

Valorisation des DEEE par l'extraction des terres rares, métaux précieux et matières plastiques

Meryem Kitane^{1*}, Chouaib Benqlilou², Kacem El Kacimi¹, El Mostapha Lotfi³

¹ Laboratoire d'Electrochimie et de Chimie Analytique, Département de Chimie, Université Mohammed V-Agdal, Faculté des Sciences Rabat, Avenue Ibn Batouta BP 1014, Maroc.

² Département de Génie des Procédés Industriels, Ecole Nationale Supérieure des Mines de Rabat, Avenue Hadj Ahmed Cherkaoui BP 753, Agdal, Rabat, Maroc.

³ Laboratoire LM2PI, Equipes Sciences Chimiques, Ecole Normale Supérieure d'Enseignement Technique, Université Mohammed V- Souissi, Rabat, Maroc

*Auteur Correspondant : meryem.kitane@gmail.com

RÉSUMÉ

L'approche proposée dans le présent travail a pour but d'élaborer des procédés propres pour le traitement et la valorisation des déchets d'équipements électriques et électroniques, en particulier les ordinateurs et les téléphones mobiles classés dans la catégorie 3 : « Equipements informatiques et de télécommunication » selon la directive européenne 2002/96/ce. La valorisation consiste en l'extraction des métaux précieux, des terres rares et éventuellement de granulats de plastiques. La solution proposée est adaptée aux spécificités du Maroc par la mise en œuvre d'un schéma de traitement écologique approprié qui consiste en : 1) Traitement pyrométallurgique de granulats non ferreux isolés, 2) Récupération de l'or à partir des pièces dorées par voie hydrométallurgique, 3) Identification des terres rares dans les écrans, 4) Fabrication d'enduit hydraulique à partir de déchets ultimes (mélange de plastiques, résines et céramiques). Le présent travail se focalise aussi sur la possibilité de rationaliser la consommation des ressources naturelles en minimisant les besoins en matière première (par exemple : Cu, Al, Au, Pd, plastiques,...) par la transformation des déchets électriques et électroniques (DEEE) en ressources.

MOTS-CLÉS : DEEE, cartes électroniques, hydrométallurgie, terres rares, granulats de plastique, liant hydraulique, productions propres

ABSTRACT

The approach proposed in this work present clean processes for the treatment and recycling of waste electrical and electronic equipment, under the protection of the environment paradigm, especially for computers and mobile phones which are classified in category 3: "it and telecommunication equipment" according to the European directive 2002/96/EC through the extraction of precious metals, rare earths and possibly plastic granulates. The proposed solution is adapted to the specificities of Morocco by implementing a scheme of appropriate ecological treatment consists of: 1) Processing of non-ferrous pyrometallurgical aggregates isolated, 2) Recovery of gold from gold coins by hydrometallurgical 3) Identification of rare earth from monitors 4) Manufacture of hydraulic plaster from residual waste (mixture of plastics, resins and ceramics). This work also focuses the possibility of rationalizing the consumption of natural resources by minimizing the need for raw material (e.g. Cu, Al, Au, Pd, plastics,) by the transformation of electrical and electronic waste (WEEE) in resources.

KEYWORDS : WEEE, E-cards, hydrometallurgy, rare earths, granulated plastics, hydraulic plaster, environmental protection, clean production, processing waste into resources

Valorisation des DEEE par l'extraction des terres rares, métaux précieux et matières plastiques

Meryem Kitane, Chouaib Benqlilou, Kacem El Kacimi, El Mostapha Lotfi

I. Introduction

Durant les dernières décennies, la quantité des Déchets d'Equipements Electriques et Electroniques (DEEE) est en croissance rapide au monde et au Maroc en particulier. Selon les résultats d'une enquête réalisée en 2010 au Maroc cette quantité a été estimée à 115000 Tonnes (GTZ, 2010). On remarque en particulier que le parc des ordinateurs personnels est d'environ 1,223 millions d'unités avec une croissance linéaire. Par contre celui des téléphones mobiles est de 22,816 millions d'unités avec une croissance exponentielle. En général on observe une augmentation annuelle des DEEE de 5 à 10 %, croissance due à une demande accrue de ces équipements (Laissaoui et Rocha, 2008). Les DEEE comprennent tous les appareils qui dépendent de courants électriques ou de champs électromagnétiques pour fonctionner correctement. Le présent travail porte principalement sur les ordinateurs vue la présence d'une large gamme de composants de nature métallique, plastique, céramique ou autres (Cu, Sn, Co, In, Sb, Ag, Au, Pd,...) (UNEP, 2009). A titre d'exemple, les métaux représentent une moyenne de 23 % en poids d'un téléphone dont le cuivre est le constituant majoritaire, le reste étant des matériaux plastiques ou céramiques (Hagelüken et al., 2009). Les e-déchets sont devenus une mine durable pour récupérer des matières premières de grands intérêts environnementaux et stratégiques (Lee et al., 2007).

Le démantèlement et le recyclage des DEEE pratiqués de manière non professionnelle peut poser de sérieux problèmes pour la santé et l'environnement. Actuellement, il n'existe pas au Maroc de législation spécifique relative aux DEEE. Toutefois, la Loi N° 28-00 de 2006 au Maroc relative à la gestion des déchets et à leur élimination pourra déboucher sur un décret d'application spécifique à ce type de déchet

Par ailleurs, les professionnels de la métallurgie estiment que la majeure partie de métaux contenus dans les DEEE est exportée à l'étranger sans valeur ajoutée, environ 500000 Tonnes tous métaux confondus (FIMME, 2013), alors que les métallurgistes locaux importent de la matière première, plus coûteuse.

L'industrie de récupération des métaux spéciaux contenus dans les DEEE fait défaut au Maroc, exception faite pour le complexe hydrométallurgique de Guemassa qui est spécialisé dans quelques métaux notamment le cuivre, le plomb, le zinc et le cobalt. De plus, l'incinération des DEEE n'est pas autorisée à cause i) du contenu en métaux lourds supérieur aux limites acceptables (mercure, condenseur, batterie,...) et ii) des retardateurs de flamme contenus dans les plastiques.

La littérature (UNEP, 2009) rapporte que pour une tonne de téléphones portables (sans batteries), il est possible de récupérer en moyenne 3,5 kg d'Argent, 340 g d'Or, 140 g de Palladium et 130 kg de Cuivre. Pour une unité de téléphone les métaux précieux sont de l'ordre de : 250 mg d'Argent, 24 mg d'Or, 9 mg de Palladium et 9 g de Cuivre. Si on projette ces teneurs sur l'ensemble des téléphones portables et ordinateurs en circulation, on retrouve une quantité relativement importante. Par ailleurs, les batteries en lithium des téléphones portables contiennent approximativement 3,5 g de Cobalt. En 2007, cela a représenté 3 % d'approvisionnement des mines en Or et Argent, 13 % de Pd et 15 % de Co.

D'un autre côté, La Loi N° 28-00 et la directive européenne relative à la gestion des DEEE (Directive européenne, Janvier 2003 et décret N° 2005-829, Janvier 2005) recommandent l'inertage des déchets ultimes. Cependant, le rapport de l'ADEME (Delavelle et Fayolle, 2006) sur les caractères des plastiques contenus dans les DEEE et l'état des lieux de la valorisation de ces plastiques montrent qu'il y a une course en recherche appliquée pour trouver des débouchés de ces sous-produits à condition qu'ils respectent les normes européennes sur les tests de lixiviation des déchets. A la lumière des données présentées, l'approche proposée dans le présent travail a pour objectif d'élaborer des procédés propres pour le traitement et valorisation des DEEE par voies pyro-métallurgiques et hydrométallurgique afin d'extraire des métaux précieux et éventuellement des terres rares. La solution proposée est adaptée aux spécificités du Maroc, par la mise en œuvre d'un schéma de traitement approprié : broyage, séparation physico-chimique et inertage des déchets ultimes. Par ailleurs, les procédés proposés dans le présent travail sont les

suivants : 1) le traitement pyrométallurgique de granulats non ferrique isolés, 2) La récupération de l'or à partir des pièces dorées par voie hydrométallurgique, 3) La récupération des terres rares à partir des écrans 4) La fabrication du liant hydraulique à partir de déchets ultimes (mélange de plastiques, résines et céramiques).

2. Matériels et méthodes

Dans le présent travail les essais expérimentaux et les résultats correspondants sont réalisés sur la base d'un lot d'une tonne d'ordinateurs constituée de 38 unités (d'une masse moyenne de 26,31 kg) fabriquées avant 2000 provenant de la ferraille de la ville de Casablanca pour un prix de 50 MAD/unité . Le démantèlement a été fait en 2007 au niveau de l'Ecole Nationale Supérieure des Mines de Rabat. Chaque unité a été placée sur une table de démantèlement et de tri en utilisant des outils adéquats avec les moyens de protection individuel et sous aération contrôlée. L'opération a duré trois jours (8 heures / jour) à raison de 6,5 unités / j /opérateur sous la direction des auteurs de l'article.

La Figure 1 représente le schéma global des différentes étapes considérées depuis le démantèlement manuel pour séparer, isoler et caractériser les différentes fractions des ordinateurs à savoir : i) les métaux ferreux et non ferreux, ii) les pièces dorées, iii) les verres et tubes cathodiques, iv) les plastiques et résines v) les accumulateurs et céramiques.

2.1 Pyrométallurgie des granulats non ferriques isolés

Après avoir isolé les plaques électroniques des ordinateurs démantelés, les diodes et les accumulateurs ont été retirés par le rasage, puis il a été procédé au broyage à < 2 mm, des plaques électroniques, suivi par une séparation densimétrique à l'aide d'une table à vibrations. Après la séparation magnétique du granulat métallique, nous avons récupéré 40 kg de matière non ferrique.

La deuxième étape de cette opération consiste à appliquer la méthode de pyrométallurgie qui permet d'analyser la composition chimique du granulat non ferrique. Pour se faire, nous avons fusionné le granulat obtenu dans un creuset avec une flamme à gaz à 1400°C, ce qui a permis de récupérer des lingots (figure 2) d'un alliage jaune brillant de poids total de 30 kg.

2.2 Récupération de l'or par voie hydro métallurgique

Après le démantèlement des ordinateurs il a été obtenu 7,5kg de pièces dorées lixiviées avec une solution d'acide nitrique (20 L) de concentration de 2 moles/litre pendant une nuit à température ambiante. On observe la formation d'une

poudre résiduelle dorée sur les parois du réacteur récupérée par filtration.

2.3 Récupération des terres rares à partir des écrans

Le traitement de 220 kg de verre des écrans d'ordinateurs par brossage humide à l'aide d'une brosse permet de séparer la couche luminescente contenant les terres rares (E) ; la quantité de poudre noire argentée isolée après filtration et séchage à 60°C est de 66 g, soit une valeur moyenne d'environ 1.8 g par moniteur de verre.

Une étude radio cristalochimique, pour identifier la nature des phases des poudres extraites a été entreprise par diffraction aux RX, sur un diffractomètre Siemens D5000 à anticathode de cuivre.

2.4 Fabrication d'enduits hydrauliques à partir des déchets ultimes

Les enduits et les revêtements hydrauliques organiques, sans utilisation de solvants organiques, ont connu ces dernières années un développement considérable (Delavelle et Fayolle, 2006).Après la mise en œuvre de ces produits sur les toits, les murs et les sols, ils assurent les fonctions suivantes : sécurité, stabilité des ouvrages, étanchéité à l'eau, isolation thermique, isolation acoustique et aspect esthétique des bâtiments. La composition de ces produits suivant les disponibilités est très variée : souvent un mélange de matières plastiques, granulats de roches, sables et résines pour étanchéité (ex. résine siloxane).

Selon le schéma proposé pour le traitement des ordinateurs hors service (Figure 1), une fois que les produits métalliques sont isolés, il reste un mélange de poudre plastique avec les résines de verre, la silice et d'autres produits. Ce mélange constitue la matière première pour fabriquer le produit de revêtement étanche.

Au niveau du mode opératoire, pour préparer une tonne de cet enduit de revêtement, on introduit des quantités optimales suivantes : 300 litres d'eau dans un réacteur de 1500 litres et sous agitation mécanique, on ajoute progressivement 350 kg de la poudre de déchets ultimes des ordinateurs hors service puis 350 kg de colle hydraulique. Après malaxage et homogénéisation, on obtient une tonne de produit concentré de revêtement.

Pour la coloration, nous avons utilisé deux types de pigments : Pigment noir de charbon à 2 %, Pigment rouge de l'hématite à 5 %.

Concernant le test de lixiviation de l'enduit fabriqué, il a été procédé à la dilution dix fois avec l'eau distillée d'un

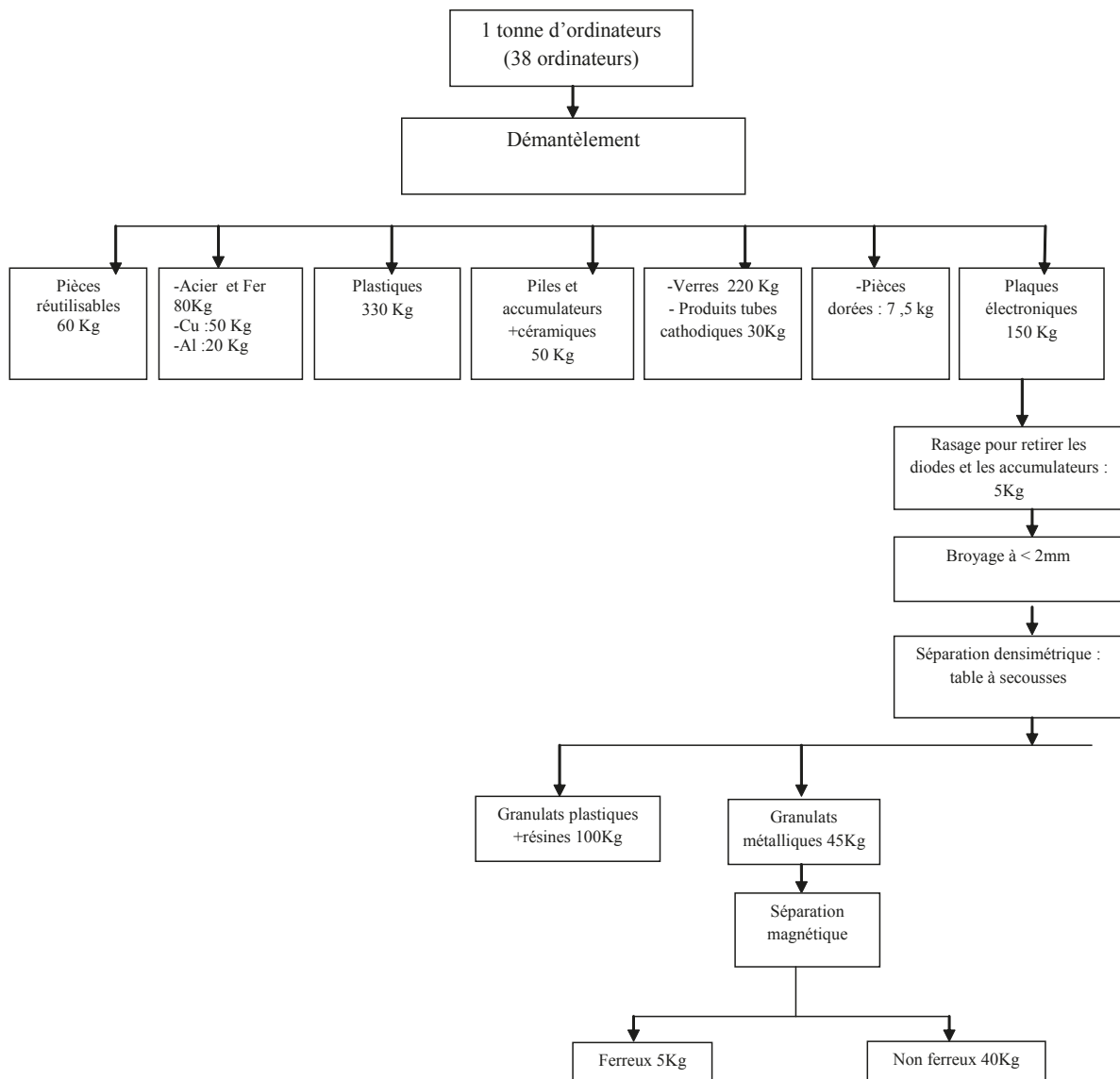


Figure I. Bilan massique des pièces et matériaux obtenus par les opérations réalisées dans l'étude

Tableau I. Composition d'un échantillon d'une tonne d'ordinateurs

Fraction	Poids (Kg)	%
Pièces réutilisables	60	6
Acier et fer	80	8
Cu	50	5
Al	20	2
Plastiques	330	33
Piles, accumulateurs et céramiques	50	5
Verres de tubes cathodique	250	25
Pièces dorées	7,5	0.75
Plaques électroniques	150	15
-Diodes et accumulateurs	5	0.5
-granulats plastiques	45	4.5
-Granulats métalliques	100	10

échantillon de 100 g de l'enduit séché à 100°C. L'éluât obtenu est analysé par spectrométrie d'absorption atomique pour déterminer les teneurs des éléments métalliques à avoir : Chrome, Plomb, Zinc, Cadmium, Baryum, Nickel) respectivement après 24h (pH =6,96) et 48h (pH =7,21).

3. Résultats

3.1 Schéma global proposé pour le traitement et valorisations des ordinateurs hors service

L'opération de démantèlement et de tri par rapport à une tonne d'ordinateurs hors service a permis de distinguer quatre catégories de fractions composant un ordinateur (Tableau 1) :

- Une fraction réutilisable (pièces détachées, ...) représentant 6 % du poids total d'un ordinateur.
- Une fraction de déchets recyclables (15 %) : il s'agit des métaux (cuivre, aluminium, acier et fer)
- Une fraction de déchets valorisables (74 %) : il s'agit des plastiques, plaques électroniques, des verres de tube cathodique et des pièces dorées
- Déchets dangereux (5 %) : piles et accumulateurs ...

Le traitement minéralogique d'une tonne d'ordinateurs hors service a permis de récupérer 45kg de granulat polymétallique. Après séparation magnétique du granulat, on obtient 40 kg de granulat non ferrique, 5 kg d'acier, 7,5 kg de pièces dorées et 220 kg de verre de tube cathodique contenant de la poudre luminescente où se trouvent les terres rares (Figure 1).

3.2 Pyroméallurgie de granulats non ferriques isolés

D'après l'analyse par diffraction RX du lingot (Figure 2) obtenu selon la méthode pyroméallurgie, on constate que le cuivre est majoritairement dominant avec un pourcentage massique d'environ 77 % (Tableau 2). En effet ce métal possède une plus grande conductivité électrique par rapport aux autres métaux justifiant ainsi sa grande utilisation dans les circuits électriques.

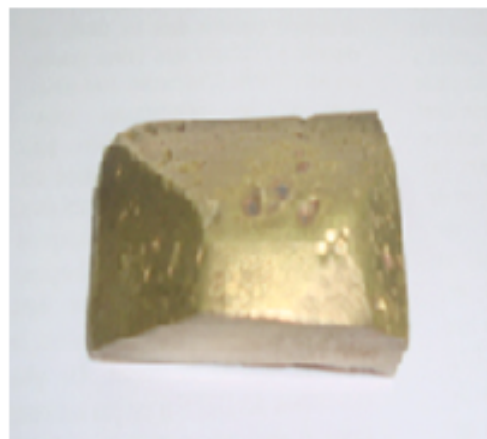


Figure 2. Lingot obtenu par pyroméallurgie des granulats non ferriques

3.3 Récupération de l'or par voie hydro métallurgique

L'analyse de la solution polymétallique par spectrométrie d'absorption atomique a montré l'absence totale d'or dans la solution et n'a confirmé par contre que la présence en particulier des métaux (Cu, Ni, Zn, Pb).

Tableau 2. Composition chimique du lingot (30Kg) obtenu par pyroméallurgie du granulat non ferrique isolé

Métaux	Teneur %
Au	0,012
Ag	0,3
Cu	77,1
Zn	9,36
Sn	6,59
S	0,0016
Pb	3,42
Ni	1,45
Fe	0,96
Sb	0,33
Co	0,04

Les 7,5 kg de pièces dorées lixiviées avec HNO_3 ont permis d'obtenir 20 g d'or sous forme de poudre (0,26 % du poids des pièces dorées) suite à l'attaque acide de la matrice à base de cuivre.

3.4 Récupération des terres rares à partir des écrans

Les premières indications obtenues suite à l'analyse par diffraction RX effectuée sur la poudre extraite des verres et par comparaison des diffractogrammes des phases avec ceux des fiches de référence (PCPDFWin, ICDD), ont révélé d'une part, l'existence d'oxydes de terres rares, fort probablement de l'oxyde d'indium (In_2O_3) en forte proportion et une fraction d'oxyde de Cérium (CeO_2) pour un premier type de poudres (obtenues avant calcination) et d'autre part un mélange de phases : La_2O_3 , LaYO_3 , YInO_3 et de leur solutions solides, pour un second type de poudres (produit récupéré après attaque par HNO_3).

Ces résultats concordent avec ceux rapportés par la firme internationale japonaise Sharp de fabrication d'équipements électroniques (Tarore, 2010) indiquant l'existence de l'indium dans les écrans LCD en fin de vie. L'indium est ainsi récupéré à partir de lixiviats acides grâce à une nouvelle technologie de séparation non publiée dans la littérature.

3.5 Fabrication d'enduits hydrauliques à partir des déchets ultimes

Les plaques électroniques obtenues (150 kg) après démantèlement d'une tonne d'ordinateurs hors service, ont subi trois opérations successives : rasage broyage et séparation densimétrique, pour conduire à deux fractions de granulats : i) granulats métalliques ii) granulats plastiques et résines (Figure 1).

D'après les tests d'identification des plastiques à l'échelle du laboratoire (Rémillard, 2007) appliqués sur la fraction granulats plastiques, le polychlorure de vinyle, le polystyrène, résines et sables (silice) ont été identifiés. Ce sont des matières premières pour préparer le système d'étanchéité liquide en phase aqueuse d'enduit hydraulique, une fois mélangées avec les colles hydrauliques.

Le test de lixiviation qui consiste à la dilution dix fois avec l'eau distillée d'un échantillon de 100 g de l'enduit obtenu séché à 100°C montre (Tableau 3) que ce produit respecte largement les réglementations européennes (Arrêté n° 9797 en date du 15 Avril 2004).

Les caractéristiques et propriétés de l'enduit obtenu sont les suivantes : i) couleur grise, densité égale à 1 ; ii) pour une couche d'épaisseur minimale de 1,5 mm le séchage du revêtement dure 16 heures à température ambiante et application à froid (sans solvant) ; iii) pour un mètre carré la consommation est de 1,5 kg ; iv) une fois appliqué en respectant le mode opératoire, le revêtement sec donne une couche isolante insoluble dans l'eau et dans plusieurs réactifs et solvants organiques ; v) résistance aux intempéries, résistance à la chaleur entre -30°C et $+80^\circ\text{C}$ du fait que les matières premières plastiques de DEEE sont bromées (retardateurs de flammes). Ces caractéristiques ont été déterminées à la suite des différents tests appliqués sur des échantillons d'enduit et par comparaison avec les données de la littérature (Ait Rahou et Kitane, 2008).

L'enduit ainsi préparé est un nouveau produit d'étanchéité liquide pour toutes applications de génie civil. L'addition de tous les additifs (pigments, colorants, métaux, argiles, céramiques, cendres, farines de bois, de métaux etc...) est possible pour obtenir différentes décorations et isolations.

3.6 Bilan matière

Les différentes opérations appliquées à une tonne d'ordinateurs hors service depuis le démantèlement ont permis de quantifier les produits obtenus répertoriés dans tableau 4.

Il en ressort que les quantités des fractions métalliques dans les ordinateurs hors service sont importantes, ce qui demande de mettre en place et de développer des procédés écologiques rentables de traitement et de valorisation des DEEE.

En 2010, la littérature (Laissaoui et Rocha, 2008) a rapporté que le nombre annuel d'ordinateurs hors service au Maroc est de 200000, soit environ 5200 t, générant des quantités importantes plus particulièrement en métaux (tableau 4).

Tableau 3. Teneurs en métaux lourds en mg/kg dans l'éluât obtenu par lixiviation de l'enduit

Eléments	Cr	Pb	Zn	Cd	Ni	Ba	Cu
Teneur* (mg/Kg)	0	<10	<5	<0.5	<5	0	3.38
Teneur** (mg/kg)	0	<10	<5	<0.5	<5	0	3.73
Normes[12]	70	50	200	5	40	300	100

* :Analyse après 24h ;** :Analyse après 48h

Tableau 4. Bilan de matière des différentes fractions issues des ordinateurs hors service

Fractions	Or	Cu	Acier et fer	Verres d'écran	Plastiques	Terres rares
Quantité*	23,6 g	73,1 kg	85 kg	220 kg	430 kg	66 g
Quantité**	122 kg	380 t	442 t	1 144 t	2236 t	343 kg
Prix unitaires***	280 Dh/g	51,1 Dh/t	—	—	—	—
Chiffre d'affaire**	3 416 0000 Dh	19 418	—	—	—	—

* : Relativement à une tonne d'ordinateur hors service

** : Relativement à 5200 t d'ordinateurs hors service

*** : Prix moyens relatifs à la période du 1er au 8 janvier 2010

4. Conclusion

Cette étude présente des essais réalisés sur un lot de 38 ordinateurs hors service d'un poids total d'une tonne environ.

La filière mise en œuvre débute dans un premier temps par le démantèlement des ordinateurs et le tri manuel des pièces et matériaux. Cette phase a permis d'isoler 60 kg de pièces réutilisables pour la réparation des ordinateurs, 80 kg d'acier, 50 kg de cuivre, 20 kg d'aluminium, 220 kg de verre d'écran, 7,5 kg de pièces dorées, 330 kg d'un mélange de plastiques, 100 kg de granulats (plastique, résine et céramique) et 45 kg d'une fraction métallique.

Dans un deuxième temps, les 45 kg de la fraction métallique provenant des plaques électroniques ont subi une séparation magnétique donnant 40 kg de granulats non ferrique. Après traitement pyrometallurgie on obtient 30 kg de lingot contenant entre autres 77 % de cuivre et 0,012 % d'or.

Dans un troisième temps, le traitement hydro métallurgique à l'acide nitrique de 7,5 kg de pièces dorées a permis de récupérer 20 g d'or sous forme de poudre.

Par ailleurs, ont été isolés par voie humide 66 g de poudre luminescente à partir de 220 kg de verre d'écran dont l'analyse par diffraction RX a révélé la présence d'oxyde d'indium comme terre rare.

Le présent article propose une solution pour la valorisation des déchets (granulats plastiques et résines) issus des ordinateurs hors service. Le bilan matière a révélé l'intérêt du recyclage et de la valorisation des DEEE, au vu des quantités importantes obtenues en métaux (Cu, Al, Au, Fe,...) et en terres rares.

Références bibliographiques

Ait Rahou et Kitane.K., 2008 Préparation d'un nouveau enduit hydraulique à partir des matières plastiques issues des déchets des équipements électriques et électroniques, Brevet marocain N°31054, déposé à L'OMPIC

Chaoui Roquai M., 2010, Développement d'un projet de recyclage orienté sur des conditions nationales et économiquement autonome, Maroc, Deutsche Gesellschaft für Zusammenarbeit (GIZ), 61p

Laissaoui S., et Rocha D., 2008. Rapport technique de l'état des lieux de la gestion des e-déchets au Maroc, Maroc, Centre Marocain Pour la Production Propre au Maroc (CMPP).

UNEP Recycling, 2009. From e-waste to resources, final report.

Fédération des industries métallurgiques, mécaniques, électriques et électroniques (FIMME), 2013 via <http://www.leseco.ma>

Hagelüken C., C.E.M. Meskers S. Salhofer, M. SPITZBART. 2009. Mining our computers- opportunities and challenges to recover scarce and valuable metals from End-of-Life electronic devices. *European Metallurgical Conference EMC*, Innsbruck, Austria, pp. 527 - 540

Directive européenne 2003 et décret N° 2005 – 829 sur la valorisation de plastiques contenus dans les DEEE.

Delavelle C., Fayolle D., 2006. « Caractérisation des plastiques contenus dans les DEEE et état des lieux de la valorisation de ces plastiques » AJI-EUROPE, ADEME, 138p

Lee,J.C., Song,H.T., Yoo,J.M., 2007. Present status of the recycling of Waste electrical and electronic equipment in Korea. *Ressources, Conservation and Recycling*, 50, 380–397.

Loi marocaine N° 28-00. 2006 relative à la gestion des déchets et à leur élimination

Monier, Escalon.V, Cassowitz.L, Massari.F, Deprouw.A, 2010, Etude du potentiel de recyclage de certains métaux rares, ADME

Rémillard F., 2007, Identification des plastiques et des élastomères, Québec, Centre de Conservation du Québec CCQ, Québec, 27p.

Schluep M., Hagelueken C., Kuehr H., Magalini.F, Maurer C., Meskers C., Mueller E., Wang F., 2009, Recycling. From e-waste to resources, France, United Nations Environment Programme UNEP, 90p.

Sharp succeeds in recycling indium from LCD panels. Japan for Sustainability. (Accédé le 31/03/12) via URL : www.japanfs.org/en/pages/026099.html

Tarore Y., 12 septembre 2006, Perspective nouvelle pour la récupération de l'indium issu des e-Déchets par électro position dans les liquides ioniques à températures ambiante, Doctorat de l'université de Grenoble, NNT : 2012GRENA008.