements concernés, les autres installations de valorisation matière et d'autres intéressés à évaluer et approuver les opérations et installations de récupération écologiquement rationnelle de matériaux. Dans la mesure du possible, cette certification devrait être réalisée par un vérificateur indépendant et qualifié ainsi qu'un organisme de certification homologué.

145. Les installations devraient mettre en place des procédures visant à obtenir une connaissance des obligations juridiques applicables ainsi qu'à respecter ces dernières. Ces obligations figurant dans de nombreux documents, tels que les lois et réglementations nationales et locales, ainsi que dans les permis et licences, des compétences professionnelles spéciales peuvent être nécessaires. Les organismes de réglementation, les publications des autorités et les communiqués de presse, les conseillers et les revues juridiques, les bases de données commerciales ainsi que les associations professionnelles peuvent aider à déterminer les obligations juridiques applicables. Les installations devraient aussi prendre en considération le droit coutumier ou autochtone ainsi que les traités, conventions et protocoles internationaux.

146. Les installations de recyclage devraient démanteler et séparer, par des procédés manuels et mécaniques, les équipements informatiques qui ne sont pas destinés à la réutilisation et les orienter vers des installations de valorisation matière convenablement équipées, afin de réduire au minimum les pertes de matériaux de valeur. Les installations devraient envoyer les substances potentiellement dangereuses (comme les batteries et les articles contenant du mercure) vers des installations de traitement ou de récupération qui sont dûment autorisées à les recevoir et utilisent des technologies conçues pour gérer efficacement et en toute sécurité les matériaux retirés. Les installations ne devraient pas chercher à récupérer des composants ou des matériaux pour lesquels elles ne disposent pas de moyens de traitement appropriés.

147. Avant d'entreprendre leurs opérations, puis systématiquement par la suite, les installations de recyclage devraient déterminer les dangers et évaluer les risques professionnels et environnementaux existants ou dont on pourrait raisonnablement penser qu'ils se présenteront. Cette pratique de détermination des dangers et d'évaluation des risques devrait être intégrée au système de gestion de l'installation et les employés devraient avoir un niveau de sensibilisation approprié ainsi que les compétences et la formation requises pour gérer efficacement ces dangers et risques professionnels. Des mesures de protection de l'environnement et de la santé et de sécurité devraient ensuite être prises, notamment des mesures de prévention technique (systèmes de substitution, de confinement, de ventilation, de dépoussiérage, de fermeture en cas d'urgence et de lutte contre l'incendie), des règles administratives et professionnelles (formation régulière et documentée en matière de santé et de sécurité, rotation des postes, pratiques professionnelles sûres, surveillance médicale, réunions consacrées à la sécurité) et des équipements de protection individuelle (appareils respiratoires, appareils de protection des yeux, gants résistant aux coupures). Ces installations devraient tenir compte des Principes directeurs concernant les systèmes de gestion de la sécurité et de la santé au travail de l'Organisation internationale du Travail (ILO-OSH 2001)<sup>23</sup>.

148. Les installations qui traitent, fondent et raffinent des matériaux provenant d'équipements informatiques ou les soumettent à d'autres opérations de valorisation et de recyclage devraient se faire connaître auprès des autorités réglementaires compétentes. Les autorités compétentes habilitées à délivrer des permis et à procéder à des inspections devraient contrôler et vérifier que ces entreprises assurent une gestion rationnelle sur le plan de la santé, de la sécurité et de l'environnement.

149. Les installations de valorisation matière qui traitent les équipements électroniques devraient faire preuve de diligence lorsqu'elles sélectionnent les vendeurs intervenant en aval et s'assurer que les manutentionnaires et les opérateurs subséquents assurent une gestion écologiquement rationnelle. Leur vérification devrait porter sur l'existence d'un système de gestion documenté prévoyant la détermination des dangers, l'évaluation des risques, des mesures correctrices, des autorisations environnementales ainsi que le respect des obligations juridiques applicables et d'autres principes généraux figurant dans les présentes directives.

150. Les installations devraient suivre et évaluer leurs résultats et tenir à jour des registres concernant leurs activités. La tenue de registres et l'évaluation des résultats permettent à une organisation de prendre des décisions en meilleure connaissance de cause concernant la question de savoir si elle obtient les résultats souhaités ou si des mesures correctrices sont nécessaires. Dans certains cas, la tenue de registres et l'évaluation des résultats peuvent constituer une obligation juridique.

#### **11.4 Conception en vue du recyclage**

151. La valorisation matière et le recyclage des équipements informatiques en fin de vie devraient être pris en considération par les fabricants lors de la conception des produits, en particulier sur le plan de la toxicité des matériaux et de leur aptitude au recyclage.

152. Un certain nombre de matériaux entrant dans la fabrication des nouveaux équipements informatiques, tels que le béryllium, le mercure, les retardateurs de flamme bromés, etc., sont considérés dans le présent document comme des substances particulièrement préoccupantes lors du traitement des équipements en fin de vie. Les fabricants peuvent faciliter le travail des installations de recyclage en fournissant davantage d'informations sur les substances dangereuses contenues dans leurs produits ainsi que sur la manière dont ceux-ci peuvent être démantelés en toute sécurité, et en remplaçant ces substances par d'autres moins dangereuses capables de remplir les mêmes fonctions. Ils devraient également s'efforcer d'utiliser

<sup>23</sup> [http://www.ilo.org/global/publications/ilo-bookstore/order-online/books/WCMS\\_PUBL\\_9222116348\\_FR/lang-fr/index.htm](http://www.ilo.org/global/publications/ilo-bookstore/order-online/books/WCMS_PUBL_9222116348_FR/lang-fr/index.htm)

des substances présentant moins de risques pour la santé humaine et l'environnement tout au long du cycle de vie des produits.

153. Les fabricants d'équipements informatiques devraient collaborer pour faciliter le recyclage des plastiques contenus dans ces équipements. En particulier, il conviendrait d'assurer une plus grande cohérence dans la sélection des matériaux lors de la conception des différents équipements informatiques, afin de permettre aux installations de recyclage des plastiques de supprimer les étapes de triage nécessaires pour obtenir une compatibilité des types de plastiques.

### **11.5 Futures étapes de la collaboration**

154. Les Parties à la Convention de Bâle sont encouragées à accroître le rôle joué par les centres régionaux de la Convention de Bâle pour ce qui est de renforcer la formation et le transfert de technologies concernant la valorisation matière et le recyclage écologiquement rationnels des équipements informatiques en fin de vie, en vue d'aider les pays en développement et les pays en transition à mettre en œuvre les cadres réglementaires régissant la gestion écologiquement rationnelle des équipements informatiques en fin de vie, notamment les réglementations relatives aux mouvements transfrontières.

155. Une liste des points à vérifier ou des outils similaires devraient être élaborés pour aider les Parties et d'autres intéressés à procéder à des inspections et à des audits conduits avec la diligence appropriée sur la base des présentes directives.

## APPENDICE I - SUBSTANCES

156. La plupart des matériaux constitutifs des équipements informatiques, à l'exemple de l'acier des boîtiers des unités centrales et du cuivre des fils, présentent peu ou pas de danger, en particulier au cours des premières étapes du recyclage telles que le démantèlement manuel. Certains matériaux peuvent toutefois être dangereux lors de leur broyage, concassage, déchiquetage, fusion, incinération ou mise en décharge, à moins d'utiliser des méthodes de gestion écologiquement rationnelle. Des limites d'exposition sur le lieu de travail sont établies par les gouvernements et devraient être vérifiées au regard de la localisation des installations<sup>24</sup>. Le présent appendice fournit, à titre d'exemple, les limites d'exposition sur le lieu de travail établies par l'Occupational Safety and Health Administration (OSHA) des États-Unis pour certaines substances contenues dans les équipements informatiques. Pour savoir où se trouvent ces substances dans les équipements informatiques, veuillez consulter les tableaux 1 à 4 figurant plus haut dans les présentes directives.

### 1.1 Aluminium

L'OSHA a établi une limite d'exposition professionnelle de 15 milligrammes d'aluminium par mètre cube (15 mg/m<sup>3</sup>) (poussières totales) et de 5 mg/m<sup>3</sup> (fraction respirable) d'air pour une journée de travail de 8 heures et une semaine de travail de 40 heures.

Pour de plus amples informations, veuillez consulter les ToxFAQs™ concernant l'aluminium de l'Agence américaine pour l'enregistrement des substances toxiques et des maladies à l'adresse suivante : <http://www.atsdr.cdc.gov/tfacts22.html>.

### 1.2 Antimoine

L'OSHA a établi une limite d'exposition professionnelle de 0,5 milligramme d'antimoine par mètre cube (0,5 mg/m<sup>3</sup>) d'air pour une journée de travail de 8 heures et une semaine de travail de 40 heures.

Pour de plus amples informations, veuillez consulter les ToxFAQs™ concernant l'antimoine et ses composés de l'Agence américaine pour l'enregistrement des substances toxiques et des maladies à l'adresse suivante : <http://www.atsdr.cdc.gov/tfacts23.html>.

L'antimoine et les composés de l'antimoine sont inscrits à l'Annexe I de la Convention de Bâle à la rubrique Y27.

### 1.3 Argent

L'OSHA a établi une limite d'exposition professionnelle de 10 microgrammes d'argent par mètre cube (10 µg/m<sup>3</sup>) d'air pour une journée de travail de 8 heures.

Pour de plus amples informations, veuillez consulter les ToxFAQs™ concernant l'argent de l'Agence américaine pour l'enregistrement des substances toxiques et des maladies à l'adresse suivante : <http://www.atsdr.cdc.gov/tfacts146.htm>.

### 1.4 Arsenic

L'OSHA a établi une limite d'exposition professionnelle de 10 microgrammes d'arsenic par mètre cube (10 µg/m<sup>3</sup>) d'air pour une journée de travail de 8 heures et une semaine de travail de 40 heures.

Pour de plus amples informations, veuillez consulter les ToxFAQs™ concernant l'arsenic de l'Agence américaine pour l'enregistrement des substances toxiques et des maladies à l'adresse suivante : <http://www.atsdr.cdc.gov/tfacts2.html>.

<sup>24</sup> Le lien ci-après fournit un accès aux limites d'exposition professionnelle dans de nombreux pays : <https://osha.europa.eu/fr/themes/dangerous-substances>

L'arsenic et les composés de l'arsenic sont inscrits à l'Annexe I de la Convention de Bâle à la rubrique Y24.

### **1.5 Béryllium**

L'OSHA a établi une limite d'exposition professionnelle de 2 microgrammes de béryllium par mètre cube ( $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) d'air pour une journée de travail de 8 heures et une semaine de travail de 40 heures.

Pour de plus amples informations, veuillez consulter les ToxFAQs™ concernant le béryllium de l'Agence américaine pour l'enregistrement des substances toxiques et des maladies à l'adresse suivante : <http://www.atsdr.cdc.gov/tfacts4.html>.

Le béryllium et les composés du béryllium sont inscrits à l'Annexe I de la Convention de Bâle à la rubrique Y20.

### **1.6 Cadmium**

L'OSHA a établi une limite d'exposition professionnelle de 5 microgrammes de cadmium par mètre cube ( $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) d'air pour une journée de travail de 8 heures et une semaine de travail de 40 heures.

Pour de plus amples informations, veuillez consulter les ToxFAQs™ concernant le cadmium de l'Agence américaine pour l'enregistrement des substances toxiques et des maladies à l'adresse suivante : <http://www.atsdr.cdc.gov/tfacts5.html>.

Le cadmium et les composés du cadmium sont inscrits à l'Annexe I de la Convention de Bâle à la rubrique Y26.

### **1.7 Chrome**

L'OSHA a établi une limite d'exposition professionnelle de 5 microgrammes de chrome hexavalent par mètre cube ( $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) d'air pour une journée de travail de 8 heures et une semaine de travail de 40 heures.

Pour de plus amples informations, veuillez consulter les ToxFAQs™ concernant le chrome de l'Agence américaine pour l'enregistrement des substances toxiques et des maladies à l'adresse suivante : <http://www.atsdr.cdc.gov/tfacts7.html>.

Les composés du chrome hexavalent sont inscrits à l'Annexe I de la Convention de Bâle à la rubrique Y21.

### **1.8 Cobalt**

L'OSHA a établi une limite d'exposition professionnelle de 0,1 milligrammes de cobalt par mètre cube ( $0,1 \text{ mg}/\text{m}^3$ ) d'air pour une journée de travail de 8 heures et une semaine de travail de 40 heures.

Pour de plus amples informations, veuillez consulter les ToxFAQs™ concernant le cobalt de l'Agence américaine pour l'enregistrement des substances toxiques et des maladies à l'adresse suivante : <http://www.atsdr.cdc.gov/tfacts33.html>.

### **1.9 Cuivre**

L'OSHA a établi des limites d'exposition professionnelle de 0,1 milligramme par mètre cube ( $0,1 \text{ mg}/\text{m}^3$ ) d'air pour les émanations de cuivre et de  $1 \text{ mg}/\text{m}^3$  d'air pour les poussières de cuivre, pour une journée de travail de 8 heures et une semaine de travail de 40 heures.

Pour de plus amples informations, veuillez consulter les ToxFAQs™ concernant le cuivre de l'Agence américaine pour l'enregistrement des substances toxiques et des maladies à l'adresse suivante : <http://www.atsdr.cdc.gov/tfacts132.html>.

Les composés du cuivre sont inscrits à l'Annexe I de la Convention de Bâle à la rubrique Y22.



**1.10 Gallium**

L'OSHA n'a pas établi de limite d'exposition professionnelle pour le gallium.

**1.11 Hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP)**

L'OSHA a établi une limite d'exposition professionnelle de 0,2 milligramme d'HAP par mètre cube (0,2 mg/m<sup>3</sup>) d'air pour une journée de travail de 8 heures.

Pour de plus amples informations, veuillez consulter les ToxFAQs™ concernant les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) de l'Agence américaine pour l'enregistrement des substances toxiques et des maladies à l'adresse suivante :

<http://www.atsdr.cdc.gov/tfacts69.html>.

**1.12 Lithium**

L'OSHA a établi une limite d'exposition professionnelle de 25 microgrammes d'hydrure de lithium par mètre cube (25 µg/m<sup>3</sup>) d'air pour une journée de travail de 8 heures.

**1.13 Magnésium**

L'OSHA n'a pas établi de limite d'exposition professionnelle pour le magnésium.

**1.14 Manganèse**

L'OSHA a établi une valeur plafond d'exposition professionnelle (concentration qui ne devrait être dépassée à aucun moment durant l'exposition) de 5 milligrammes de manganèse par mètre cube (5 mg/m<sup>3</sup>) d'air pour une journée de travail de 8 heures.

Pour de plus amples informations, veuillez consulter les ToxFAQs™ concernant le manganèse de l'Agence américaine pour l'enregistrement des substances toxiques et des maladies à l'adresse suivante : <http://www.atsdr.cdc.gov/tfacts151.html>.

**1.15 Mercure**

L'OSHA a établi une limite d'exposition professionnelle de 0,05 milligramme de mercure par mètre cube (0,05 mg/m<sup>3</sup>) d'air pour une journée de travail de 8 heures.

Pour de plus amples informations, veuillez consulter les ToxFAQs™ concernant le mercure de l'Agence américaine pour l'enregistrement des substances toxiques et des maladies à l'adresse suivante : <http://www.atsdr.cdc.gov/tfacts46.html>.

Le mercure et les composés du mercure sont inscrits à l'Annexe I de la Convention de Bâle à la rubrique Y29.

**1.16 Nickel**

L'OSHA a établi une limite d'exposition professionnelle pour le nickel métallique et les composés du nickel de 1 mg par mètre cube (1 mg/m<sup>3</sup>) d'air pour une journée de travail de 8 heures.

Pour de plus amples informations, veuillez consulter les ToxFAQs™ concernant le nickel de l'Agence américaine pour l'enregistrement des substances toxiques et des maladies à l'adresse suivante : <http://www.atsdr.cdc.gov/tfacts15.html>.

**1.17 Or**

L'OSHA n'a pas établi de limite d'exposition professionnelle pour l'or.

**1.18 Palladium**

L'OSHA n'a pas établi de limite d'exposition professionnelle pour le palladium.

**1.19 Platine**

L'OSHA a établi une limite d'exposition professionnelle de 2 microgrammes de platine soluble par mètre cube (2 µg/m<sup>3</sup>) d'air pour une journée de travail de 8 heures.

### **1.20 Plomb**

L'OSHA a établi une limite d'exposition professionnelle de 50 microgrammes de plomb par mètre cube ( $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) d'air pour une journée de travail de 8 heures et préconise des mesures de protection supplémentaires à partir de 30 microgrammes de plomb par mètre cube d'air.

Pour de plus amples informations, veuillez consulter les ToxFAQs™ Chemical Agent Briefing Sheets (CABS) concernant le plomb de l'Agence américaine pour l'enregistrement des substances toxiques et des maladies à l'adresse suivante : <http://www.atsdr.cdc.gov>.

Le plomb et les composés du plomb sont inscrits à l'Annexe I de la Convention de Bâle à la rubrique Y31.

### **1.21 Polychlorobiphényles (PCB)**

L'OSHA n'a pas établi de limite d'exposition professionnelle pour les polychlorobiphényles.

Les polychlorobiphényles sont inscrits à l'Annexe I de la Convention de Bâle à la rubrique Y10.

### **1.22 Sélénium**

L'OSHA a établi une limite d'exposition professionnelle de 0,2 milligramme de sélénium par mètre cube ( $0,2 \text{ mg}/\text{m}^3$ ) d'air pour une journée de travail de 8 heures.

Pour de plus amples informations, veuillez consulter les ToxFAQs™ concernant le sélénium de l'Agence américaine pour l'enregistrement des substances toxiques et des maladies à l'adresse suivante : <http://www.atsdr.cdc.gov/tfacts92.html>.

Le sélénium et les composés du sélénium sont inscrits à l'Annexe I de la Convention de Bâle à la rubrique Y25.

### **1.23 Silicium**

L'OSHA a établi des limites d'exposition professionnelle aux particules génériques (poussières) de 15 milligrammes par mètre cube ( $15 \text{ mg}/\text{m}^3$ ) d'air pour les particules totales et de  $5 \text{ mg}/\text{m}^3$  d'air pour les particules plus petites (fraction respirable), pour une journée de travail de 8 heures.

### **1.24 Zinc**

L'OSHA a établi une limite d'exposition professionnelle de 5 milligrammes d'oxyde de zinc (poussières et émanations) par mètre cube ( $5 \text{ mg}/\text{m}^3$ ) d'air pour une journée de travail de 8 heures.

Pour de plus amples informations, veuillez consulter les ToxFAQs™ concernant le zinc de l'Agence américaine pour l'enregistrement des substances toxiques et des maladies à l'adresse suivante : <http://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp60-c1.pdf>.

Les composés du zinc sont inscrits à l'Annexe I de la Convention de Bâle à la rubrique Y23.

## APPENDICE II – Glossaire

**Note :** *les termes ci-après ont été définis aux fins du rapport sur les recommandations concernant les critères de gestion écologiquement rationnelle, des directives relatives aux différents projets et du document d'orientation générale établi dans le cadre du Partenariat, pour aider les lecteurs à mieux comprendre ces documents du Partenariat.*

**Apte à la remise à neuf :** **Équipement informatique** usagé susceptible d'être de nouveau capable d'exécuter les fonctions essentielles pour lesquelles il a été conçu après une remise à neuf ou un reconditionnement.

**Assemblages :** Divers éléments électroniques assemblés sous la forme d'un dispositif qui est utilisé comme un **composant**.

**Composant :** Élément ayant une fonction électrique ou électronique connecté à d'autres composants et, généralement au moyen de soudures, à des cartes de circuit imprimé pour créer un circuit électrique ou électronique ayant une fonction particulière (par ex., amplificateur, récepteur radio ou oscillateur).

**Convention de Bâle :** Convention de Bâle sur les mouvements transfrontières de déchets dangereux et de leur élimination du Programme des Nations Unies pour l'environnement (PNUE), qui date du 22 mars 1989 et est entrée en vigueur en 1992.

**Décharge aménagée :** Les décharges aménagées sont des sites d'élimination qui ont été choisis et conçus pour réduire au minimum les risques de rejets de substances dangereuses dans l'environnement, notamment par l'utilisation de films d'étanchéité en plastique et de systèmes de récupération des lixiviats.

**Déchets :** Substances ou objets mis au rebut ou dont on prévoit la mise au rebut ou qu'il faut mettre au rebut aux termes des dispositions de la législation nationale (paragraphe 1 de l'article 2 de la Convention de Bâle).

**Défectueux/Défaut :** Un **équipement informatique** défectueux est un équipement livré par la filière et le dernier fabricant dans un état qui n'est pas celui pour lequel il a été conçu en vue d'être vendu, ou un équipement qui se casse ou fonctionne mal en raison de conditions qui n'ont pas été prévues lors de sa conception. Un équipement défectueux n'est pas un équipement qui perd certaines de ses fonctionnalités ou une certaine valeur esthétique du fait de l'usure ou de l'usage normal ou du fait de la négligence du consommateur.

**Démantèlement :** Opération qui consiste à démanteler un **équipement informatique, des composants ou des assemblages** pour en séparer les matériaux et/ou accroître les possibilités de **réutilisation, de remise à neuf ou de recyclage** et maximiser la valeur de récupération.

**Directive DEEE :** Directive du Parlement européen et du Conseil relative aux déchets d'équipements électriques et électroniques.

**Don caritatif :** Transfert à titre de charité, sans contrepartie monétaire, en nature ou autre, de la propriété d'un **équipement ou composant informatique ne constituant pas un déchet, aux fins d'une réutilisation directe**.

**Élimination :** Toute opération spécifiée à l'Annexe IV de la Convention de Bâle (paragraphe 4 de l'article 2 de la Convention de Bâle et appendice III du présent document).

**Élimination finale :** Opérations correspondantes spécifiées à l'Annexe IV A de la Convention de Bâle (appendice III A du présent document).

**Équipement informatique :** Les équipements informatiques comprennent les ordinateurs personnels (PC) et les systèmes de visualisation, imprimantes et périphériques connexes,

les ordinateurs de bureau personnels, y compris l'unité centrale et toutes les autres pièces que celle-ci contient, les ordinateurs blocs-notes et les ordinateurs portables personnels, y compris la station d'accueil, l'unité centrale et toutes les autres pièces que celle-ci contient, les écrans d'affichage, notamment ceux a) à tube cathodique, b) à affichage à cristaux liquides et c) à plasma, les claviers, souris et câbles d'ordinateurs, les imprimantes personnelles, dont a) celles de type i) matriciel, ii) à jet d'encre, iii) laser et iv) thermique et b) toute autre imprimante dotée d'un dispositif de numérisation ou de télécopie, ou des deux.

**Équipement informatique en fin de vie :** **Équipement informatique** constituant un déchet qui, étant devenu impropre à l'emploi, est destiné à être **démantelé** en vue de la récupération des pièces réutilisables, de la **récupération et du recyclage de matériaux** ou d'une élimination finale. Il s'agit également des **appareils** neufs ou hors spécifications envoyés à des fins de **récupération et de recyclage de matériaux** ou d'élimination finale.

**Équipement informatique usagé :** Équipement informatique que son premier propriétaire ou une autre personne a utilisé ou utilise encore. En fonction de la définition donnée aux déchets ainsi que des caractéristiques, de la destination prévue et du devenir de l'équipement considéré, celui-ci peut ou non constituer un déchet.

**Essai :** Opération par laquelle un **équipement informatique** usagé est évalué selon un protocole établi pour déterminer s'il peut être **réutilisé**.

**État de fonctionnement :** Voir « **Pleinement fonctionnel** ».

**États concernés :** Il s'agit des États d'exportation, d'importation ou de transit, qu'ils soient ou non Parties à la Convention.

**Étiquetage :** Marquage des **équipements informatiques, par unité ou par lots**, pour désigner leur état conformément aux directives du Partenariat.

**Évaluation :** Examen initial d'un **équipement informatique** usagé pour déterminer s'il peut faire l'objet d'une **remise à neuf, d'une réparation, d'une valorisation matière ou d'un recyclage**.

**Gestion écologiquement rationnelle :** L'application de toutes les mesures pratiques permettant d'assurer que les déchets sont gérés d'une manière qui protège la santé humaine et l'environnement contre leurs éventuels effets nocifs.

**Incinération :** Il s'agit d'un traitement thermique qui brûle ou détruit les déchets, les boues ou les résidus à des températures se situant entre 850 °C et plus de 1 100 °C.

**Mise à niveau :** Modification de la configuration matérielle ou logicielle d'un **équipement informatique** usagé qui est pleinement fonctionnel en vue d'améliorer ses performances et/ou ses fonctionnalités.

**Mise en décharge :** Action de déposer des déchets dans ou sur le sol.

**Nettoyage :** Opération qui consiste à enlever les saletés, les poussières et les taches et à procéder à des réparations esthétiques.

**Nouvelle utilisation/nouvel emploi :** Nouvel emploi ou nouvelle utilisation d'un **équipement informatique** usagé ou de ses **composants** par le propriétaire.

**Petites et moyennes entreprises (PME) :** Selon la Commission européenne, les petites et moyennes entreprises sont des entreprises employant moins de 250 personnes, dont le chiffre d'affaire annuel ne dépasse pas 50 millions d'euros et/ou dont le bilan annuel n'excède pas 43 millions d'euros.

**Pleinement fonctionnel/Fonctionnalité intacte :** Un **équipement informatique** ou des **composants** sont « **pleinement fonctionnels** » lorsqu'il est démontré à l'issue d'essais qu'ils peuvent exécuter les **principales fonctions essentielles** pour lesquelles ils ont été conçus.

**Potentiel de réutilisation (réutilisable) :** **Équipement ou composant informatique** possédant ou susceptible de posséder les propriétés nécessaires pour être réutilisé soit directement, soit après une remise à neuf ou une réparation.

**Principales fonctions essentielles :** Il s'agit de la fonction ou des fonctions initialement prévues d'un **équipement ou d'un composant** qui en permettront la réutilisation de manière satisfaisante.

**Recommandations concernant le transport des marchandises dangereuses :** Il s'agit des recommandations de l'ONU concernant le transport des marchandises dangereuses relatives à la classification, à l'affichage, à l'étiquetage, à la tenue de registres, etc., qui ont pour objet de protéger la sécurité du public au cours du transport.

**Valorisation matière :** Opérations correspondantes spécifiées à l'Annexe IV B de la Convention de Bâle (appendice III B du présent document).

**Recyclage :** Opérations correspondantes spécifiées à l'Annexe IV B de la Convention de Bâle (appendice III B du présent document).

**Remise à neuf :** Opération visant à accroître les performances et les fonctionnalités d'un **équipement informatique usagé** ou à le conformer aux normes techniques et autres réglementations en vigueur, entre autres par nettoyage, purge des données et **mise à niveau** logicielle.

**Remise sur le marché :** Toute mesure, y compris d'ordre commercial, nécessaire pour vendre un **équipement informatique** précédemment usagé ou ses **composants** directement ou indirectement à des clients.

**Réparation :** Opération consistant à corriger un ou plusieurs défauts spécifiques et/ou à remplacer les éléments défectueux d'un **équipement informatique** afin que celui-ci puisse de nouveau être pleinement opérationnel.

**Réutilisation :** Remise en service, par une personne autre que son précédent propriétaire, d'un **équipement informatique** usagé ne constituant pas un déchet ou d'un **composant** fonctionnel provenant d'un tel équipement aux fins pour lesquelles il a été initialement conçu, éventuellement après **remise à neuf, réparation ou mise à niveau matérielle**.

**Réutilisation directe :** Remise en service, par une personne autre que son précédent propriétaire, d'un **équipement ou d'un composant informatique** usagé mais ne constituant pas un déchet aux fins pour lesquelles il a été initialement conçu, sans aucune **réparation, remise à neuf ou mise à niveau matérielle** préalable.

**RoHS :** Directive du Parlement européen et du Conseil relative à la limitation de l'utilisation de certaines substances dangereuses dans les équipements électriques et électroniques ([http://ec.europa.eu/environment/waste/weee/index\\_en.htm](http://ec.europa.eu/environment/waste/weee/index_en.htm)).

**Séparation :** Opération consistant à retirer manuellement ou par un procédé mécanique certains **composants/constituants** (par ex., les batteries) ou matériaux d'un **équipement informatique**.

**Séparation mécanique :** Séparation des divers matériaux ou composants d'un **équipement informatique** au moyen de machines.

**Traitement :** Toute opération physique, chimique ou mécanique se déroulant dans une installation qui traite les **équipements informatiques** et consistant en particulier à les **démanteler**, à en

retirer les composants dangereux, à **recupérer et recycler les matériaux** qu'ils contiennent ou à en préparer **l'élimination**.

**Traitement hydrométallurgique** : Méthode d'extraction chimique en milieu aqueux de métaux à partir de minerais, de concentrés ou de déchets et autres produits recyclables. Généralement, l'hydrométallurgie comporte les trois étapes suivantes :

- i) Lixiviation d'un produit intermédiaire au moyen d'un acide, d'une base ou d'un agent complexant, souvent accompagnée d'une oxydation, pour dissoudre l'élément recherché à des pressions et températures ambiantes ou élevées ;
- ii) Purification de la solution par :
  - a) Précipitation des composés insolubles,
  - b) Cémentation des métaux indésirables (précipitation du métal dissous à l'aide d'un autre métal) ou
  - c) Extraction par solvants ;
- iii) Précipitation du produit recherché sous forme de composé insoluble ou de métal par des méthodes chimiques ou électrochimiques.

Le recyclage des réactifs et le traitement ainsi que l'élimination des effluents et résidus sont également des opérations importantes qui ont lieu tout au long du processus. Il convient de distinguer les opérations hydrométallurgiques menées à l'échelle industrielle par des installations agréées des pratiques illicites et écologiquement dangereuses du secteur informel.

**Traitement pyrométallurgique** : Traitement thermique comprenant des étapes de brûlage, fusion et refusion, auquel on soumet des métaux, des minerais, des boues et des résidus dans le but de récupérer des métaux commercialisables. Il convient de distinguer les opérations pyrométallurgiques menées à l'échelle industrielle par des installations agréées des pratiques illicites et écologiquement dangereuses du secteur informel.

**Triage** : Opération qui consiste à séparer **l'équipement informatique** d'autres déchets (électroniques) en vue d'une **réutilisation** éventuelle ou d'un **traitement** en aval pouvant comporter des opérations de **recyclage**/valorisation matière/**remise à neuf/réparation/réutilisation/élimination**.

## APPENDICE III – CONVENTION DE BÂLE – ANNEXE IV – OPÉRATIONS D'ÉLIMINATION

### **A. Opérations ne débouchant pas sur une possibilité de récupération, de recyclage, de réutilisation, de réemploi direct, ou toute autre utilisation de déchets**

La section A récapitule toutes ces opérations d'élimination telles qu'elles sont effectuées en pratique.

- D1 Dépôt sur ou dans le sol (par ex., mise en décharge, etc.)
- D2 Traitement en milieu terrestre (par ex., biodégradation de déchets liquides ou de boues dans les sols, etc.)
- D3 Injection en profondeur (par ex., des déchets pompables dans des puits, des dômes de sel, ou des failles géologiques naturelles, etc.)
- D4 Lagunage (par ex., déversement de déchets liquides ou de boues dans des puits, des étangs ou des bassins, etc.)
- D5 Mise en décharge spécialement aménagée (par ex., placement dans des alvéoles étanches séparées, recouvertes et isolées les unes des autres et de l'environnement, etc.)
- D6 Rejet dans le milieu aquatique sauf l'immersion en mer
- D7 Immersion en mer, y compris enfouissement dans le sous-sol marin
- D8 Traitement biologique non spécifié ailleurs dans la présente Annexe, aboutissant à des composés ou à des mélanges qui sont éliminés selon l'un des procédés énumérés à la section A
- D9 Traitement physico-chimique non spécifié ailleurs dans la présente Annexe, aboutissant à des composés ou à des mélanges qui sont éliminés selon l'un des procédés énumérés à la section A (par ex., évaporation, séchage, calcination, neutralisation, précipitation, etc.)
- D10 Incinération à terre
- D11 Incinération en mer
- D12 Stockage permanent (par ex., placement de conteneurs dans une mine, etc.)
- D13 Regroupement préalablement à l'une des opérations de la section A
- D14 Reconditionnement préalablement à l'une des opérations de la section A
- D15 Stockage préalable à l'une des opérations de la section A

**B. Opérations débouchant sur une possibilité de récupération, de recyclage, de réutilisation, de réemploi direct, ou toute autre utilisation de déchets**

La section B est censée récapituler toutes ces opérations, concernant des matières qui sont considérées ou légalement définies comme déchets dangereux et qui auraient sinon subi l'une des opérations énoncées à la section A.

- R1 Utilisation comme combustible (autrement qu'en incinération directe) ou autre moyen de produire de l'énergie
  - R2 Récupération ou régénération des solvants
  - R3 Recyclage ou récupération de substances organiques qui ne sont pas utilisées comme solvants
  - R4 Recyclage ou récupération des métaux ou des composés métalliques
  - R5 Recyclage ou récupération d'autres matières inorganiques
  - R6 Régénération des acides ou des bases
  - R7 Récupération des produits servant à capter les polluants
  - R8 Récupération des produits provenant des catalyseurs
  - R9 Régénération ou autres réemplois des huiles usées
  - R10 Épandage sur le sol au profit de l'agriculture ou de l'écologie
  - R11 Utilisation de matériaux résiduels obtenus à partir de l'une des opérations numérotées R1 à R10
  - R12 Échange de déchets en vue de les soumettre à l'une des opérations numérotées R1 à R11
  - R13 Mise en réserve de matériaux en vue de les soumettre à l'une des opérations figurant à la section B
-