



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire



وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

1 جامعة سعد دحلب البليدة
Université SAAD DAHLAB de BLIDA

كلية التكنولوجيا
Faculté de Technologie

قسم هندسة الطرائق
Département de Génie des Procédés

Mémoire de Master 2

En Gestion Durable des Déchets et Procédés de Traitement

Collecte et traitement des piles usagées.

**Compagne au niveau de
l'université de Blida.**

Présenté par :

Mlle SAHMADI Hanane & Mlle BOUMERZOUG Maroua

Proposé par : **M. CHANANE Kamal.**

Promotion 2019-2020

Remerciements

Nous tenons à remercier toutes les personnes qui ont contribué au succès de ce travail et qui nous ont aidés lors de la rédaction de ce mémoire.

Nos remerciements pour notre promoteur M. Kamal CHANANE, Maître-Assistant au département de Génie des Procédés pour sa patience, sa disponibilité et surtout ses judicieux conseils, qui ont contribué à alimenter notre réflexion.

Nous remercions également tout particulièrement le personnel administratif du département de Génie des Procédés de l'Université de Blida 1 et à sa tête Dr Khalida BOUTEMAK ainsi que toute l'équipe pédagogique de la spécialité Gestion Durable des Déchets et Procédés de Traitement.

Nos remerciements s'adressent aussi aux Dr. Nadjat TAOUALIT et Dr. Nabila BENSSACIA pour avoir présidé et examiné ce travail.

Nous remercions nos deux familles respectives, pour leur soutien constant et leurs encouragements.

A nos amies particulièrement SAHAR , AMEL ,ASMA ,AHLEM , pour leurs énergies positives.

A tous nos collègues de la promotion G2DPT 2019_2020.

Enfin, un merci à tous ceux qui nous ont fait confiance et encouragé à leur façon durant ce projet.

Hanane :

Je tiens à remercier particulièrement, ma mère qui m'a soutenu pendant cette longue période.

Maroua :

Je tiens à remercier du plus profond du cœur mon père, pour ses encouragements et sa générosité. Tu es un père exceptionnel qui m'a permis d'atteindre mes objectifs dans la vie, tu m'as aussi permis d'avoir un support moral afin de surmonter les nombreuses épreuves vécues durant mes études. Je remercie aussi, mes deux frères pour leurs encouragements et leur amour. A mes tous mes proches surtout mes cousines.

Merci.

ملخص:

لعدة سنوات، استمرت مبيعات البطاريات الاستهلاكية في الزيادة في السوق العالمية. البطاريات ، سواء أكانت قابلة لإعادة الشحن أم لا ، لها عمر محدود. تم تطوير قنوات معالجة وتثمين مختلفة نفايات البطاريات على مدار السنوات القليلة الماضية ، ولا سيما البطاريات القلوية ، التي تمثل أكثر من 80٪ من البطاريات المستخدمة في العالم.

يهدف هذا العمل إلى استعادة المعادن ، مثل الزنك (Zn) والمنغنيز (Mn) ، الموجودة في نفايات البطاريات القلوية. تم القيام بحملة توعية وجمع البطاريات المستخدمة في جامعة البليدة 1. أظهر التحليل بالفرز أن 54٪ من البطاريات التي تم جمعها كانت من النوع AAA. تم إجراء الذوبان بمحلول حمض بدرجة حموضة مختلفة لاستعادة الزنك بالتحليل الكهربائي. وصلت نتائج هذا التحليل الكهربائي إلى نسبة استرجاع تتراوح بين 90 و 33٪.

الكلمات المفتاحية: البطاريات القلوية ، إعادة التدوير ، استعادة الزنك ، التحليل الكهربائي.

Abstract:

For several years, sales of consumer batteries have continued to increase in the global market. Batteries, whether rechargeable or not, have a limited life. Different treatment and recovery channels for battery waste have been developed over the past few years depending on the category of used batteries, in particular alkaline batteries, which represent more than 80% of the batteries sold worldwide.

This work aims to recover the metals such as zinc (Zn) and manganese (Mn), present in waste alkaline batteries. An awareness campaign and battery collection was carried out at the University of Blida 1 to collect batteries for recycling. An analysis by sorting showed that 54% of the batteries collected were of type AAA. The solubilization with an acid attack at different pH was carried out to recover the zinc by electrolysis. The results of this electrolysis reached yields ranging from 90 to 33%.

Keywords: Alkaline batteries, recycling, zinc recovery, electrolysis.

Résumé :

Depuis plusieurs années, les ventes de piles grand public ne cessent d'augmenter sur le marché mondial. Les piles, qu'elles soient rechargeables ou non, ont une durée de vie limitée. Différentes filières de traitement et de valorisation des déchets de piles ont été développées au cours de ces dernières années en fonction de la catégorie de piles usagées, notamment les piles alcalines, qui représentent plus de 80% des piles commercialisées dans le monde.

Ce travail vise à valorisation des métaux d'intérêt, comme le zinc (Zn) et le manganèse (Mn), présents dans les déchets de piles alcalines. Une campagne de sensibilisation et de collecte de piles a été effectuée au niveau de l'université de Blida 1 pour collecter les piles à recycler. Une analyse par tri a montré que 54% des piles collectées sont de type AAA. La solubilisation avec une attaque acide à différent pH ont été réalisés pour récupérer le zinc par électrolyse. Les résultats de cette électrolyse ont atteints des rendements allant de 90 à 33%.

Mots clés : Piles alcalines, recyclage, récupération du zinc, électrolyse.

Sommaire

Page

Résumés**Remerciements****Liste des tableaux, figures et annexes****Nomenclature****Introduction Générale**

01

Chapitre I : Recherche et Analyse bibliographiques

I.1.	Introduction	03
I.2.	Définition d'une pile	03
I.3.	Type de pile et utilisation	04
I.3.1.	Piles primaires (piles non rechargeables)	04
I.3.2.	Piles secondaires (Accumulateurs et Piles rechargeables)	04
I.4.	Composition et fonctionnement des piles alcalines	05
I.5.	Métaux présents dans les déchets de piles et leur toxicité	06
I.6.	Durée de vie d'une pile	06
I.6.1.	La différence entre les piles et les accumulateurs	07
I.6.2.	Impact sur l'environnement	07
I.6.3.	Impact sur la santé	08
I.6.4.	Entreposage des piles	08
I.6.5.	Solutions proposées	09
I.7.	Classification des piles selon leur format	09

Chapitre II : Matériels et Méthodes

II.1	Techniques de sensibilisation pour la collecte des piles usagées	11
II.1.1	Les objectifs	11
II.1.2	Les moyens	12
II.1.3	L'évaluation	12
II.2	La collecte des piles usagées	12
II.3	Le recyclage des piles usagées	12
II.3.1	Les étapes de recyclage	13
II.4	Analyse par tri des piles usagées et électrolyse	14
II.4.1	Préparation et caractérisation de l'échantillon	14
II.4.2	Sélection de l'agent de lixiviation	15

II.5	Electrolyse de la solution de zinc	16
------	------------------------------------	----

Chapitre III : Résultats et Discussions

III.1	Compagne de collecte des piles	18
III.2	Echantillonnage des piles collectées	19
III.2.1	Mesure de la masse et de la charge des piles	19
III.2.2	Analyse par tri des piles	22
III.3.	Récupération du zinc par électrolyse	23
III.3.1	Préparation des électrolytes	23
III.3.2	La cellule d'électrolyse	23
III.3.3	Résultat de l'électrolyse	23

	Conclusion Générale	27
--	----------------------------	----

Annexes

Références Bibliographiques

- [1] Future Planète, site d'information sur les déchets dans le monde, Septembre 2020.
- [2] F. Loudjani, « La collecte et le recyclage des piles sont inexistantes en Algérie », Article El Watan, M. Fawzigaidi, 12 mars 2020.
- [3] Tanong, Kulchaya . Récupération par voie hydrométallurgique des métaux à partir des déchets de piles mélangées. Thèse. Québec, Université du Québec, Institut national de la recherche scientifique, Doctorat en sciences de l'eau, 2016
- [4] K. Noufel « Contribution à la récupération des matériaux des piles usagés », Thèse de doctorat, Université de Bordj Bou Arréridj, 2018
- [5] V. Intrakamhaeng, KA Clavier, T.G. Townsend, « Hazardous Waste Characterization Implications of Updating the Toxicity Characteristic List » Journal of Hazardous Materials, 2019.
- [6] L. Calin, A. Catinean, M. Bilici and A. Samuila « A corona-electrostatic technology for zinc and brass recovery from the coarse fraction of the recycling process of spent alkaline and zinc carbon batteries » Journal of clean production, 2020.
- [7] Centre anti-poisons Belge, Site d'information sur les poisons, Septembre 2020.
- [8] Selectra, Site d'information sur les produits électriques ; Septembre 2020.
- [9] N. Boothman, « Convaincre en moins de 2 minutes », Ed. Poche marabout, 2016.
- [10] R. Bandler et J. Grinder, « Technique de communication », Ed. J'ai lu, 2011.
- [11] Groupe Schroll, site d'information sur le traitement des déchets spéciaux, Septembre 2020.
- [12] A. Dalila Jabir, K. Tanong, L. Huong Tran, L. Coudert, J. F. Blais et G. Mercier, « Étude pilote d'un procédé hydrométallurgique de récupération du Mn et du Zn à partir des déchets de piles alcalines », INRS, Université de recherche, Québec, Canada, 2015.
- [13] M. G. Olivier, « Cours Electrochimie », Faculté polytechnique de Mons, 2009.
- [14] Energizer, Fiche technique de sécurité, 2011.
- [15] F. Miomandre, « Electrochimie. Des concepts aux applications », Dunod, 2010.

Liste des Tableaux

Tableau I.1	Utilisations des piles non rechargeables.
Tableau I.2	Utilisations des piles rechargeables Propriétés des métaux.
Tableau I.3	Propriétés des métaux toxiques présents dans les déchets de piles.
Tableau I.4	Classification des piles portables selon le format.
Tableau III.1	Résultats de la collecte des piles usagées au niveau de l'université de Blida.
Tableau III.2	Mesure des charges et des masses des piles AAA.
Tableau III.3	Mesure des charges et des masses des piles AA.
Tableau III.4	Analyse par tri de 10 piles AAA de type.
Tableau III.5	Variation de la masse de l'électrode de zinc en fonction du temps.
Tableau III.6	Variation de la masse théorique déposées en comparaison avec la masse expérimentale en fonction du temps pour les 3 expériences réalisées.
Tableau III.7	Rendements de l'électrolyse pour les 3 solutions de lavage.

Liste des figures

Figure I.1	Structure typique d'une pile alcaline.
Figure II.1	Schéma de recyclage des piles usagées.
Figure III.1	Composition des piles collectées par types.
Figure III.2	Composition des piles usagées de types AAA.
Figure III.3	Variation de la masse de l'électrode de zinc en fonction du temps.

Liste des Annexes

Annexe A	Affichettes pour la sensibilisation sur la collecte des piles.
Annexe B	Affiche sur la collecte des piles usagées.
Annexe C	Photos sur la collecte des piles usagées au niveau de l'université de Blida 1.

Listes des abréviations

Al-Mg	Alcalin Manganèse
EDTA	Acide Ethylène-Diamine-Tétra-Acétique
EPBA	European Portable Battery Association
Ni-Cd	Nickel Cadmium
Ni-MH	Nickel Métal-Hydrure
ZN-C	Zinc –Carbone
Zn-Air	Zinc –Air

Chapitre I

Recherches Bibliographiques

(Généralités sur les piles portables)

I.1. Introduction

Les piles portables sont consommées quotidiennement en Algérie, entre 500 à 600 millions par an soit en moyenne de 12 à 14 piles par habitant. Leur élimination pose un réel problème environnemental puisque aucune unité, aucun établissement n'existe à l'heure actuelle pour leur gestion ou leur élimination.

Si beaucoup de pays comme la Suisse, l'Allemagne ou la Chine ont fait de la gestion des piles une priorité nationale en matière environnemental, les piles usagées en Algérie sont traitées comme des déchets managers et se retrouvent dans le circuit de ces derniers soit dans les centres d'enfouissement technique soit directement dans la nature.

A titre indicatif, les Suisses utilisent 120 millions de piles portables par année, soit 14 unités par habitant et les Français 1405 millions de piles portables en 2018, soit 18 unités par habitant. Le taux de collecte des piles portables atteint 68% en Suisse, 46% en France contre pratiquement 0% en Algérie [2].

I.2. Définition d'une pile

Une pile est un appareil qui stocke et accumule l'énergie électrique pour la restituer, elle est composé de deux électrodes; un pôle positif (Anode) et un pôle négatif (Cathode) plongées dans une solution appelée électrolyte, faisant office de conducteur.

Les piles peuvent être classées en deux types principaux :

Les piles primaires: (non rechargeables) qui sont relativement économiques à produire et sont conçues pour être éliminées ou recyclées après la consommation de leur charge initiale, mais elles ne sont pas très écologiques.

Les piles secondaires: qui peuvent être rechargées et qui sont généralement plus chères que les piles primaires. Elles sont plus économiques et respectueuses de l'environnement à long terme.

I.3. Types de pile et utilisation

I.3.1. Piles primaires (Piles non rechargeables)

Ce sont les piles les plus utilisées, elles alimentent surtout les télécommandes, les jouets en général les appareils à faible consommation énergétique. Les caractéristiques de ces piles sont résumées sur le tableau suivant :

Tableau I.1 : Utilisations des piles non rechargeables [3].

Type de pile	Utilisation
Pile au zinc-carbone (Zn-C) Voltage : 1,5 / 4,5 /6 et 9 Volt	Pile bon marché pour des appareils demandant peu d'énergie, par ex. lampes de poche, télécommandes TV, réveils, pendules de cuisine, radios portatives, lampes de chantier.
Pile au manganèse alcalin (Al-Mn) Voltage : 1,5 / 4,5 et 6 Volt	La pile la plus répandue pour une plus grande consommation de courant et une utilisation prolongée. Convient à plusieurs types d'appareils, par ex. lecteurs audio portatifs (CD, magnétophones), appareils photo, caméras, jouets, rasoirs, téléphones sans fil.
Pile zinc-air (Zn-Air) Voltage : 1,4 Volt	Pile spéciale à grande capacité de charge. S'utilise par exemple dans les appareils auditifs (à la place de piles boutons contenant du mercure).
Pile au lithium (Li) Voltage : 1,5 / 3 et 6 Volt	Pile légère très performante s'utilisant surtout en photographie, par exemple dans des appareils demandant beaucoup d'énergie (flashes, avance automatique du film) ou flashes externes
Pile à l'oxyde d'argent (AgO) Voltage : 1,55 Volt	Pile bouton ayant une capacité de charge moyenne à haute. On l'utilise par exemple dans les montres, les appareils photo, les calculatrices de poche, les appareils médicaux (appareils d'injection d'insuline pour diabétiques, entre autres).

I.3.2. Piles secondaires (Accumulateurs et Piles rechargeables)

Les piles rechargeables sont souvent utilisées pour des appareils énergivores qui consomment beaucoup d'énergie durant un temps plus important. Leurs utilisations sont résumées dans le tableau suivant.

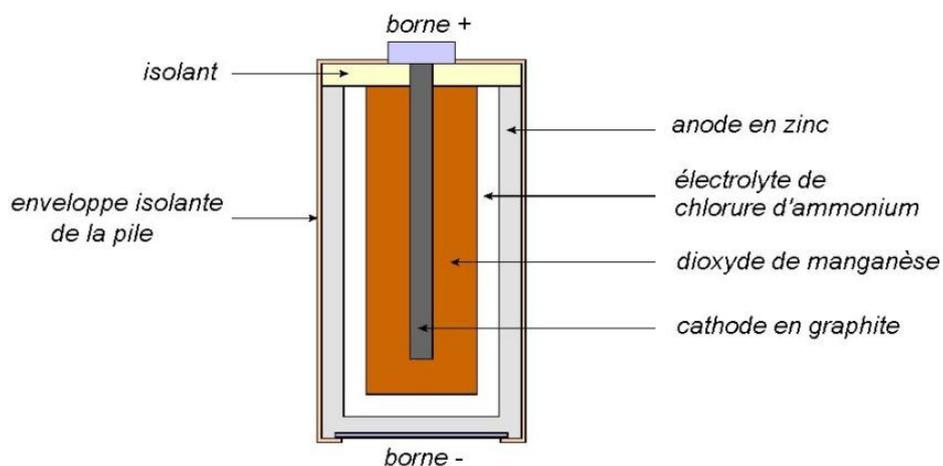
Tableau I.2 : Utilisations des piles rechargeables [3].

Type de pile	Utilisation
Accumulateur au Nickel Cadmium (Ni-Cd) Voltage : 1,2 Volt	Accumulateur à grande capacité de charge, par ex. pour les téléphones sans fil, les brosses à dents électriques, les outils à accumulateur, les éclairages de sûreté. Comme le cadmium est un polluant toxique, ce type de pile est de plus en plus souvent remplacé par les piles au nickel-métal-hydrure, au lithium-ion ou au lithium polymère.
Accumulateur au Nickel Métal-Hydrure- (Ni-MH) Voltage : 1,2 Volt	Accumulateur de même usage que l'accumulateur au nickel-cadmium, mais sans métaux lourds et beaucoup moins polluant.
Accumulateur au Lithium ions et au Lithium polymère Voltage : 3,7 Volt	Pile secondaire à grandes capacité de charge et densité énergétique. S'utilise par ex. dans les téléphones mobiles, les téléphones sans fil, les caméras numériques, les agendas électroniques et les notebooks.

I.4. Composition et fonctionnement des piles alcalines

Une pile alcaline est un type de pile fonctionnant par oxydo-réduction entre le zinc (Zn) et le dioxyde de manganèse (MnO_2). La Figure présente la composition générale d'une pile alcaline. La coque de la pile est en acier, ce qui explique la présence de fer dans les déchets de pile. La cathode est constituée de poudre de dioxyde de manganèse et de carbone. Quant à l'anode, elle est constituée de poudre de zinc de très haute pureté, produite soit par aspiration électrothermique, soit par distillation.

Une solution d'électrolyte d'hydroxyde de potassium (KOH) est introduite pour assurer la conductivité ionique entre l'anode et la cathode. Le collecteur de courant d'anode est une broche en laiton, tandis que la coque en fer agit comme collecteur de courant cathodique.

**Figure I.1: Structure typique d'une pile alcaline [4].**

I.5. Métaux présents dans les déchets de piles et leur toxicité

La composition typique quantitative et qualitative d'une pile est résumée dans le tableau suivant qui indique les propriétés chimiques des métaux présents dans les déchets de piles, leur utilisation et leur toxicité.

Les piles sont régénérées dans des établissements de traitement des déchets spéciaux. Elles sont triées à la collecte mais le tri n'est pas réalisé à 100%. Un tri manuel est suivi pour s'assurer que chaque type de piles est traité séparément et selon le procédé souhaité.

Tableau I.3 : Propriétés des métaux toxiques présents dans les déchets de piles [5].

Métal	Utilisation	Toxicité
Cadmium (Cd) Z=48, M=112,411 g/mol	Les usines de fabrication des piles Ni-Cd, les revêtements, les pigments, les alliages, les plastiques, les fils téléphoniques, les huiles à moteur, etc.	Dommmages aux reins, nécrose et/ou disfonctionnement rénal, œdème pulmonaire, cancers des poumons ou de la prostate.
Manganèse (Mn) Z=25, M=54,938 g/mol	Les alliages, les aciers, les agents anti-corrosion.	Troubles de développement intellectuel chez les enfants, troubles de la reproduction, malformations osseuses, ataxie et altérations du système nerveux central.
Nickel (Ni) Z=28, M=58,693 g/mol	Les aciers, les pièces de monnaie, les bijoux, les équipements dans la cuisine, les batteries, etc.	Dermatites, asthme chronique, maladies cardiovasculaires ou rénales et cancers des poumons.
Zinc (Zn) Z=30, M=65,380 g/mol	Les aciers contre la corrosion, la production du laiton, les alliages, les toitures, les gouttières et les descentes d'eaux pluviales	Dépression, léthargie, effets neurologiques, vomissements, irritation gastro-intestinale et cancers

I.6. Durée de vie et impacts d'une pile

Par rapport à la pile Leclanché (appelée aussi pile saline Zinc-Carbone), dont la tension est également d'environ 1,5 volt par cellule, les piles alcalines ont une plus grande densité d'énergie et une durée de vie plus longue.

Sur des appareils à forte consommation, comme des appareils photo ou des télécommandes de jeu, elle peut être de quelques heures seulement. Sur des appareils à faible consommation, comme des horloges ou des télécommandes infrarouges, elle peut être de deux à trois ans.

Contrairement à ce qui est indiqué les piles alcalines sont rechargeable sous certaines conditions jusqu'à une dizaine de fois, à condition de ne pas trop les décharger et d'utiliser un chargeur qui connait ce type de pile et la méthode pour les recharger correctement.

I.6.1. La différence entre les piles et les accumulateurs

Les piles et les accumulateurs sont utilisés comme source d'énergie dans beaucoup d'appareils. On distingue ainsi :

Les piles électriques (pile bâton et pile bouton), qui, contrairement aux batteries et accumulateurs, est à usage unique et ne peut être rechargée. On les trouve le plus souvent dans les petits appareils (télécommande, réveil, montre, etc.).

Les accumulateurs qui, eux, sont rechargeables (500 à 2000 fois). Vendus avec ou sans chargeur, certains, que l'on appelle plus communément piles rechargeables, peuvent remplacer les piles bâton (accumulateurs Ni-Mn ou Ni-Cd). Les accumulateurs portables (<1kg) sont ainsi utilisés dans des produits d'usage courant (calculatrices, téléphones portables, lecteurs MP3...) alors que les accumulateurs non portables (>1 kg) sont principalement à destination des véhicules.

I.6.2. Impact sur l'environnement

Les plus sensibilisés à la protection de l'environnement vont déposer les piles usagées aux bornes présentes à l'entrée de leur supermarché ou de leur mairie. Certains, par mauvaise conscience, les stockeront en masse chez eux pour ne pas les jeter à la poubelle. D'autres ne s'en incommodent pas du tout et les traitent comme n'importe quel autre déchet. Et pourtant, les piles et batteries usagées représentent un danger réel pour notre environnement.

Cela commence dès leur production. Fabriquer une pile alcaline jetable demande cinquante fois plus d'énergie que ce qu'elle sera capable de produire tout au long de sa vie. Une étude Uniross, entreprise spécialisée dans le domaine de la pile rechargeable, démontre que la fabrication du nombre de piles nécessaire à la production d'un kilowattheure d'énergie contribue autant au changement climatique que 457 kilomètres parcourus en voiture.

Existe-t-il une solution ? Les piles rechargeables qui, pour la même quantité d'énergie fournie, ont 30 fois moins d'impact sur la pollution de l'air, 12 fois moins sur la pollution de l'eau, et demandent jusqu'à 23 fois moins de ressources non renouvelables. Parce que, selon les

modèles, les piles et les batteries peuvent contenir nickel, lithium, zinc, cadmium et mercure. Des ressources qui, pour certaines, sont très rares et dont l'extraction est particulièrement polluante.

Autre problème : le traitement des piles et batteries usagées. Dans les pays de l'union européenne, seulement 45% d'entre elles sont collectées pour être recyclées, selon une étude de l'EPBA (European Portable Battery Association). C'était moins de 2% en Chine en 2012. Quand elles ne sont pas récupérées, elles sont jetées dans la nature, incinérées ou enfouies. Un drame écologique puisque certaines piles libèrent alors leurs métaux et polluent les écosystèmes à long terme. Selon l'Institut Bruxelles Environnement, le mercure d'une pile bouton usagée peut contaminer 400 litres d'eau ou un mètre cube de terre pendant 50 ans. Une pollution doublée de gâchis quand on sait que les matériaux contenus dans les piles collectées peuvent trouver une nouvelle jeunesse dans la fabrication d'autres batteries, de couverts, de carrosseries de voiture ou de gouttières [6].

I.6.3. Impact sur la santé

Les piles contiennent, entre autres, des substances qui sont toxiques pour l'Homme et les animaux. En effet elles contiennent du nickel, du cadmium, du mercure, du plomb, du fer, du zinc et du lithium. Les piles, tels que les piles au Lithium-ion, peuvent également surchauffer, fuir, éclater, exploser ou s'enflammer, ce qui présente un risque de blessures graves si elles ne sont pas correctement ; installées, utilisées, entreposées ou éliminés.

Or, les organes les plus touchés par ces substances sont les reins, le foie et parfois même le cerveau. Une fois que ces substances ont atteint les organes, cela peut causer des dérangements intestinaux, des troubles de la vue et des troubles du système nerveux. Un enfant peut en mourir s'il avale une pile ou une partie de celle-ci ou que le liquide reste trop longtemps dans son système digestif [7].

I.6.4. Entreposage des piles

Les piles peuvent s'enflammer et même exploser lorsqu'elles entrent en contact avec du métal. Il ne faut pas les entreposer dans un endroit où elles peuvent entrer en contact avec de la monnaie ou des clés par exemple dans des poches ou un sac à main. Il faut Entreposer les piles dans leur emballage original, dans un endroit frais et sombre, à l'écart des produits chimiques ménagers comme les solvants ou les produits d'entretien.

I.6.5. Solutions proposées

Tout d'abord, les gens peuvent recycler les piles usagées, cela contribue à la protection de l'environnement. Lors de la récupération, une pile peut être recyclée à environ 60%. Par exemple, pour 100 tonnes de piles, on peut en retirer 39 tonnes de ferromanganèses et 20 tonnes de zinc. La pile rechargeable peut être réutilisée à de nombreuses reprises, donc elles jouent un rôle important dans la protection de l'environnement.

Au lieu de se débarrasser des piles continuellement, on peut les recharger et les réutiliser. Elles sont très efficaces et coûtent moins cher à long terme, puisqu'elles peuvent se recharger. Avec le temps, cette technologie s'est développée. Par exemple, plusieurs compagnies offrent maintenant des chargeurs qui sont très efficaces. Les piles se rechargent rapidement, 2 piles AA sont prêtes à être réutilisées après 1 heure. Il y a quand même un inconvénient, une pile rechargeable fonctionne moins longtemps avant de devoir être rechargée qu'une pile jetable. À long terme les avantages vont vers les piles rechargeables [7].

I.7. Classification des piles selon leur format

Il existe plusieurs formats de piles selon leur utilisation ou leur capacité. Ainsi, qu'elles soient alcalines, salines ou au lithium, elles adoptent des formats géométriques indiquées dans le tableau I.4.

Les piles alcalines sont les plus utilisés dans le monde. Le zinc et le dioxyde de manganèse contenus à l'intérieur fournissent une énergie suffisante pour alimenter n'importe quel genre d'appareil.

Les piles salines sont plus adaptées à des appareils électriques nécessitant une faible énergie. Leur avantage, c'est leur faible coût contrairement aux piles à lithium.

La pile au lithium possède les caractéristiques inverses d'une pile saline : son prix d'achat est supérieur aux autres types de piles, mais ses composants permettent d'alimenter efficacement et durablement des appareils énergivores.

Tableau I.4 : Classification des piles portables selon le format [8].

Format	Photo	Dimension (mm)	Tension (V)	Capacité (mA)
LR6 (AA)		50 X 14,2	1,5	2.850
LR3 (AAA)		44 X 10,5	1,5	1.250
LR61 (AAAA)		42,5 X 8,3	1,5	625
LR14 (C)		50 X 26	1,5	8.350
LR20 (D)		58 X 33	1,5	20.500
LR1 (N)		30,2 X 12	1,5	1.000
6LR61 (PP3)		47,5 X 25,5 X 16,5	9	400 - 600
3LR12 (1203)		67 X 62 X 22	4,5	6.100
4LR25 (908AC)		68,5 X 68,5 X 103	6	12.000
LR44		11,6 X 5,4	1,5	150
CR2032		20 X 3,2	3	225

Chapitre II

Matériels et Méthodes

II.1. Techniques de sensibilisation pour la collecte des piles usagées

Il s'agit ici de la collecte d'un produit couramment utilisé dans les ménages mais qui est toxique s'il est éliminé dans la nature (l'eau ou le sol). Pour sensibiliser des personnes sur un sujet pareil, il existe plusieurs techniques qui diffèrent selon les objectifs à atteindre et le public à sensibiliser. Nous citons par exemple :

- La technique par la Conférence-Débat
- La technique par l'Exposé
- La technique par la Causerie Educative

Pour la réalisation de notre sensibilisation, nous avons opté pour la technique par exposé pour les raisons suivantes :

1. Le public cible a un niveau universitaire qui assimile rapidement
2. Le temps de la sensibilisation est relativement court
3. La durée de la collecte est de 1 mois (réduite à 10 jours pour cause de pandémie)
4. Il s'agit d'un seul type de déchet à collecter
5. Il n'y a pas d'ambiguïté dans la démarche de la collecte comme le tri ou des précautions particulières à prendre en considération.

II.1.1. Les objectifs

Les objectifs de la sensibilisation peuvent être résumés comme suit :

1. Amener les étudiants à comprendre la problématique et en prendre conscience
2. Orienter les étudiants vers le bac de collecte
3. Rendre chaque individu agissant par lui-même en ramenant les piles
4. Changer le comportement de chaque individu d'une façon durable.

II.1.2. Les moyens

Les moyens que nous nous sommes donnés pour réussir cette tâche sont des moyens simples mais surtout qui attire l'attention des étudiants sur nos objectifs. Nous avons alors mis en place les moyens suivants :

1. Publique cible, étudiants de première année pharmacie
2. Un exposé de 15 minutes sur les dangers des piles à la fin d'un cours
3. Des affiches collées et des affichettes distribuées aux étudiants
4. Des bacs de collecte en bouteille de 5 litres avec affiche collée dessus.

II.1.3. L'évaluation

Chaque action est évaluée selon ses objectifs, s'ils sont réalisés ou pas et à quel pourcentage. Pour cela il faut définir des objectifs « smart » ou bien des objectifs réalisables et mesurables. Dans notre cas, il faut noter les observations suivantes :

1. La durée de la campagne de collecte
2. La quantité des piles collectées
3. L'analyse par tri des piles collectées

II.2. La collecte des piles usagées

La collecte des piles usagées s'est effectuée au niveau de l'université de Blida dans les différents points de rencontre des étudiants comme la bibliothèque, les amphis, les salles de cours et les buvettes. Le lieu privilégié de la collecte a été choisi au niveau des buvettes. Une campagne de sensibilisation et de communication sur le recyclage et les dangers des piles usagées dans le milieu naturel a été entreprise en utilisant des fiches et des affiches pour informer les étudiants à quel point les piles sont dangereuses pour l'environnement et la santé.

II.3. Le recyclage des piles usagées

Le recyclage permet dans un premier temps d'économiser des matières premières, le traitement de 100 tonnes de piles usagées permet la récupération de :

- 33 tonnes de zinc, utilisé dans la fabrication de toitures et de gouttières

- 24 tonnes d'alliages de nickel et de fer, qui permettent de fabriquer les aciers inoxydables que l'on retrouve dans les couverts et carrosseries de voiture
- 3 tonnes de plomb, cuivre, cobalt et autres métaux réemployés dans l'industrie notamment fabrication de batteries neuves
- 40 tonnes de matériaux comme le manganèse, graphite, plastiques, papiers et résidus.

II.3.1. Les étapes de recyclage

Le recyclage des piles passe par les mêmes étapes que n'importe quel recyclage de déchets. En général, ces étapes sont énumérées comme suit :

a) La collecte:

Les batteries sont collectées dans les points d'élimination et les points de collecte des déchets et amenées à l'installation de recyclage.

b) Le concassage :

En arrivant à l'installation de recyclage, les piles sont écrasées avec un broyeur à marteaux en petit morceaux.

c) Le tri:

Les morceaux cassés sont pris dans un énorme boule où les métaux sont séparés par gravité. Ils sont ensuite triés en métaux ferreux et non ferreux à l'aide d'un aimant magnétique.

d) Tamisage:

Les particules de plastique et de carton sont séparés par tamisage et ne laissant que des métaux lourds. Ils sont ensuite utilisés dans la fabrication de nouvelles piles ou autres utilisations.

Le schéma suivant résume l'essentiel de ses étapes.

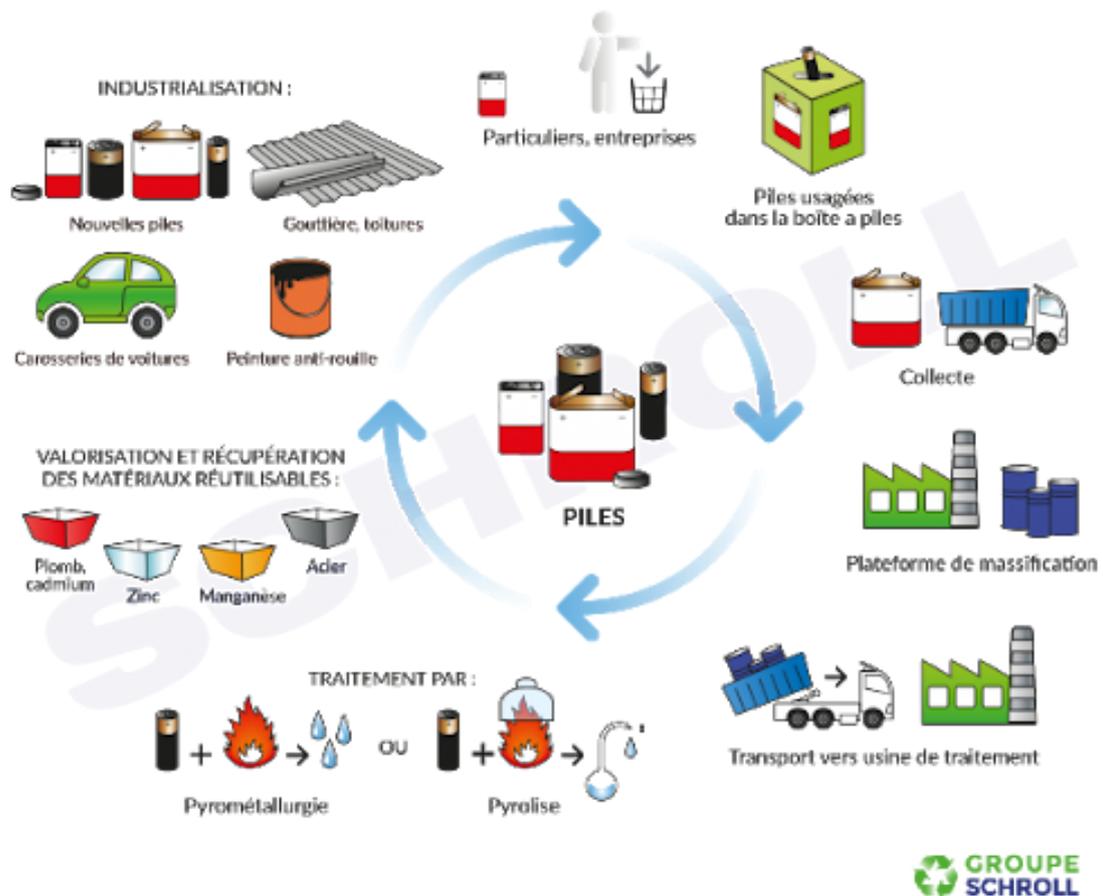


Figure II.1 : Schéma de recyclage des piles usagées.

II.4. Analyse par tri des piles usagées et électrolyse

II.4.1. Préparation et caractérisation de l'échantillon

Des échantillons de piles usagées, tout type sont collectées aux points de collecte situés à l'université de Blida 1. Chaque type de piles sera manuellement séparé et démonté pour déterminer sa composition en métaux. En raison du dégagement potentiel d'hydrogène gazeux des batteries usées et de la violente réaction de ce gaz avec l'oxygène, la procédure de démontage doit être effectuée avec précaution. Les piles au lithium et les piles usées Ni-MH, au cas où elles se trouvent, doivent être congelées dans de l'azote liquide puis immédiatement démantelées en raison de leurs réactivités élevées.

Après le démontage, la procédure utilisée pour la préparation de la poudre fine diffère légèrement pour chaque type de piles usagées. Pour les piles alcalines, Ni-MH et Ni-Cd, les fines

particules doivent être éliminées des électrodes positives et négatives en utilisant un concassage et un broyage manuels avec un mortier.

Les piles Li-ion doivent être écrasées manuellement et le matériau de la cathode doit être déroulé et coupé en petits morceaux, puis le matériau broyé manuellement avec un mortel.

Pour tous les types de piles usées, les particules grossières indésirables (chutes de fer, papier, broche collectrice, plastique et plaque d'électrode) présentes dans les échantillons seront éliminées par criblage à travers des tamis de 1 mm et 2 mm. Le matériau restant sera ensuite séché à 25 °C pendant 24 h et broyé à nouveau manuellement en utilisant le mortier.

Après cette préparation, tous les types de piles usagées sont mélangés. Les quantités de chaque type de piles usagées utilisées pour préparer le mélange seront sélectionnées en fonction de la consommation de piles sur le marché national Enfin, le mélange obtenu doit être broyé à plusieurs reprises pendant 5 min à l'aide d'un broyeur pour obtenir la poudre fine.

II.4.2. Sélection de l'agent de lixiviation

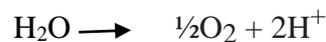
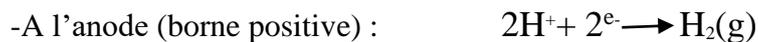
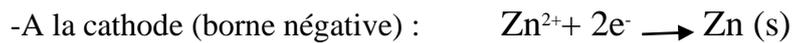
Plusieurs expériences ont été menées pour évaluer l'influence de la nature et de la concentration des agents de lixiviation, de la température et du temps de rétention sur la solubilisation des métaux du mélange de batteries usagées. Dans ces expériences, différents types d'agents de lixiviation, notamment des acides inorganiques et organiques, des agents alcalins et chélatants, ont été testés. Les expériences de lixiviation ont été réalisées en utilisant de l'acide sulfurique H_2SO_4 à 0,5 et 2,0 Molaire, l'acide chlorhydrique HCl à 0,5 et 2,0 M, de l'acide oxalique $H_2C_2O_4$ à 0,5 M, de l'acide acétique CH_3COOH à 0,5 et 2,0 M, l'hydroxyde de sodium $NaOH$ à 0,5 et 2,0 M, Chlorure d'ammonium NH_4Cl à 1,0 et 4,0 M et acide Ethylène-Diamine-Tétra-Acétique EDTA à 0,125 et 0,250 M.

Les solutions de lixiviation sont préparées en diluant des réactifs dans de l'eau distillée. Pour toutes les expériences, le rapport Solide / Liquide est fixé à 7% (P / V). Les expériences de lixiviation ont été effectuées sur 5 g du mélange de piles usagées mélangé avec la solution de lixiviation à 100 ml dans une erlenmeyer de 250 ml à température ambiante $19^{\circ}\pm 2$ sous agitation durant 90 minutes. Enfin, les échantillons sont filtrés sous un papier filtre et le filtra récupéré.

II.5.Électrolyse de la solution de zinc

Le zinc est récupéré par électrolyse de la solution de sulfate de zinc acidifiée à l'acide sulfurique. Les ions sulfates ne participent pas à la réaction. On observe un dépôt métallique à l'une des électrodes et un dégagement gazeux sur l'autre.

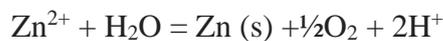
Les réactions d'oxydo-réduction sont les suivantes :



Données :

$M(\text{Zn})=65 \text{ g/mol}$; densité (Zn)= $7,14 \text{ g/cm}^3$; constante d'Avogadro : $6,02 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$; $e=1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$; $F = 96500 \text{ C/mol}$. Environ 10^5 C/ mol .

L'équation de la réaction globale de cette électrolyse est :



La réaction dans l'anode qui produit de l'hydrogène est une réaction concurrente de la première. Ainsi la quantité de H^+ dans la solution reste la même. Les conditions opératoires sont les suivantes :

- Cathode de zinc pour la pesée avant et après électrolyse
- Anode en carbone
- Solution acide de H_2SO_4
- pH entre 4 et 6
- Température ambiante $19^\circ \pm 2$
- Electrolyse à 3 V et 1000 mA

La masse théorique de zinc déposée sur l'électrode de zinc est donnée par la relation suivante :

$$m_{th} = \frac{I t M}{z F}$$

Avec :

m_{th} : Masse théorique déposée (g)

I : Intensité du courant (A)

t : Temps de l'électrolyse (s)

M : Masse molaire (g/mol)

z : Valence du métal ($z=+2$)

F : Constante de Faraday (C)

Le rendement de l'électrolyse est obtenu en mesurant la masse réellement déposée sur la masse théorique.

$$\rho = \frac{m}{m_{th}} \times 100$$

Chapitre III : Résultats et Discussions

III.1. Campagne de collecte des piles

La collecte des piles a été organisée au niveau des buvettes, à l'entrée des amphithéâtres et centres de cours et de TD de l'université Saad DAHLAB. Prévues initialement pour un mois à partir du 03 mars, elle a été écourtée au 12 mars suite à l'arrêt des cours pour cause de pandémie du COVID-19.

Pour sensibiliser les étudiants à ramener leurs piles usagées de chez eux et les déposer au niveau des bacs, nous avons ciblé un groupe de 150 étudiants de 1^{ère} année pharmacie de la faculté de médecine. Dans le dernier quart d'heure du cours, nous nous sommes invités pour leur distribuer des affiches et les sensibiliser du danger que peut avoir une mauvaise gestion des piles usagées. Les figures en annexe A montrent les outils de sensibilisation utilisés à cet effet.

A la fin du cours de Chimie générale, nous nous sommes invitées pour sensibiliser les étudiants et leur expliquer au moyen d'une projection par data-show comment déposer piles usagées dans le bac de collecte déposer à proximité d'un distributeur de boissons à la sortie de l'amphithéâtre voir photos III.1. et III.2. Pour les autres sites, nous avons accroché des bacs de collecte de piles au niveau de toutes les buvettes de l'université, au total 5 bacs ont été installés.

Les résultats de cette collecte sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau III.1 : Résultats de la collecte des piles usagées au niveau de l'université de Blida.

Type de piles	Nombre	Masse (g)	%(Masse)
AAA	159	1014,7	54,06
AA	60	673,5	35,88
R20	2	188,7	10,05
Total	221	1876,9	100,00

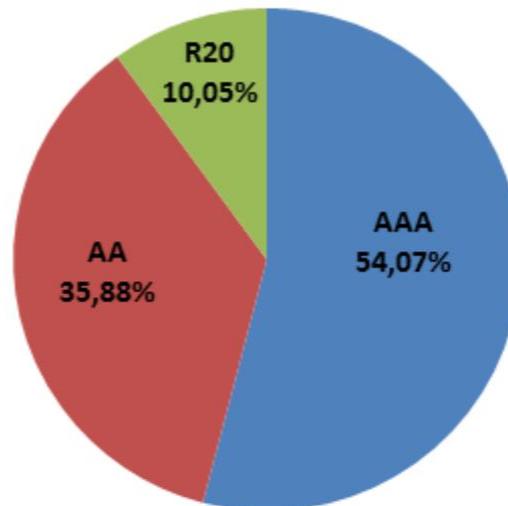


Figure III.1. Composition des piles collectées par types.

Les piles les plus collectées à priori sont les piles de type AAA, elles sont utilisées pour les télécommandes, les bips de voiture ou encore pour les jouets. Elles représentent plus de la moitié des piles usagées. Le reste est quasiment les piles de types AA plus grandes mais également utilisées dans les jouets et les horloges.

Nous n'avons pas trouvé par exemple d'autre type comme les piles boutons ou les piles carrées, cela est probablement dû la durée de la campagne qui a été écourtée à cause de la pandémie.

III.2. Echantillonnage des piles collectées

III.2.1. Mesure de la masse et de la charge des piles

Pour analyser les piles usagées collectées, nous avons examiné un échantillon de piles prises au hasard, de type AAA et de type AA, que nous avons classées en fonction de la marque, du pays d'origine, de la masse et de la charge. Nous avons également examiné suivant les indications sur leur emballage si elles contiennent du plomb, du mercure ou du cadmium.

La prise de la masse a été effectuée par une balance de précision à 0,1 g et la charge par un multimètre digital modèle DT-830B.

Les résultats de ces deux analyses sont présentés dans les deux tableaux suivants.

Tableau III.2 : Mesure des charges et masses des piles AAA.

N°	Marque	Pays	Voltage (V)	Masse (g)	Observation
01	LASER	RPC	1,58	5,8	Contenant Pb Sans Hg et Cd
02	LASER	RPC	1,57	5,8	Contenant Pb Sans Hg et Cd
03	LASER	RPC	1,18	5,2	Contenant Pb Sans Hg et Cd
04	LASER	RPC	1,39	5,9	Contenant Pb Sans Hg et Cd
05	LASER	RPC	1,01	5,9	Contenant Pb Sans Hg et Cd
06	LASER	RPC	1,52	5,7	Contenant Pb Sans Hg et Cd
07	LASER	RPC	1,53	5,4	Contenant Pb Sans Hg et Cd
08	LASER	RPC	1,25	5,4	Contenant Pb Sans Hg et Cd
09	LASER	RPC	1,45	5,9	Contenant Pb Sans Hg et Cd
10	AKID	RPC	1,03	7,2	Contenant Pb Sans Hg et Cd
11	KENDAL	RPC	1,59	7,0	Contenant Pb Sans Hg et Cd
12	KENDAL	RPC	1,59	7,2	Contenant Pb Sans Hg et Cd
13	YONGHUA	RPC	1,36	6,3	Contenant Pb Sans Hg et Cd
14	DOLLAR	RPC	1,51	6,4	Contenant Pb Sans Hg et Cd
15	LASER GOLD	RPC	0,01	6,7	Contenant Pb Sans Hg et Cd
16	LASER GOLD	RPC	1,47	7,0	Contenant Pb Sans Hg et Cd
17	LASER GOLD	RPC	1,59	6,7	Contenant Pb Sans Hg et Cd
18	ZAIBA	RPC	1,57	7,3	Contenant Pb Sans Hg et Cd
19	ZAIBA	RPC	0,02	6,8	Contenant Pb Sans Hg et Cd
20	ZAIBA	RPC	1,47	7,8	Contenant Pb Sans Hg et Cd
-	Moyenne		1,20	6,37	-

L'analyse de l'échantillon de pile AAA a révélé que toutes les piles ont un seul pays d'origine, la république populaire de Chine, elles comportent toutes du plomb et ne contiennent pas du mercure ou du cadmium.

La charge moyenne des piles est de 1,20V contre 1,5V initialement, ceci vérifie que les piles sont usagées puisqu'on admet généralement qu'une pile est toujours utilisable lorsque sa charge est supérieure à 1,25V. [14]

La masse moyenne des piles est également calculée, elle est de 6,37 g, cette valeur nous permet d'estimer un nombre de piles connaissant le poids total collecté.

Tableau III.3 : Mesure des charges et des masses des piles AA.

N°	Marque	Pays	Voltage (V)	Masse (g)	Observation
01	LASER	RPC	0,76	10,4	Contenant Pb Sans Hg et Cd
02	LASER	RPC	0,50	9,9	Contenant Pb Sans Hg et Cd
03	LASER	RPC	1,47	10,1	Contenant Pb Sans Hg et Cd
04	LASER	RPC	1,22	10,5	Contenant Pb Sans Hg et Cd
05	LASER	RPC	1,60	10,0	Contenant Pb Sans Hg et Cd
06	LASER	RPC	0,01	10,7	Contenant Pb Sans Hg et Cd
07	LASER	RPC	0,05	10,1	Contenant Pb Sans Hg et Cd
08	LASER	RPC	1,52	10,5	Contenant Pb Sans Hg et Cd
09	LASER	RPC	0,34	10,2	Contenant Pb Sans Hg et Cd
10	LASER	RPC	1,38	10,4	Contenant Pb Sans Hg et Cd
11	SUPER POWER	RPC	0,83	10,8	Contenant Pb Sans Hg et Cd
12	SUPER POWER	RPC	1,18	10,5	Contenant Pb Sans Hg et Cd
13	ZABIA	RPC	1,42	11,2	Contenant Pb Sans Hg et Cd
14	SOYO SONIC	RPC	1,36	11,8	Contenant Pb Sans Hg et Cd
15	SOYO SONIC	RPC	1,39	12,3	Contenant Pb Sans Hg et Cd
16	LED	RPC	0,62	13,1	Contenant Pb Sans Hg et Cd
17	LED	RPC	1,40	14,0	Contenant Pb Sans Hg et Cd
18	LASER GOLD	RPC	0,01	13,2	Contenant Pb Sans Hg et Cd
19	LASER GOLD	RPC	0,89	13,0	Contenant Pb Sans Hg et Cd
20	LASER GOLD	RPC	0,45	12,8	Contenant Pb Sans Hg et Cd
-	Moyenne		0,92	11,27	-

Les mêmes constatations sont à relever pour la série des piles AA, elles proviennent toutes de Chine, elles contiennent du plomb sans le mercure et le cadmium. La charge moyenne est plus faible que les piles AAA de l'ordre de 0,92 et la masse moyenne égale à 11,27 g.

Remarque :

Nous avons constaté que certaines piles présentent des traces de morsures, cette mauvaise pratique est courante pour augmenter la durée de fonctionnement d'une pile mais elle est dangereuse. Les électrolytes alcalins liquides contenus dans les piles sont toxiques et peuvent provoquer une intoxication aux alcalins par ingestion.

III.2.2. Analyse par tri des piles

Afin d'analyser le contenu des piles, nous avons pris 10 piles de type AAA de notre échantillon que nous avons décortiquées au moyen d'une pince. Chaque partie triée et été pesée, le résultat de cette analyse sont données dans le tableau suivant :

Tableau III.4. Analyse par tri de 10 piles AAA de type.

Composition	Masse (g)	%
Poudre noire	29,5	50,00
Cathode (zinc)	15,2	25,76
Anode en carbone	5,5	9,32
Borne (acier)	1,7	2,88
Enveloppe en plastique	2,2	3,73
Carton	4,9	8,31
Total	59,0	100,00

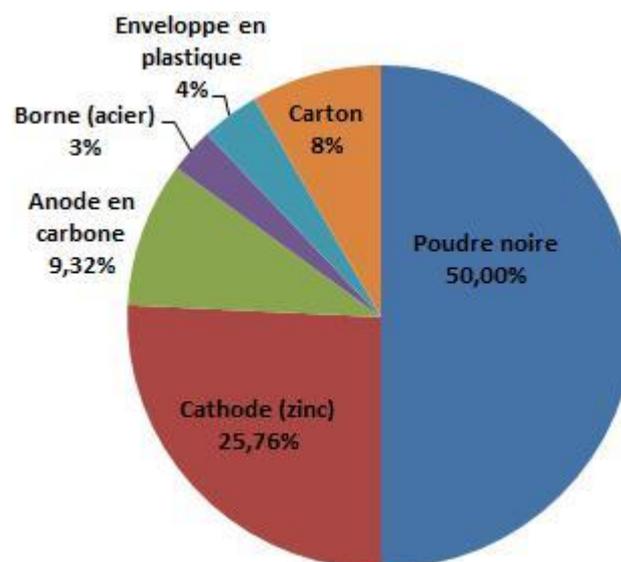


Figure III.2. Composition des piles usagées de type AAA.

L'analyse par tri montre qu'une pile renferme 50% de sa masse, de la poudre noire, cette poudre est constituée d'oxyde de manganèse et de charbon. La cathode de zinc renferme 25%, ce métal représente la fraction la plus recherchée par le recyclage des piles. Il est utilisé dans diverses industries comme matériau pour la protection ou la toiture. L'anode en charbon représente environ 10% de la masse totale et le reste comporte la borne en acier, du carton et du plastique.

III.3. Récupération du zinc par électrolyse

III.3.1. Préparation des électrolytes

Pour récupérer le zinc dans la poudre noire des échantillons des piles, nous avons réalisé 3 expériences. 3 échantillons de 5 g chacun de poudre noire préalablement séchée pendant 24 heures sont lavées dans 3 solutions d'acide sulfurique de 0,3% qu'on mélange respectivement à 1,5 ; 2,5 et 3,5 ml. On ajoute 300 ml d'eau distillée et on met la solution sous agitation durant 90 minutes. Le filtra est récupérée et la solution est utilisée comme électrolyte dans l'électrolyse.

III.3.2. La cellule d'électrolyse

100 ml de filtrat sont versés dans un bécher muni d'une électrode de carbone et d'une électrode de zinc de surface préalablement découpée de 2,5 à 3 cm². L'ensemble est mis sous tension à 3 V et un courant électrique de 1000 mA. La réaction à eu lieu à température ambiante durant une heure. Nous avons constaté un dégagement de gaz au niveau des deux électrodes (H₂ dans la cathode et O₂ dans l'anode) avec un dépôt de zinc sur la cathode en zinc.

L'électrolyse est arrêtée toutes les 15 minutes pour sécher la cathode et la peser à l'aide d'une balance de précision durant 1 heure.

III.3.3. Résultat de l'électrolyse

a) Variation de la masse de l'électrode en fonction du temps

Les résultats de l'électrolyse pour la récupération du zinc sont rassemblés dans le tableau suivant.

Tableau III.5 : Variation de la masse de l'électrode de zinc en fonction du temps.

Acidité de l'électrolyte	Surface de l'électrode (cm ²)	t (min)	0	15	30	45	60
3,5 ml (H ₂ SO ₄)	3,00	m ₁ (mg)	620	635	652	682	694
		Δm ₁ (mg)	0	15	32	62	74
2,5 ml (H ₂ SO ₄)	2,00	m ₂ (mg)	238	249	259	267	270
		Δm ₂ (mg)	0	11	21	29	32
1,5 ml (H ₂ SO ₄)	2,52	m ₃ (mg)	185	189	196	199	206
		Δm ₃ (mg)	0	4	11	14	21

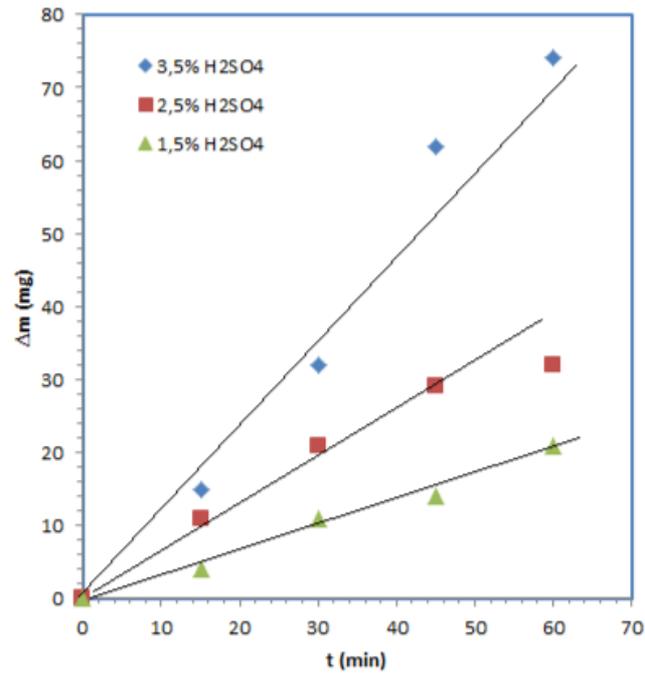


Figure II.3 : Variation de la masse de l'électrode de zinc en fonction du temps.

On peut voir sur le graphe que la masse de l'électrode qui accumule du zinc récupéré de la poudre noire issue des piles usagées augmente en fonction du temps. Cette accumulation doit s'achever lorsque la quantité de zinc s'épuise dans la solution.

Ce graphe est conforme à la loi de Faraday qui lie la masse déposée sur une électrode à la quantité d'électricité qui traverse la cellule d'électrolyse.

On remarque aussi que la masse déposée est proportionnelle à la quantité de l'acide utilisé pour le lavage de la poudre. Cependant, plus la concentration de la solution de lavage est élevée en acide, plus la masse déposée est également élevée.

Cette concentration joue un rôle important dans la dissolution des métaux et du zinc lors du lavage [15].

b) Variation de la quantité d'électricité avec la masse théorique déposée

Pour étudier la variation de la masse théorique déposée en fonction du temps pour les trois expériences menées, et les comparer avec les masses expérimentales, nous avons calculé les charges de l'intensité du courant électrique ramener à la surface de la cathode de zinc. Ce calcul nous a donné les résultats suivants :

Tableau III.6 : Variation de la masse théorique déposées en comparaison avec la masse expérimentale en fonction du temps pour les 3 expériences réalisées.

t(s)	0	900	1800	2700	3600
Q(C)	0	900	1800	2700	3600
D ₁ (A/cm ²)	0,11	-	-	-	-
Q ₁ (C/cm ²)	0	150	300	450	600
Δm _{1th} (mg)	0,00	20,43	40,86	61,29	81,72
Δm _{1exp} (mg)	0	15	32	62	74
D ₂ (A/cm ²)	0,25	-	-	-	-
Q ₂ (C/cm ²)	0	225	450	675	900
Δm _{2th} (mg)	0,00	30,49	60,99	91,48	121,97
Δm _{2exp} (mg)	0	4	11	14	21
D ₃ (A/cm ²)	0,20	-	-	-	-
Q ₃ (C/cm ²)	0	179	357	536	714
Δm _{3th} (mg)	0,00	24,09	48,18	72,27	96,36
Δm _{3exp} (mg)	0	11	21	29	32

Le tableau suivant montre que pour la première expérience, la variation de la masse déposée théorique calculée par la loi de Faraday est proche de la masse déposée expérimentalement. Si on rapport la masse après 1 heure d'électrolyse, la masse théorique est de 81,72 alors que la masse déposée expérimentalement est de 74 mg. Pour les autres cas, nous avons remarqué un écart important du probablement à l'efficacité de l'électrode utilisée et des impuretés sur sa surface.

c) Rendement de l'électrolyse

Ce rendement est défini comme étant le rapport de la masse expérimentale déposée sur les deux surfaces de l'électrode et de la masse théoriquement déposée du zinc calculé par la loi de Faraday. A partir du tableau III.4, nous avons déterminé les 3 rendements de l'opération après une durée de 1 heure d'électrolyse.

Tableau III.7 : Rendements de l'électrolyse pour les 3 solutions de lavage.

Solution de lavage	Δm_{th} (mg)	Δm_{exp} (mg)	Rendement %
3,5 ml (H ₂ SO ₄)	81,72	74	90,55
2,5 ml (H ₂ SO ₄)	121,97	21	17,22
1,5 ml (H ₂ SO ₄)	96,36	32	33,21

Notre calcul de rendement nous a montré que la solution de lavage d'acidité la plus élevée nous a donné le meilleur rendement, la solution de lavage étant plus acide dissout mieux les ions de zinc présents dans la poudre noire de déchets de piles. L'acidité ou le pH de la solution accélère aussi le dépôt de zinc sur l'électrode.

Les rendements plus bas pour les deux autres solutions ne peuvent être attribués uniquement à la dissolution des ions de zinc, mais aussi à la qualité des électrodes préparées et leur pureté.

D'une manière générale, nous avons obtenu pour toutes les solutions préparées un dépôt de zinc qui après analyse doit avoir une pureté très élevée puisque les électrodes de piles et les poudres noires comporte initialement un produit de qualité pour avoir une pile efficace et de bonne qualité aussi [15].

Conclusion générale

Les piles grand public sont des sources d'énergie portable de plus en plus utilisées pour le fonctionnement d'appareils électriques. Une utilisation qui s'avère favorisée par l'apparition de nouvelles technologies dans les dernières décennies.

Aujourd'hui les consommateurs ont le choix d'un très large éventail de produits allant des piles primaires jetables aux piles secondaires rechargeables. Elles font désormais partie de notre vie quotidienne que ce soit pour les applications domestiques ou spécialisées. Elles sont aussi une source portable abordable et facilement utilisable par son propriétaire.

Cependant les piles grand public ont une durée de vie limitée et par conséquent elles sont abandonnées par leurs propriétaires. Elles se retrouvent parmi les déchets ultimes acheminés aux lieux d'enfouissement ou directement dans la nature où elles sont abandonnées comme déchets assimilés aux déchets ménagers.

Les travaux réalisés dans le cadre de cette étude visent à développer un procédé simple et efficace pour la récupération par collecte sélective en vue d'une récupération des métaux à partir des déchets de piles usagées.

Pour commencer notre étude, nous avons établi une campagne de sensibilisation auprès des étudiants de l'université de Blida 1. Cette campagne bien qu'elle a été écourtée à cause de la pandémie, nous a permis de rencontrer les étudiants, les sensibiliser et collecter environ 3 kg de piles usagées durant une période de 10 jours.

L'analyse de cette collecte a montré que les piles collectées proviennent d'un seul pays, la République populaire de Chine. Cette analyse nous a permis aussi de déterminer certains paramètres comme le poids moyen des piles, le type de piles utilisés le plus, leurs charges moyennes et les métaux lourds présents dans ces piles.

L'analyse par tri d'un échantillon de piles a montré que plus de 50% de déchets de piles usagées est constitué de poudre noire, 25 % de cathode de zinc et le reste comporte des métaux ferreux, du plastique et du carton.

La récupération du zinc par électrolyse après lavage par diverses solutions d'acide sulfurique a donné des résultats satisfaisants quant à la perspective de récupération. Le meilleur rendement de l'électrolyse est atteint avec la solution la plus concentrée en acide. Ce rendement est de 90,55%.

En terme de ce travail, il est important de faire les recommandations suivante :

- La gestion des piles doit être une priorité nationale
- Mettre sur place une stratégie de collecte et de traitement des piles
- Chaque commune en Algérie doit avoir un schéma de collecte des piles
- Des bacs de collecte des piles doivent être installés dans les stations de métro, les centres commerciaux, les gares routières et les gares ferroviaires
- Encourager les partenaires économiques à investir sur les déchets de piles

Une organisation et un programme de collecte des piles doit être mis en place en identifiant les intervenants et impliquant obligatoirement les fabricants et les importateurs et les distributeurs de piles. Son résultat doit avoir un impact non seulement environnemental mais aussi économique par la création de richesse et d'emploi.

Actuellement aucune pile dans le monde n'est biodégradable.

Annexe A : Affichettes pour la sensibilisation sur la collecte des piles.

**UNE PILE DANS LA NATURE
PEUT POLLUER 1000 M³ D'EAU
PENDANT 50 ANS.**



Recyclez vos piles

**UNE PILE DANS LA NATURE
PEUT POLLUER 1000 M³ D'EAU
PENDANT 50 ANS.**



Recyclez vos piles

**UNE PILE DANS LA NATURE
PEUT POLLUER 1000 M³ D'EAU
PENDANT 50 ANS.**



Recyclez vos piles

**UNE PILE DANS LA NATURE
PEUT POLLUER 1000 M³ D'EAU
PENDANT 50 ANS.**



Recyclez vos piles

Annexe A : Affichettes pour la sensibilisation sur la collecte des piles (suite).

بطارية واحدة تلوث 1000 م³
من الماء لمدة 50 سنة.



أعيدوا استخدام البطاريات

بطارية واحدة تلوث 1000 م³
من الماء لمدة 50 سنة.



أعيدوا استخدام البطاريات

بطارية واحدة تلوث 1000 م³
من الماء لمدة 50 سنة.



أعيدوا استخدام البطاريات

بطارية واحدة تلوث 1000 م³
من الماء لمدة 50 سنة.



أعيدوا استخدام البطاريات

**C'EST DECIDE,
DEMAIN JE RAMENE
MES PILES INUTILES**

**RECYCLER
SES PILES,
C'EST FACILE
ET C'EST UTILE !**



حملة لجمع البطاريات المستعملة
**COMPAGNE DE COLLECTE
DE PILES USAGÉES**

Projet Master 2 en Gestion Durables des Déchets et Procédés de Traitement,
Département de génie de procédés, Facultés de Technologie

Annexe C : Photos sur la collecte des piles usagées au niveau de l'université de Blida 1.



Affiche au niveau de la faculté de Médecine.



Bac de collecte au niveau de la faculté de médecine.



Bacs remplis après 10 jours de collectes.

Introduction Générale

Au cours des dernières décennies, les avancées technologiques ont entraîné une augmentation importante des quantités de déchets électroniques produits annuellement à travers le monde. Chaque année, plus de 50 millions de tonnes de déchets électroniques sont produits à travers le monde [1]. Selon plusieurs estimations entre 500 et 600 millions de piles sont consommées en Algérie chaque année [2]. Ce nombre génère en moyenne 4 à 5 millions de tonnes de déchets de piles par an. Ces déchets sont composés en moyenne de 50% de métaux, 10% de plastique, 8% de métaux ferreux et 16% de divers constituants. Dans ces deux dernières catégories (métaux non ferreux et divers constituants), des composés dangereux pour l'environnement sont présents, tels que l'arsenic (As), le cadmium (Cd), le chrome hexavalent (Cr(VI)), le mercure (Hg), le plomb (Pb) et le sélénium (Se).

Une gestion inappropriée de ces déchets de piles peut entraîner une contamination des sols et des ressources en eau, suite à la dispersion de ces contaminants inorganiques dans la nature.

La gestion des déchets de piles est devenue, au cours de ces dernières années, un défi environnemental et politique en raison des risques de lixiviation des métaux dans les sols et/ou dans les eaux souterraines lors de l'enfouissement. Diverses technologies de récupération et de recyclage de certains déchets de piles ont été développées et commercialisées dernièrement.

Cependant, le tri manuel des déchets de piles nécessaire pour l'application de ces technologies de traitement limite considérablement le potentiel de recyclage de ces déchets en raison des coûts élevés de main d'œuvre. Le développement de nouvelles filières de traitement des déchets de piles sans tri manuel préalable est fortement encouragé d'un point de vue environnemental et économique. En effet, les métaux présents dans les déchets de piles sont des éléments inorganiques à haute valeur; leur gisement étant de plus en plus rares et leur exploitation de plus en plus coûteuse.

Ce travail est présenté en trois chapitres, le premier est consacré aux généralités sur les piles et leur classification. Nous présentons également dans ce chapitre la composition d'une pile ainsi que les procédés de recyclage et de valorisation.

Dans le deuxième chapitre, nous avons exposé le matériel et les méthodes expérimentales pour la collecte, le tri et le traitement des piles par la récupération de certains métaux en utilisant l'électrolyse. Nous avons également présenté une méthode de sensibilisation pour mener une campagne au niveau de notre université pour collecter et trier les piles.

Enfin le troisième chapitre est consacré à la présentation de nos résultats expérimentaux. Nous avons alors trié et classé les piles collectées et déterminer leur composition en matières recyclables.

Ce travail s'achève par une conclusion sur l'importance de gestion des déchets spéciaux en général et des piles en particulier, sachant que dans certains pays, la collecte des piles est une priorité nationale.