

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE

Université de Mohamed El-Bachir El-Ibrahimi - Bordj Bou Arreridj

Faculté des Sciences et de la technologie

Département Génie de l'environnement

Mémoire

Présenté pour obtenir

LE DIPLOME DE MASTER

FILIERE : Génie des procédés

**Spécialité : Gestion des changements
environnementaux en méditerranée**

Par

➤ **DJOUDI MANEL**
Intitulé

Récupération des métaux lourds dans les déchets électroniques

Soutenu le : 19/09/2022

Devant le Jury composé de :

<i>Nom & Prénom</i>	<i>Grade</i>	<i>Qualité</i>	<i>Etablissement</i>
<i>M. Merzougui</i>	<i>MAB</i>	<i>Président</i>	<i>Univ-BBA</i>
<i>A. BAHLOUL</i>	<i>Pr.</i>	<i>Encadreur</i>	<i>Univ-BBA</i>
<i>S. Bahah</i>	<i>MCB</i>	<i>Examineur</i>	<i>Univ-BBA</i>

Année Universitaire 2021/2022

Remerciements

Tout d'abord nous remercions ALLAH tout puissant de nous avoir accordé des connaissances de la science et de nous avoir aidés à réaliser ce travail.

Ce mémoire constitue une étape majeure sur la voie de ma carrière professionnelle; il est dédié à toutes les merveilleuses personnes que j'ai rencontrées dans cette formation de master.

Je remercie professeur A. Bahloul pour son aide et son supervision éclairée tout au long de la rédaction de ce mémoire.

Aux membres de jury M. Merzougui et S. Bahah que nous remercions pour l'acceptation de juger ce modeste travail.

Nos vifs remerciements vont à Monsieur, le Directeur SPA Condor qui a cru en mon potentiel et m'a accueilli(e) au sein de son entreprise.

À ce titre, je souhaiterais remercier tout particulièrement Monsieur H.

Choukri et K. Bendjadou, et toute l'équipe de la spécialité de HSE.

Monsieur K. Tababocht et toute l'équipe de réparation à l'unité de climatisation pour leurs aides et son soutien pendant la réalisation de notre projet.

Nous n'oublions pas nos parents pour leurs contributions, leur soutien et leur patience, nos proches et nos amis qui nous encouragé. Merci à tous

Dédicace

Je dédie ce modeste travail accompagné d'un profond amour:

Ma mère qui m'a appris et m'a supporter.

Mon cher wawa.

A mes sœurs et mon frère.

A mon neveu Adem.

À moi-même.

A toute ma famille et mes amis.

A mon futur mari.

A tous ceux que j'aime.

Résumé

Dans cette étude, nous avons utilisé les méthodes hydrométallurgiques pour récupérer les métaux précieux (Au, Ag et Pd) à partir des DEEE de l'entreprise spa Condor. La masse des métaux récupéré après leurs protocole était 0.14g, 0.0117g, 0.5g pour l'Ag, Pd et Au respectivement. Les analyses par spectroscopie UV-visible et voltampérométrie cyclique on a prouvé la présence des métaux, mais Pour mieux confirmer, il nécessaire de faire une analyse de la composition chimique du produit récupéré par la technique de fluorescence X.

Mots clés : Au, Ag, Pd, hydrométallurgie, recyclage, DEEE.

Summary

In this study, we have used hydrometallurgical methods to recover precious metals (Au, Ag and Pd) from the WEEE of the Condor spa company. The mass of metals recovered after their protocols were 0.14g, 0.0117g, 0.5g for Ag, Pd and Au respectively. Analyzes by UV-visible spectroscopy and cyclic voltammetry have proven the presence of metals, but to better confirm, it is necessary to analyze the chemical composition of the product recovered by the X-ray fluorescence technique.

Keywords: Au, Ag, Pd, hydrometallurgy, recycling, WEEE.

ملخص

في هذا المشروع ، استخدمنا طرق المعالجة المعدنية المائية لاستعادة المعادن الثمينة (Au) و Ag و Pd من WEEE التابع لشركة Condor spa. كانت كتلة المعادن المسترجعة بعد البروتوكولات 0.14 جم و 0.0117 جم و 0.5 جم لـ Ag و Pd و Au على التوالي. أثبتت التحليلات عن طريق التحليل الطيفي المرئي للأشعة فوق البنفسجية وقياس الجهد الدوري وجود المعادن ، ولكن للتأكيد بشكل أفضل ، من الضروري تحليل التركيب الكيميائي للمنتج الذي تم استعادته بواسطة تقنية مضان الأشعة السينية.

الكلمات المفتاحية : Au ، Ag ، Pd ، Hydrometalurgy ، إعادة التدوير ، WEEE

Sommaire

Introduction générale	1
Chapitre I : Recherche bibliographique.....	
I.1.Définition d'un déchet.....	3
I.2.Classification des déchets.....	3
I.2.1 Déchets ménagers et assimilés DMA	3
I.2.2 Déchets spéciaux DS	3
I.2.3 Déchets spéciaux dangereux DSD	3
I.2.4 Déchets inertes DI.....	4
I.2.5 Déchets d'activités de soins DAS.....	4
I.2.6 Déchets agricoles.....	4
I.2.7 Déchets organiques.....	5
I.2.8 Déchets inorganiques	5
I.3.Durée de décomposition des déchets solides	6
I.4.Déchets d'équipement électrique et électronique (DEEEouD3E).....	6
I.5. Catégorisation des déchets d'équipement électrique et électronique	8
I.6. Impact des déchets d'équipement électrique et électronique	9
I.7. Substances toxiques dans les appareils électroniques	9
I.7.1 Plomb.....	9
I.7.2 Mercure.....	9
I.7.3 Cadmium.....	10
I.7.4 Antimoine	10
I.7.5 Chrome.....	10
I.7.6 Les agents ignifuges bromés	10
I.7.7 PlastiquePVC	10
I.8. Convention de Bâle sur le contrôle des mouvements transfrontières de déchets dangereux et leurs éliminations	11
I.9. Cadre législatif et réglementaire de la gestion des déchets en Algérie	11
I.10. Acteurs impliqués dans la gestion des déchets en Algérie	13
I.11. Recyclage des déchets d'équipement électrique et électronique	14
I.11.1 Collecte.....	15
I.11.2 Démantèlement	16

I.11.3 Broyage.....	16
I.11.4 Séparation	17
I.12. Procédés d'extraction des métaux contenus dans les DEEE	17
I.12.1 Extraction par les procédés d'hydrométallurgie	17
I.12.2 Extraction par les procédés de pyrométallurgie	19
Chapitre II.....	
II.1 Voltampérométrie cyclique	22
II 1.1 Principe de la Voltampérométrie	23
II.2.Spectroscopie UV-visible.....	24
Chapitre III.....	
III.1. Présentation de l'entreprise Condor	27
III.2. Etat des DEEE au niveau de l'entreprise.....	27
III.3. Présentation des échantillons collectés au niveau de l'entreprise.....	29
III.4.Démantèlement des déchets collectés au niveau de l'entreprise	31
III.5.Protocole de récupération de l'argent (Ag) et le palladium (Pd) à partir des condensateurs céramiques (MLCC)	33
III.6. Analyse de la poudre (Ag) récupérée	35
III.6.1 Caractérisation par spectroscopie UV-visible	35
III.6.2 Caractérisation par Voltampérométrie cyclique	39
III.6.3 Caractérisation par voltampérométrie cyclique(Pd)	41
III.6.4 Spectroscopie UV-visible(Pd)	42
III.7. Protocole de récupération de l'Or (Au) à partir du microprocesseur	42
III.8. Analyse de la poudre d'argent récupérée par les méthodes électrochimiques	44
III.8.1 Spectroscopie UV-visible.....	44
III.8.2Caractérisation par voltampérométrie cyclique	45
La conclusion générale.....	47

Liste des figures

Figure I.1: Déchets ménagers et assimilés	3
Figure I.2 : Déchets inertes	4
Figure I.3 : Déchets d'activités de soins	4
Figure I.4: Déchets agricoles	5
Figure I.5 : Les déchets organiques.....	5
Figure I.6 : Déchets d'équipement électrique et électronique.....	7
Figure I.7 : Représentation graphique de la filière de traitement des DEEE	15
Figure I.8 : Collecte des déchets	15
Figure I.9: Démantèlement.	16
Figure I.10: Broyage	16
Figure I.11 : Séparation par courant de Foucault	17
Figure II 1 : Cellule électrochimique	22
Figure II 2 : Potentiostat/galvanostat	22
Figure II 3 : Voltampérogramme cyclique entre E_1 et E_2 d'un système rapide.	23
Figure II 4 : Schéma d'un spectrophotomètre et spectrophotomètre UV-visible (UV 170).25	
Figure III 1 : Déchets SPA Condor	28
Figure III 2 : Déchets qui ont été récupérés durant le stage pratique.....	30
Figure III 3: Démantèlement d'un déchet (une carte mère de pc et carte mère de télévision)	31
Figure III 4: Composants récupérés	32
Figure III 5 : Condensateurs céramiques multicouches.....	33
Figure III 6 : Protocole de récupération d'une poudre argentée supposé que c'est du Ag, à partir des condensateurs céramiques (MLCC).....	34
Figure III 7 : Protocole de récupération d'une poudre supposé que c'est du Pd, à partir des condensateurs céramiques (MLCC)	35
Figure III 8 : les solutions standards d'AgNO ₃ à différentes concentrations (10 – 20 –50 –100ppm)	35
Figure III 9 : Spectres UV-visible des solutions standards AgNO ₃ à différentes concentrations	36
Figure III 10: Courbe d'étalonnage AgNO ₃	37
Figure III 11: Variation de longueur d'onde en fonction de la concentration de Ag ⁺	37
Figure III 12: Spectres UV-visible du produit récupéré	38

Figure III 13 Voltampérogrammes cycliques relatifs à une solution de AgNO₃200 ppm/ HNO₃ (1M), à v =50mV/s	39
Figure III 14 Voltampérogrammes cycliques relatifs à une solution de poudre récupérée 200 ppm/ HNO₃ (1M), à v =50mV/s	40
Figure III 15 : la formation de dépôt au niveau de la solution récupérée.....	40
Figure III 16 : voltampérogrammes cycliques relatifs à une solution l'acide nitrique et 0.01g de la poudre récupérée (Pd) à une vitesse de balayage de 50mV.s⁻¹	41
Figure III 17. Voltampérogramme cyclique d'une électrode en palladium relative à une solution NaOH (0,5M) enregistré entre -0,4 and -0,75 V vs. Ag/AgCl à une vitesse de balayage de 50mV.s⁻¹	41
Figure III 18: Spectres UV-visible d'Pd récupéré	42
Figure III 19:les microprocesseurs.....	43
Figure III 20: Spectres UV-visible d'Or récupéré	45
Figure III 21 : voltampérogrammes cycliques relatifs à une solution de H₂SO₄ de 10 mg de la poudre récupérée (Or)	45

Liste des tableaux

Tableau I.1 : Durée de décomposition des déchets solides	6
Tableau I.2 : Substances dangereuses des composants électroniques.....	8
Tableau I.3 : Procédés hydrométallurgiques utilisés pour récupérer les métaux.....	18
Tableau I.4 : Procédés pyrométallurgiques utilisés pour récupérer les métaux.....	20
Tableau III 1 : Poids des éléments récupérés	32

Liste des abréviations

ISO: International Organisation for Standardisation. (Organisation internationale pour la normalisation)

DMA : Déchets ménagers et assimilés

DS : Déchets spéciaux

DSD : Déchets spéciaux dangereux

DI : Déchets inertes

DAS: Déchets d'activités de soins

PCB : Polychlorobiphényle

PVC : Le polychlorure de vinyle

DEEE : Déchets d'Equipements Electriques et Electroniques.

PCB: Printed Circuit Board

ME : Le Ministère de l'Environnement

AND : l'Agence Nationale des Déchets

CET : Centre d'Enfouissement Technique.

MICLAT : Le Ministère de l'Intérieur, des Collectivités Locales et de l'Aménagement du Territoire.

APC : Assemblées Populaires Communales.

EPIC : Etablissement public à caractère industriel et commercial

ECS: électrode de référence à calomel saturée

SPA: service public administratif

OMC : organisation mondiale du commerce

Introduction

Introduction générale:

En effet, pour tous les pays, la gestion des déchets électriques et électroniques reste très problématique. La plus part des déchets électriques et électroniques contiennent des métaux lourds. Ainsi, lorsque ces déchets ne sont pas traités de façon appropriée, ils peuvent causer un impact négatif sur la santé et l'environnement.

En Algérie, la constitution nationale 2015, à travers les articles 66 et 68, exprime clairement l'importance de la protection de la santé publique et le droit à un environnement sain. Pour ce faire, le pays a réalisé au cours des deux dernières décennies, des efforts considérables tant dans la prise en charge des déchets ménagers assemblés que pour les déchets spéciaux et déchets spéciaux dangereux.

Ces efforts ont certes permis un tant soit peu, de satisfaire les besoins à court terme du secteur des déchets dans plusieurs wilayas, sauf que Cette dernière, s'est avérée minime du point de vue économique et sociale, hypothéquant ainsi, la durabilité des investissements. L'absence d'efficacité économique des différentes activités constituent un maillon faible dans le système de gestion des déchets.

Il faut noter qu'à ce jour on ne dispose pas d'infrastructures de stockage, de dépollution, de recyclage des déchets des équipements électriques et électroniques et de valorisation adaptées. Ainsi, ces déchets sont pris en charge par le secteur informel insuffisamment équipé et sans aucune formation pour les gérer dans de bonnes conditions.

En effet, les procédés de recyclage informel appliquent le démantèlement manuel à l'aide d'outils comme les marteaux, les tournevis, etc. et constituent le traitement primaire permettant la séparation des matériaux et composants hétérogènes. Après le démantèlement et le prétraitement, les composants réutilisables sont parfois vendus aux ateliers de réparation qui les revendent au marché des objets d'occasion. Les matériaux à valeur ajoutée restants contenant du cuivre, de l'aluminium et de l'acier, ainsi que les cartes à circuits imprimés, sont classés pour un traitement plus poussé.

D'où le besoin de mettre en place un projet de décret réglementant la gestion des équipements électriques et électroniques en vue de minimiser les impacts négatifs liés à ces déchets. Les métaux que constituent nos DEEE est un vrai gisement de métaux précieux en Algérie, rentable, mais, bizarrement, aucun investissement n'est à l'ordre du jour pour le moment pour une prise en charge effective des déchets d'équipement électriques et

électroniques, comment les entreprises générant ce type de déchets, font pour les gérer ? Il serait intéressant de se poser une question très simple, Quoi faire avec ces déchets et que deviennent-ils ?

Ce travail a consisté à faire une étude pour récupérer des métaux précieux à partir des déchets d'équipements électriques et électroniques de l'entreprise SPA CONDOR au niveau de la zone industrielle de Bordj Bou Arréridj.

Ce mémoire est constitué de trois chapitres :

Dans le premier chapitre, nous allons tout d'abord présenter les déchets et leurs catégories ensuite les procédés de traitements des déchets, à la fin les réglementations Algérienne en face de déchets spéciaux et autres.

Dans le deuxième chapitre, nous décrirons les méthodes expérimentales utilisées dans cette étude et qui sont : la voltampérométrie cyclique et la spectroscopie UV-Visible.

Dans le dernier chapitre, nous allons présenter le mode opératoire de recyclage des métaux Argent, or et palladium et sa caractérisation électrochimique et spectroscopique.

Chapitre I:

Recherche bibliographique

I.1.Définition d'un déchet

On entend par 'déchets' des substances ou objets qu'on élimine, qu'on a l'intention d'éliminer ou qu'on est tenu d'éliminer en vertu des dispositions du droit national [1]. Selon la réglementation algérienne, un déchet est défini comme tout produit résidu d'un processus de production, de transformation ou d'utilisation, ou dont il a l'obligation de se défaire ou d'éliminer [2].

I.2.Classification des déchets

Il existe une grande variété de déchets. Ils peuvent être classés selon différents critères, selon le producteur du déchet ou les propriétés du déchet.

Ce classement permet de distinguer les règles applicables par les acteurs de la gestion des déchets et de moduler ces règles en fonction des capacités du producteur et des risques associés à la manipulation du déchet.

I.2.1.Déchets ménagers et assimilés DMA:

Tous déchets issus des ménages ainsi que les déchets similaires provenant des activités industrielles(Figure I.1), commerciales, artisanales, et autres qui, par leur nature et leur composition sont assimilables aux déchets ménagers .



Figure I.1: Déchets ménagers et assimilés .

I.2.2.Déchets spéciaux DS :

Les déchets spéciaux sont tous déchets issus des activités industrielles, agricoles, de soins, de services et toutes autres activités qui en raison de leur nature et de la composition des matières qu'ils contiennent ne peuvent être collectés, transportés et traités dans les mêmes conditions que les déchets ménagers et assimilés et les déchets inertes.

I.2.3.Déchets spéciaux dangereux DSD: tous déchets spéciaux qui par leurs constituants ou par les caractéristiques des matières nocives qu'ils contiennent sont susceptibles de nuire à la santé publique et/ou à l'environnement.

I.2.4.Déchets inertes DI:

Tous déchets provenant notamment de l'exploitation des carrières, des mines, des travaux de démolition (Figure I.2), de construction ou de rénovation, qui ne subissent aucune modification physique, chimique ou biologique lors de leur mise en décharge, et qui ne sont pas contaminés par des substances dangereuses ou autres éléments générateurs de nuisances, susceptibles de nuire à la santé et /ou à l'environnement.



Figure I.2 : Déchets inertes .

I.2.5.Déchets d'activités de soins DAS:

Tout déchet issu des activités de diagnostic, de suivi et de traitement préventif, palliatif ou curatif dans les domaines de la médecine humaine ou vétérinaire et tous les déchets résultant des activités des hôpitaux publics(Figure I.3), des cliniques, des établissements de la recherche scientifique, des laboratoires d'analyses opérant dans ces domaines et de tous établissements similaires.



Figure I.3 : Déchets d'activités de soins.

I.2.6.Déchets agricoles :

Tout déchet organique généré directement par des activités agricoles ou par des activités d'élevage ou de jardinage (gazon, branchage...) (Figure I.4).



Figure I.4: Déchets agricoles.

En plus de cette classification, les déchets solides peuvent également être regroupés en déchets organiques et inorganiques :

I.2.7. Déchets organiques :

Les termes suivants recouvrent la même notion : déchets biodégradables ou compostables, les bio-déchets ou les déchets fermentescibles. Un déchet organique est tout déchet pouvant subir une décomposition biologique naturelle, anaérobie ou aérobie (Figure I.5). Il s'agit de : (résidus verts, boues d'épuration des eaux, déchets organiques de la cuisine, journal, fleurs coupées...), Ces déchets peuvent être dégradés par les bactéries, champignons et autres micro-organismes et/ou par des réactions chimiques (oxydation, minéralisation). S'ils n'étaient pas contaminés .



Figure I.5 : Les déchets organiques.

I.2.8. Déchets inorganiques :

Il s'agit de déchets qui, en raison de leurs caractéristiques chimiques, subissent une désintégration naturelle très lente. Nombre de ces déchets peuvent être recyclés par des méthodes complexes, comme les boîtes de conserve, certains plastiques, le verre ou le caoutchouc. Dans d'autres cas, leur recyclage ou leur transformation n'est pas possible, comme dans le cas des piles, qui sont dangereuses et polluantes.

I.3. Durée de décomposition des déchets solides:

Il est regrettable qu'une quantité astronomique de déchets terminent leur vie dans la nature faute d'un investissement dans le tri sélectif qui pourrait considérablement augmenter la quantité de produits recyclés qui seraient la même quantité (Tableau I.1).

Tableau I.1 : Durée de décomposition des déchets solides

Types déchets	Durée de décomposition moyenne
Mouchoir en papier	3 mois
Journal	3 à 12 mois
Allumettes	6 mois
Cannete en aluminium	200 à 500 ans
Sac en plastique	450 ans
Carte téléphonique	1000 ans

Comme vous pouvez le voir, ces déchets prennent beaucoup de temps à se décomposer, il est donc important de veiller à réduire la quantité de déchets produits, autrement, une grande partie d'entre eux sont recyclables.[3]

I.4. Déchets d'équipement électrique et électronique (DEEE ou D3E) :

Les Déchets d'Equipements Electriques et Electroniques sont une catégorie de déchets, constituée d'équipements en fin de vie, fonctionnant à l'électricité ou via des champs électromagnétiques et conçus pour être utilisés à une tension ne dépassant pas 1000 volts en courant alternatif et 1500 volts en courant continu.

Qui font partie de ces déchets :

Les appareils électroménagers, l'électronique de loisir, les appareils informatiques et bureautiques, ceux utilisés pour les distributeurs de billets, les outils électriques, les installations de mesure, de commande et de réglage, les installations d'éclairage, les jouets, les montres, les appareils de laboratoires et les appareils médicaux, les appareils d'enregistrement et de reproduction d'images etc.... dans la mesure où ils contiennent des composants électriques ou électroniques (Figure I.6)[4].



Figure I.6 : Déchets d'équipement électrique et électronique.

Les déchets d'équipement électrique et électronique sont des déchets variés de composition complexe (Tableau I.2). Ils sont composés en majeure partie de

- Métaux ferreux et non ferreux (10 à 85%),
- Matériaux inertes : verre (hors tube cathodique), bois, béton... (0 à 20%),
- Plastiques contenant ou non des retardateurs de flamme halogénés (1 à 70%).

Mais également de:

- Fluides frigorigènes (Fréon, Foraine, Iscéon...).
- Piles et accumulateurs.
- Tubes cathodiques (environ 65 % sur un téléviseur),
- Condensateurs pouvant contenir des polychlorobiphényles (produit toxique),
- Cartes électroniques,
- Ecrans à cristaux liquides,
- Relais ou commutateurs au mercure,
- Câble,
- Cartouches et toners d'imprimante.

Tableau I.2 : Substances dangereuses des composants électroniques [5]

Sources	Composants	Substances dangereuses
Téléviseurs, moniteurs	Tubes cathodiques	Métaux lourds (baryum, plomb, cadmium)
Presque tous les équipements électroniques	Circuits imprimés	Métaux lourds (plomb, étain, mercure, béryllium, cadmium)
Appareils portables	Piles	Métaux lourds (mercure, cadmium, lithium, plomb)
Afficheurs à cristaux liquides	Lampes à cathode froide	Mercure, cadmium
Tubes au néon	Lampes au néon	Mercure
Revêtements isolants, boîtiers, circuits imprimés	plastiques	Diphényles poly-chlorés, ignifugeants bromés, dioxines, hydrocarbures poly-aromatiques
Diodes électroluminescentes	Lampes témoins	Gallium, arséniure
Détecteurs de fumée	Capteurs	Éléments radioactifs
Climatiseurs	Unité de refroidissement	CFC (Chlorofluorocarbure)
Photocopieurs	Tambour	Sulfure de zinc

I.5. Catégorisation des déchets d'équipement électrique et électronique :

Les déchets d'équipement électrique et électronique peuvent être classés en dix catégories distinctes [6]

- Catégorie 1 : Gros appareils ménagers (four, table de cuisson, etc.),
- Catégorie 2 : Petits appareils ménagers (cafetière, radio, etc.),
- Catégorie 3 : Équipements informatiques et de télécommunications,
- Catégorie 4 : Matériel grand public (caméscope, télévision, etc.),
- Catégorie 5 : Matériel d'éclairage,
- Catégorie 6 : Outils électriques et électroniques (à l'exception des gros outils industriels fixes),
- Catégorie 7 : Jouets, équipements de loisir et du port,
- Catégorie 8 : Dispositifs médicaux (à l'exception des produits implantés ou infectés),
- Catégorie 9 : Instruments de surveillance et de contrôle,
- Catégorie 10 : Distributeurs automatiques.

I.6. Impact des déchets d'équipement électrique et électronique :

Les conséquences environnementales de la production des biens électriques et électroniques dépassent de loin celles de la fabrication d'autres produits. Le problème lié aux déchets électroniques est en point de mire des milieux spécialisés. De plus, la quantité de déchets électroniques produite augmente en raison du nombre croissant d'appareils utilisés dans les ménages, les bureaux et plus généralement dans le monde moderne. Lors de sa vie utile, un équipement informatique ne pose généralement pas de problème d'émission de substances toxiques. En tant que déchet électronique par contre, ces équipements sont potentiellement en mesure d'émettre de nombreux éléments toxiques si la gestion de la fin de vie de ces équipements n'est pas assurée adéquatement et ne respecte pas l'environnement .

Tout cela a des conséquences néfastes sur l'environnement, car environ 70 % des matières premières des déchets spécifiques sont contaminées et ne sont pas toujours correctement traitées. En outre, dans de nombreux pays, la population n'a pas conscience des problèmes engendrés par les déchets informatiques et cela augmente le problème. Les appareils électriques et électroniques sont des produits complexes, fabriqués à partir de nombreuses matières ayant des effets sur l'environnement et l'élimination et le recyclage de ce genre de déchets constitue un problème à cause de ces matières polluantes comme le plomb, le cadmium ou le polychlorobiphényle [7].

I.7. Substances toxiques dans les appareils électroniques :

Les substances toxiques présentes dans les déchets électroniques sont les métaux lourds (plomb, cadmium, chrome, cuivre, mercure), les éléments comme l'arsenic et le sélénium, ainsi que des retardateurs de flammes bromés (RFB) [8].

I.7.1 Plomb

Le traitement inadéquat des déchets informatiques peut amener à une contamination de l'air, de l'eau et du sol par le plomb et ses composés inorganiques. Lors de l'incinération des déchets, le plomb utilisé pour les soudures peut être volatilisé dans l'air. L'oxyde de plomb qui est contenu dans le tube cathodique est soluble et il peut contaminer le sol ou les eaux par l'intermédiaire des eaux de lixiviation si ces déchets sont enfouis. Le plomb est toxique pour l'humain de façon chronique. Il est bioaccumulable et possède des effets néfastes sur le système digestif, le système nerveux, le système sanguin et les reins.

I.7.2 Mercure

Le mercure est présent principalement dans les batteries et dans les écrans plats. Le mercure est bioaccumulable et possède des effets néfastes, tant en exposition aiguë que chronique. Absorbé principalement par les voies respiratoires sous forme de vapeur ou par la

peau, il a des effets sévères sur le système nerveux central et périphérique. Il se volatilise à température ambiante et dans l'eau, il forme du méthyle-mercure qui contamine les sédiments et toute la chaîne alimentaire. L'incinération et l'enfouissement non contrôlés des déchets électroniques contribuent donc à la contamination de l'environnement par le mercure.

I.7.3 Cadmium :

Cet élément chimique est utilisé dans certains composants électroniques en plus d'être un composant majeur pour certaines gammes de batteries rechargeables. Il est bioaccumulable et absorbé principalement par les voies respiratoires et digestives. Une contamination aiguë au cadmium peut entraîner des problèmes respiratoires, digestifs et une insuffisance rénale. Ses effets chroniques touchent principalement les reins et il est cancérigène.

I.7.4 Antimoine :

Il est utilisé dans certains composants électroniques en plus d'être un agent retardateur de flammes et un composant de soudure. Ce produit peut être absorbé par les voies respiratoires, la peau et les voies digestives en particulier. Il induit des problèmes au niveau de la peau et des muqueuses, du système digestif et du foie en particulier.

I.7.5 Chrome :

Ce produit était utilisé couramment comme agent de placage pour le traitement des métaux ferreux, mais son utilisation tend à diminuer du fait de sa toxicité. L'incinération et l'enfouissement non contrôlés sont tous les deux des sources d'émissions de chrome dans l'environnement. Il présente des effets hautement toxiques pour l'humain lors d'une exposition chronique, dont des troubles respiratoires, des dommages hépatiques et rénaux, des risques accrus de cancer et des modifications du bagage génétique. Il est de plus un contaminant pour l'environnement.

I.7.6 Les agents ignifuges bromés

Ces composés sont incorporés aux plastiques comme agents retardateurs de flamme. En ce qui concerne la problématique des déchets électroniques, l'incorporation d'additifs dans les plastiques rend leur recyclabilité plus complexe, voire impossible. En cas d'incinération à température insuffisamment élevée, les ignifuges bromés et les plastiques et autres hydrocarbures peuvent se combiner avec des halogènes pour former des dioxines et des furanes.

I.7.7. Plastique PVC

Le polychlorure de vinyle (PVC) est utilisé dans les équipements électroniques pour la fabrication du boîtier et du câblage. Ce matériau est recyclable, mais présente des inconvénients environnementaux importants, notamment l'émission de dioxines et furanes

lors de sa fabrication et de son incinération. Du fait de la présence de chlore dans ce type de plastique, sa présence complexifie les opérations de la chaîne de mise en valeur de l'ensemble des plastiques, notamment pour les applications de valorisation énergétique. Plusieurs fabricants d'équipements cherchent à éliminer l'utilisation de PVC dans les nouvelles générations de produits.

I.8. Convention de Bâle sur le contrôle des mouvements transfrontières de déchets dangereux et leurs éliminations :

On compte aujourd'hui 181 signataires dont l'Algérie qui a agréé la convention par le décret présidentiel n° 98-158 du 16 mai 1998 portant adhésion avec réserve de la république algérienne démocratique et populaire, à la convention de Bâle sur le contrôle des mouvements transfrontières des déchets dangereux et de leur élimination.

La Convention de Bâle, est un traité international destiné à réduire la circulation des déchets dangereux entre les pays. Un nombre extrêmement important de déchets dangereux est en effet exporté dans les pays développement qui ne disposent, ni de moyens techniques leur permettant d'éliminer les déchets dangereux selon des méthodes écologiquement rationnelles, ni d'un cadre juridique et administratif pour contrôler et prévenir la mise en décharge illicite de déchets dangereux.

Les principaux objectifs de la convention de Bâle sont :

- Réduire les mouvements transfrontières et contrôler toute autorisation d'exportation ou d'importation de déchets.
- Diminuer, à la source, la production de déchets dangereux (quantité et toxicité) et en assurer une gestion écologiquement rationnelle y compris le traitement et l'élimination des déchets aussi près que possible de leur source de production.
- Aider les pays en développement dans la gestion écologiquement rationnelle de déchets dangereux et autres déchets qu'ils produisent.

I.9. Cadre législatif et réglementaire de la gestion des déchets en Algérie :

Depuis les débuts des années 2000, un important arsenal juridique a été mis en place, afin de permettre à l'Algérie de se mettre en conformité avec les engagements internationaux auxquels le pays a souscrit, et assurer la prise en charge des questions environnementales dans

la perspective d'un développement durable. Les lois relatives à la gestion des déchets qui ont été mis :

- Loi n°01-19 du 12 décembre 2001 relative à la gestion, au contrôle et à l'élimination des déchets.
- Loi n°01-21 du 22 décembre 2001 portant loi de finances pour 2002 (Modifiée par la loi de finances 2005) : taxe d'incitation au déstockage des déchets industriels spéciaux.
- Décret exécutif n°03-477 du 09 décembre 2003 fixant les modalités et les procédures d'élaboration, de publication et de révision du plan national de gestion des déchets spéciaux.
- Décret exécutif n°04-409 du 14 décembre 2004 fixant les modalités de transport des déchets spéciaux dangereux.
- Décret exécutif n°04-410 du 14 décembre 2004 fixant les règles générales d'aménagement et d'exploitation des installations de traitement des déchets et les conditions d'admission de ces déchets au niveau de ces installations.
- Décret exécutif n°05-314 du 10 septembre 2005 fixant les modalités d'agrément des groupements de générateurs et/ou détenteurs de déchets spéciaux.
- Décret exécutif n°05-315 du 10 septembre 2005 fixant les modalités de déclaration des déchets spéciaux dangereux.
- Décret exécutif n°06-104 du 28 février 2006 fixant la nomenclature des déchets, y compris les déchets spéciaux dangereux.
- Décret exécutif n° 07-205 du 30 juin 2007 fixant les modalités et procédures d'élaboration, de publication et de révision du schéma communal de gestion des déchets ménagers et assimilés.
- Décret exécutif n°09-19 du 20 janvier 2009 portant la réglementation de l'activité de collecte des déchets spéciaux.
- Décret exécutif n°19-10 du 23 janvier 2019 portant la réglementation de l'exportation des déchets spéciaux dangereux de l'activité de collecte des déchets spéciaux.

Dans le secteur de la gestion des déchets, la loi 01-19 est renforcée par plusieurs textes d'application tout en prenant en compte les principes suivants :

- ✓ La prévention, la réduction de la production et de la nocivité des déchets à la source;
- ✓ L'organisation du tri, de la collecte, du transport et du traitement des déchets;

- ✓ La valorisation des déchets par leur réemploi, leur recyclage et toute autre action visant à obtenir, à partir de ces déchets, des matériaux réutilisables ou de l'énergie;
- ✓ Le traitement écologiquement rationnel des déchets;
- ✓ L'information et la sensibilisation des citoyens sur les risques présentés par les déchets et leur impact sur la santé et l'environnement, ainsi que les mesures prises pour prévenir, réduire ou compenser ces risques.

Le mouvement transfrontalière des déchets est régit par la loi 01/19 relative à la gestion, contrôle et élimination des déchets ainsi que décret exécutif n° 19-10. La loi 01-19 dans l'article 25 interdit strictement l'importation des déchets. L'exportation et le transit des déchets spéciaux dangereux sont prohibés vers les pays qui en interdisent l'importation et vers les pays qui n'ont pas interdit cette importation en l'absence de leurs accords spécifiques et écrits.

I.10. Acteurs impliqués dans la gestion des déchets en Algérie :

Plusieurs acteurs tant au niveau national que local, sont directement impliqués dans la gestion des déchets en Algérie. Parmi ces acteurs [9]:

- Le Ministère de l'Environnement (ME) à travers ses différents instruments notamment, l'Agence Nationale des Déchets (AND), dont la mission principale est l'accompagnement et l'appui des acteurs actifs dans le secteur de la gestion des déchets notamment les collectivités locales (Communes, Opérateurs de Collecte, Établissement de gestion des CET...).
- Le Ministère de l'Intérieur, des Collectivités Locales et de l'Aménagement du Territoire (MICLAT) assure l'appui financier et logistique des Assemblées Populaires Communales (APC) par l'octroi de subventions annuelles. Le montant réservé à la gestion des déchets urbains est assez appréciable.
- D'autres Ministères sont impliqués dans le domaine de la gestion des déchets, en l'occurrence, le Ministère de la Santé et de la Réforme Hospitalière pour les déchets d'activités de soin (DAS), le Ministère de l'industrie pour les déchets spéciaux et spéciaux dangereux (DS/DSD), le Ministère de l'Agriculture pour les déchets phytosanitaires, le Ministère de la Pêche et des Ressources halieutiques pour les déchets marins, ...

Au niveau local, la gestion des déchets est assurée essentiellement par des entités, à savoir :

- Assemblée Populaire Communal (APC) : Elle est responsable de la gestion des déchets au niveau local sur le plan financier et opérationnel (balayage, collecte et transport). Ces tâches pourraient être déléguées aux opérateurs privés selon des cahiers de charges bien précis.
- EPIC (Etablissement public à caractère industriel et commercial) de collecte et de nettoyage : Ces établissements de wilaya et/ou communaux sont créés par des arrêtés de Walis portant les conditions de leur organisation et fonctionnement. Ils sont responsables de la collecte et du transport des DMA.
- EPIC de Gestion des CET (EPWG-CET) : Elle est créée par arrêté du Wali et a pour mission la gestion des centres d'enfouissement techniques de la wilaya concernée.
- D'autres entités publiques sont concernées par la gestion des déchets au niveau local, à l'image des directions de l'environnement des wilayas (DEW), le bureau communal d'hygiène, les établissements sanitaires publics, ...

I.11. Recyclage des déchets d'équipement électrique et électronique :

le recyclage mécanique des déchets d'équipement électrique et électronique peut être largement divisé en trois grandes étapes [10](Figure I.7):

- ✓ **Etape 1** : Démontage (démantèlement), qui nécessite le ciblage pour distinguer les composants dangereux de ceux qui sont précieux.
- ✓ **Etape 2** : Mise à niveau, qui se fait grâce à un traitement mécanique / physique pour mettre à niveau la teneur en matières souhaitables, à savoir la préparation de matériaux pour les processus de raffinage.
- ✓ **Etape 3** : Raffinage, les matériaux récupérés reviennent à leur cycle de vie. Le démontage et la mise à niveau sont deux processus clés dans le recyclage mécanique des DEEE.

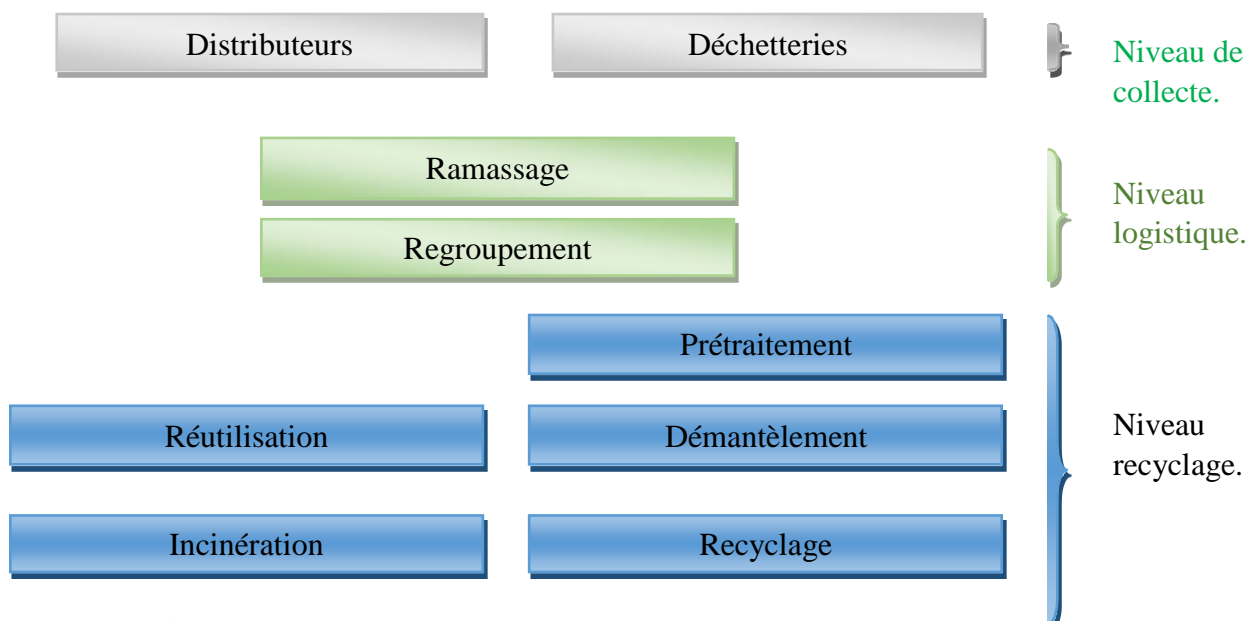


Figure I.7 : Représentation graphique de la filière de traitement des DEEE [11].

Le traitement des déchets s'appuie sur une logistique et des équipements de collecte, de transport et de traitement. Du producteur au traitement, les déchets doivent être collectés puis être transportés jusqu'aux installations dédiées. Le traitement s'effectue essentiellement selon les étapes suivantes.

I.11.1 Collecte :

La collecte des déchets désigne l'ensemble des opérations qui consistent à regrouper les déchets depuis leurs sources de production, puis à les transporter jusqu'aux centres de traitement (Figure I.8).



Figure I.8 : Collecte des déchets.

I.11.2Démantèlement :

Le démantèlement a pour objectif de retirer les composants contenant des substances dangereuses tels que les écrans cathodiques, les piles, les lampes à décharge, et d'obtenir des sous-ensembles ou des pièces aptes à être valorisés de façon optimale d'un point de vue matière (Figure I.9). Généralement on extrait :

- Les cartes électroniques pour leur contenu en métaux précieux;
- Les tubes cathodiques et autres composants dangereux;
- Les boîtiers plastiques destinés à être valorisés dans les filières plastiques;
- Les pièces métalliques composées de fer, cuivre, aluminium présents dans les câbles, les bobinages, les coffrets...



Figure I.9 : Démantèlement.

I.11.3Broyage :

Le broyage est l'une des principales étapes de recyclage des DEEE, il consiste à diminuer la taille des déchets, le but du broyage est de réduire des matières solides d'une taille donnée à une taille plus petite, en les fragmentant (Figure I.10).



Figure I.10 : Broyage.

I.11.4 Séparation :

C'est une étape très importante dans le processus de recyclage des DEEE, car elle permet la séparation et le tri de plusieurs métaux. On utilise la séparation magnétique lorsqu'il faut séparer une quantité importante des substances métalliques à partir du flux de matières déjà broyées.

La séparation par courant de Foucault (courant est provoqué par la variation de champ magnétique extérieur qui traverse la masse ou par le déplacement de cette dernière au sein du champ) est utilisée pour la séparation des métaux non ferreux, comme son nom l'indique cette technique utilise le courant de Foucault pour repousser les matériaux non métalliques du convoyeur et alors ils seront séparés (Figure I.11). La flottaison est la technique utilisée pour la séparation des plastique en se basant sur le principe de la différence de la masse volumique des déchets à séparés et la masse volumique du liquide dans lequel ces déchets sont plongés.

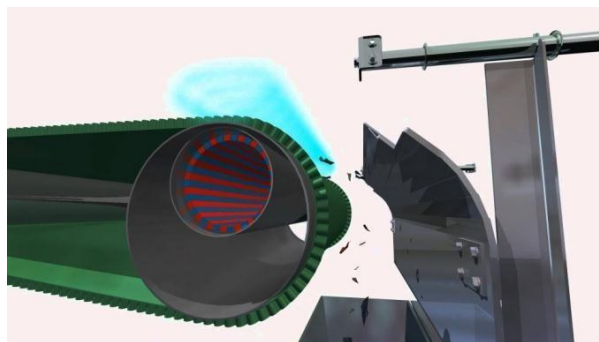


Figure I.11 : Séparation par courant de Foucault.

I.12. Procédés d'extraction des métaux contenus dans les DEEE :

La métallurgie est l'art d'extraire les métaux de leurs minerais. Compte tenu du caractère oxydant de l'atmosphère terrestre, les minerais contiennent généralement les éléments métalliques à l'état oxydé (carbonates, sulfures ...). Les deux grands procédés utilisés dans l'extraction des métaux sont :

- L'hydrométallurgie.
- L'pyrométallurgie.

Le **tableau I.3** présente les procédés hydrométallurgiques les plus utilisés pour récupérer les métaux présents dans les DEEE. L'hydrométallurgie permet d'extraire et de récupérer des métaux en utilisant des solutions aqueuses. Ce procédé est appliqué à une solution contenant un ou plusieurs métaux recherchés sous la forme d'ions.

Tableau I.3 : Procédés hydrométallurgiques utilisés pour récupérer les métaux [12].

Métal récupéré	Principales caractéristiques du procédé
Au	Traitement des puces électroniques avec du HNO ₃ pour dissoudre les métaux communs, lixiviation avec de l'eau régale, précipitation de l'or avec un sulfate ferreux
Au et Ag	Traitement des rebuts électroniques de moins de 0,5 mm avec du KI et du I ₂ ou du NaCl, extraction par solvant pour récupérer l'or et l'argent
Ni	Lixiviation du nickel à partir de condensateurs en céramique en utilisant une solution 1M de HNO ₃ à 90°C, 90 minutes de réaction et densité de pulpe de 5g/l
Au(98%), Pd(96%), Pt(92%), Ag(84%)	Dissolution du métal commun dans du H ₂ SO ₄ et MgCl, dissolution des métaux précieux dans du HCl et des ions de bromure, cémentation de l'or avec de la poudre de zinc
Cu (98%)	Dissolution du cuivre avec du H ₂ SO ₄ et de l'eau régale, extraction électrolytique du cuivre
Cu, Ag (93%), Pd(99%), Au(95%)	Lixiviation du cuivre avec de l'acide sulfurique, lixiviation du palladium avec du chlore, lixiviation de l'or et de l'argent avec du thiocarbamide, absorption de l'or, de l'argent et du palladium avec du charbon actif
Au (92%), Ag, Pd	Dissolution de métal commun dans du HCl ou du H ₂ SO ₄ , lixiviation de l'argent, de l'or et du palladium avec du HCl et NaClO ₃ , précipitation de l'or avec du FeCl ₂
Au	Lixiviation des rebuts électroniques avec des solutions basiques de NaCl, CuCO ₃ et HCl
Sn, Pb	Dissolution des soudures dans des solutions de Ti acides. Récupération du titane et du plomb par électrolyse
Cu, Pb, Sn	Lixiviation des cartes électroniques avec du HNO ₃ , électrolyse pour les métaux communs
Au	Traitement thermique, lixiviation de l'or avec de l'eau régale, extraction par solvant de l'or avec du malonate de diéthyle, précipitation de l'or avec du sulfate de fer
Au	Traitement alcalin en autoclave à 80°C-190°C pour retirer l'aluminium, traitement en autoclave à basse pression pour retirer les métaux non ferreux
Ni et Au	Lixiviation des métaux communs avec de l'acide sulfurique et un agent de réduction au sulfate de fer, eau régale pour la lixiviation des métaux précieux

I.12.1Extraction par les procédés d'hydrométallurgie :

Pour obtenir des métaux purs, il est nécessaire de mettre en œuvre différentes étapes. L'hydrométallurgie concerne la préparation des métaux en phase aqueuse suivant quatre étapes:

- ✓ **Dissolution acide** (lixiviation) : C'est l'attaque d'un minerai par une solution aqueuse généralement acide ou basique. La dissolution est effectuée vers 55 à 65 °C, la chaleur étant apportée par la dissolution des oxydes.
- ✓ **Précipitation** : des ions Fe(II) et Fe(III) pour leur élimination.
- ✓ **Purification par cémentation** : La cémentation, l'un des plus anciens procédés électrochimiques mis en jeu en métallurgie consiste en la réduction d'un cation métallique par un métal.
- ✓ **Electrolyse** : obtention d'un métal très pur.

I.12.2Extraction par les procédés de pyrométallurgie

La pyrométallurgie, comme l'hydrométallurgie, fait appel à des procédés utilisant de hautes températures pour obtenir et affiner des métaux. Elle peut être utilisée pour extraire des métaux à partir du minerai, directement ou à partir de concentré, en utilisant la chaleur. Les températures utilisées pour ce faire dépassent généralement les 950°C. Il s'agit d'une technique rapide qui permet de traiter de grandes quantités de minéraux.

On trouvera dans le Tableau I.4 une description des procédés pyrométallurgiques les plus souvent utilisés pour récupérer les métaux contenus dans les DEEE.

Tableau I.4 : Procédé pyrométallurgiques utilisés pour récupérer les métaux [13].

Métal récupéré	Caractéristiques du procédé	Résultats obtenus
Cu, Au, Ag, Pt, Pd, Se, Te, Ni	Fusion de cuivre et de concentrés de cuivre, transformateur, four de fusion, électro affinage du métal	Taux élevé de récupération du cuivre et de métaux précieux
Cu, Au, Ag, Pt, Pd, Zn, Pb, Ni	Réacteur pour concentrés, par transformation et affinage du cuivre, affinage de métaux précieux	Taux élevé de récupération du cuivre et de métaux précieux
Métaux précieux, Se, Te, métaux communs	Lixiviation du cuivre, électro affinage de métaux précieux, 250 tonnes de rebuts électroniques par an, four de fusion avec contrôle des émissions de gaz, substituts plastiques du coke	Récupération de métaux précieux, Sb, Bi, Se, Te, In
Or	Création d'une réaction sur des rebuts électroniques avec du chlore. Température entre 300°C et 700°C, dissolution des impuretés dans de l'acide chlorhydrique, dissolution de l'argent dans de l'acide nitrique et dans de l'hydroxyde d'ammonium; récupération d'échantillons d'or	Récupération d'un or pur à 99,9% à partir de déchets d'équipements électriques et électroniques
Métaux précieux, platine, palladium	Déchets mis dans un four à plasma à une température d'environ 1 400°C, scories de céramique, récupération de l'argent et du cuivre également	Récupération du platine et du palladium à partir de rebuts électroniques, avec des taux de récupération de 80,3% et de 94,2% respectivement
Famille du groupe du platine et d'or	Fusion des métaux par réduction au charbon	Récupération de métaux du groupe du platine et d'or

Chapitre II : Techniques d'analyse

Techniques d'analyse :

II.1 Voltampérométrie cyclique:

La voltammétrie est une méthode d'électroanalyse basée sur la mesure du flux de courant résultant de réduction ou d'oxydation des espèces présentes en solution. La technique voltammétrique la plus fréquemment utilisée actuellement est : la voltammétrie cyclique. Cette technique est un type particulier de mesure électrochimique, dans cette technique l'électrode à goutte de mercure tombante est remplacée par une électrode à goutte fixe, dont on fait varier rapidement le potentiel[14].

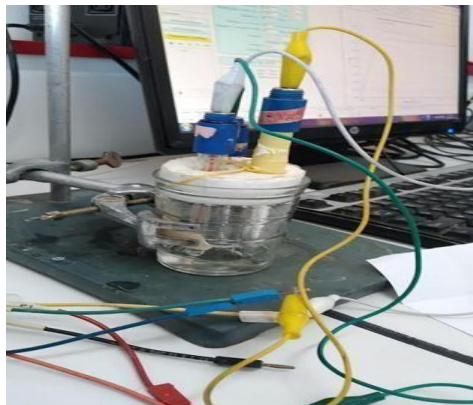


Figure II 1 : Cellule électrochimique

Les tests électrochimiques ont été effectués en utilisant le dispositif indiqué dans la figure, et consiste en une cellule électrochimique à trois électrodes connectée à un potentiostat/galvanostat de type SP200 (BioLogic) assisté par ordinateur. Le choix de la méthode, le traitement des données et le tracé des courbes sont effectuées à l'aide d'un logiciel l'EcLab.



Figure II 2 . : Potentiostat /galvanostat

Le principe de la voltammétrie cyclique consiste à faire balayer le potentiel d'une façon cyclique : c'est-à-dire le balayage s'effectue vers les potentiels cathodiques en réalisant une réduction, puis on inverse le sens pour réaliser une oxydation. La détermination expérimentale de la relation entre le courant et le potentiel d'électrode se traduit par l'obtention des figures appelées voltammogrammes. Les coordonnées (E_p , i_p) du pic de voltammétrie donnent des indications sur:

- Le mécanisme de la réaction électrochimique.
- La concentration des espèces.

Le dispositif nécessite trois électrodes :

- une électrode de travail (parfois aussi appelée électrode indicatrice).
- une électrode de référence.
- une électrode auxiliaire (parfois aussi appelée contre-électrode).

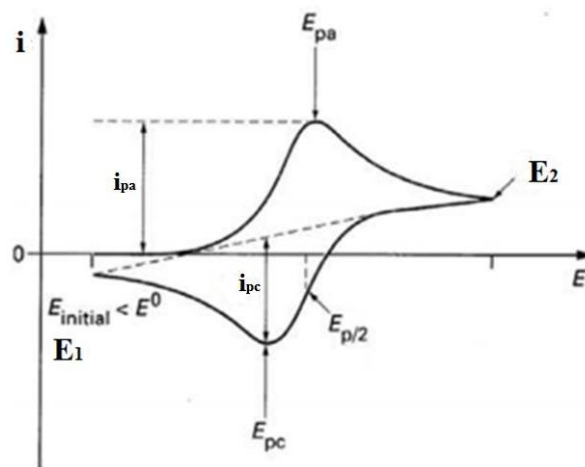


Figure II.3. : Voltampérogramme cyclique entre E_i et E_λ d'un système rapide.

- i_{pa} : densité de courant du pic anodique .
- i_{pc} : densité de courant du pic cathodique .
- E_{pa} : potentiel d'oxydation du pic anodique .
- E_{pc} : potentiel de réduction du pic cathodique.
- $E_{p/2}$: potentiel à mi-hauteur du pic cathodique .

II.2. Spectroscopie UV-visible :

La spectroscopie UV-vis fait intervenir dans sa gamme les transitions entre les états d'énergie électronique, les molécules d'un groupe peuvent occuper plusieurs niveaux vibrationnels, qui ne sont pas de faibles variations énergétiques, un tel groupe de molécules subit la même transition électronique il se produit des variations simultanées d'état vibrationnel et rotationnel entraînant des absorptions énergétiques des diverses produisant une raie spectrale, l'ensemble de ces raies donne naissance à une bande d'absorption.

Un spectre UV-vis est obtenu en faisant traverser à un échantillon un rayonnement continu en fréquence. ce spectre provient de l'absorption des rayons UV par la méthode qui provoque le transfert d'électrons des orbitales de basse énergie à des orbitales plus élevées, elle peut subir une transition électronique au cours de laquelle un électron est excité monte de l'orbitale de plus haute énergie, grâce au quanta énergétique absorbé. il est essentiel naturellement que la fréquence ν de la radiation absorbée correspondante à la différence énergétique $\Delta E = h \nu$ entre les deux orbitales concernées ou h est la constante de Planck ($h = 6,62 \cdot 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$). L'énergie absorbée dépend de la longueur d'onde de l'échantillon et de l'épaisseur traversée par la lumière. La relation reliant l'intensité du rayonnement utilisé, le rayonnement transmis l'épaisseur de la couche du milieu homogène et la concentration de la substance absorbante s'exprime par la loi de BEER-LAMBERT (1) [15] :

$$I = I_0 \exp(-\epsilon \cdot l \cdot c) \quad (1)$$

I : intensité de la lumière transmise (I toujours inférieure à I_0)

I_0 : intensité de la lumière incidente

C : concentration molaire de la solution en mol/dm^3

ϵ : coefficient molaire d'absorption

L : épaisseur de la cellule

Le spectrophotomètre utilisé dans cette étude est un UV 1700 (Shimadzu) qui est constitué de la réunion de trois parties distinctes : source, le système dispersif (figure II.4)

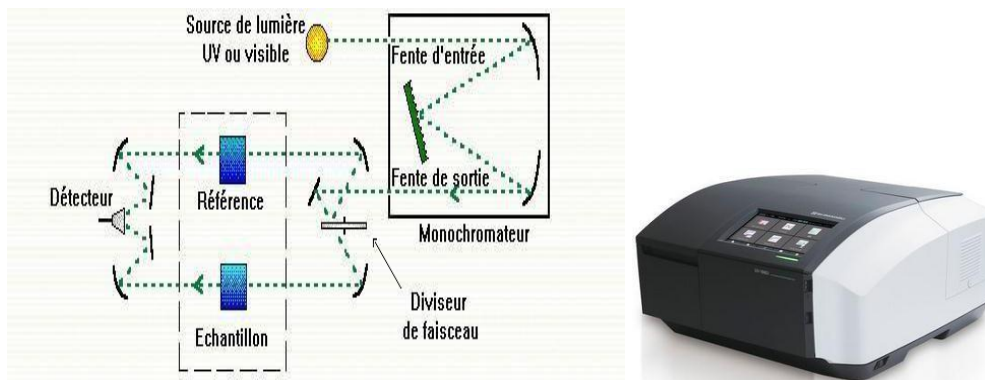


Figure II.4 : Schéma d'un spectrophotomètre et spectrophotomètre UV-visible (UV 1700)

La source lumineuse est constituée par une lampe à décharge au deutérium utilisée dans le domaine de longueurs d'onde inférieures à 350nm et, pour la partie visible de spectre, par une lampe à filament de tungstène. Le monochromateur est l'élément de base est un prisme, un réseau ou un filtre coloré. Le rôle du monochromateur est d'isoler le rayonnement sur lequel on fait la mesure. Il est composé principalement d'un système dispersif, d'une fente d'entrée et d'une fente de sortie. La cuve contient soit l'échantillon soit la référence. La longueur de la cuve est définie (1 cm de trajet optique). Elle doit être transparente aux radiations d'étude. Par exemple en UV, les cuves sont en quartz, elles ne peuvent être ni en verre ni en plastique. Le détecteur est composé par une photodiode (semi-conducteur), une barrette de diodes ou un photomultiplicateur. Le domaine spectral de l'UV-visible est largement exploité en analyse quantitatives. Les mesures reposant sur la loi de BEER-LAMBERT qui relie, moyennant certaines conditions, l'absorption de la lumière par un composé à sa concentration.

Chapitre III : Résultats et Discussion

III.1.Présentation de l'entreprise Condor :

SPA Condor Electroniques est une entreprise algérienne d'électronique créée en 2003. Elle est implantée dans la zone industrielle de la ville de Bordj Bou Arreridj, c'est une filiale du groupe BENHAMADI. L'entreprise SPA condor occupe en Algérie une position de leader dans la plupart de ses activités. Elle est spécialisée dans la fabrication des équipements électroniques, électroménagers, informatiques, agro-alimentaires, emballages, matériaux de construction et commerce international. Aujourd'hui, le groupe SPA condor représente un des conglomérats d'entreprises algériennes les plus puissantes et active sur la sphère économique du pays. Il opère dans différents domaines d'activités et affiche des résultats dignes d'être cités en exemple. Les principaux unités et complexes de production de l'entreprise Condor :

- Unité énergie solaire.
- Complexe réfrigérateur.
- Unité produits bruns.
- Unité injection plastique.
- Complexe climatiseur & machine à laver.
- Unité produits blancs.
- Unité polystyrène.

III.2Etat des DEEE au niveau de l'entreprise :

Etant une entreprise de fabrication et de montage de produits électroménagers, condor génère des quantités importantes de déchets dont la nature diffère. La loi appliquée pour la gestion des déchets au niveau de l'entreprise c'est le décret n°01-19 du 12 décembre 2001 relative à la gestion, au contrôle et à l'élimination des déchets. Les DEEE de l'entreprise sont classés dans la classe des déchets spéciaux, ce sont les câbles et filtres électriques, les déchets encombrants (pièces de rechange usagées), les tubes fluorescents, les transformateurs PCB. Pour la gestion des déchets électroniques au niveau de l'entreprise SPA condor, les mesures qui ont été pris en considération sont:

- Réduire au maximum la quantité des déchets dans la source.
- Tenter d'améliorer la qualité du produit final pour prolonger son cycle de vie et le réutiliser plusieurs fois.
- Essayer de réparer au maximum.
- Triage des déchets dans la source.

- Créer des lieux et conteneurs spécialisés au stockage des déchets.
- Signature de conventions avec des entreprises agréées de collecte des déchets.
- Voici quelques types de DEEE au niveau de l'entreprise, nous notons dans la Figure III.1 suivant que chaque catégorie de déchet est stockée dans des sites désignés et classés selon ses composants et sa dangerosité.



Déchets d'Outil informatique



Déchets de carte mère



Déchets de batterie



Déchets d'écran



Déchet de réfrigérateur



Déchet de compresseur de réfrigérateur



Déchets de télévision



Autres Déchets

Figure III.1 : Déchets SPA Condor

Quant à la quantité, elle change en fonction de la quantité de production, ces déchets sont constitués de :

- Fer et acier qui constitue 50 % de la quantité totale des déchets.
- Plastique qui représente environ de 20%.
- Verre qui représente environ 10%.
- Les métaux précieux (Au, Ag, Pd,..) qui représentent 6%.
- Cuivre qui représente environ 7%.

III.3 Présentation des échantillons collectés au niveau de l'entreprise :

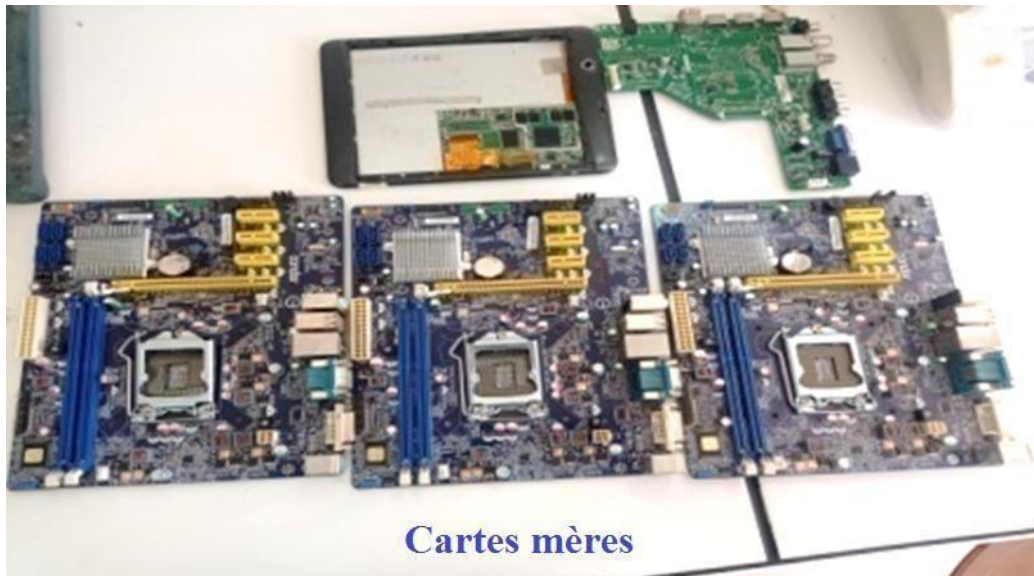
Dans le cadre de ce travail de mémoire, on a collecté quatre kilogrammes de déchets électroniques, et qui sont constitués de :

- Carte mères;
- Processeurs;
- Tablettes ;

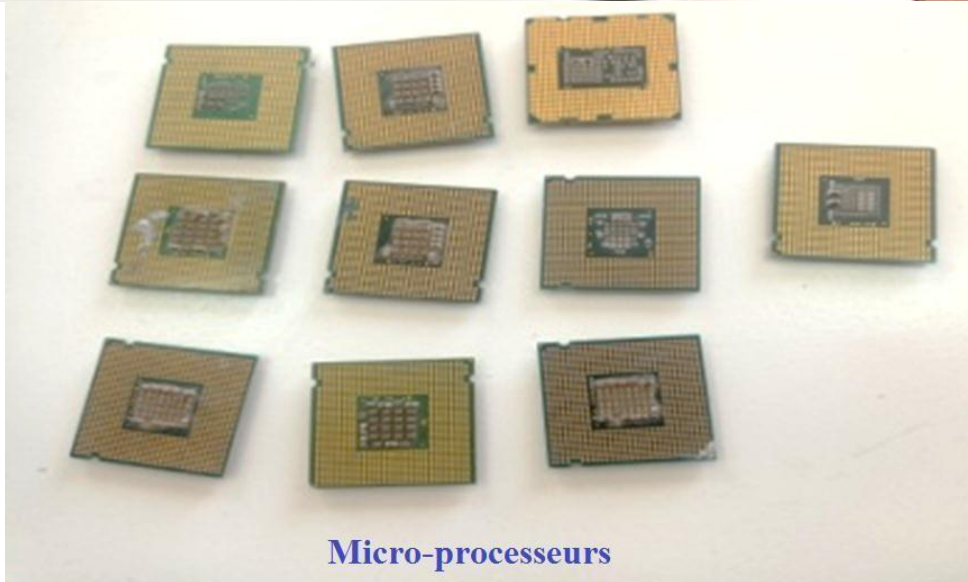
La carte mère est la carte principale d'un micro-ordinateur qui regroupe les circuits principaux, tels que :

- ✓ le support de toutes les interconnexions entre circuits intégrés (entre autres les bus et l'alimentation de tous les composants en ayant besoin);
- ✓ Les connecteurs pour les cartes optionnelles (PCI, PCI Express, etc.) et les interfaces pour les périphériques internes (carte son ou interface réseau par exemple) ou externes (USB, HDMI, etc.);
- ✓ Le chipset (pont Nord et Sud) et tous les éléments intégrés (carte graphique, carte son, etc.);
- ✓ Les circuits connectables :
 - le micro-processeur,
 - la mémoire centrale,
 - et toutes les cartes optionnelles

Un micro-processeur (ou unité centrale de traitement, UCT ; en anglais central processing unit, CPU) est un composant présent dans de nombreux dispositifs électroniques qui exécute les instructions machine des programmes informatiques.



Cartes mères



Micro-processeurs

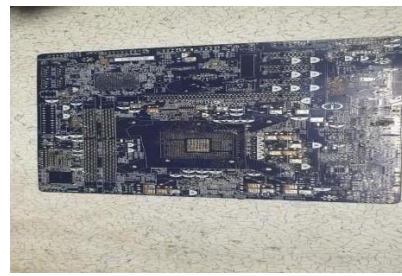
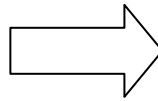


Tablettes

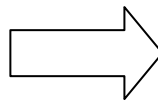
Figure III 2 : Déchets qui ont été récupérés durant le stage pratique.

III.4 Démantèlement des déchets collectés au niveau de l'entreprise :

Après le test des composants électroniques importants (Ram, processeurs,...), celle qui sont en état de marche sont vendus sur les marchés d'occasion, par contre, les composants non fonctionnels sont récupérés par un démantèlement total du déchet (Figure III 2). Ce qui permet de séparer des composants non dangereux à valoriser. Cette opération principalement est manuelle car le démontage manuel permet une meilleure récupération de métaux à valoriser.



Carte mère de pc



Carte mère de télévision

Figure III 3: Démantèlement d'un déchet (une carte mère de pc et carte mère de télévision)

Les composants récupérés sont représenté dans la figure III 3, le tableau indique les poids de chaque type d'élément.



Figure III 4: Composants récupérés

Tableau III 1 : Poids des éléments récupérés

Echantillon	Poids
Carte mère.	830 g
Processeurs	220 g
RAM	84 g
Condensateurs chimiques	85 g
Condensateurs céramiques	70 g
Piles	28 g
Flux PCB (Circuit imprimé)	20 g
MLCC (Condensateurs céramiques multicouches)	48 g
Supports de processeur	58g
Bobines	270 g
Caméras portables	10 g
Connecteurs	85 g

La masse total des éléments récupérés : $m = 1.808 \text{ Kg}$

Pour pouvoir extraire les métaux précieux des DEEE, qui serviront à fabriquer de nouveaux équipements électroniques. Dans cette étude les déchets sont traités par les méthodes chimiques.

III.5 Protocole de récupération de l'argent (Ag) et le palladium (Pd) à partir des condensateurs céramiques (MLCC)

Les condensateurs céramiques multicouches souvent appelés MLCC, sont des condensateurs spécialement à structure multicouche. Cette structure inclut un matériau en céramique et des couches conductrices en deux métaux (Ag) et (Pd). Les couches en céramique isolent le condensateur, afin de réduire la perte de chaleur, ce qui améliore l'efficacité du produit. Les condensateurs multicouches offrent une haute stabilité thermique.

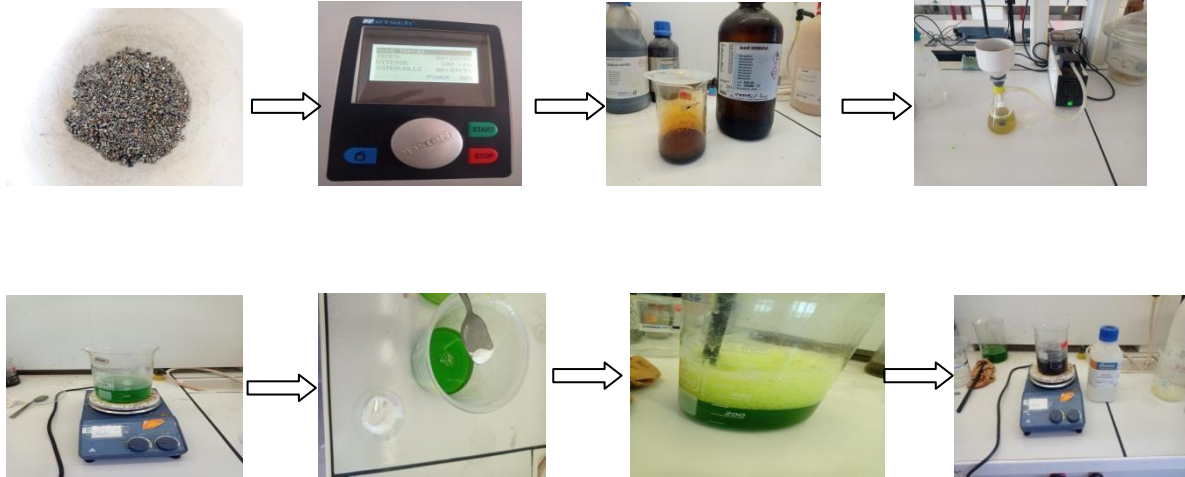


Figure III 5 : Condensateurs céramiques multicouches

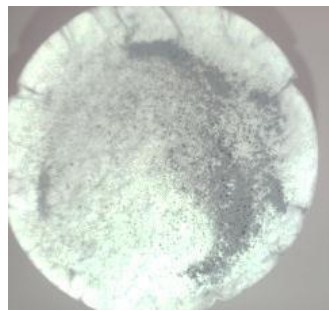
Pour récupérer les métaux nobles (Ag/Pd) dans les condensateurs céramiques multicouches, nous avons proposé ce protocole (figure III 6, III 7) :

- **Récupération des déchets** : 48 g de condensateurs céramiques multicouches ont été récupéré des déchets.
- **Broyage** : Ces condensateurs céramiques multicouches ont été broyé jusqu'à l'obtention une poudre fine.
- **Dissolution de la poudre** : en ajoutant 50 ml de l'acide nitrique concentré pendant une heure suivi d'une filtration.
- **Minéralisation totale** : en ajoutant 100 ml de l'acide chlorhydrique sous un chauffage pendant 24 h.
- **Filtration et lavage** : après la filtration sur papier filtre, on garde la solution filtrée pour l'utiliser pour l'extraction du palladium et nous récupérons puis lavons les résidus en suspension dans le papier filtre à l'eau chaude plusieurs fois.
- **Précipitation** : Pour faire précipiter l'hydroxyde du métal noble, on ajoute 20 g de l'hydroxyde de sodium prudemment.
- **Récupération du métal noble** : la récupération de métal noble a été effectuée en ajoutant 20 ml de la glycérine.
- **Filtration et lavage** : Laver le filtre plusieurs fois à l'eau chaude.

➤ **Séchage** : Après un séchage à l'étuve, la masse du métal noble obtenue est 0,14g, ce qui représente 0.3 % de la masse totale des condensateurs céramiques multicouches.



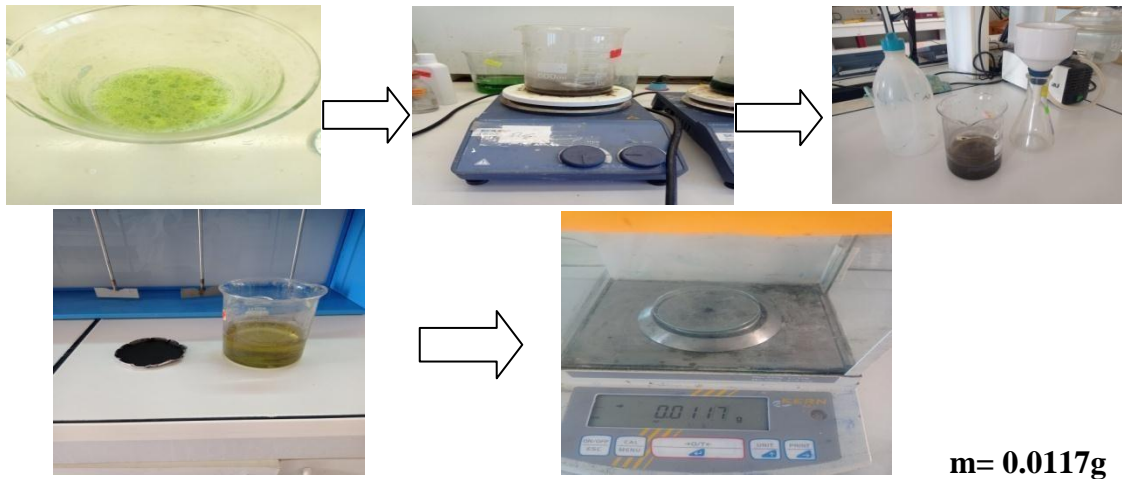
Le produit final qui est récupéré :



masse récupérée = 0.14 g

Figure III 6 : Protocole de récupération d'une poudre argentée supposé que c'est du Ag, à partir des condensateurs céramiques (MLCC)

- ❖ Après la récupération d'Ag nous suivons les étapes suivantes pour extraire le palladium à partir de la solution pré-conservée.
- **La séparation**: pour séparer le Pd du reste métaux, nous ajoutons lentement du carbonate de sodium jusqu'à ce que la couleur devienne verte, nous ajoutons 120 ml d'acide formique et chauffé à 80 °C.
- **Précipitation** : Une fois que vous atteignez 80 °C, ajoutez plus de carbonate de sodium Lentement jusqu'à ce que la solution devienne noire, vous pouvez voir la précipitation du palladium.
- **Filtration et lavage** : Laver le filtre plusieurs fois à l'eau chaude.
- **Séchage** : Après un séchage à l'étuve, la masse du métal noble obtenue est 0.0117g, ce qui représente 0.02 % de la masse totale des condensateurs céramiques multicouches.



m= 0.0117g

Figure III 7 : Protocole de récupération d'une poudre contenant du Pd, à partir des condensateurs céramiques (MLCC)

III.6 Analyse de la poudre (Ag) récupérée:

III.6.1 Caractérisation par spectroscopie UV-visible

La figure III 8 représente les spectres UV-Visible des solutions standards d'AgNO₃ à différentes concentrations (10 – 20 – 50 – 100 ppm) en présence de 1 ml de dithizone qui joue le rôle d'un ligand. L'enregistrement a été réalisé dans le domaine des longueurs d'onde compris entre 200-1000 nm. Nous observons une apparition d'une bande d'absorbance entre les longueurs d'ondes 251 et 255 nm. Nous observons que l'absorbance et la longueur d'onde de cette bande d'absorption augmente avec l'augmentation de la concentration de des cations Ag⁺, ce qui présente les deux effets hyperchrome et bathochrome.

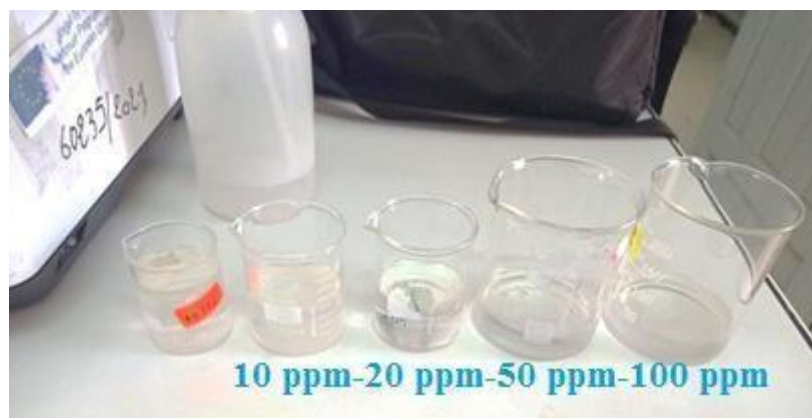


Figure III 8 : les solutions standards d'AgNO₃ à différentes concentrations (10 – 20 – 50 – 100 ppm).

C (ppm)	10	20	50	100
AgNO ₃ :V (ml)	0.5	1	2.5	5
1 ml dithizon				
L'échantillon V = 100ml				
1 ml dithizon	1M nitrique		0.1 g Ag récupéré	

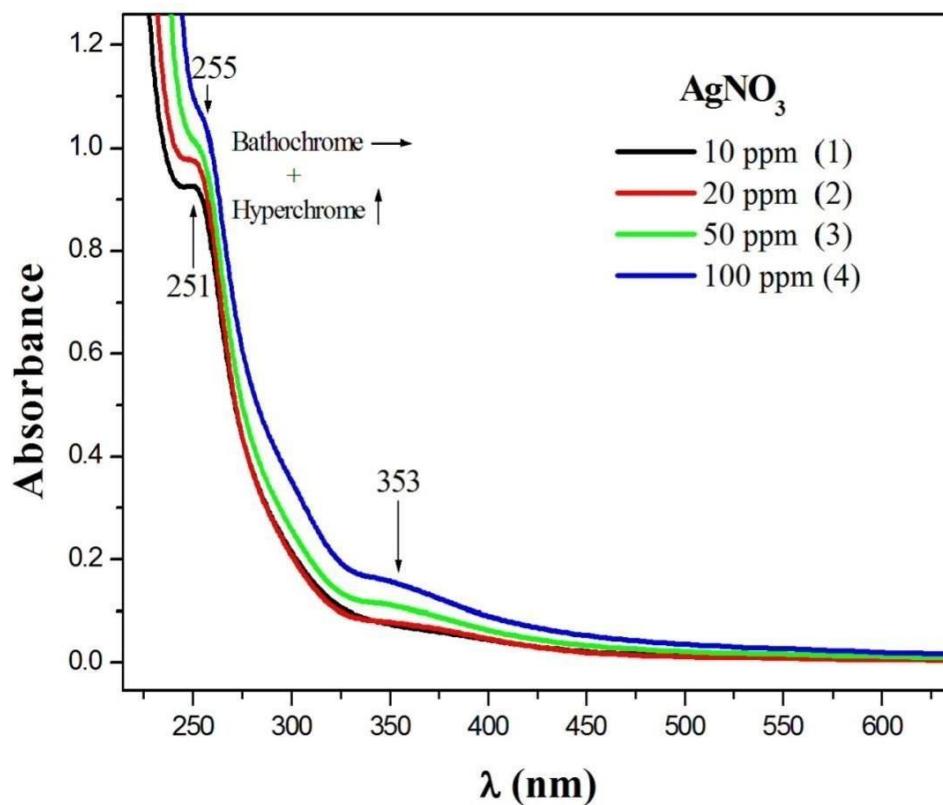


Figure III 9 : Spectres UV-visible des solutions standards AgNO₃ à différentes concentrations.

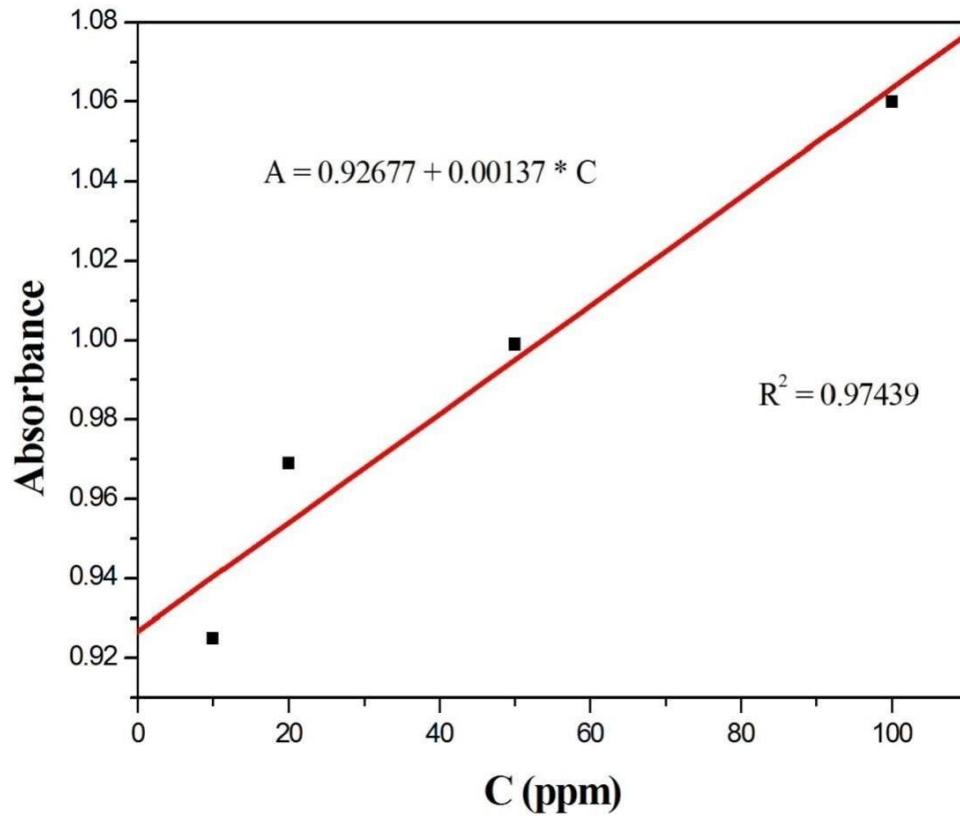


Figure III 10: Courbe d'étalonnage AgNO₃.

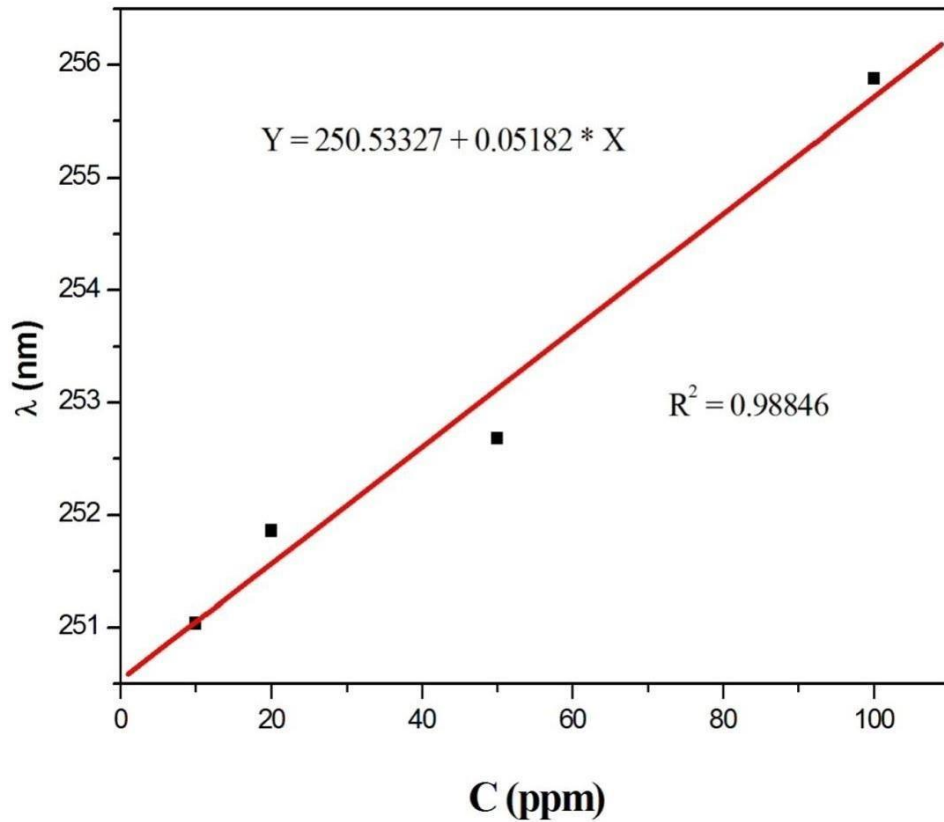


Figure III 11: Variation de longueur d'onde en fonction de la concentration de Ag⁺.

La figure III 10 Montre la courbe d'étalonnage de Ag^+ , nous remarquons que cette courbe schématise une droite linéaire du premier ordre, avec une équation :

$$A=0,92677 +0,00137 * C$$

Pour étudier l'effet bathochrome des ions Ag^+ , nous avons tracé la courbe de variation de longueur d'onde d'absorption en fonction de la concentration des ions Ag^+ (Figure III 11) En physique, l'effet bathochrome ou déplacement bathochrome est le phénomène qui est vérifié lorsque la longueur d'onde d'absorption d'une substance se déplace vers des longueurs d'onde plus grandes ou une énergie plus faible en raison de l'effet du solvant ou en raison de la présence de différents substituant chimiques. Ce décalage est également connu sous le nom de redshift. Nous remarquons que cette courbe schématise une droite linéaire du premier ordre, avec une équation :

$$\lambda_{\max}= 255,53327 +0,05182 * C$$

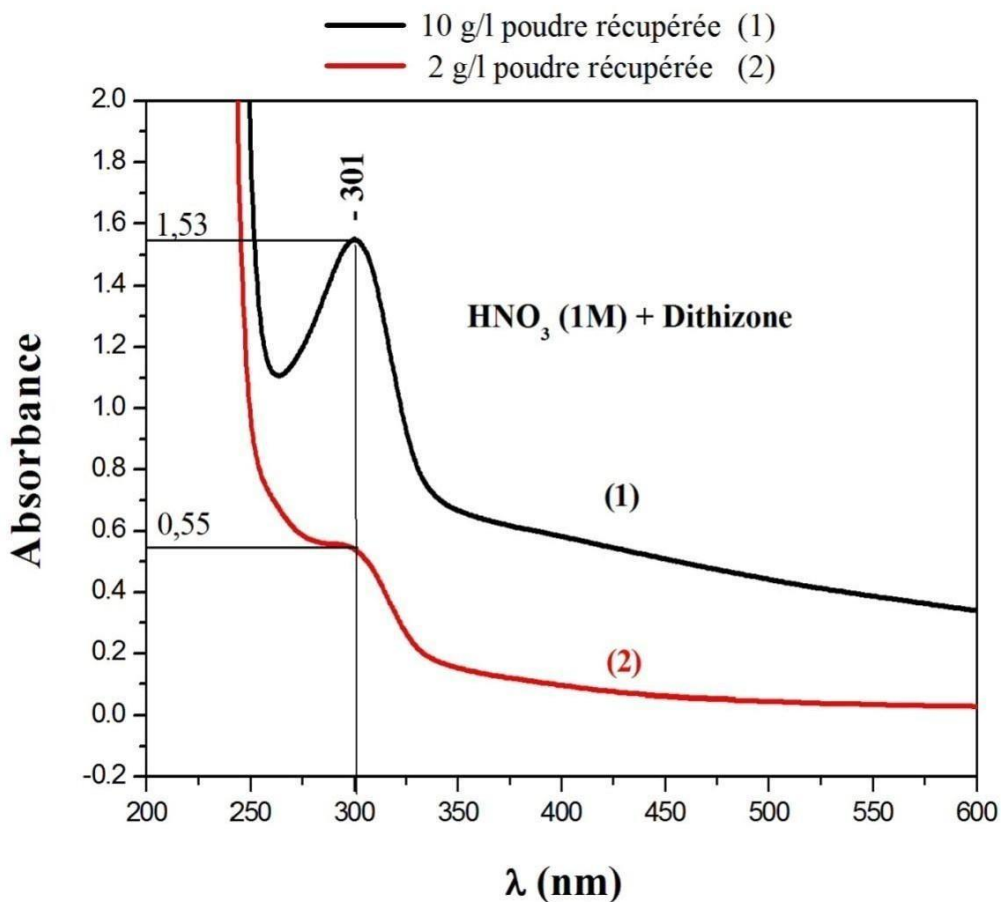


Figure III 12: Spectres UV-visible du produit récupéré.

La figure III 12 illustre le spectre UV-visible du métal récupéré, d'après cette analyse, on peut pas confirmé qu'il s'agit de l'argent, vu la longueur d'onde enregistré est 301 nm très

loin à la valeur de Ag^+ (250 nm). Pour mieux confirmer, il nécessaire de faire une analyse de la composition chimique du produit récupéré par la technique de fluorescence X.

Si nous utilisons l'équation de la courbe d'étalonnage :

$$A=0,92677 +0,00137 * C$$

Pour la solution de la poudre récupérée 10 g/l, à $A = 1,53 \rightarrow C_{Ag^+} = 440 \text{ mg/l}$.

III.6.2 Caractérisation par voltampérométrie cyclique:

La figure III 12 représente la courbe de voltammétrie cyclique d'une solution de $AgNO_3$ (200 mg/l) dans l'acide nitrique HNO_3 (1M), enregistrées sur une gamme de potentiel comprise entre 0 et 1 V/ECS. Nous observerons, lors de balayage vers les potentiels négatifs l'apparition d'un large pic de réduction entre 0,3 et 0,2 V/ECS. Ce pic est attribué à la réaction de réduction des cations Ag^+ en Ag. Nous remarquons, aussi, lors de balayage vers les potentiels positifs l'apparition de pic d'oxydation à 0,45 V/ECS qui est dû à l'oxydation des espèces réduites des ions Ag en Ag^+ .

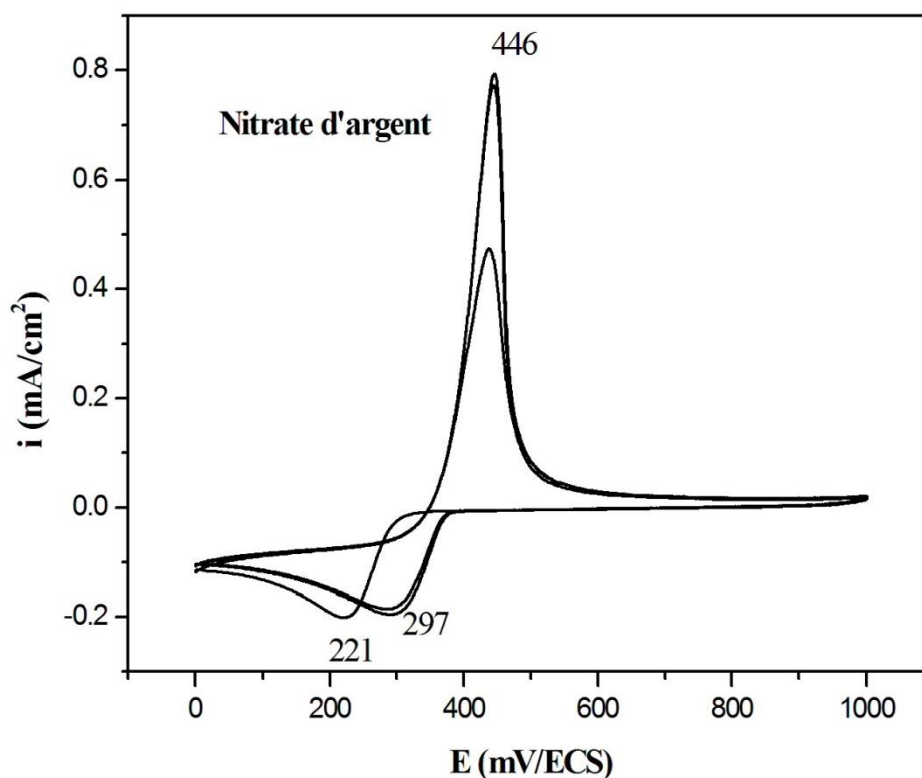


Figure III 13 Voltampérogrammes cycliques relatifs à une solution de $AgNO_3$ 200 ppm/ HNO_3 (1M), à $v = 50 \text{ mV/s}$.

La figure III 14 représente la courbe de voltampérométrie cyclique d'une solution de la poudre recyclée (200 mg/l) dans l'acide nitrique HNO_3 (1M), cette courbe est enregistrée sur

le même domaine de potentiel entre 0 et 1 V/ECS et à la même vitesse de balayage 50 mV/s. Lors du cyclage, on observe un large pic de réduction entre 0,3 et 0,2 V/ECS et un pic d'oxydation à 0,48 V/ECS. Ces deux pics sont attribués au couple redox Ag⁺/Ag, mais, il est nécessaire de faire une analyse de la composition chimique du produit récupéré par la technique de fluorescence X pour confirmer ce résultat.

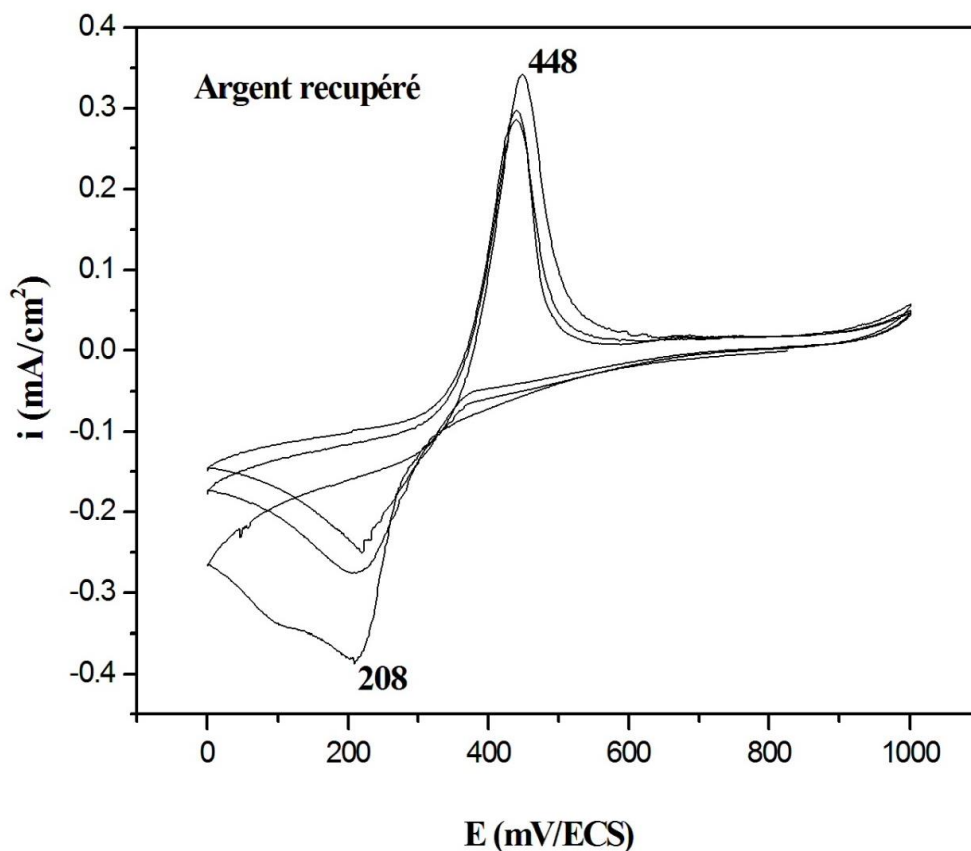


Figure III 14 Voltampérogrammes cycliques relatifs à une solution de poudre récupérée 200 ppm/ HNO₃ (1M), à v = 50 mV/s.

Après analyse électrochimique par voltampérométrie cyclique, nous avons observé la formation d'un dépôt au niveau de la solution récupérée (Figure III 15).

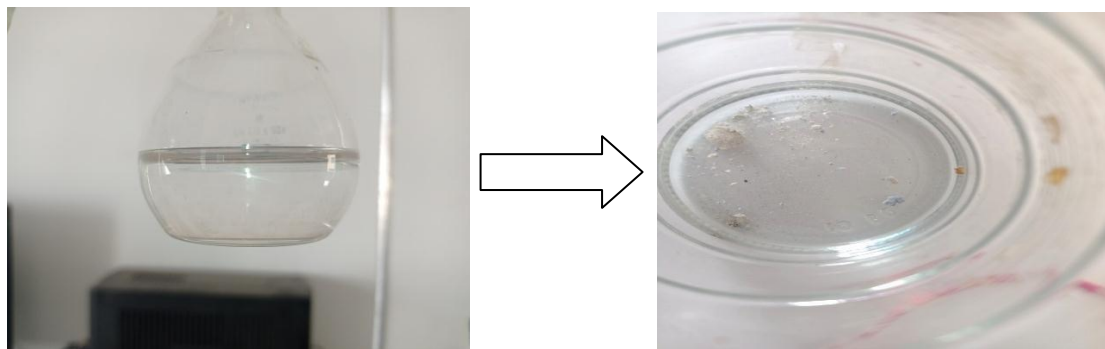


Figure III 15 : Photo indiquant la formation d'un dépôt gris dans la solution récupérée après cyclage.

III.7 Analyse de la poudre (Pd) récupérée:

III.7.1 Caractérisation par voltampérométrie cyclique:

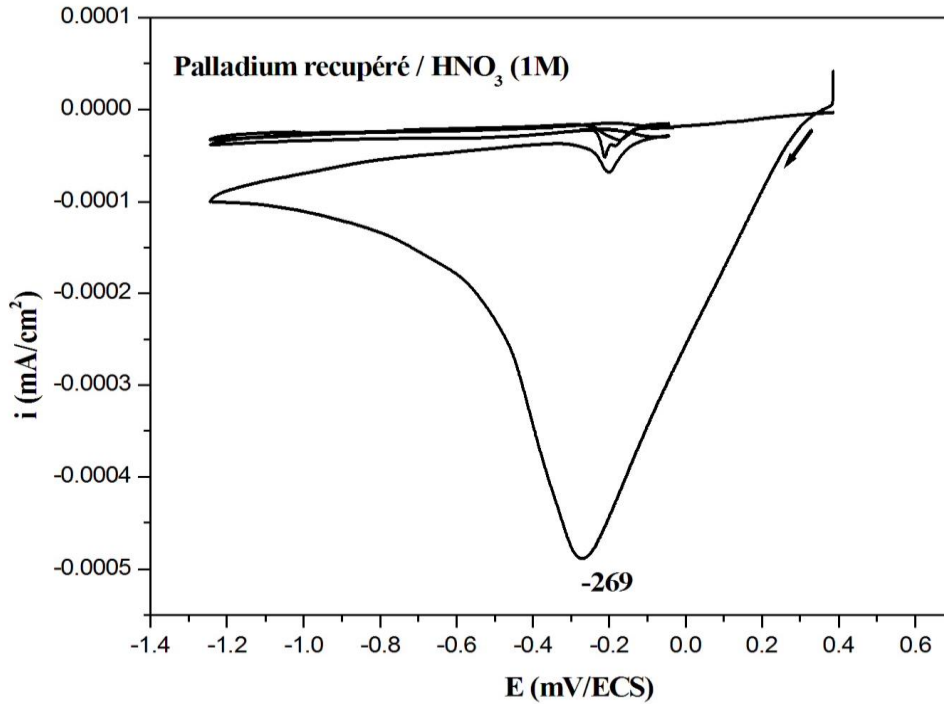


Figure III. 16 : voltampérogrammes cycliques relatifs à une solution poudre récupérée de Pd (200 ppm) dans l'acide nitrique à une vitesse de balayage de 50 mV.s⁻¹.

La figure III. 16 représente les courbes de voltammétrie cyclique de la poudre récupérée supposant qu'elle contient du Pd, en mettant 10 mg de cette poudre dans l'acide nitrique HNO₃ (1M).

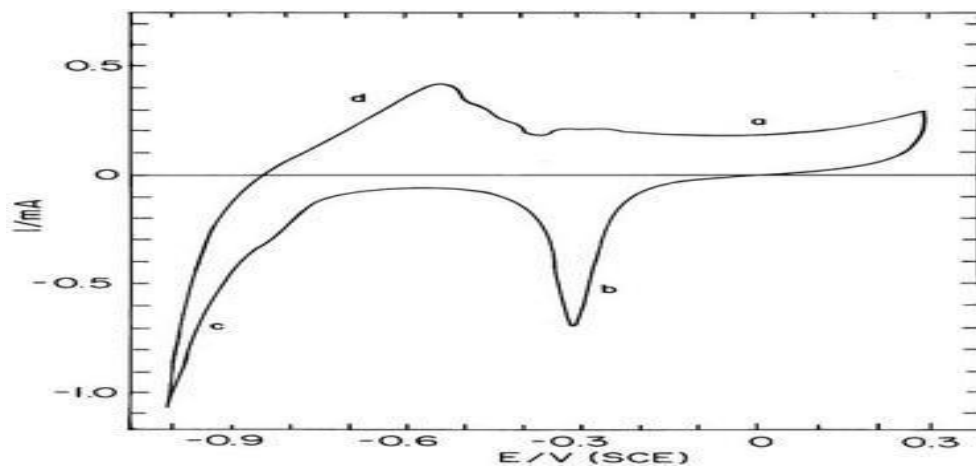


Figure III. 17 : Voltampérogramme cyclique d'une électrode en palladium relative à une solution NaOH (0,5M) enregistré entre -0,4 and -0,75 V vs. Ag/AgCl à une vitesse de balayage de 50 mV.s⁻¹ [16].

La première courbe est enregistrée sur une gamme de potentiel comprise entre -1.2 et 2

V/ECS à v 50mV/s. Nous observerons, lors de balayage vers les potentiels négatifs l'apparition d'un large pic de réduction entre -0,6 et 0.4 V/ECS. Ce pic est attribué à la réaction de réduction des cations Pd^{2+} . Cette valeur est très proche à la valeur obtenue par les chercheurs J. Omar et coll (Figure III.17).

III.7.2 Spectroscopie UV-visible (Pd) :

La figure III. 17 montre le spectre UV-visible de la poudre de Pd récupérée (200 ppm), en présence de 1 ml de dithizone. L'enregistrement a été réalisé dans le domaine des longueurs d'onde compris entre 200-1100 nm. Nous observons une apparition d'une bande d'absorbance à la longueur d'onde de 240nm.

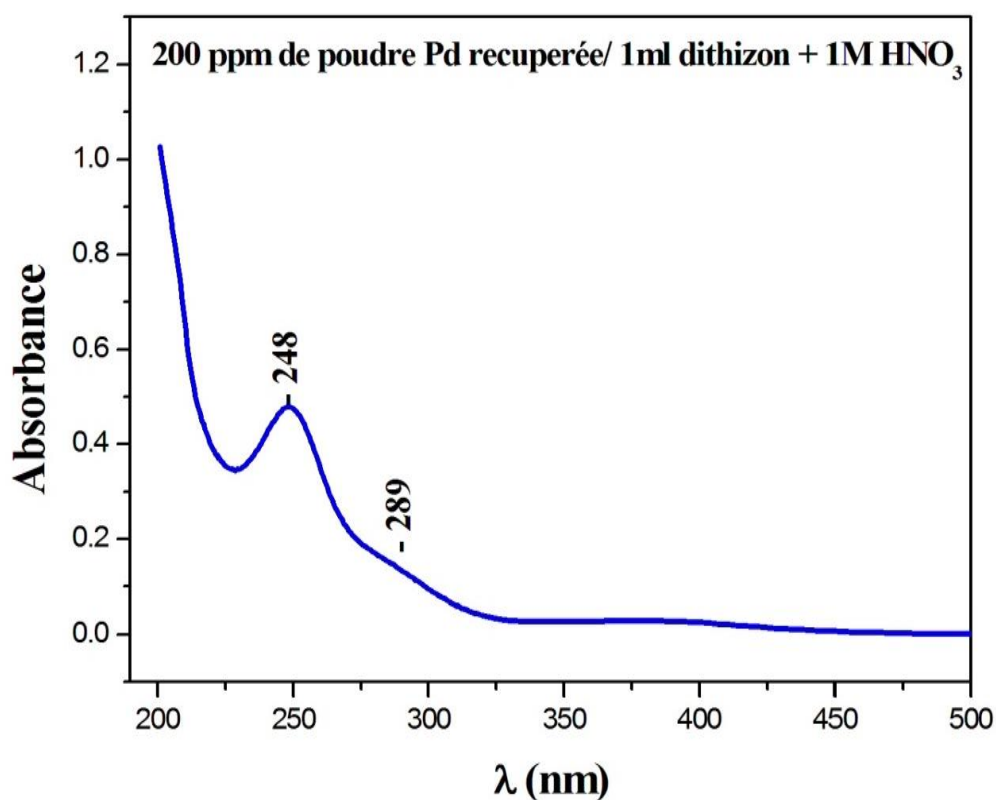


Figure III. 18: Spectres UV-visible d'Pd récupéré.

III.8 Protocole de récupération de l'Or (Au) à partir du microprocesseur.

Un microprocesseur, tout type d'appareil électronique miniature qui contient les circuits arithmétiques, logiques et de commande nécessaires pour exécuter les fonctions de l'unité centrale de traitement d'un ordinateur numérique. Cette structure inclut un matériau en silicium et des couches conductrices en l'Or.



Figure III. 19 : Photo des microprocesseurs utilisés

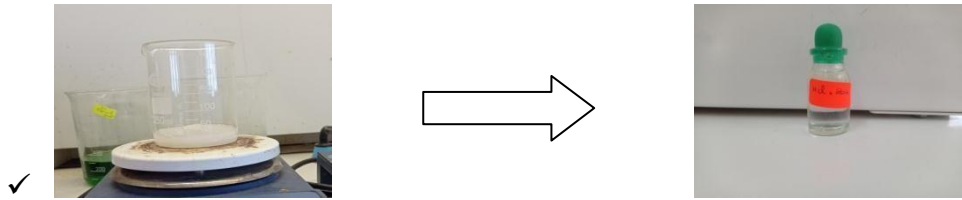
Pour récupérer le métal noble (Au) dans les microprocesseurs, nous avons proposé ce protocole:

Comme première étape, on met les microprocesseurs dans un bêcher et ajoutons 100 ml d'HCl pendant 24h pour éliminer l'étain.

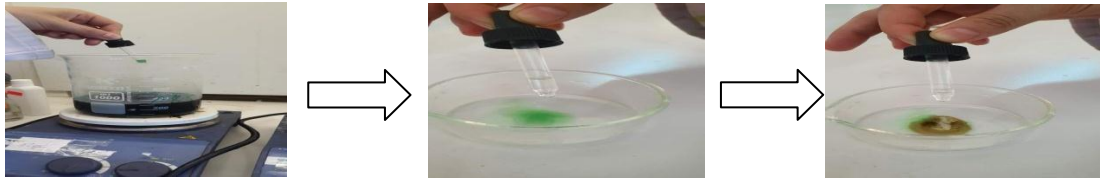
- La deuxième étape c'est la filtration puis l'ajout 20 ml d'acide nitrique pendant 24h.
- On filtre la solution une deuxième fois, puis on ajoute l'eau régale (mélange à 3:1 d'acide chlorhydrique et d'acide nitrique) environ de 150ml.
- Après cette étape, nous ajoutons de l'urée pour éliminer l'acide nitrique afin que l'or se précipite facilement.



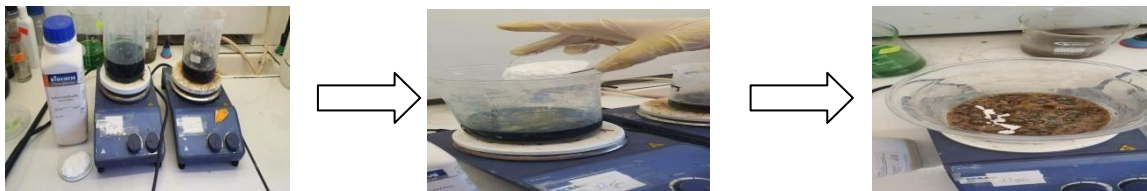
- Avant de procéder au protocole de récupération de l' Au, nous effectuons une petite vérification pour nous assurer de la présence de métal.
- Nous préparons une solution d'indicateur du métal (Au) à partir de l'étain pur et dissout dans l'HCl à T= 80°C, pendant 10 minutes.



- ✓ Après l'ajout de l'indicateur d'or, la couleur de la solution passera du vert au brun foncé, ceci indique la présence de l'or dans la solution récupérée.

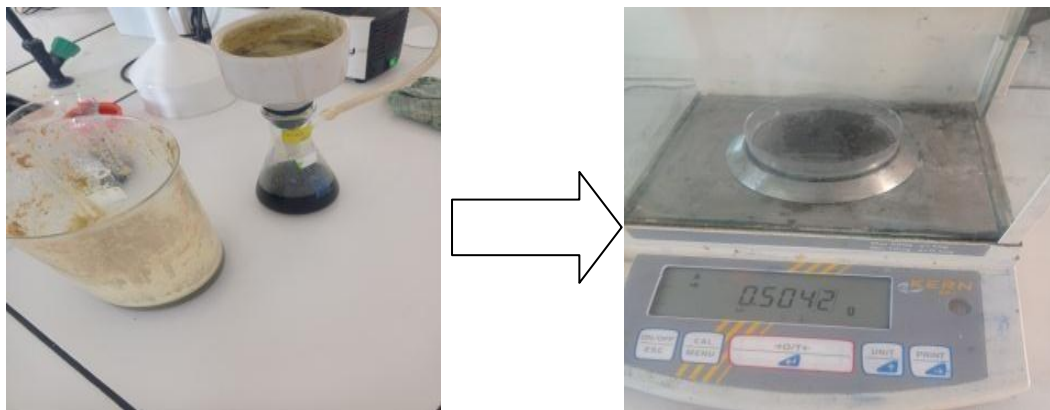


- Nous ajoutons environ de 20 g SMB (méta bisulfite de sodium) pendant 24 h, et nous remarquons l'apparition d'un dépôt de métal sous le bécher.



- Nous filtrons, séchons et pesons.

III.8.1. Analyse des la poudre d'Au par spectroscopie UV-visible



Après extraction l'or, nous préparons l'échantillon

l'échantillon : V = 50 ml	
1 ml d'Or récupéré	1 ml dithizone

La figure III 19 illustre le spectre UV-visible du métal récupéré, en présence de 1 ml de dithizone.

L'enregistrement a été réalisé dans le domaine des longueurs d'onde compris entre 200-1100 nm. Nous observons une apparition d'une bande d'absorbance entre les longueurs d'ondes 290 et 310nm.

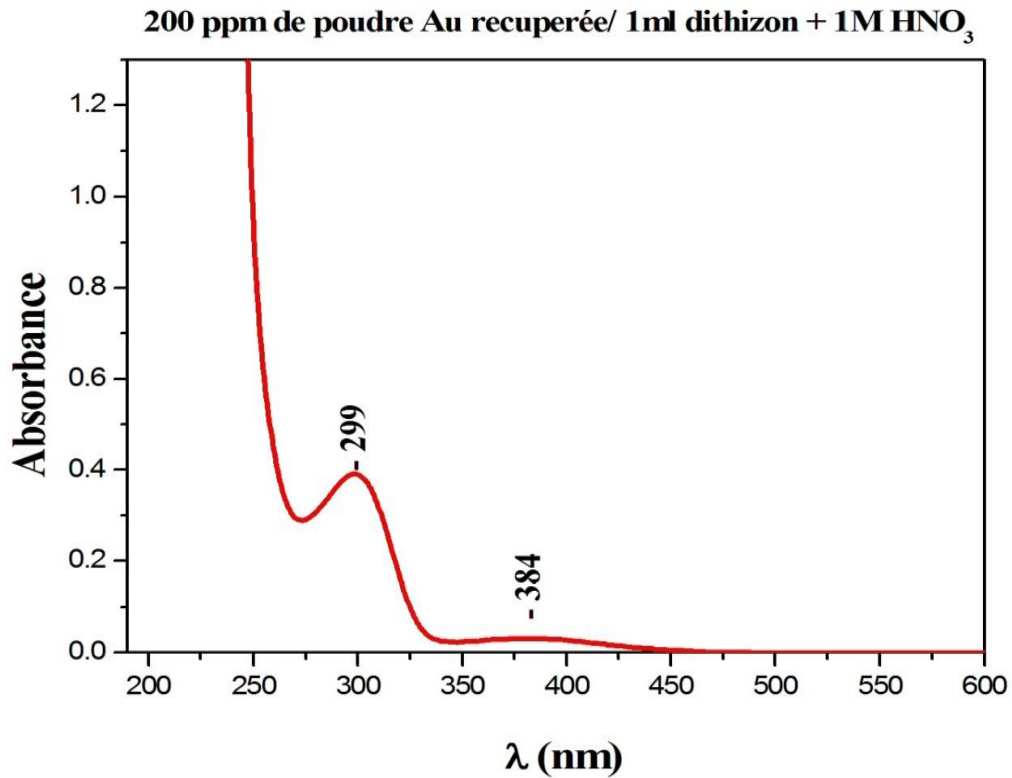


Figure III 20: Spectres UV-visible d'Or récupéré.

III.8.2 Caractérisation par voltampérométrie cyclique :

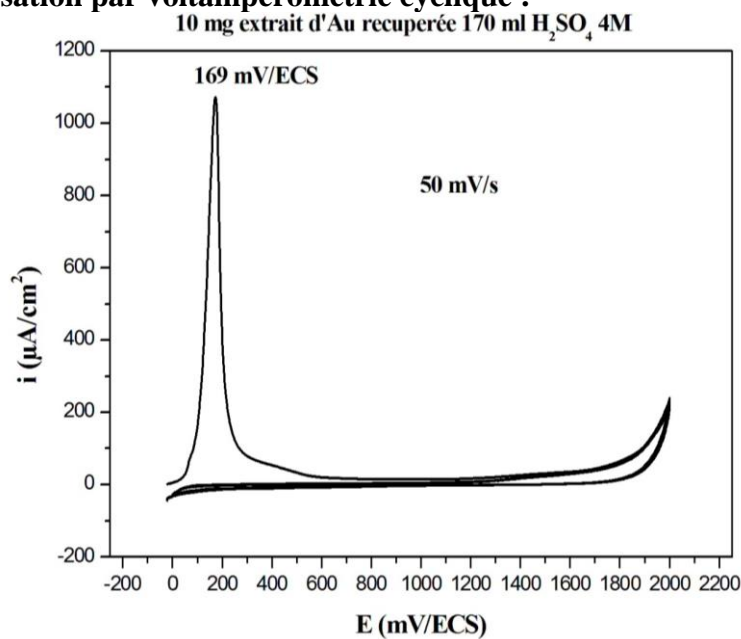


Figure III. 21 : voltampérogrammes cycliques relatifs à une solution de H₂SO₄ de 10 mg de la poudre récupérée (Or)

La figure III 20 représente la courbe de voltampérométrie cyclique d'une solution de la poudre recyclée (10mg) dans l'acide sulfurique H_2SO_4 (4M), cette courbe est enregistrée sur domaine de potentiel entre 0 et 2 V/ECS et à la vitesse de balayage 50 mV/s. On observe un pic d'oxydation entre 0 et 0.2, (il nécessaire de faire une analyse de la composition chimique du produit récupéré par la technique de fluorescence X pour confirmer ce résultat).

Conclusion

Conclusion générale :

Le présent travail a été consacré à l'utilisation des méthodes hydrométallurgiques pour récupérer des métaux précieux tels que l'or, l'argent et le palladium à partir des DEEE. Ces déchets électroniques ont été récupérés de l'entreprise SPA condor au niveau de la zone industrielle de Bordj Bou Arréridj.

Le protocole de récupération de l'or dans microprocesseurs a été effectué dans l'eau régale (mélange à 3:1 d'acide chlorhydrique et d'acide nitrique), puis l'ajout du méta bisulfite de sodium (SMB) a fait précipiter une masse de 0,5 g d'or pour 220 g de microprocesseurs.

Le test du métal (Au) à l'aide de la solution de chlorure d'étain a confirmé la présence de l'or.

Pour la récupération de l'Ag et de Pd, il s'agit d'abord d'éliminer l'étain par HCl, puis on dissout les deux métaux au l'acide nitrique, puis précipité l'Ag par NaCl et l'glycérine. D'autre part nous séparons le palladium des autres métaux à température 80 °C puis la récupération de métaux.

Nous avons utilisé spectroscopie UV-visible et voltampérométrie cyclique pour retrouver les caractéristiques du produit obtenu à la fin, ou l'on a prouvé la présence des métaux, mais pour mieux confirmer, il nécessaire de faire une analyse de la composition chimique du produit récupéré par la technique de fluorescence X.

Néanmoins les résultats de ce modeste travail constituent les bases d'un travail à poursuivre et à améliorer pour une étude beaucoup plus approfondie des autres techniques de séparation, ce qui donnera une impulsion à la recherche universitaire dans cet axe, en vue d'une prise de conscience de « l'après pétrole », du respect de l'environnement et du développement durable.

Références

- [1] : Maystre, Généralités sur les déchets (cour monsieur hammoum) . (1994).
- [2] : L. kahil Z., Taazibt Contribution à l'analyse de la gestion des déchets électroniques par des entreprises étatiques (cas de l'ENIEM) et les réparateurs privés à Tizi-Ouzou (2016)
- [3] : <http://www.conservation-nature.fr/>.
- [4] : L. Ouladkaddour, H. Zian Récupération & traitement des déchets d'Equipements Electriques & Electroniques Université Abou bakr Belkaid – Tlemcen Faculté de Technologie (2018)
- [5] : Secrétariat du Programme régional océanien de l'environnement, «Déchets électroniques dans le Pacifique : stratégie régionale et plan d'action,» Apia, Samoa,2011.
- [6] : <http://eco3e.eu>
- [7] : L.Ouladkaddour, H.Zian, Récupération & traitement des déchets d'Equipements Electriques &Electroniques, Soutenu le 27 Juin2018.
- [8] : Agence national des déchets , rapport sur l'état de la gestion des déchets en Algérie (2020), page 55.
- [9]: Veerakamolmal, 1999 in Wenzhi et al.,2006.
- [10]: N. Mouats, étude électrochimique des derives de l'acide 2-nitrophenyl sulfonyl acetique universite du 20 août 1955 – Skikda - Ffaculte des sciences
- [11] : M. E. Bounjim, Contribution à la conception de la chaîne logistique verte en boucle ferme, Quebec: université du Québec à trois-rivières, 2016.
- [12] : Oliveros, H., Metodología para recuperar metalespreciosos: oro, plata y grupodelplatino, presentes en desechos electrónicos, Universidad Nacional de Colombia, Medellín, 2011.
- [13] : Oliveros, H., Metodología para recuperarmetalespreciosos: oro, plata y grupodelplatino, presentes en desechos electrónicos, Universidad Nacional de Colombia, Medellín, 2011.
- [14] : C. Mouats, J. Jubeault, R. Hazard, R. Tallec, Electrochim. Acta ,40(1), 1669 (1995).
- [15] : W.belhadj, A.djeddou, étude sur la valorization des dechets informatiques (ecrans LED) Université de Mohamed El-Bachir El-Ibrahimi - Bordj Bou Arréridj (2022)
- [16] : Omar J. Yepez, Benjamin Ruben Scharifker, International Journal of Hydrogen Energy 27 (2022)99-105

Résumé

Dans cette étude, nous avons utilisé les méthodes hydrométallurgiques pour récupérer les métaux précieux (Au, Ag et Pd) à partir des DEEE de l'entreprise spa Condor. La masse des métaux récupéré après leurs protocole était 0.14g, 0.0117g, 0.5g pour l'Ag, Pd et Au respectivement. Les analyses par spectroscopie UV-visible et voltampérométrie cyclique on a prouvé la présence des métaux, mais Pour mieux confirmer, il nécessaire de faire une analyse de la composition chimique du produit récupéré par la technique de fluorescence X.

Mots clés : Au, Ag, Pd, hydrométallurgie, recyclage, DEEE.

Summary

In this study, we have used hydrometallurgical methods to recover precious metals (Au, Ag and Pd) from the WEEE of the Condor spa company. The mass of metals recovered after their protocols were 0.14g, 0.0117g, 0.5g for Ag, Pd and Au respectively. Analyzes by UV-visible spectroscopy and cyclic voltammetry have proven the presence of metals, but to better confirm, it is necessary to analyze the chemical composition of the product recovered by the X-ray fluorescence technique.

Keywords: Au, Ag, Pd, hydrometallurgy, recycling, WEEE.

ملخص

في هذا المشروع ، استخدمنا طرق المعالجة المعدنية المائية لاستعادة المعادن الثمينة (Au) و Ag و (Pd من WEEE التابع لشركة Condor spa. كانت كتلة المعادن المسترجعة بعد البروتوكولات 0.14 جم و 0.0117 جم و 0.5 جم لـ Ag و Pd و Au على التوالي. أثبتت التحليلات عن طريق التحليل الطيفي المرئي للأشعة فوق البنفسجية وقياس الجهد الدوري وجود المعادن ، ولكن للتأكيد بشكل أفضل ، من الضروري تحليل التركيب الكيميائي للمنتج الذي تم استعادته بواسطة تقنية مضان الأشعة السينية.

الكلمات المفتاحية: ، Ag ، Au ، Pd ، Hydrometalurgy ، إعادة التدوير ، WEEE