



*République Algérienne Démocratique et Populaire*  
*Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la*  
*Recherche Scientifique*  
*Université Abou Bekr Belkaid – Tlemcen*  
*Faculté de Technologie*  
*Département de Génie Electrique et Electronique*



## **MEMOIRE DE FIN D'ETUDES**

**En vue de l'obtention du Diplôme de Master II en Génie Industriel**

**Spécialité : Ingénierie de la production**

**Thème :**

**CONCEPTION DE RESEAUX DE RECUPERATION ET  
VALORISATION DES DECHETS DANGEREUX  
CAS DES PILES ET DES ACCUMULATEURS**

**Réalisé par : DJELLOULI Asma**

**ZERGAT Mustapha**

**Dirigé par: Mr. BENNEKROUF Mohammed**

**Jury:**

|           |                        |     |                        |
|-----------|------------------------|-----|------------------------|
| Président | M. BENSMACHINE Yasser  | MCB | Université de TLEMCEEN |
| Examineur | M. MEKAMCHA Khaled     | MCB | Université de TLEMCEEN |
| Encadrant | M. BENNEKROUF Mohammed | MCB | Université de TLEMCEEN |

Année universitaire : 2019/2020

## **Remerciements**

*Ce travail est l'aboutissement d'un dur labeur et de beaucoup de sacrifices ; nos remerciements vont d'abord au Créateur de l'univers qui nous a doté d'intelligence, et nous a maintenu en santé pour mener à bien cette année d'étude. Nous tenons aussi à adresser nos remerciements à nos familles, qui nous ont toujours soutenus et poussés à continuer nos études. Ce présent travail a pu voir le jour grâce à leur soutien.*

*Nous offrons de sincères et chaleureux remerciements à notre encadrant, Mr. Med. BENNEKROUF pour sa patience, sa disponibilité et surtout ses judicieux conseils, qui ont contribué à alimenter notre réflexion. Le mérite d'un mémoire appartient certes à l'auteur, mais également à son directeur qui l'encadre. Nous avons eu le grand plaisir de travailler sous votre direction, et avons trouvé auprès de vous le guide qui nous a reçus en toute circonstance avec sympathie, sourire et bienveillance. Votre compétence professionnelle incontestable ainsi que vos qualités humaines vous valent l'admiration et le respect de tous. Vous êtes et vous serez pour nous l'exemple de rigueur et de droiture dans l'exercice de la profession.*

*À Mr. MEKAMCHA Khaled et Mr. BENSMAINE Yasser, c'est pour nous un grand honneur de vous voir siéger dans nos jurys. Nous vous sommes très reconnaissants de la spontanéité et de l'amabilité avec lesquelles vous avez accepté de juger notre travail. Veuillez trouver, chères Maîtres, le témoignage de notre grande reconnaissance et de notre profond respect.*

*Nous désirons aussi remercier la direction de commerce à TIMIMOUNE et la direction d'étude et de prospective de la douane algérienne pour leur aide à offrir les données nécessaires pour notre démarche.*

*Enfin, que toutes les personnes qui ont permis que ce travail voie le jour soient assurées de notre profonde reconnaissance.*

## ***Dédicaces***

*Je dédie ce modeste travail à ceux qui, quels que soient les termes embarrassés, je n'arriverais jamais à leur exprimer mon amour sincère :*

*A mes chers parents, pour tous leurs sacrifices, leur amour, leur tendresse, leur soutien tout au long de mes études, à la source d'amour incessible, la mère des sentiments fragiles qui m'a bénie par ses prières BELHADADJI Dehiba. À mon support dans ma vie, qui m'a appris, m'a supporté et ma dirigé vers la gloire Abd El Kader Puisse Dieu, le Très Haut, vous accorder santé, bonheur et longue vie et faire en sorte que jamais je ne vous déçoive.*

*A mes chers frères, Mohammed, Ilyas, Seif El Dinne et Abd El Hak, pour leur appui et leur encouragement, je vous souhaite une vie pleine de bonheur et de succès et que Dieu, le tout puissant, vous protège et vous garde.*

*Une spéciale dédicace à cette personne qui je porte beaucoup de tendresse et de respect à vous Med lamine pour vos aides et supports dans les moments difficiles.*

*À la mémoire de notre professeur Mr. BENAÏSSA vous reste toujours dans notre cœur une idole et un bon exemple. Que Dieu ait vos âmes dans sa sainte miséricorde.*

*À mes amis : Om El Kheir, Meriem, Faïda, Djamila, Soumia, Dina, Fatima, Insaf, Rachida, Siham et Zineb en souvenir de notre sincère et profonde amitié et des moments agréables que nous avons passés ensemble. Veuillez trouver dans ce travail l'expression de mon respect le plus profond et mon affection la plus sincère.*

*A ma chère Nawel aucune dédicace ne saurait exprimer tout l'amour que j'ai pour vous, Votre joie et votre gaieté me comblent de bonheur. Puisse Dieu vous garder, éclairer votre route et vous aider à réaliser à votre tour vos vœux les plus chers.*

*A toute ma famille pour leur soutien tout au long de mon parcours universitaire, Que ce travail soit l'accomplissement de vos vœux tant allégués, et le fruit de votre soutien infaillible,*

***Asma.***

## ***Dédicaces***

*À mes chers parents, aucune dédicace ne saurait exprimer mon respect, mon amour éternel et ma considération pour les sacrifices que vous avez consenti pour mon instruction et mon bien être. Je vous remercie pour tout le soutien et l'amour que vous me portez depuis mon enfance et j'espère que votre bénédiction m'accompagne toujours. Que ce modeste travail soit l'exaucement de vos vœux tant formulés, le fruit de vos innombrables sacrifices, bien que je ne vous en acquitterai jamais assez. Puisse dieu, le très haut, vous accorder santé, bonheur et longue vie et faire en sorte que jamais je ne vous déçoive.*

*À mes chers et adorable frères et sœurs : Saïd, Abdelkader, Hachemi, Hamza, Belkheir, Med Amine, Fatima, Aïcha et Fouzia, en témoignage de mon affection fraternelle, de ma profonde tendresse et reconnaissance, je vous souhaite une vie pleine de bonheur et de succès et que dieu, le tout puissant, vous protégé et vous garde.*

*À mes amis de toujours : Aboud, Oussama, Abderrahmane, Ahmed, Hamza, Zaki, Rahim et Romayssa en souvenir de notre sincère et profonde amitié et des moments agréables que nous avons passés ensemble. Veuillez trouver dans ce travail l'expression de mon respect le plus profond et mon affection la plus sincère.*

*À la mémoire de notre professeur Mr. BENAÏSSA vous reste toujours dans notre cœur une idole et un bon exemple. Que Dieu ait vos âmes dans sa sainte miséricorde.*

*Aux personnes qui m'ont toujours aidé et encouragé, qui étaient toujours à mes côtés, et qui m'ont accompagné durant mon chemin d'études, mes aimables amis, collègues d'étude à tous les étudiants de la promotion 2014/2020 je vous souhaite un avenir plein de joie, de bonheur, de réussite et de sérénité.*

*À toutes les personnes qui ont participé à la réalisation de ce travail à tous ceux que j'ai omis de citer.*

***Mustapha.***

# SOMMAIRE

|  |    |
|--|----|
| Introduction générale.....   | 11 |
| CHAPITRE I : GENERALITES SUR LES DECHETS ET LA GESTION DES DECHETS EN ALGERIE..... | 1  |
| 1. Introduction .....  | 15 |
| 2. Classification des déchets.....   | 15 |
| 2.1 . Classification selon le producteur du déchet.....                            | 15 |
| 2.1.1. Les déchets ménagers .....  | 15 |
| 2.2. Classification selon les propriétés du déchet .....                           | 15 |
| 2.2.1. Les déchets dangereux (DD) .....  | 15 |
| 2.2.2. Les déchets non dangereux (DND).....  | 16 |
| 2.2.3. Les déchets inertes (DI).....   | 16 |
| 3. La production des déchets en Algérie .....                                      | 16 |
| 4. La stratégie nationale de la gestion des déchets.....                           | 17 |
| 5. La gestion des déchets en Algérie.....  | 18 |
| 5.1. Gestion directe .....   | 18 |
| 5.2. Etablissement public .....  | 18 |
| 5.3. Marché public.....  | 18 |
| 6. Acteurs de gestion des déchets en Algérie .....                                 | 19 |
| 6.1. Secteur public .....  | 19 |
| 6.2. Secteur privé formel.....   | 19 |
| 6.3. Secteur privé informel.....   | 19 |
| 7. Conclusion.....   | 20 |
| CHAPITRE II : GENERALITES SUR LES DECHETS PILES ET ACCUS EN ALGERIE.....           | 21 |
| 1. Introduction .....  | 22 |
| 2. Définition de pile et d'accu .....  | 22 |
| 3. Classification des piles et des accumulateurs.....                              | 22 |
| 4. Cycles de vie des piles et des accumulateurs .....                              | 23 |
| 4.1. Matières premières.....   | 23 |
| 4.2. Utilisation .....   | 24 |
| 4.3. Gestion des piles en fin de vie .....   | 25 |
| 4.3.1. Réemploi.....   | 25 |
| 4.3.2. Recyclage.....  | 25 |
| 4.3.3. Elimination.....  | 26 |
| 5. Impacts des déchets P&A sur la nature et les êtres vivants.....                 | 26 |
| 5.1. Impact sur les ressources naturelles .....                                    | 26 |
| 5.2. Dangers sur les êtres humains .....   | 26 |

|  |   |           |
|--|---|-----------|
| 5.3.   | Problèmes environnementaux .....  | 27        |
| 5.4.   | Dangers sur les êtres vivants (animaux et plantes confondus) .....            | 27        |
| 6.   | Techniques du traitement des déchets des piles.....                           | 28        |
| 6.1.   | Distillation .....  | 28        |
| 6.2.   | Fusion .....  | 28        |
| 6.3.   | Hydrométallurgie .....  | 29        |
| 6.4.   | Pyrométallurgie .....   | 30        |
| 7.   | Analyse statistique sur la consommation des piles en Algérie.....             | 31        |
| 7.1.   | Classification des P&A importés en Algérie .....                              | 31        |
| 7.1.1.   | Application de la méthode de Pareto et ABC.....                               | 31        |
| 7.1.2.   | Interprétation des résultats .....  | 32        |
| 8.   | Conclusion.....   | 33        |
| <b>CHAPITRE III : ETUDE STRATEGIQUE ET TECHNIQUE .....</b> |   | <b>35</b> |
| 1.   | Introduction .....  | 35        |
| 2.   | Analyse du questionnaire.....   | 35        |
| 3.   | Description du projet .....   | 40        |
| 4.   | Conception et fonctionnement de poubelle intelligente.....                    | 40        |
| 4.1.   | Modélisation graphique .....  | 40        |
| 4.1.1.   | Diagramme des cas d'utilisation .....   | 40        |
| 4.1.2.   | Diagramme de séquence.....  | 41        |
| 4.2.   | Conception du système en SolidWorks.....                                      | 42        |
| 5.   | Localisation d'usine du traitement des déchets P&A en Algérie .....           | 42        |
| 5.1.   | Centre de gravité de l'Algérie .....  | 43        |
| 5.2.   | Application des MCDM .....  | 43        |
| 5.2.1.   | Identification des critères d'importance et l'ensemble des alternatives ..... | 44        |
| 5.2.2.   | Identification des poids des critères d'importance .....                      | 45        |
| 5.2.3.   | Application de la méthode VIKOR et TOPSIS.....                                | 45        |
| 6.   | Estimation de la demande et la capacité d'usine .....                         | 47        |
| 7.   | Les stratégies de collecte des piles et des accus usagés .....                | 48        |
| 7.1.   | La collecte des piles et des accus usagés au niveau de commune .....          | 48        |
| 7.1.1.   | Localisation des poubelles intelligentes à Timimoune.....                     | 48        |
| 7.2.   | La collecte des piles et des accus usagés au niveau national .....            | 52        |
| 7.2.1.   | Clustering de l'Algérie .....   | 52        |
| 8.   | Le transport des déchets piles et accus .....                                 | 55        |
| 8.1.   | Application de modèle CVRP.....   | 55        |
| 8.2.   | Developpement d'heuristique.....  | 60        |
| 8.2.1.   | Description d'heuristique .....   | 60        |

|        |                                    |    |
|--------|------------------------------------|----|
| 8.2.2. | Interprétation des résultats ..... | 60 |
| 8.2.3. | Algorithme d'heuristique.....      | 64 |
| 9.     | Conclusion.....                    | 65 |
|        | CONCLUSION GENERALE.....           | 66 |
|        | Conclusion générale .....          | 67 |
|        | Références .....                   | 69 |
|        | Annexe .....                       | 71 |

## Liste des figures :

|   |    |
|---|----|
| Figure 1: Productions des déchets solides urbains en Algérie par rapport à la densité.....  | 15 |
| Figure 2: Cycle de vie des piles rechargeables et non-rechargeables .....                   | 23 |
| Figure 3: Chaine alimentaire d'un aigle .....   | 27 |
| Figure 4: les étapes principales du traitement des piles par distillation .....             | 28 |
| Figure 5: les étapes principales du traitement des piles par fusion .....                   | 29 |
| Figure 6: les étapes principales du traitement des piles par hydrométallurgie.....          | 30 |
| Figure 7:les étapes principales du traitement des piles par pyrométallurgie.....            | 30 |
| Figure 8: Classification des quantités des P&A importées en Algérie pour l'année 2018 ..... | 32 |
| Figure 9: Les catégories d'âge d'échantillon questionnée .....                              | 34 |
| Figure 10: Le sex d'échantillon questionnée.....  | 34 |
| Figure 11: Les niveaux scientifiques ou culturels .....                                     | 35 |
| Figure 12: Les réponses de 1 <sup>ère</sup> section du questionnaire.....                   | 35 |
| Figure 13: Les réponses de 2 <sup>ème</sup> section du questionnaire .....                  | 35 |
| Figure 14: Les réponses de 3 <sup>ème</sup> section du questionnaire .....                  | 36 |
| Figure 15: Les réponses de 4 <sup>ème</sup> section du questionnaire .....                  | 36 |
| Figure 16: Les réponses de 5 <sup>ème</sup> section du questionnaire .....                  | 36 |
| Figure 17: Les réponses de 6 <sup>ème</sup> section du questionnaire .....                  | 36 |
| Figure 18: Les réponses de 7 <sup>ème</sup> section du questionnaire .....                  | 37 |
| Figure 19: Les réponses de 8 <sup>ème</sup> section du questionnaire .....                  | 37 |
| Figure 20: Les réponses de 9 <sup>ème</sup> section du questionnaire .....                  | 38 |
| Figure 21: Diagramme des cas d'utilisation de poubelle intelligente. ....                   | 40 |
| Figure 22: Diagramme de séquence de poubelle intelligente.....                              | 41 |
| Figure 23: Section des déchets accus. ....  | 41 |
| Figure 24: Section spécifique aux déchets piles.....  | 41 |
| Figure 25: Système entier.....  | 42 |
| Figure 26: Positionnement géographique des wilayas algériennes. ....                        | 42 |
| Figure 27: Localisation géographique du centre de gravité d'Algérie. ....                   | 43 |
| Figure 28: Emplacement géographique des communes de Djelfa. ....                            | 43 |
| Figure 29: Emplacement géographique de commune Zaafrane _Djelfa.....                        | 46 |
| Figure 30: Localisation de Timimoune. ....  | 47 |
| Figure 31: Maillage de Timimoune.....   | 48 |
| Figure 32: Les sites candidats de Timimoune. ....   | 48 |
| Figure 33: Les points de vente à Timimoune. ....  | 49 |
| Figure 34: Les résultats de la résolution du 1er modèle sous CPLEX. ....                    | 50 |
| Figure 35: Les résultats de la résolution du modèle sous QGIS. ....                         | 50 |
| Figure 36:Localisation géographique des communes d'Algérie.....                             | 51 |
| Figure 37: Les résultats de la résolution du 2ème modèle sous CPLEX .....                   | 53 |
| Figure 38: Partitionnement d'Algérie. ....  | 54 |
| Figure 39: Les résultats de la résolution du 3ème modèle sous CPLEX .....                   | 56 |
| Figure 40: Le cheminement du 1 <sup>er</sup> camion selon la résolution du CPLEX.....       | 56 |
| Figure 41: Les points visités par le 1 <sup>er</sup> camion.....                            | 56 |
| Figure 42: Le cheminement du 2 <sup>ème</sup> camion selon la résolution du CPLEX .....     | 57 |
| Figure 43: Les points visités par le 2 <sup>ème</sup> camion .....                          | 57 |
| Figure 44: Le cheminement du 3 <sup>ème</sup> camion selon la résolution du CPLEX .....     | 57 |
| Figure 45: Les points visités par le 3 <sup>ème</sup> camion .....                          | 57 |



|   |    |
|---|----|
| Figure 46: Le cheminement du 4 <sup>ème</sup> camion selon la résolution du CPLEX ..... | 58 |
| Figure 47: Les points visités par le 4 <sup>ème</sup> camion .....                      | 58 |
| Figure 48: Le cheminement du 5 <sup>ème</sup> camion selon la résolution du CPLEX ..... | 58 |
| Figure 49: Les points visités par le 5 <sup>ème</sup> camion .....                      | 59 |
| Figure 50: Le cheminement du 1 <sup>er</sup> camion selon l'heuristique .....           | 60 |
| Figure 51: Les points visités par le 1 <sup>er</sup> camion.....                        | 61 |
| Figure 52: Le cheminement du 2 <sup>ème</sup> camion selon l'heuristique.....           | 61 |
| Figure 53: Les points visités par le 2 <sup>ème</sup> camion .....                      | 61 |
| Figure 54: Le cheminement du 3 <sup>ème</sup> camion selon l'heuristique.....           | 62 |
| Figure 55: Les points visités par 3 <sup>ème</sup> camion .....                         | 62 |
| Figure 56: Le cheminement du 4 <sup>ème</sup> camion selon l'heuristique.....           | 62 |
| Figure 57: Les points visités par le 4 <sup>ème</sup> camion .....                      | 63 |
| Figure 58: Le cheminement du 5 <sup>ème</sup> camion selon l'heuristique.....           | 63 |
| Figure 59: Les points visités par le 5 <sup>ème</sup> camion .....                      | 63 |
| Figure 60: L'algorithme d'heuristique .....   | 64 |

## Liste des tableaux :

|   |           |
|---|-----------|
| Tableau 1: Augmentation de quantité de déchets quotidiens générés par personne en Algérie ..... | 16        |
| Tableau 2: les principales piles. ....  | 22        |
| Tableau 3: La composition chimique des piles alcaline et NiMH .....                             | 23        |
| Tableau 4: durée de vie et hypothèse de thésaurisation en fonction du type pile .....           | 24        |
| Tableau 5: Types des P&A importés en Algérie et leurs quantités en 2018 .....                   | 31        |
| Tableau 6: Classification des P&A importés selon la méthode ABC et Pareto .....                 | 32        |
| Tableau 7: Les poids des critères du choix du site. ....  | 44        |
| Tableau 8: Le classement des communes selon la méthode TOPSIS et VIKOR. ....                    | 45        |
| Tableau 9: Les données liées aux critères d'importance de la commune Zaaftane. ....             | 46        |
| Tableau 10: Les demandes mensuelles estimées en tonne d'usine pour l'année 2021. ....           | 47        |
| Tableau 11: Les centres intermédiaires localisés et leurs quantités des déchets collectés.....  | <u>53</u> |

## Introduction générale

L'amélioration de la qualité de vie et les taux élevés de consommation des ressources ont eu un impact non intentionnel et négatif sur l'environnement urbain - la production de déchets bien au-delà des capacités de traitement des gouvernements et des agences urbaines. Les villes sont maintenant aux prises avec les problèmes des volumes élevés de déchets, des coûts impliqués, des technologies et méthodologies d'élimination, et de l'impact des déchets sur l'environnement local et mondial.

Mais ces problèmes ont également fourni une fenêtre d'opportunité pour les villes de trouver des solutions - impliquant la communauté et le secteur privé ; impliquant des technologies innovantes et des méthodes d'élimination ; et impliquant des changements de comportement et une sensibilisation. Ces problèmes ont été amplement démontrés par les bonnes pratiques de nombreuses villes du monde.

Aujourd'hui en Algérie, les déchets sont devenus un domaine d'investissement grâce à la technologie du recyclage, après avoir été une source de pollution de l'environnement et d'émission d'odeurs désagréables. Le secteur privé algérien attache une grande importance à investir dans ce domaine afin de contribuer à la valorisation des déchets urbains tel que le papier et le carton...etc.

Notre travail à but environnemental consiste à construire un réseau de récupération des déchets piles et accus en Algérie ce qui représente la première initiative, tout en établissant une étude logistique dans une optique d'une vision stratégique. Alors, les piles et les accus usagés se classifient parmi les déchets dangereux ou spéciaux qui présentent des risques sur les individus et l'environnement qui ne doivent pas être par la suite jetés librement dans la nature ou les jeter malencontreusement dans les ordures ménagères. Afin d'éviter ce problème, il faut appeler tout simplement à la collecte sélective « qui consiste à séparer puis récupérer les déchets en fonction de leur nature et la source pour éviter les contacts et les souillures, ce qui permet de leur donner une seconde vie ». (*Wok20*)

Dans une pile tout est utile : Le fer et manganèse peuvent être utilisés afin de faire des couverts de cuisine ou pour fabriquer les dents de pelleteuse. Le manganèse est utilisé dans la peinture d'antirouille. Le mercure sert à des applications industrielles spécifiques et pharmaceutiques L'acier permet de fabriquer par exemple des carrosseries des voitures. Le zinc est réutilisé pour faire des gouttières pluviales. Le cadmium est réemployé pour fabriquer des nouvelles batteries Lithium...etc.

Au cours de ce mémoire, nous avons essayé d'établir une étude logistique dans une optique d'une vision stratégique afin de construire un réseau de récupération et de valorisation des déchets piles et accus en Algérie. Notre travail se compose de trois chapitres dont :

**Le premier chapitre** regroupe des généralités sur les lois et les réglementations algériennes concernant la gestion des déchets.

Au cours du **deuxième chapitre**, nous avons essayé de parler sur tous qui concernent la pile et l'accu, et la gestion de ces produits en fin de vie.

**Le troisième chapitre** présente l'étude stratégique et technique, d'où le travail se compose de deux parties, la première partie consiste à établir une stratégie de collecte des déchets piles et accus autour du pays et la localisation d'usine et la planification des demandes, alors que la deuxième partie consiste à établir un réseau du transport de ces déchets.

## ABREVIATIONS ET SIGLES UTILISÉS

|                      |                       |  |
|----------------------|-----------------------|--|
| <b>kg</b> Kilogramme | <b>hab</b> habitant   | <b>km<sup>2</sup></b> Kilomètre carrée |
| <b>t</b> tonne       | <b>USD</b> dollars \$ | <b>Km</b> Kilomètre                    |
| <b>%</b> pourcentage | <b>M</b> millions     | <b>P&amp;A</b> Pile et accumulateur    |
| <b>Md</b> milliard   | <b>€</b> euro         | <b>DA</b> dinars algérien              |

|                |  |
|----------------|--|
| <b>ANSEJ</b>   | Agence Nationale de Soutien à l'Emploi des Jeunes                          |
| <b>AND</b>     | Agence National de Déchets   |
| <b>BTP</b>     | Bâtiment et des Travaux Publics  |
| <b>CET</b>     | Centre d'Enfouissement Technique   |
| <b>CGDD</b>    | Commissariat général au développement durable                              |
| <b>CNERIB</b>  | Centre National d'Étude et de Recherche Intégrée en Bâtiment               |
| <b>DMA</b>     | Déchets Ménagers et Assimilés  |
| <b>DSM</b>     | Déchets Solides Municipaux   |
| <b>EPA</b>     | Environmental Protection Agency  |
| <b>EPA</b>     | Etablissements Publics Administratifs                                      |
| <b>EPIC</b>    | Établissement Public à caractère Industriel et Commercial                  |
|                | Ministère d'aménagement de territoire et de l'environnement                |
| <b>METAP</b>   | Mediterranean Environmental Technical Assistance Program                   |
| <b>OM</b>      | Ordures Ménagères  |
| <b>PIB</b>     | Produit Intérieur Brut   |
| <b>PNAE-DD</b> | Plan National d'Action pour l'Environnement et le Développement Durable    |
| <b>PNAGDES</b> | Plan National de Gestion des Déchets Spéciaux                              |
| <b>PROGDEM</b> | Programme National pour la Gestion intégrée des Déchets Ménagers           |
| <b>RGHP</b>    | Recensement Général d'Habitat et de Population                             |
| <b>SNE</b>     | Stratégie Nationale Environnementale                                       |
| <b>DIY</b>     | Magasins vendent les outils et les équipements de la maintenance de maison |

# **CHAPITRE I : GENERALITES SUR LES DECHETS ET LA GESTION DES DECHETS EN ALGERIE**

## 1. Introduction

Le déchet est défini comme « toute substance ou tout objet dont le détenteur se défait ou dont il a l'intention ou l'obligation de se défaire ». (*Loi n° 01- 19 du 12 décembre 2001*)

Dans ce cas, les déchets ont un statut juridique spécifique pour éviter les risques pour l'environnement et la santé publique, qui peuvent être liés au fait que les déchets sont abandonnés. La classification des déchets signifie l'obligation de respecter un certain nombre de mesures préventives pour assurer une bonne gestion des déchets, à savoir la collecte, le transport, le recyclage et l'élimination des déchets liés à l'environnement et à la santé humaine.

Certains déchets peuvent apporter des avantages, c'est-à-dire qu'ils ont un potentiel de recyclage et ont donc une valeur économique, ils peuvent être achetés et vendus. Les lois et la jurisprudence stipulent les conditions dans lesquelles les déchets peuvent quitter le statu d'ordures

## 2. Classification des déchets

Il existe une grande variété de déchets. Ils peuvent être classés selon différents critères : producteur du déchet, propriétés du déchet, secteur où est produit le 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.

### 2.1 . Classification selon le producteur du déchet

Les déchets peuvent être divisés en deux classes :

#### 2.1.1. Les déchets ménagers

On distingue trois types de déchets ménagers

- **Les ordures ménagères** : Tels que les aliments, les plastiques non recyclables, les emballages souillés...
- **Les journaux / magazines et emballages recyclables ménagers** : Tels que les bouteilles en verre, les cartons, bouteilles et flacons plastiques, canettes et boites de conserves...
- **Les déchets ménagers spéciaux** : Tels que les ampoules, batteries, piles, pot de peintures...

#### 2.1.2 Les déchets industriels

Appelés aussi déchets d'activités économiques. Ce sont des déchets générés par les activités économiques (industrie, fabrication, bâtiment et travaux publics BTP, agriculture...etc.). Dans le cadre de la responsabilité accrue des producteurs, les producteurs sont responsables de la gestion des déchets jusqu'à l'élimination finale ou le recyclage.

(*L'article 3 de la loi du 12 décembre 2001*)

### 2.2. Classification selon les propriétés du déchet

#### 2.2.1. Les déchets dangereux (DD)

Il s'agit des déchets qui présentent une ou plusieurs des 15 propriétés de danger : inflammables, toxiques, dangereux pour l'environnement... Les déchets dangereux font

l'objet de règles de gestion particulières en raison des risques particuliers d'impact environnemental et sanitaire associés à leur manipulation (les solvants, peintures, produits chimiques...).

### 2.2.2. Les déchets non dangereux (DND)

Ce sont des déchets ne présentent pas certaines des 15 caractéristiques dangereuses. Les règles de procédure sont plus souples que celles relatives aux déchets dangereux. Par exemples, il s'agit de déchets biologiques, de verre ou de plastique, de bois...etc.

### 2.2.3. Les déchets inertes (DI)

Ce sont des déchets qui n'ont pas subi de modifications physiques, chimiques ou biologique majeures, ne se décomposent pas, ne brûlent pas, ne se subissent pas de réactions physiques ou chimiques, ne sont pas biodégradables et n'endommagent pas les matériaux en contact avec eux. D'une manière qui pourrait nuire à l'environnement ou à la santé humaine. Il s'agit en majorité de déchets provenant du secteur du bâtiment et des travaux publics (déchets de béton, de briques, de tuiles...etc.). (L'article 5 de la loi du 12 décembre 2001)

## 3. La production des déchets en Algérie

L'augmentation de la densité de la population et l'amélioration du niveau de vie se sont traduites par une augmentation de la quantité et de la qualité des déchets. Les principales raisons sont le degré élevé d'urbanisation, l'élimination des déchets, les nouveaux produits non biodégradables (tels que les plastiques) sur le marché et les faibles taux de recyclage.

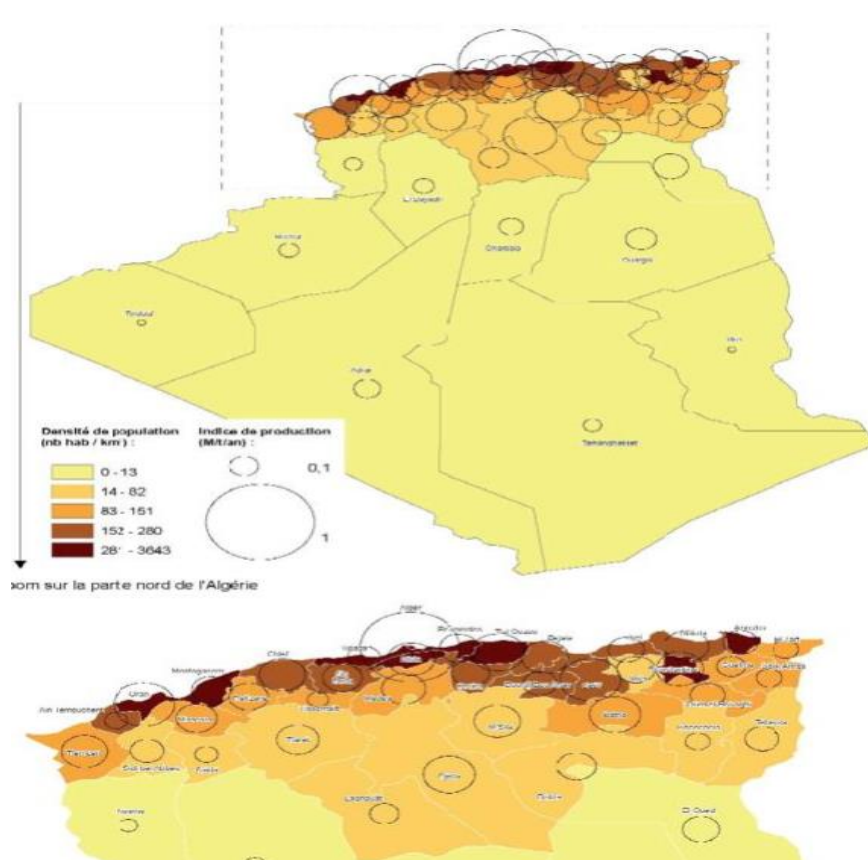


Figure I.1 Production des déchets solides en Algérie par rapport à la densité (RGPH 2008, et AND 2007)



Tableau I.1 : Augmentation de quantité de déchets quotidiens générés par personne en Algérie (TOLBA, 2013)

| Années          | 1980   | 2010  |
|-----------------|--------|-------|
| Villes moyennes | 0.5kg  | 0.8kg |
| Grandes villes  | 0.76kg | 1.2kg |

#### 4. La stratégie nationale de la gestion des déchets

La politique de gestion des déchets s'inscrit dans le cadre de la Stratégie National de l'Environnement (SNE) et du Plan National d'Action Environnement de Développement Durable (PNAE-DD), qui ont promulgué la loi n ° 01-19 le 12 décembre 2001 sur la gestion et contrôle des déchets. L'élimination comprend l'aspect inhérent à la gestion des déchets. Ses principes sont : (*Journal officiel, AND*)

- Prévenir et réduire la production et la destruction des déchets à la source ;
- Réglementer la classification, la collecte, le transport et le traitement des déchets ;
- Récupération des déchets par réutilisation et recyclage ;
- Traitement des déchets respectueux de l'environnement ;
- Sensibilisation du public aux dangers des déchets et à leur impact sur la santé et l'environnement.

Une démarche pragmatique pour améliorer la gestion des déchets ménagers, pour cela deux plans d'action ont été mis en œuvre :

- Programme nationale de gestion des déchets solides municipaux (**PROGDEM**) : Initié par le Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement, il s'agit d'une approche intégrée et incrémentale de la gestion de ce type de déchets et est directement alignée sur la mise en œuvre des politiques environnementales urbaines. Le programme vise à éliminer les pratiques illégales d'élimination des déchets et à organiser la collecte, le transport et l'élimination finale des déchets urbains solides, en garantissant la protection de l'environnement, principalement à travers l'implantation, le développement et l'implantation de décharges techniques (CET) dans toutes les wilayas.
- Plan national de gestion des déchets spéciaux (**PNAGDES**) : Est un outil de gestion, de planification et d'aide à la décision qui basé sur l'état actuel de la gestion des déchets spéciaux, propose plusieurs solutions adaptées pour le traitement de déchets. L'équipe a été formée il y a dix ans. Dans tous les cas, il doit être revu sur la base de la recommandation du ministre chargé de la protection de l'environnement ou à la demande de la majorité des membres du comité chargé de l'environnement.

Le PNAGDES a été préparé sur la base du registre foncier national, qui a été obtenu à partir de l'inventaire national des déchets spéciaux. Ce dernier, véritable outil de connaissance et de suivi de l'évolution de la production de déchets privés, sert de base au développement de PNAGDES.

## **5. La gestion des déchets en Algérie**

L'article 132 du code communal, attribue la responsabilité de la gestion des déchets ménagers et assimilés à la commune et permet la constitution de groupements de communes pour une gestion partagée de ces déchets.

Il appartient au domaine de la gestion des déchets toutes les opérations liées à la collecte, au transport, au recyclage et à l'élimination des déchets, y compris le contrôle de ces opérations et le contrôle de la décharge après fermeture. Selon cette définition, plusieurs opérations se distinguent en termes de gestion de déchets existants : La collecte, le tri, La valorisation, l'élimination et l'enfouissement technique des déchets

Les services publics doivent reprendre aux activités d'importance universelle liées aux citoyens, cette connexion peut se manifester de plusieurs manières. Le plus évident est le soutien public direct. En Algérie, le traitement et l'élimination des déchets sont actuellement gérés par quatre systèmes de gestion :

### **5.1. Gestion directe**

Au sens de la gestion directe, cette action n'est soutenue que par la communauté. Fournit du financement et des assurances pour vos employés et votre propre équipement. Conformément à la réglementation municipale, le service est géré directement sous la forme d'une société de gestion. Cette méthode de gestion est la méthode la plus utilisée dans la plupart des villes Algériennes. Le nouveau règlement de la commune et son article 151 stipulent : « Les communautés peuvent gérer directement leurs services publics par des moyens administratifs. Les revenus et dépenses des autorités sont inscrits au budget communal. ». (*L'article 153 de code de la commune*).

### **5.2. Etablissement public**

Il s'agit d'une personne morale de droit public juridiquement et financièrement distincte de l'autorité qui la crée et à laquelle il demeure rattaché par un acte de contrôle. On distingue les établissements publics administratifs (EPA) et les établissements publics industriels et commerciaux (EPIC). Ils sont administrés par un conseil d'administration. La tutelle est exercée par la personne publique créatrice. Le budget est non annexé à celui de la collectivité et est soumis aux règles de la comptabilité publique. Par-delà les communes, les EPIC sont aussi bien compétents en matière de collecte que de traitement des déchets municipaux. L'article 153 de code de la commune de 2010 prévoit la création d'EPIC et des EPA. (*L'article 153 de code de la commune de 2010*)

### **5.3. Marché public**

Il s'agit d'un contrat de prestation de services (ingénierie, fourniture, prestation de services) conclu entre une collectivité et une entreprise, couvrant tout ou partie de service publics (administratifs ou industriels et commerciaux). Il est limité par les règles des marchés publics. Dans ce type d'opération, des procédures d'appel d'offres sont utilisées. L'autorité compétente a été désignée pour approuver les contrats aux niveaux national, wilaya et communautaire (ministre, Wali et DG de l'EPIC). La remise peut prendre l'une des formes suivantes : l'appel d'offres restreint ; la consultation sélective ; l'adjudication ; le concours. (*Décret présidentiel n° 02-250 du 24 juillet 2002*)

#### **5.4. Délégation de service public**

Les réglementations municipales indiquent clairement que lorsque les entreprises ou les institutions publiques ne peuvent pas exploiter les services publics locaux, les communautés peuvent fournir des services conformément aux réglementations. L'article 33 de la loi 2001 prévoit que l'assemblée des habitants de la communauté a le pouvoir de gérer tout ou partie des DMA, des déchets à grande échelle et des déchets spéciaux génères par les petits ménages, des ménages aux tiers. La concession est un contrat par lequel la communauté confie l'exploitation du service à un tiers et est contrôlée par elle. Il intervient généralement dans les villes où les équipements et agents de collecte des déchets municipaux sont insuffisants. (L'article 33 de la loi 2001)

### **6. Acteurs de gestion des déchets en Algérie**

La gestion des déchets est organisée d'une façon générale dans les pays en voie de développement en trois secteurs :

#### **6.1. Secteur public**

- **Au niveau national :**

Le premier responsable de gestion de déchets au niveau national est le ministère de l'aménagement du territoire de l'environnement et du tourisme (MATET) qui a le pouvoir pour définir la politique environnementale, il a été créé depuis 1980 sous le nom de ministre de l'aménagement du territoire de l'environnement (MATE) et cela jusqu'à l'année 2007. Trois participants chargés d'accompagner le ministre chargé de l'environnement dans ses missions : L'Agence nationale des déchets (AND), l'observatoire national de l'environnement et de développement durable (ONEDD) et le conservatoire national de la formation à l'environnement (CNFE).

- **Au niveau régional :**

À ce niveau, le service régional de gestion des déchets est sous la responsabilité des Inspections régionales de l'environnement et les directions de l'environnement des wilayas.

- **Au niveau local :**

Dans ce niveau, le service des déchets dirigés par deux structures : les communes et les groupements de communes ou l'intercommunalité. Ces derniers prennent la responsabilité de l'ensemble des déchets produits sur leurs territoires. Dans le cas où les communes ne disposent pas de moyens suffisants pour assurer une gestion des déchets, des regroupements des communes est mis en place.

#### **6.2. Secteur privé formel**

Le manque des moyens humains et matériels incite les communes à faire des coopérations avec le secteur privé, des petites entreprises ont été créées dans le cadre de l'ANSEJ, l'ANGEM et l'ADS. En plus plusieurs entreprises aujourd'hui utilisent les déchets triés comme matières premières. (*Sweep-net (2010)*)

#### **6.3. Secteur privé informel**

Ce secteur est composé d'invendus, de familles ou des entreprises non enregistrés. La collecte des déchets a lieu dans les décharges, les locaux commerciaux, les rues et les

marchés. Les matériaux récupérés sont vendus à des acheteurs itinérants. Ces collecteurs de déchets tournent également dans les quartiers et les communautés pour acheter des déchets recyclables collectés par les individus avec un prix inférieur au prix facturé par les décharges.

## **7. Conclusion**

Au cours des dernières décennies, le ministère chargé de l'environnement a considéré la gestion des déchets en Algérie comme une action prioritaire. A cet effet, un ensemble de textes et d'organisation a été adopté. Depuis 2001, il s'engage à améliorer les moyens humains et techniques de ce service. Alors que l'Algérie se lance au tri et recyclage de ses déchets urbains tel que le carton et le papier, plastique, pneu et les huiles usagées.

**CHAPITRE II : GENERALITES SUR LES DECHETS PILES  
ET ACCUS EN ALGERIE**

## 1. Introduction

Chaque jour, les entreprises créent des nouveaux produits à cause de concurrence du marché, ce qui se produit à la fin leur cycle de vie des déchets en tonnes. Ils existent plusieurs catégories de ceux-ci dont leurs déchets sont considérés comme des déchets très dangereux. Le décret exécutif n°06-104 du 28 février 2006 fixant la nomenclature des déchets, a cité les déchets piles et accus parmi les déchets spéciaux dangereux. Ils sont affectés du critère de dangerosité « toxique vis-à-vis de la reproduction et dangereux pour l'environnement » et classés comme déchets Spéciaux dangereux (SD). (Gaidi, 2020)

## 2. Définition de pile et d'accu

Les piles et accumulateurs sont des sources d'énergie électrique obtenues par transformation directe d'énergie chimique. Alors qu'une pile peut être utilisée une fois cependant l'accumulateur peut être utilisé plusieurs fois grâce à la fonction de rechargeabilité. (Act201)

Une pile se compose de deux électrodes, l'anode et la cathode qui sont immergées dans l'électrolyte. L'anode est constituée d'un matériau sélectionné pour sa capacité à libérer des électrons. Il s'agit généralement de métaux (plomb, fer, zinc, cadmium, calcium, aluminium, magnésium, lithium) ou d'hydrogène. Les matériaux tels que le soufre, les halogènes ou les oxydes métalliques composent la cathode pour qu'elle soit capable à fixer les électrons. Cependant, les accus électrochimiques se composent de deux sections, un générateur où l'énergie chimique se transforme en énergie électrique, et un récepteur qui permet de réaliser la conversion énergétique inverse. (Act201)

## 3. Classification des piles et des accumulateurs

La classification des piles et des accumulateurs commercialisés repose sur certaines caractéristiques, elle dépend de la composition chimique, la taille, la marque et du fonctionnement d'utilisation. Il existe deux catégories majeures des piles : celles qui peuvent être rechargées jusqu'à 1000 fois dites piles secondaires ou accumulateurs et celles qui dites piles primaires non-rechargeables ou à usage unique. Alors que chacune regroupe plusieurs types différents dont le tableau ci-dessous montre les principales pour chaque classe.

Tableau II.1 : les principales piles.

| Catégorie         | Type des piles  |
|-------------------|---|
| Piles primaires   | Piles alcalines<br>Piles à oxyde d'argent<br>Piles non-rechargeables au lithium<br>Piles zinc/carbone         |
| Piles secondaires | Piles au Nickel Cadmium ( <i>NiCd</i> )<br>Piles Nickel-Metal-Hydrure ( <i>NiMH</i> )<br>Piles au lithium-ion |

|  |                              |
|--|------------------------------|
|  | Piles alcaline rechargeables |
|--|------------------------------|

## 4. Cycles de vie des piles et des accumulateurs

Le cycle de vie d'un produit c'est « l'ensemble de toutes les phases qu'il traverse, de sa conception jusqu'à son extraction du marché. » (qua20)

Il se diffère d'une catégorie à l'autre en conséquent de la caractéristique de rechargeabilité des piles secondaires. La figure suivante illustre les phases de vie de chaque classe mentionnée auparavant.

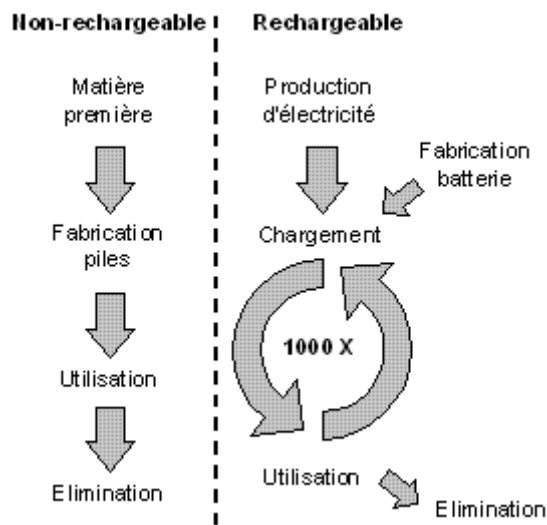


Figure II.1 : Cycle de vie des piles rechargeables et non-rechargeables. (ETA20)

### 4.1. Matières premières

Pour bien présenter les étapes du cycle de vie des piles, on prend comme un cas d'étude la pile alcaline et l'accumulateur au Nickel-métal-hydrure qui sont les plus populaires utilisés mondialement. Les deux premières phases consistent à déterminer les matières premières consommées puis la fabrication.

Tableau II.2 : La composition chimique des piles alcaline et NiMH.

| Pile                 | Matières premières  |
|----------------------|---|
| Alcaline             | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Dioxyde de manganèse (30-45%)</li> <li>- Zinc (12-25%)</li> <li>- Hydroxyde de potassium (4-8%)</li> <li>- Graphite (2-6%)</li> <li>- Enveloppe en plastique</li> <li>- Corps en acier</li> <li>- Connecteur métallique.</li> </ul> <p style="text-align: center;">(ETA20)</p> |
| Nickel-Métal-Hydrure | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Fer (15-30%)</li> <li>- Cobalt (1-5%)</li> <li>- Nickel (30-45%)</li> </ul>  |

|  |  |
|--|--|
|  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Polyamide (2.5-3.5%)</li> <li>- EPDM (&lt;0.05%)</li> <li>- Polyéthylène (0.2-0.4%)</li> <li>- PVC (0.2-0.7%)</li> <li>- Alkalis K/Na/Li (1.8-3.2%)</li> <li>- Eau (4-9%)</li> <li>- Hydroxyl (8-14%)</li> </ul> <p style="text-align: right;">(2014)</p> |
|--|--|

## 4.2. Utilisation

Les articles fabriqués seront livrés puis commercialisés, leur diversité rend leur choix difficile pour le client. La sélection du type de batterie à utiliser dépend d'un ensemble des paramètres intrinsèques dont la tension fournie, la disponibilité d'espace, la chimie des piles, le coût et même la durée de conservation...etc. La prédilection à un paramètre impose l'épuisement des autres paramètres.

Les piles primaires sont dédiées à l'usage occasionnel sur un temps d'utilisation court et sur des appareils à faible consommation électrique, au contraire les accumulateurs peuvent être utilisés fréquemment sur une longue période d'usage et sur des appareils nécessitant un courant élevé.

Le fait que les piles peuvent conserver la charge sans l'utiliser pendant une période du temps référencie à la durée de conservation. Elle est affectée par la qualité de la batterie, l'humidité et la température. Plus l'environnement de stockage est humide et chaud, plus la durée de conservation est courte. (*Bat20*)

La durée de vie se diffère d'une catégorie à l'autre, elle se réfère au nombre du cycle (charge/décharge) pour une batterie rechargeable au contraire d'une pile primaire qui n'a pas ce cycle par conséquent elle se réfère à la durée pendant laquelle elle fonctionnera sur une seule charge. (*Bat20*)

Tableau II.3 : durée de vie et hypothèse de thésaurisation en fonction du type pile

(*eCharette, 2014*)

| Pile                           | La durée de vie (an) | Durée de vie et thésaurisation             |
|--------------------------------|----------------------|--|
| Piles primaires                |                      |  |
| Carbone-Zinc                   | 3                    | 30% de capacité spécifiée pour 5 et 15 ans |
| Alcalines-dyoxide de manganèse | 3                    | 30% pour 5 et 15 ans                       |
| Lithium                        | 3                    | 30% pour 5 et 15 ans                       |
| Piles boutons-zinc-air         | 3                    | 30% pour 5 et 15 ans                       |



|                             |      |                      |
|-----------------------------|------|----------------------|
| Pile boutons-oxyde d'argent | 3    | 30% pour 5 et 15 ans |
| Piles secondaires           |      |                      |
| Nickel-Cadmium              | 5    | 60% pour 5 et 15 ans |
| Hydrure de nickel           | 3    | 60% pour 5 et 15 ans |
| Lithium-ions                | 1.75 | 60% pour 5 et 15 ans |

### 4.3. Gestion des piles en fin de vie

Une pile ou une batterie est en fin de vie si elle ne peut plus fournir que 60 % de la capacité spécifiée. Malgré son apparence inoffensive et ses petites tailles, elles restent toujours assimilées à des résidus domestiques dangereux à cause de la présence des métaux lourds dans leurs compositions (Plomb, mercure, zinc, nickel...etc.). Malheureusement, Ces résidus se jettent librement dans la nature ou s'acheminent vers l'incinération et les lieux d'enfouissement comme des déchets ultimes d'où il faut les gérer d'une autre manière afin d'éviter les risques d'incendie et la pollution environnementale.

#### 4.3.1. Réemploi

Aujourd'hui, le réemploi des piles devient possible après qu'elles soient collectées et vérifiées ce qui permet de les trier en articles pouvant faire l'objet de réutilisation et des déchets destinés aux centres du recyclage et de valorisation. À l'évidence, seuls les accumulateurs conçus dès le départ pour être réutilisés grâce à l'utilisation d'un chargeur. Cependant, les piles alcalines peuvent sous certaines conditions poursuivre une seconde vie comme piles d'occasions grâce à une recharge faite à l'aide d'un chargeur *RONA ECO* développé pour les piles non-rechargeables néanmoins le réemploi présente un peu d'intérêt pour certaines batteries tel-que les piles à hydrogène, car la membrane catalytique qui représente le cœur de la pile est toujours endommagée en fin de vie. (eCharette, 2014)

#### 4.3.2. Recyclage

Recyclage c'est un mode de gestion des déchets au cœur l'économie circulaire. « *Il vise à limiter la consommation de matières premières vierges en proposant aux entreprises consommatrices des matières premières secondaires irréprochables sur tous les plans (qualitatif, environnemental, sanitaire). Cela permet également de limiter la consommation d'énergie dans la fabrication de produits à partir de produits recyclés* ». (fna20)

Les fabricants et importateurs ont l'obligation de récupérer et d'éliminer les piles et accumulateurs en fin de vie, collectés par les distributeurs ou les communes. Ils sont tenus de passer des conventions avec des sociétés de traitement pour établir des filières de collecte et d'élimination et de définir les modalités de leur fonctionnement. Il existe plusieurs centres du recyclage dans le monde d'où le traitement s'effectue en fonction du type de piles. La première phase présente la collection et la récupération des piles par les distributeurs ou les communes, puis en passant par un triage pour assurer leur séparation en fonction du type et de composition chimique afin d'éviter les risques d'explosion ou d'incendie au cours du

traitement. La fin de cette étape fait appel à des technologies spécifiques du traitement pour chaque type traité. Lorsque tous les métaux et les matières sont extraits, ils peuvent être réutilisés après l'affinage comme ils peuvent servir à la fabrication des nouveaux biens de consommation quotidienne. (Ex : nouvelles piles et batteries, pièces automobiles...etc.)

### 4.3.3. Elimination

Toute opération qui ne peut pas être valorisée, même si l'opération a un effet secondaire sur la valorisation de substances, matières ou produits ou énergie. (LES20)

## 5. Impacts des déchets P&A sur la nature et les êtres vivants

Les piles et les accus sont dangereux puisqu'ils contiennent des métaux lourds qui s'accumulent dans nos corps et dans l'environnement.

### 5.1. Impact sur les ressources naturelles

L'un des problèmes des batteries est qu'elles utilisent des composés (en particulier des métaux) qui ne peuvent pas être régénérés à l'échelle humaine. Le lithium est l'un des composants de des piles et des batteries, classé 33<sup>ème</sup> sur terre avec une proportion limitée.

En 2009, le USGS<sup>1</sup> a estimé qu'il y avait environ 11 millions de tonnes de lithium, cependant d'autres instituts ont estimé que ce matériau est moins abondant, en conséquent s'il est utilisé continuellement comme actuellement, il sera consommé et sera moins abondant dans le futur. D'autre exemple, en raison de l'épuisement de l'énergie disponible et de nos modes de consommation, le zinc utilisé comme anode dans les piles alcalines peut disparaître dans 20 à 50 ans. En fait, en plus de l'industrie des piles, c'est également un matériau utilisé dans de nombreuses autres activités humaines, telles que la fabrication de pièces automobiles, de toits d'automobiles et d'alliages de tuyaux de drainage. (Unp201)

### 5.2. Dangers sur les êtres humains

Ces pollutions ne sont pas sans conséquence sur les êtres vivants, les métaux lourds peuvent atteindre l'organisme humain de plusieurs façons : L'exposition par voie orale à des doses élevées de cadmium peut provoquer une grave irritation gastro-intestinale et de graves effets rénaux. L'exposition chronique par inhalation est associée à des effets sur les poumons, y compris l'emphysème, ainsi que sur les reins. Cela peut également endommager les os. Une fois dans le corps, le plomb se trouve dans le sang et se lie aux tissus mous (foie, rate, reins, moelle osseuse, système nerveux) et s'accumule ensuite dans le système squelettique.

L'organe cible central est le système nerveux central, en particulier chez le fœtus et le jeune enfant. L'OMS<sup>2</sup> considère le mercure comme l'un des « dix produits chimiques ayant de graves conséquences pour la santé publique ». Le mercure inorganique affecte particulièrement les reins. Le méthylmercure<sup>3</sup> est neurotoxique lors d'une exposition prolongée. Une imprégnation élevée peut entraîner des troubles de l'équilibre et de la démarche, ainsi que des problèmes d'audition ou de vision. Chez les enfants, des retards dans

---

<sup>1</sup> USGS : Institut d'études géologiques des États-Unis.

<sup>2</sup> Organisation Mondiale de la Santé.

<sup>3</sup> La forme organique la plus toxique du mercure.

le psychomotorisme, la croissance et l'acquisition du langage peuvent être observés. Cette forme de mercure est également toxique pour le fœtus. (Lin20)

### 5.3. Problèmes environnementaux

On sait que ces métaux lourds sont dangereux pour la santé et l'environnement : une pile au mercure jetée dans la nature suffit à contaminer 1 m<sup>3</sup> de terre et 1000 m<sup>3</sup> d'eau pendant 50 ans ! (con20)

Le plomb peut pénétrer dans l'eau et le sol lors de la corrosion des tuyaux en plomb dans les systèmes de transport d'eau et lors de l'utilisation de peintures au plomb. Le plomb ne peut pas être détruit, il peut simplement changer de forme. Le plomb s'accumule dans les organismes aquatiques et du sol. Ils souffrent d'empoisonnement au plomb. Chez les crustacés, ces effets se font sentir même si de très faibles niveaux de plomb sont présents. Les fonctions phytoplanctoniques sont souvent perturbées en présence de plomb. Le phytoplancton est un plancton végétal, produit de l'oxygène dans les mers et est mangé par de nombreux animaux marins.

D'autre part, le lithium métallique réagit avec l'oxygène, l'azote et la vapeur d'eau. Par conséquent, la surface du lithium devient un mélange d'hydroxyde de lithium (Li-OH), de carbonate de lithium (Li<sub>2</sub>-CO<sub>3</sub>) et de nitrure de lithium (Li<sub>3</sub>N). L'hydroxyde de lithium présente un risque important car il est extrêmement corrosif et il a tendance à s'enflammer spontanément et même à exploser. (Sit20)

### 5.4. Dangers sur les êtres vivants (animaux et plantes confondus)

D'autre part, les métaux lourds ayant des propriétés toxiques, peuvent être plus ou moins dangereux pour les animaux et les plantes qui assimilent ces métaux par contact ou par voie alimentaire, provoquant ainsi l'accumulation de ces métaux à la suite d'une bioaccumulation dans certains organes, la figure suivante présente une chaîne alimentaire d'un aigle commençant par des plantes qui absorbent des eaux des nappes phréatiques.

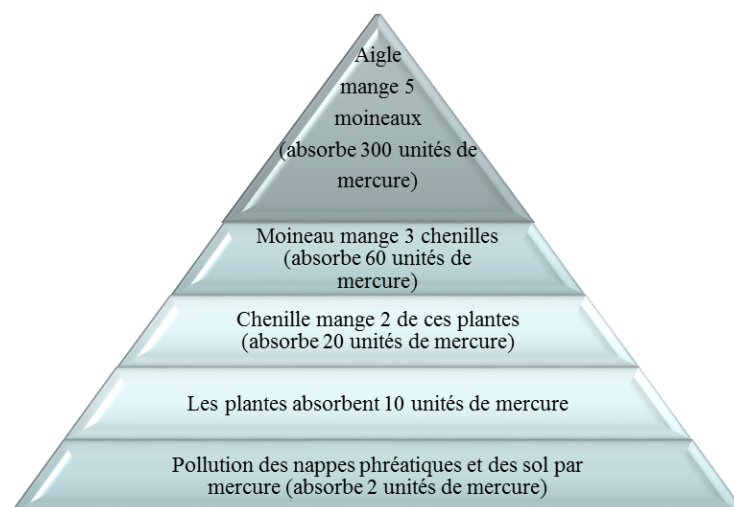


Figure II.2 : Chaîne alimentaire d'un aigle (Unp201)

La figure montre que les animaux présents au sommet de cette pyramide, comme le moineau ou l'aigle, recevront par conséquent des doses de mercure de plus en plus élevées : c'est ce qu'on appelle le phénomène de bioamplification.

## 6. Techniques du traitement des déchets des piles

La collection et la récupération des piles et des accumulateurs électriques en fin de vie est la phase clé afin de diminuer vers éliminer l'accumulation des déchets, toutefois le traitement de celles-ci est une étape très essentielle qui permet de préserver la nature contre les substances résidus dangereuses, d'autre part, il vaut mieux du récupérer les matériaux des batteries domestiques, de sorte à économiser la consommation des ressources naturelles.

Chaque type de déchets de batteries subit un traitement de valorisation différent de l'autre, la section suivante décrit les différents procédés connus associés aux traitements des piles usagées.

### 6.1. Distillation

Ce procédé est dédié au traitement des piles usagées au mercure et les accus au nickel-cadmium. Parfois, un triage manuel ou mécanique est nécessaire afin d'assurer la pureté du lot traité des déchets et éviter le risque d'une contamination du traitement. Les piles subissent d'abord un broyage cryogénique sous azote liquide afin d'éviter la vaporisation du mercure. L'amalgame obtenu subira ensuite une distillation. Les éléments métalliques étant séparés par voie magnétique. L'augmentation progressive de la température vaporise le mercure et le nickel-cadmium qui sont ensuite récupérés par condensation. (eCharette, 2014). La figure II.3 décrit le processus du traitement par distillation adopté par l'entreprise française « Corpile ».

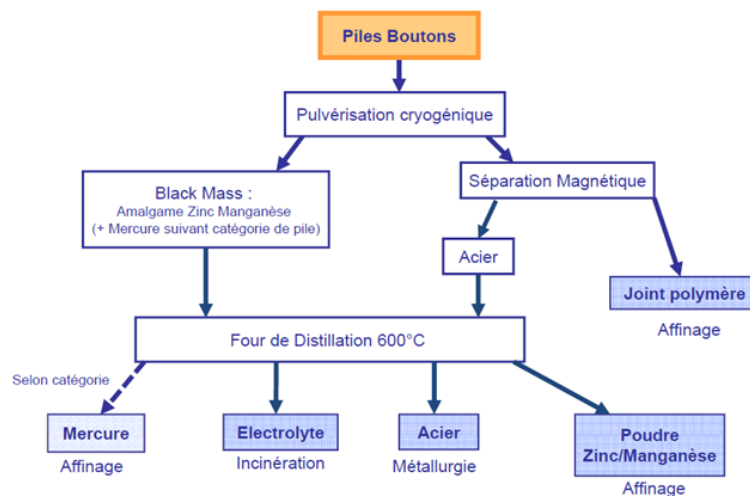


Figure II.3 : les étapes principales du traitement des piles par distillation (Cor20)

### 6.2. Fusion

Le procédé est comparable à celui de la pyrométallurgie, mais ne donne qu'une matière en sortie de four : du plomb sous forme de lingots. Les centres du traitement utilisent la fusion pour traiter les accumulateurs usagés au plomb. Les déchets subissent un broyage pour récupérer l'enveloppe plastique qui passera ensuite par un autre mécanisme de lavage et broyage afin d'obtenir des granulés de polypropylène. Les résidus du plomb seront introduits dans un four à une température de 1200C°. Le plomb récupéré est reformulé en divers alliages selon la demande et coulé sous forme des lingots qui peuvent être utilisés dans la fabrication de batteries de plomb de chasse. (Cor20)

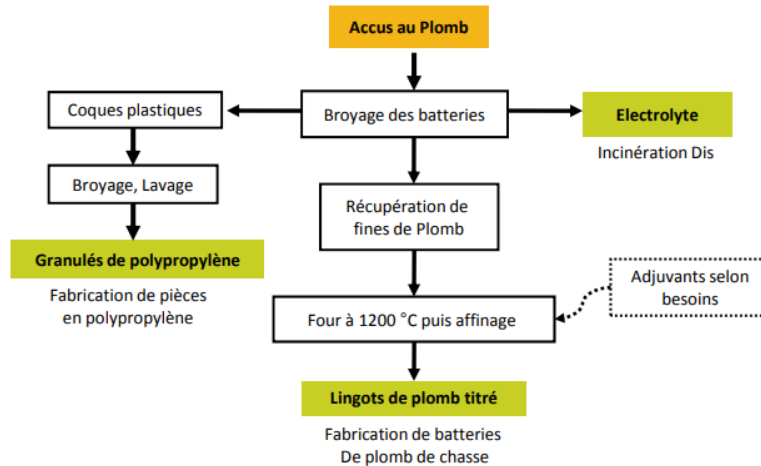


Figure II.4 : les étapes principales du traitement des piles par fusion (Cor20)

### 6.3. Hydrométallurgie

Le traitement par voie hydrométallurgique des piles et des accumulateurs permet de valoriser le zinc, le cobalt, le manganèse, le lithium et le nickel. Elle s'appuie sur le principe du broyage mécanique suivi d'une attaque chimique à basse température, le broyage permet de poudrer les composants de piles, ensuite les matières non-ferreuses sont tirées par un triage manuel ou mécanique de même que tous autres éléments métalliques qui seront séparés par voie magnétique dont le reste sera lessivé pour extraire les sels solubles à basse température. Puis, les résidus du lessivage seront lixiviés à basse température (inférieure à 130 C°) à l'aide d'une solution acide ou basique concentrée avec au besoin l'ajout d'un oxydant (chlore) pour extraire les hydroxydes métalliques, les fines métalliques et le mercure. Les matériaux restants sont séparés par purification. Les phases de celle-ci et de séparation peuvent être réalisées par cémentation ou précipitation (réduction électrochimique). Le choix de l'une ou l'autre de ces techniques est conditionné par l'élément à séparer, sa quantité et le procédé chimique utilisé. (RYC20; eCharette, 2014; Cor20). Enfin, les effluents liquides sont recyclés en tête de procédé après traitement par les techniques disponibles sur le marché. L'hydrométallurgie permet d'obtenir des degrés de pureté des métaux élevés. Ils ont également l'avantage d'être peu énergivores, d'avoir une empreinte CO<sub>2</sub> réduite, et de ne pas émettre de dioxine. (RYC20)

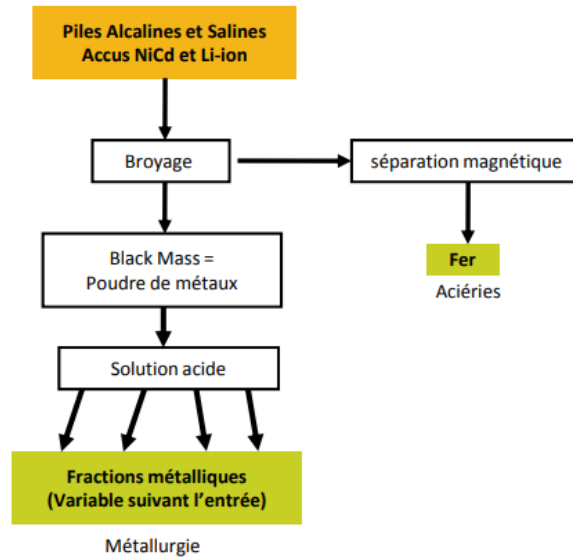


Figure II.5 : les étapes principales du traitement des piles par hydrométallurgie (Cor20)

#### 6.4. Pyrométallurgie

La pyrométallurgie permet de traiter les piles alcalines, carbone-zinc et les accus à l'hydruure du nickel, lithium-ions et au nickel-cadmium. Cet ancien procédé consiste à traiter les déchets des piles par un traitement thermique à haute température en passant par un raffinage ultérieur en plusieurs phases. Avant le traitement thermique, un triage manuel ou mécanique est nécessaire pour trier les piles ayant une dimension supérieure à sept cm afin qu'elles subissent un broyage et un criblage. L'amalgame de matières sera introduit avec les piles ayant une dimension inférieure à sept cm dans un four métallurgique fournissant une température supérieure à 1300°C. Une partie d'énergie thermique nécessaire provient de la combustion des matières plastiques. Le taux de mercure permis pour la fonte doit être inférieur à 500 ppm.

Une réaction oxyde-réaction permet de récupérer les différents métaux traités. La différence de densité dans le bain de fusion permet de récupérer le fer et le manganèse alors que le zinc est récupéré par évaporation après sa réduction. Le reste du bain en fusion peut être utilisé la fabrication de laine de roche ou comme remblai routier. Pour éviter le rejet des dioxines ou des furanes, il faut un refroidissement brutal suivi d'un traitement par filtration à sec des fumées composées de la partie organique volatile et du mercure. (eCharette, 2014; Cor20)

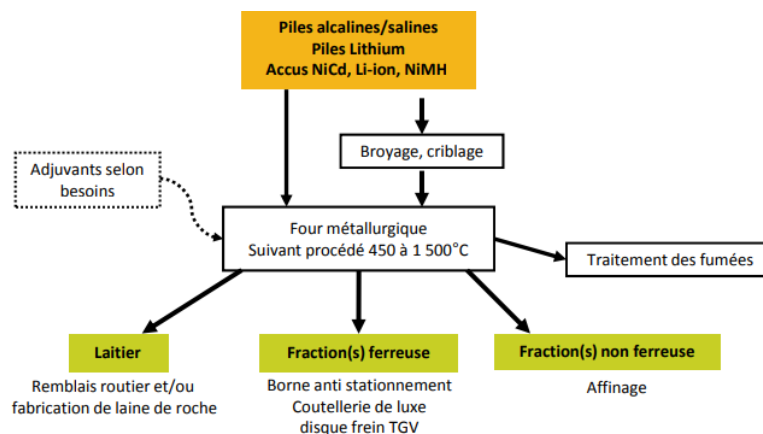


Figure II.6 : les étapes principales du traitement des piles par pyrométallurgie (Cor20)

## 7. Analyse statistique sur la consommation des piles en Algérie

« Les Algériens consomment 500 millions à 600 millions unités par an des piles et des accumulateurs, qui sont équivalentes à 11 100 tonnes jusqu'à 13 320 tonnes, soit 12 unités à 14 unités par habitant chaque année. A titre indicatif, les Français et les Suisses utilisent 1405 millions et 120 millions unités respectivement, alors que le taux de collection de ces quantités atteint 68 % en Suisse et 80 % en France, néanmoins, en Algérie les déchets P&A se finissent dans la nature et les décharges en raison de l'absence du programme de gestion de tels types des déchets dangereux.

L'expert Algérien en environnement Faiçal Loudjani a affirmé durant un entretien avec un journaliste du journal El Watan en 19 mars 2020 qu'aucune initiative officielle et sérieuse de collection et du recyclage des P&A n'est connu à ce jour en Algérie. ». (Gaidi, 2020)

Cette catégorie marginalisée des déchets ne représente pas qu'un danger pour notre environnement et notre santé, mais elle représente aussi une richesse en métaux lourds et précieux alors qu'elle était bien revalorisée. « La quantité des P&A usagées évacuée dans la nature correspond à au moins 3441 tonnes de black-mass, qui est la poudre issue du broyage contenant la matière active (31%), 2442 tonnes d'acier (22%), 2109 tonnes de papiers/plastiques (19%), 1221 tonnes de nickel (11%), 444 tonnes de plomb, cobalt, aluminium, cuivre, argent, métaux ferreux, cadmium, zinc... (4%). » (Gaidi, 2020)

### 7.1. Classification des P&A importés en Algérie

A partir des statistiques d'importation des P&A délibérées par la direction d'étude et de prospective de la douane algérienne pour l'année 2018, on a estimé les différents types consommés par les algériens à l'aide d'application de la méthode de Pareto et la classification ABC.

Tableau II.4 : Types des P&A importés en Algérie et leurs quantités en 2018

| Types des piles et des accus                 | Quantité (kg) |
|--|---------------|
| <b>Piles boutons au bioxyde de manganèse</b> | 1 541 324     |
| <b>Accus au nickel-cadmium</b>               | 463 470       |
| <b>Accus au Lithium-ion</b>                  | 349 364       |
| <b>Piles à l'air de zinc</b>                 | 154 028       |
| <b>Piles à l'oxyde de mercure</b>            | 125 816       |
| <b>Piles au Lithium</b>                      | 95 189        |
| <b>Accus au nickel-fer</b>                   | 27 091        |
| <b>Accus au nickel-hydrure-métallique</b>    | 10 923        |
| <b>Piles à l'oxyde d'argent</b>              | 9 972         |

#### 7.1.1. Application de la méthode de Pareto et ABC

##### - La méthode de Pareto

La règle des 80/20, est un phénomène empirique révélant que 80 % des effets sont le produit de 20 % des causes. Appliqué à l'ergonomie des interfaces, on obtient que dans 80 % des cas d'utilisation, les utilisateurs utiliseront 20% des fonctionnalités.

**- La méthode ABC**

Tout en restant dans la même logique que la méthode Pareto, la méthode ABC (en anglais : activité basée sur les coûts) complète la méthode précédente, qui consiste des référentiels organisés par ordre décroissant des sorties. Par conséquent, il peut être divisé en trois parties ou catégories selon les critères suivants :

- Classe A : 20% de 80% de la valeur totale des articles ;
- Catégorie B : 30% des éléments suivants, représentant environ 15% de la valeur totale du stock ;
- Classe C : Les 50% restants des projets représentent environ 5% de la valeur totale des stocks. (*Log20*).

**7.1.2. Interprétation des résultats**

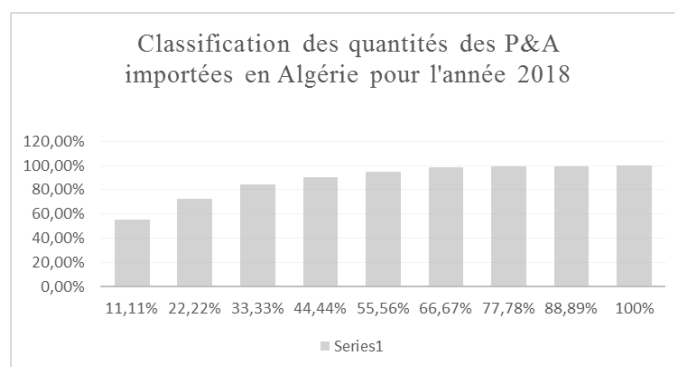


Figure II.7 : Classification des quantités des P&A importées en Algérie pour l'année 2018

D'après la classification obtenue grâce à deux méthodes, on remarque que les deux types « Piles bouton au bioxyde de manganèse » et « Accus au nickel-cadmium » sur les neuf types importés représentent la classe A qui représente par la suite 80 % des types plus importants à traiter. Puis la classe intermédiaire B regroupe deux autres types qui sont « Accus à Lithium-ion » et « Piles à l'air de zinc » représentant 20% des piles importés. Finalement, la classe C regroupe le reste des types importés.

Tableau II.5: Classification des P&A importés selon la méthode ABC et Pareto

|                 |                                      |
|-----------------|--------------------------------------|
| <b>Classe A</b> | Piles bouton au bioxyde de manganèse |
|                 | Accus au nickel-cadmium              |
| <b>Classe B</b> | Accus à Lithium-ion                  |
|                 | Piles à l'air de zinc                |
| <b>Classe C</b> | Piles à l'oxyde de mercure           |
|                 | Piles au Lithium                     |
|                 | Accus au nickel-fer                  |
|                 | Accus au nickel-hydrure-métallique   |
|                 | Piles à l'oxyde d'argent             |



## **8. Conclusion**

Bien que les P&A soient très utiles pour l'être humain, en raison de la toxicité de certains composants, ils peuvent présenter un réel danger pour l'environnement. D'autre part, en raison de l'utilisation des métaux non-renouvelables, la fabrication des batteries est menacée pour les générations futures.

Alors, au-delà de la simple volonté de limiter l'impact sur l'environnement et tout risque de pollution, le recyclage des P&A représente le véritable dépôt des matériaux à haute valeur ajoutée. Près de 13 320 tonnes de piles et d'accumulateurs sont utilisées chaque année, ce qui signifie 533 tonnes de zinc et 1 465 tonnes de fer et de nickel à recycler. Ces produits recyclés ont été réinjectés dans de nombreuses industries et ont donc une seconde vie ce afin d'assurer une économie circulaire.

## **CHAPITRE III : ETUDE STRATEGIQUE ET TECHNIQUE**

## 1. Introduction

Tel qu'il est indiqué dans la Division III.4, il existe plusieurs façons pour gérer nos déchets, dont le processus de chaque une consiste en générale à collecter, transporter, traiter, éliminer ou valoriser ceux qui issus de l'homme. Quoique le traitement des déchets occupe un rôle prédominant dans les questions de gestion des produits en fin de vie, il ne faut pas négliger l'importance stratégique d'établissement d'un réseau de ramassage et de transport fiable et bien défini. D'autant que la collecte des déchets est l'une des étapes initiales de chaque processus, comme si ce n'était pas fait de la meilleure façon, les risques et les dangers tel que la pollution d'eau et du sol, l'acidification d'air et l'intoxication ne seront pas éliminer à 100%, alors que l'objectif attendu qui consiste à protéger notre environnement et les êtres vivants ne sera pas atteint. En conséquent, nous trouvons que les opérations du ramassage des piles et des accus usagées doivent figurer en bonne place tout d'abord, pour qu'une étude approfondie soit faite afin que son résultat soit optimal, parce qu'à notre avis, il suffit tout simplement, pour éliminer ces déchets de leur ramasser puis leur destiner vers un endroit bien spécifié dédié à l'enfouissement ou au stockage.

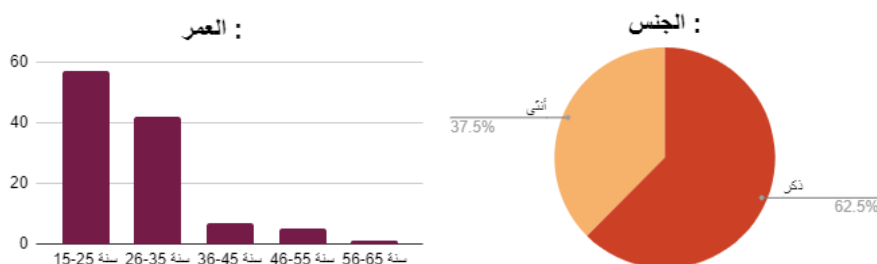
## 2. Analyse du questionnaire

Avant du commencer le travail, nous avons préféré du prendre en considération les avis de notre société, afin d'avoir une idée sur la culture de la population concernant cette question pour savoir comment nous allons motiver les gens à trier cette catégorie des déchets en lui proposant des solutions faisables et lui donner la chance de contribuer par leurs idées afin d'arriver à installer un réseau fiable qui facilite aux eux la collecte de ces déchets.

À cause des conditions du confinement et les précautions contre le virus COVID-19, le questionnaire était créé grâce à Google Forms et partagé sur les réseaux sociaux entre 112 personnes ayant différents niveaux culturels pendant 3 mois. Il nous a permis d'analyser quelques points essentiels concernant les piles et le sort de celles-ci en fin de vie, tel que :

- Les points plus fréquentés pour l'achat des piles,
- Les dangers des piles en fin de vie sur l'être humain (ex : enfant) et la nature,
- Le sort de ces déchets,
- Ce qu'il fallait faire pour éviter les risques de ceux-ci.

Cet échantillon de population se compose de 70 hommes et 42 femmes ayant un âge qui varie entre 15 ans et 65 ans dont 50.9 % ayant un âge qui varie de 15 ans à 25 ans, puis 37.5 % ayant un âge qui varie de 26 ans à 35 ans et 11.7 % d'échantillon ayant un âge qui varie entre 36 ans et 65 ans.



### Chapitre 3 : Etude stratégique et technique.

Figure III.1 : Les catégories d'âge d'échantillon.

Figure III.2 : Le sexe d'échantillon

Les niveaux culturels ou scientifiques de la population étudiée varient entre niveau universitaire et primaire dont 87.5 % d'échantillon est soit des étudiants universitaires soit des diplômés, 3.6 % ayant un niveau moyen d'éducation et 8 %, 0.9 % ayant un niveau éducatif secondaire et primaire successivement.

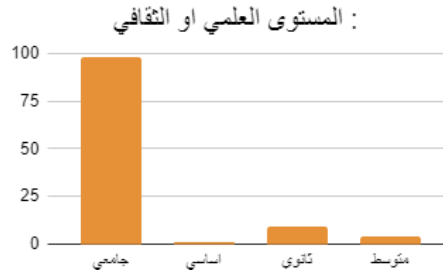


Figure III.3 : Les niveaux scientifiques ou culturels d'échantillon

La première section permet de savoir la conscience des gens concernant l'effet de la pile, donc 75 réponses étaient « oui » cependant 35 personnes répondaient par « non » et deux autres répondaient par « un peu ».



Figure III.4 : Les réponses de la 1<sup>ère</sup> section du questionnaire.

Ensuite, le deuxième point nous a permis d'identifier les points les plus fréquentés pour l'achat des piles, dont 57 personnes ont choisi d'acheter leurs piles des épiceries cependant 19 réponses étaient les magasins des équipements électriques et électroniques, ainsi 15 personnes et 11 personnes choisissent l'achat de leur besoin soit des endroits spécifiés des piles soit de n'importe où respectivement. Puis les autres réponses étaient soit des endroits de DIY (Magasins vendent les outils et les équipements de la maintenance de maison) (une réponse), des bureaux-tabac et des librairies (cinq réponses) ou des réparateurs des équipements électroniques (une réponse).

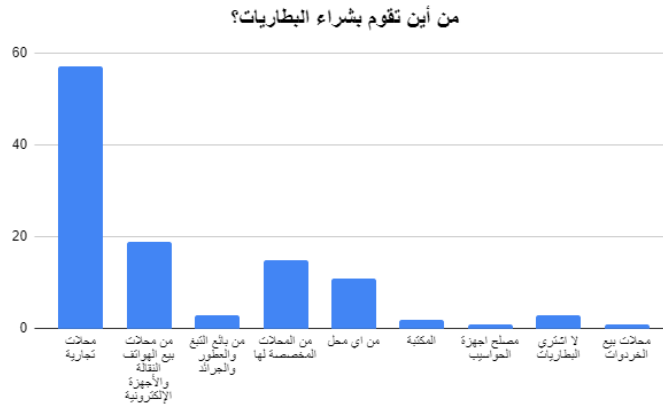


Figure III.5 : Les réponses de la 2<sup>ème</sup> section du questionnaire.

La troisième et la quatrième section sont dédiées pour savoir la conscience de la société concernant les dangers conséquents de mal-gestion des piles et des accus en fin de vie, pour cela deux questions ont été posées :

- À votre avis, quand un enfant joue avec une pile et la met dans sa bouche, est-ce un acte positif ou négatif ?
- À votre avis, jeter irrationnellement des piles en fin de vie a-t-il un effet positif ou négatif sur l'environnement ?

Alors, 109 personnes répondaient par « négatif » et trois autres répondaient par « positif ».



Figure III.6 : Les réponses de la 3<sup>ème</sup> section du questionnaire

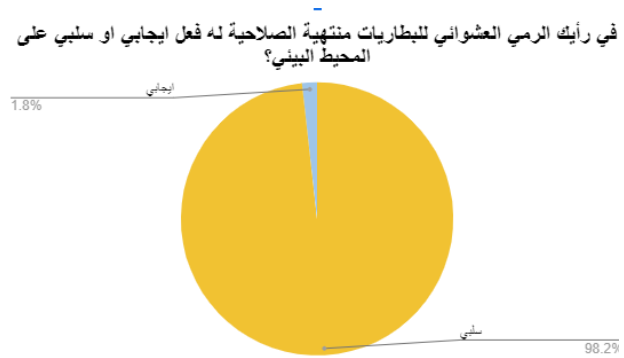


Figure III.7 : Les réponses de la 4<sup>ème</sup> section du questionnaire.

Pour plus d'informations, nous avons leur demandé ce qu'il faut faire quand les piles soient expirées et si c'est possible de leur recycler. 41.1% d'échantillon a choisi les mettre à la poubelle avec les produits recyclables, cependant 50% des réponses soient « les mettre à une poubelle de collecte spéciale ». Alors que, 8.1% des personnes ont choisi les jeter dans les ordures ménagères. D'autre part, 69.6 % de la population étudiée consciente de la possibilité du recyclage des piles en fin de vie, alors que 23.2 % soit contraire et 7.1 % des réponses étaient « peut-être ».

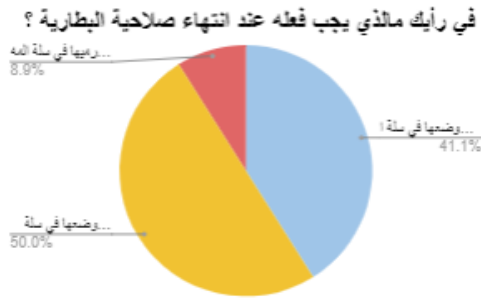


Figure III.8 : Les réponses de la 5<sup>ème</sup> Section du questionnaire

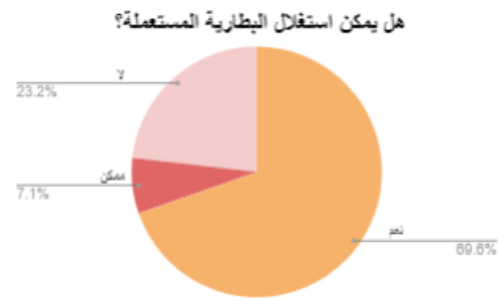


Figure III.9 : Les réponses de la 6<sup>ème</sup> section du questionnaire.

Malgré cette conscience des risques, les gens restent jeter librement leurs piles usagées dans les ordures ménagères, nous avons essayé de déterminer quelques raisons au travers ce questionnaire et comment nous pouvons affronter ce problème, dont 30.4 % d'échantillon a justifié cet acte par l'absence des endroits spécifiés pour ce type des déchets, aussi 27.7% des avis étaient d'accord sur l'inconscience de leur dangerosité cependant 13.4% de la population questionnée garde ses piles en fin de vie chez lui.

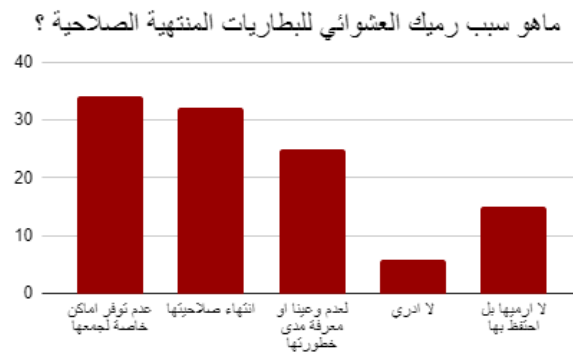


Figure III.10 : Les réponses de la 7<sup>ème</sup> section du questionnaire.

Tant que des futurs ingénieurs, nous devons chercher les meilleures solutions aux problèmes qui peuvent mettre en danger la société ou les individus, mais il ne faut pas négliger s'ils vont les soutenir ou complètement contraire, sans oublier que nous soyons tous concernés d'être responsables sur la protection de notre environnement. Donc, nous leur avons donné la possibilité d'exprimer leur opinion et de proposer des solutions. D'abord, 72 personnes ont proposé de spécifier une poubelle spéciale à ce type des déchets pour les récupérer et les recycler. Alors que 18 personnes ont choisi la sensibilisation des gens de ce que peut nuire la nature, cependant huit personnes et trois autres ont proposé de fabriquer des piles qui n'expirent jamais où récupérer les piles périmées lors d'achat des neuves avec des concessions respectivement. D'autres suggestions ont été citées tel que l'adoption des lois relatives à la responsabilité élargie des producteurs qui inclut les importateurs et les distributeurs et la création des trucs spécifiés à la collecte de ces déchets spéciaux pour les maisons.

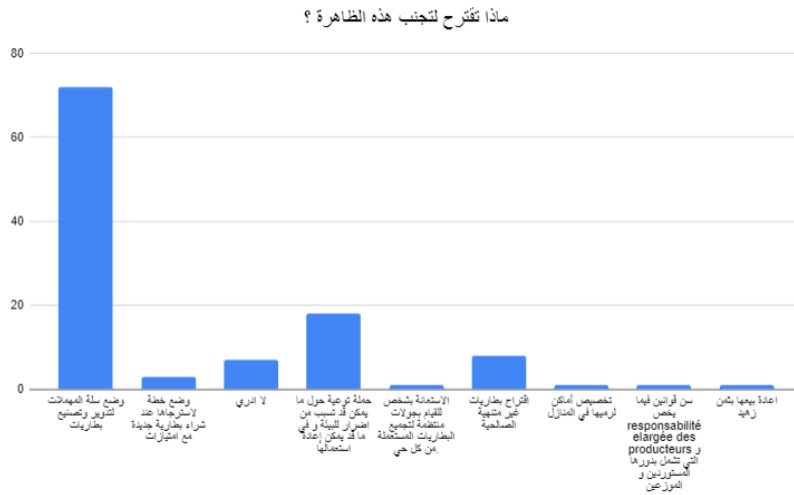


Figure III.11 : Les réponses de la 8<sup>ème</sup> section du questionnaire.

Ensuite, nous avons proposé quelques solutions faisables afin de choisir la meilleure à leur avis, lesquels sont :

- Mettre des poubelles intelligentes à des points désignés qui aide à collecter les piles usagées, elle vous donne un bon de réduction au cas où vous y mettriez vos piles usagées.
- Pour acheter de nouvelles piles, les piles usagées doivent être récupérées, où une carte est utilisée pour enregistrer et confirmer le processus avec une remise.
- Engagez quelqu'un pour faire des tournées régulières pour récupérer les piles usagées de chaque quartier.

Alors, 67.1% des personnes favorisent la première supposition, contrairement aux autres avis dont 38.4% et 4.5% ont supporté la deuxième et la troisième proposition successivement.

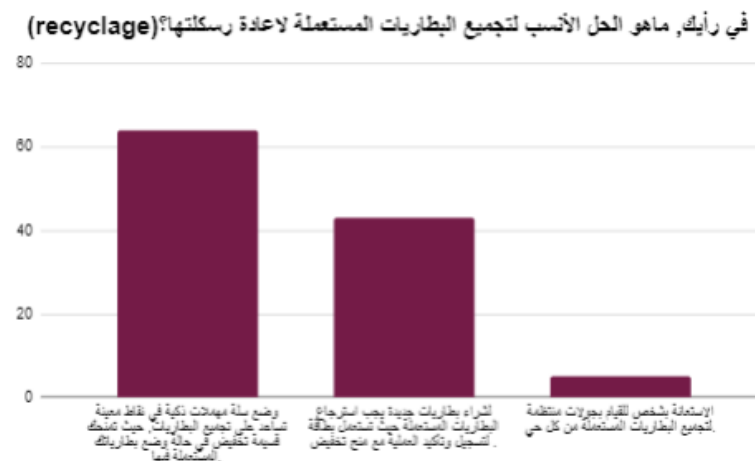


Figure III.12 : Les réponses de la 9<sup>ème</sup> section du questionnaire.

En conclusion, l'échantillon étudié au travers ce questionnaire a compris différentes catégories communautaires, alors que 88.4 % des avis analysés soient exprimés par l'anneau d'or de la société et 87.5 % des personnes questionnées sont éduquées. Malheureusement, nous avons observé que 20.54 % de la population étudiée au moins a répondu par des réponses contradictoires, alors qu'ils ont justifié le rejet irrationnel de leurs déchets dans la nature par l'inconscience de leurs dangers ce qui contraste leurs réponses à 3<sup>ème</sup>, 4<sup>ème</sup>,

5<sup>ème</sup> et 6<sup>ème</sup> question d'où ils ont affirmé que ces déchets ont des risques sur l'être humain et la nature et il fallait leur collecter séparément afin de leur valoriser. Heureusement, nous avons atteint nos objectifs attendus de ce questionnaire, on a arrivé à désigner que les points les plus fréquentés pour acheter les piles et les accus soient les épicerie en première place puis les magasins des équipements électroniques et électriques en deuxième place, et la meilleure solution pour affronter ce problème soit l'utilisation des poubelles intelligentes à des points de collecte.

### 3. Description du projet

Notre travail à but environnemental consiste du construire un réseau de récupération des déchets piles et accus en Algérie ce qui représente la première initiative, tout en établant une étude logistique dans une optique d'une vision stratégique. Alors, les piles et les accus usagés se classifient parmi les déchets dangereux ou spécieux qui présentent des risques sur les individus et l'environnement qui ne doivent pas être par la suite jetés librement dans la nature ou les jeter malencontreusement dans les ordures ménagères. Afin d'éviter ce problème, il faut appeler tout simplement à la collecte sélective « qui consiste à séparer puis récupérer les déchets en fonction de leur nature et la source pour éviter les contacts et les souillures, ce qui permet de leur donner une seconde vie ». (Wok20)

Grâce aux résultats d'analyse du questionnaire nous arrivions à définir une politique avec laquelle on peut motiver les gens à respecter le triage de cette catégorie des déchets qui consiste à rémunère l'individu qui ramène ses piles usagées à l'un des points désignés pour la collecte de ces déchets par une réduction du prix lors de l'achat des neuves sans oublier qu'il peut participer à une tombola trimestrielle et gagner des cadeaux considérables. Cependant, la personne qui ne respecte pas cette politique elle aura des pénalités sous forme de taxes environnementales à payer.

Afin d'assurer la crédibilité de la population, notre stratégie consiste à installer des poubelles intelligentes à des épicerie et des magasins des équipements électroniques et électriques, une fois un utilisateur y met ses piles et accus usagés, elle lui donne un bon de réduction qui doit être vérifié avant d'y prendre à son avantage grâce au numéro de série unique.

Aujourd'hui, les villes intelligentes basées sur l'IoT (*abrége en anglais : Internet of Things, en français : Internet des Objets*) utilisent les données et la technologie pour créer une infrastructure plus efficace et durable pour gérer les ressources, le flux de trafic, le comportement de la population, développer l'économie locale et améliorer la qualité de vie des résidents. L'IdO est une infrastructure mondiale qui permet d'interconnecter l'internet et des objets physiques ou vertueux. Grace à cette stratégie on peut connecter la poubelle intelligente et l'appareil de vérification du bon à une base de données, qui permet de sauvegarder toutes les données techniques des batteries usagées mises à la poubelle.



## 4. Conception et fonctionnement de poubelle intelligente

### 4.1. Modélisation graphique

« SysML est un langage de modélisation spécifique au domaine de l'ingénierie système. Il permet la spécification, l'analyse, la conception, la vérification et la validation de nombreux systèmes et systèmes-de-systèmes ». (WeK20) Grâce au logiciel AgroUml qui permet de réaliser plusieurs types de diagrammes UML, nous avons basé sur le SysML pour modéliser graphiquement notre système en utilisant le diagramme de cas d'utilisation qui donne une vision globale de son comportement fonctionnel et le diagramme de séquence qui permet de présenter les interactions entre les acteurs et le système selon un ordre chronologique.

#### 4.1.1. Diagramme des cas d'utilisation

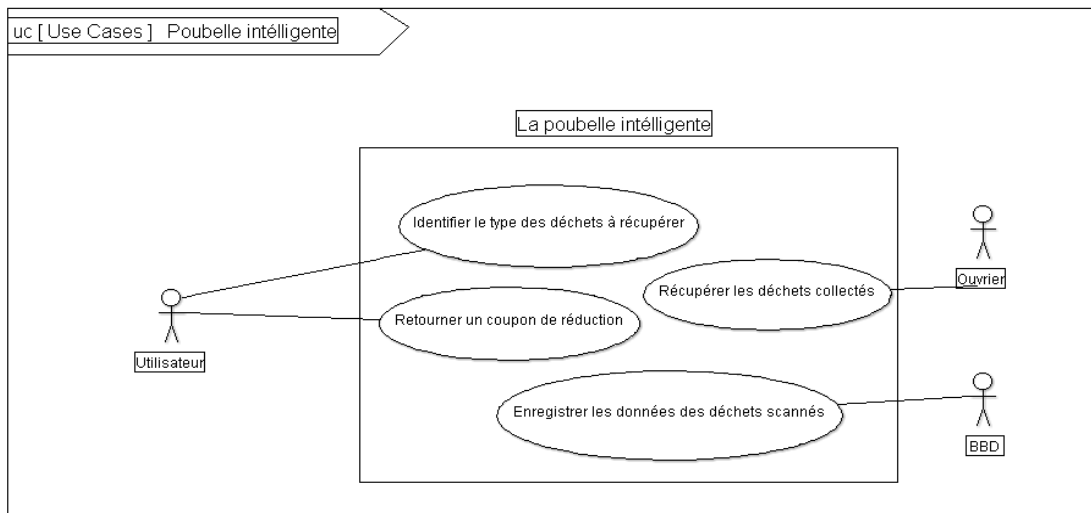


Figure III.13 : Diagramme des cas d'utilisation de poubelle intelligente.

Le modèle intelligent proposé de la poubelle repose sur l'IoT afin de créer une interface homme/machine qui permet à l'utilisateur d'identifier le type de ses déchets (piles ou accus), en bénéficiant d'un coupon de réduction qui comprend leur quantité, type, taille, capacité et voltage après que les données des déchets soient enregistrées sur une BDD et l'éboueur peut accéder facilement à la section où les déchets s'accumulent.

#### 4.1.2. Diagramme de séquence

Le système est alimenté par une batterie qui se charge grâce au panneau solaire personnalisé, l'utilisateur doit indiquer sa présence grâce à un capteur de proximité par un signe de main sur le dessus de la poubelle. Une fois sa présence est indiquée, le système se connecte à une BDD puis un LCD affiche un symbole de pile et d'accus d'où il doit identifier le type de déchets à mettre dans la poubelle grâce aux boutons poussoirs, chaque type a un emplacement du ramassage spécial. Une fois le type est identifié, la porte d'emplacement qui correspond au choix d'utilisateur s'ouvre automatiquement pour mettre ses déchets. Ensuite, il doit indiquer que cette opération est terminée en cliquant sur VALIDER afin que le système scanne ses déchets à l'aide d'un système de vibration qui permet de les remuer pour faciliter le captage des caractéristiques citées auparavant. Une fois toutes les données sont collectées, elles seront envoyées à la BDD pour leur enregistrer puis ces données seront imprimées sous forme d'un coupon de réduction. L'ouvrier responsable du ramassage des déchets accumulés

de chaque poubelle peut accéder à la section concernée grâce à l'ouverture d'une serrure par sa clé appropriée.

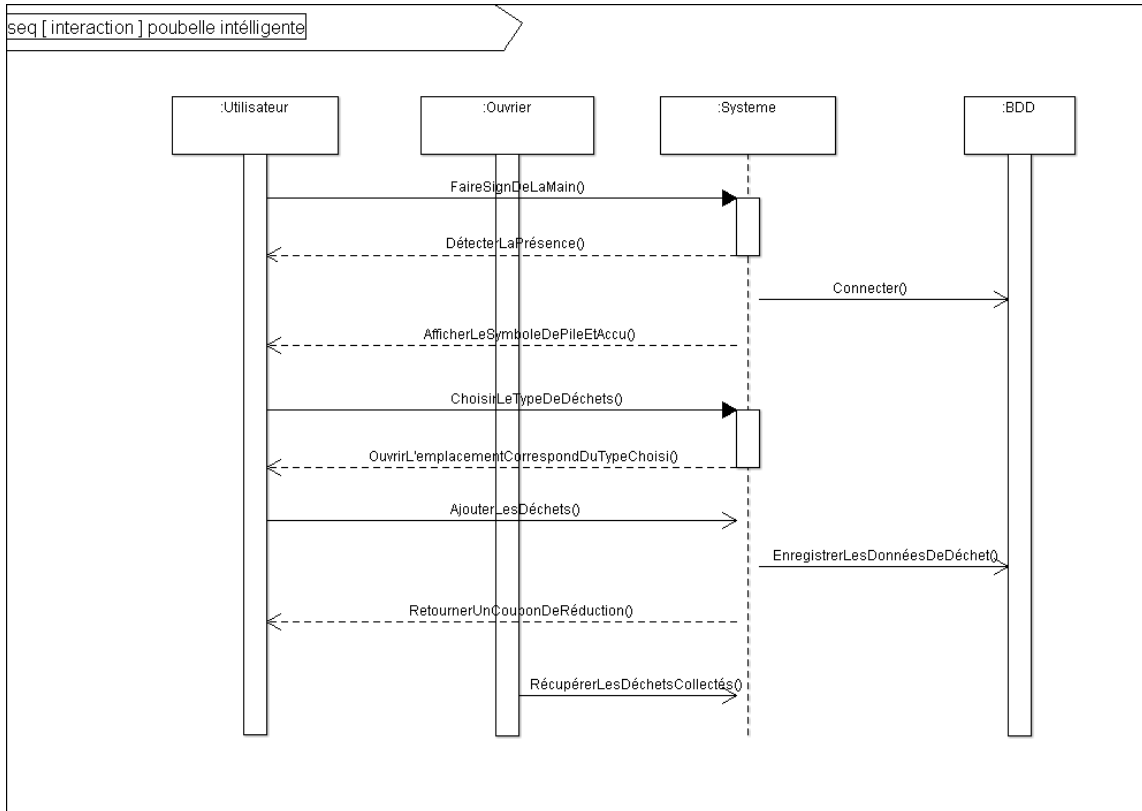


Figure III.14 : Diagramme de séquence de poubelle intelligente.

## 4.2. Conception du système en SolidWorks

SolidWorks est un logiciel incontournable dans le domaine de la CAO en 3D. Il offre un ensemble des fonctionnalités dédiées à la conception de pièces et d'assemblages. Alors nous avons l'utilisé afin de modéliser notre système. Les figures suivantes représentent le résultat final de conception du système entier, cependant la conception des pièces séparément est illustrée par les figures d'un à neuf attachées à la section des annexes.

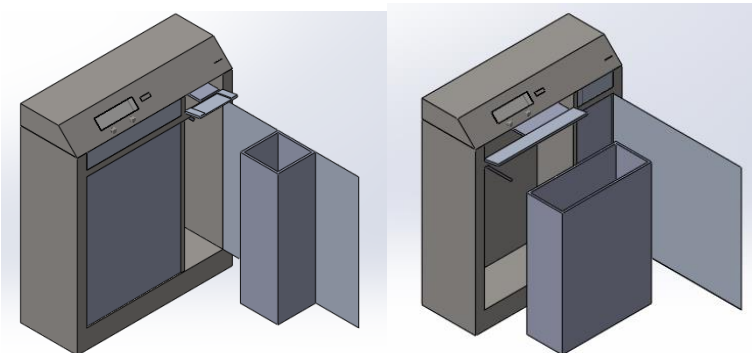


Figure III.15 : Section spécifique aux déchets piles. Figure III.16 : Section des déchets accus.

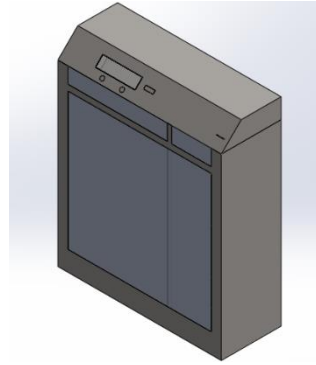


Figure III.17 : Système entier.

## 5. Localisation d'usine du traitement des déchets P&A en Algérie

En basant sur les statistiques démographiques en Algérie pour l'année 2008, nous avons estimé la consommation des piles et des accus de chaque wilaya de ce pays dont chaque habitant consomme 14 piles par an. Le premier tableau de la section annexe montre le nombre des habitants et la consommation annuelle de chaque wilaya.

Grace au système d'information géographique qui permet de recueillir, stocker, traiter, analyser, gérer et présenter tous les types de données spatiales et géographiques, nous avons obtenu les coordonnées cartésiennes de zone UTM 31N de 48 wilayas d'Algérie en utilisant logiciel QGIS. Le premier tableau de la section annexe regroupe les coordonnées de chaque wilaya.

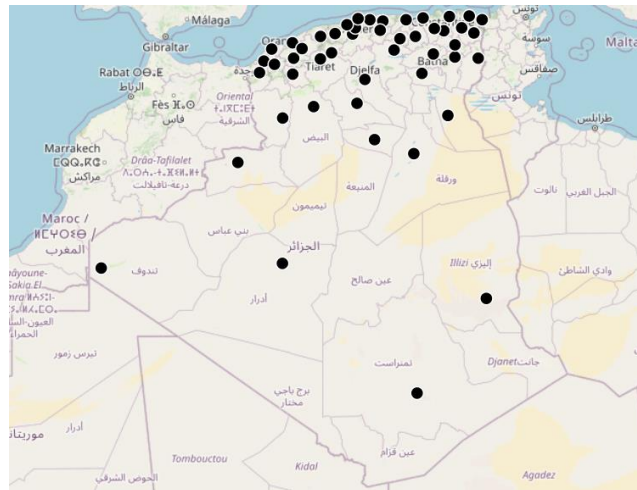


Figure III.18 : Positionnement géographique des wilayas algériennes.

### 5.1. Centre de gravité de l'Algérie

Afin de localiser notre usine, nous avons choisi d'appliquer la méthode du barycentre qui permet de déterminer l'emplacement d'une usine, d'un entrepôt ou d'une plateforme de distribution unique afin de minimiser les coûts de distribution vers les différentes destinations. On obtient les coordonnées du centre de gravité en sommant les coordonnées pondérées puis les divisant sur la somme des coordonnées. (CHR20)

$$\bar{x} = \frac{\sum X_i \times P_i}{\sum P_i} \quad \bar{y} = \frac{\sum Y_i \times P_i}{\sum P_i}$$

Dans notre cas, les consommations des piles de chaque wilaya représentent les poids. Après l'application de la méthode, nous avons obtenu que le centre de gravité d'Algérie soit situé à la wilaya de Djelfa.



Figure III.19 : Localisation géographique du centre de gravité d'Algérie.

## 5.2. Application des MCDM

Pour avoir une localisation plus précise d'emplacement d'usine du traitement des déchets, nous avons utilisé les méthodes MCDM (abrégié en anglais de : Multiple Criteria Decision Making). C'est une démarche d'aide et de prise de décision basée sur des critères ou des objectifs contradictoires. Chaque méthode consiste à construire une matrice de décision à partir des alternatives définies et l'ensemble des critères représentant l'importance pour chaque alternative, puis résoudre le problème en analysant les solutions par rapport les critères selon sa méthodologie afin de trouver la solution compromise soumise à tous les critères. On trouve parmi ces méthodes, la méthode AHP, VIKOR et la méthode TOPSIS.

### 5.2.1. Identification des critères d'importance et l'ensemble des alternatives

L'ensemble des communes de la wilaya de Djelfa qui se compose de 36 communes représente l'ensemble des alternatives. La figure suivante montre la localisation géographique de ces communes en utilisant logiciel QGIS.

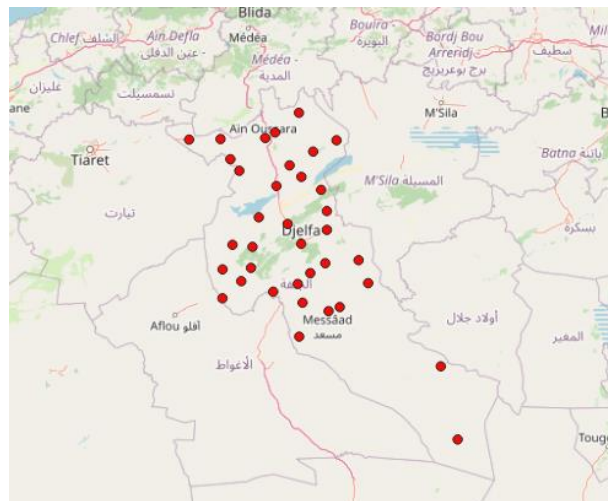


Figure III.20 : Emplacement géographique des communes de Djelfa.

## Les critères du choix du site

### ➤ Nombre d'habitants

Lors du traitement des piles et des accus usagés, les machines et les matériels utilisés font du bruit ce qui peut gêner les habitants. D'autre part, pour la location ou l'achat d'un terrain on trouve que les offres des zones moins peuplées sont moins chères que de celles peuplées.

### ➤ L'accessibilité et l'infrastructure

L'emplacement d'usine doit être facilement accessible aux collecteurs des déchets et les clients, donc afin de faciliter l'accès à notre usine, nous avons cité le nombre des routes nationales passées par chaque commune dont la distance maximale entre la route nationale et la commune doit être inférieure ou égale à 5 Km.

### ➤ L'accessibilité aux sources d'eau

L'hydrométallurgie est la technique la plus récente dans le domaine de la valorisation de ce type des déchets, elle nécessite l'utilisation d'eau dans plusieurs phases du processus tel que lessivage, rinçage et la lixiviation. Alors nous avons calculé la distance entre chaque commune et Chott d'Hodna.

### ➤ La superficie d'usine

Le recyclage des déchets piles et accus se classe parmi les industries lourdes, donc la surface est très importante pour le traitement et le stockage.

Les données liées à chaque critère sont attachées à la section des annexes dans le deuxième tableau.

## 5.2.2. Identification des poids des critères d'importance

AHP (abrégié en anglais de : Analytic Hierarchy Process) est une méthodologie d'analyse multicritère hiérarchique qui permet de calculer une note comprise entre zéro et un, agrégée sur une hiérarchisation et pondération des critères d'importance des alternatives pris en compte dans la décision. Nous avons appliqué cette méthode pour déterminer le poids de chaque critère. Le 3<sup>ème</sup>, 4<sup>ème</sup> et 5<sup>ème</sup> tableau montre les étapes du calcul. Le tableau suivant présente les résultats de l'application.

Tableau III.1 : Les poids des critères du choix du site.

| Critère | 1           | 2           | 3           | 4           |
|---------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Poids   | 0.088813025 | 0.175787815 | 0.606880252 | 0.128518908 |

## 5.2.3. Application de la méthode VIKOR et TOPSIS

La méthode VIKOR (Multicriteria Optimization and Compromise Solution) repose sur le classement et la sélection d'un ensemble d'alternatives en présence de critères contradictoires. Une solution de compromis est considérée comme la solution la plus réalisable, la plus proche d'idéale, et le terme compromis fait référence à un accord établi par des concessions mutuelles. (Patel, 2013)

TOPSIS ou la technique pour la préférence d'ordre par similitude à la solution idéale consiste à évaluer les performances de solutions alternatives basées sur la similitude avec la

solution idéale. Selon cette technique, la solution idéale est celle qui maximise les critères de profit et minimise les critères de coût. Cependant, la solution anti-idéale maximise les critères du coût et minimise ceux du profit. (Patel, 2013)

Les tableaux de six à dix attachés à la section des annexes montrent les étapes du calcul pour chaque méthode. Après l'application des deux méthodes, nous avons obtenu que l'usine soit localisée à la commune Zaafrane à Djelfa. Le tableau ci-dessous montre le classement des communes selon chaque méthode.

Tableau III.2 : Le classement des communes selon les deux méthodes TOPSIS et VIKOR.

| Commune        | Rank par VIKOR | Rank par TOPSIS |
|----------------|----------------|-----------------|
| Aïn Chouhada   | 29             | 28              |
| Aïn El Ibel    | 19             | 23              |
| Aïn Feka       | 14             | 13              |
| Aïn Maabed     | 8              | 5               |
| Aïn Oussara    | 7              | 16              |
| Amourah        | 32             | 31              |
| Benhar         | 13             | 15              |
| Beni Yagoub    | 24             | 19              |
| Birine         | 2              | 11              |
| Bouira         |                |                 |
| Lahdab         | 9              | 7               |
| Charef         | 10             | 6               |
| Dar Chioukh    | 21             | 12              |
| Deldoul        | 30             | 29              |
| Djelfa         | 12             | 21              |
| Douis          | 16             | 18              |
| El Guedid      | 4              | 4               |
| El Idrissia    | 6              | 14              |
| El Khemis      | 23             | 17              |
| Faidh El Botma | 22             | 25              |
| Guernini       | 20             | 10              |
| Guettara       | 35             | 35              |
| Had-Sahary     | 3              | 2               |
| Hassi Bahbah   | 5              | 3               |
| Hassi El Euch  | 18             | 8               |
| Hassi Fedoul   | 15             | 22              |
| Messaad        | 28             | 32              |
| M'Liliha       | 11             | 9               |
| Moudjebara     | 26             | 26              |
| Oum Laadham    | 34             | 34              |
| Sed Rahal      | 33             | 33              |

|             |    |    |
|-------------|----|----|
| Selmana     | 31 | 30 |
| Sidi Ladjel | 17 | 20 |
| Tadmit      | 25 | 24 |
| Zaafrane    | 1  | 1  |
| Zaccar      | 27 | 27 |

Tableau III.3 : Les données liées aux critères d'importance de la commune Zaafrane.

| Critère  | 1          | 2 | 3        | 4                    |
|----------|------------|---|----------|----------------------|
| Zaafrane | 12 972 hab | 1 | 4.067 km | 1211 km <sup>2</sup> |

Grace au logiciel QGIS nous avons visualisé l'emplacement géographique d'usine qui est présenté par la figure suivante.

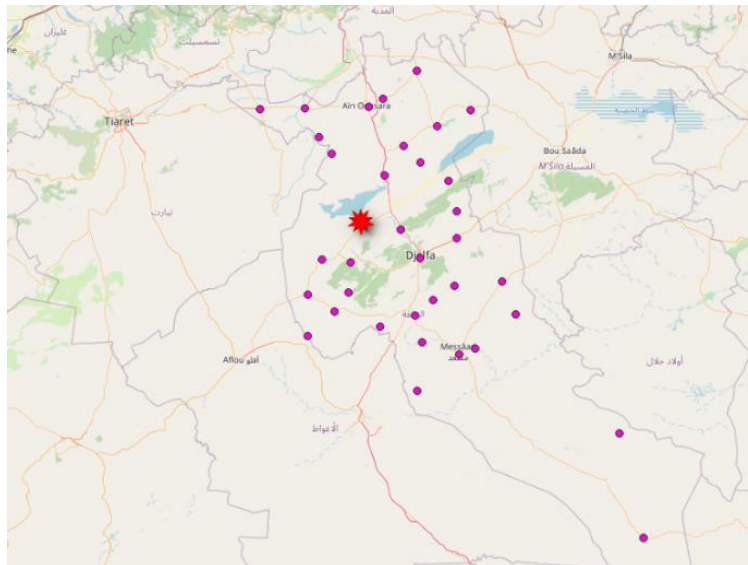


Figure III.21 : Emplacement géographique de commune Zaafrane de Djelfa

## 6. Estimation de la demande et la capacité d'usine

A partir des statistiques délivrées par la direction d'étude et de prospective de la douane algérienne pour l'année 2018, nous avons estimé les types des piles et des accus les plus consommées en Algérie représentant 90.31 % de la quantité des produits importés. Alors que la consommation annuelle de ces produits en Algérie soit 477, 120,420 unités (*en basant sur le nombre d'habitant en Algérie pour l'année 2008*). Afin de déterminer la capacité et la demande d'usine, nous avons calculé à partir des quantités annuelles celles mensuelles d'où l'usine doit y traiter chaque mois. Le tableau suivant montre une estimation des demandes mensuelles en tonne d'usine pour l'année 2021 d'où nous avons prendre en considération tous les jours fériés, donc l'usine travaille 44h par semaine en moyenne. A partir de la demande journalière nous avons trouvé que la capacité d'usine soit 5 tonnes/h.

Tableau III.4 : Les demandes mensuelles estimées en tonne d'usine pour l'année 2021.

| Mois            | Quantité mensuelle | Quantité journalière | Quantité trimestrielle |
|-----------------|--------------------|----------------------|------------------------|
| Janvier (22j)   | 809.6406733        | 36.80184878          |                        |
| Février (20j)   | 731.28835          | 36.5644175           |                        |
| Mars (23j)      | 809.6406733        | 35.2017684           | 2350.569697            |
| Avril (22j)     | 783.5232322        | 35.61469237          |                        |
| Mai (23j)       | 809.6406733        | 36.86956522          |                        |
| Juin (22j)      | 783.5232322        | 37.31818182          | 2376.687138            |
| Juillet (22j)   | 809.6406733        | 38.54545455          |                        |
| Aout (23j)      | 809.6406733        | 36.86956522          |                        |
| Septembre (22j) | 783.5232322        | 37.31818182          | 2402.804579            |
| Octobre (23)    | 809.6406733        | 36.86956522          |                        |
| Novembre (21j)  | 783.5232322        | 39.0952381           |                        |
| Décembre (23j)  | 809.6406733        | 36.86956522          | 2402.804579            |

## 7. Les stratégies de collecte des piles et des accus usagés

Notre stratégie proposée consiste à réaliser la collecte des déchets en deux niveaux, au niveau de chaque commune, puis au niveau national. Chaque fois, l'ouvrier doit porter les fûts vides afin de les remplir puis les remettre au point du départ.

### 7.1. La collecte des piles et des accus usagés au niveau de commune

À la fin de chaque semaine, un ouvrier doit faire une tournée régulière pour ramasser les déchets récupérés de chaque poubelle, il décharge les conteneurs des piles et des accus usagés dans des fûts industriels couverts de l'intérieur avec plastique afin d'éviter le contact avec les parois du fût, puis leurs stocker dans un local loin du soleil et d'humidité en positionnant les fûts sur des palettes en bois. Nous avons choisi la région de Timimoune grâce aux données disponibles afin d'établir notre étude.

#### 7.1.1. Localisation des poubelles intelligentes à Timimoune

Timimoune est une commune de la wilaya d'Adrar en Algérie. Située entre le Grand Erg Occidental, au Nord, et le plateau du Tademaït, au Sud, elle est la principale oasis de la région du Gourara. La ville construite au-dessus de la palmeraie est réputée pour la couleur ocre de ses constructions. (Wik20)





Figure III.22 : Localisation de Timimoune. (Wik20)

Afin de promouvoir la collecte des déchets dans cette commune et d'assurer une meilleure visibilité pour les habitants et les ramasseurs, notre étude repose sur la modélisation basée sur la location-allocation. C'est de localiser un ensemble de nouvelles installations de telle sorte que le coût de transport des installations aux clients est minimisé et qu'un nombre optimal d'installations doit être placé dans une zone d'intérêt afin de satisfaire la demande des clients.

Le problème P-médian est l'un des problèmes connus de la location-allocation qui consiste à sélectionner  $p$  sites d'installation parmi  $n$  emplacements pour minimiser la distance moyenne entre les populations des  $n$  emplacements et l'installation la plus proche.

Avant de modéliser le problème, il faut déterminer l'ensemble des sites candidats et les nœuds de la demande.

➤ ***Définition d'ensemble des sites candidats***

Grace au logiciel QGIS, nous avons construit un maillage de 200 m, d'où chaque point présent un site candidat pour l'emplacement d'une poubelle.

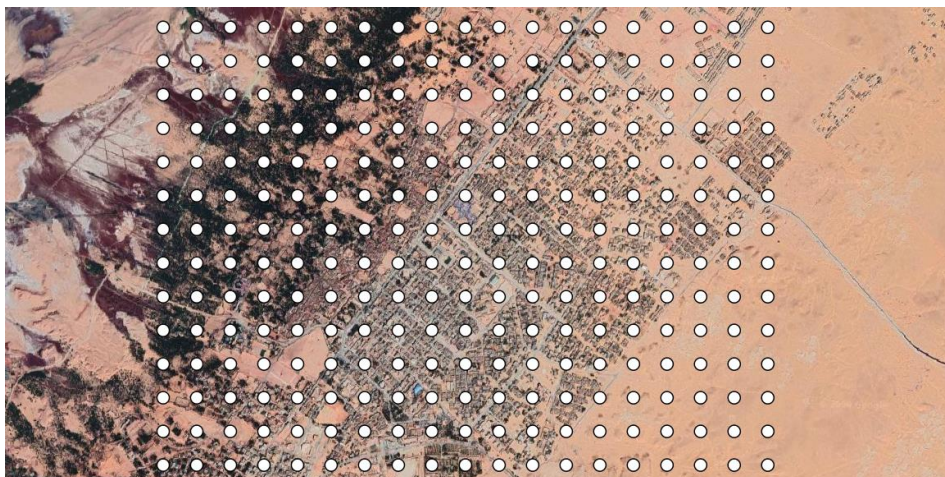


Figure III.23 : Maillage de Timimoune.

Le maillage était modifié afin de garder l'ensemble des points couvrant juste la ville de Timimoune. Alors que le nombre des sites candidats pour la localisation soit 186 sites.

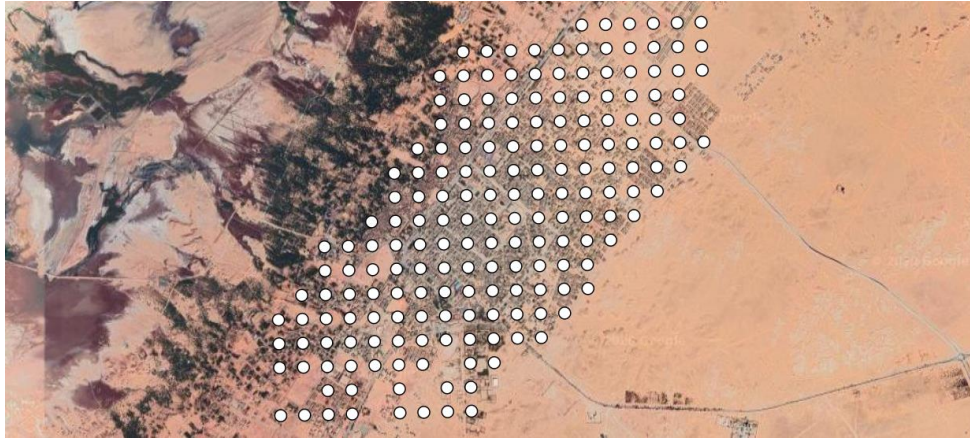


Figure III.24 : Les sites candidats de Timimoune.

➤ **Définition d'ensemble des nœuds de demande**

Nous avons estimé grâce à l'analyse des réponses du questionnaire que les épiceries et les magasins des équipements électroniques et électriques soient les plus fréquentés pour acheter les piles et les accus. Alors, la direction de commerce de Timimoune nous a offert les adresses de 90 magasins, nous arrivions à définir que 65 points de vente, mais heureusement Timimoune est une petite ville d'où les magasins sont proches l'un de l'autre. La figure suivante représente la couche de 65 points visualisée par QGIS.



Figure III.25 : Les points de vente à Timimoune.

➤ **Modélisation mathématique du problème**

Le problème p-médian se décrit par un ensemble de contraintes linéaires et une fonction objective. Notre modèle assure la localisation des poubelles intelligentes afin d'affecter chaque point de vente à une poubelle.

1) **Les paramètres**

a. **Les indices**

- $i$  : indice de poubelle,  $i \in I$   $I = \{1 \dots 186\}$ .
- $j, l$  : indice du nœud de demande,  $j \in J$   $J = \{1 \dots 65\}$ .

b. **Les données**

- $X1, Y1$  : Position géométrique de poubelle  $i$ .
- $X2, Y2$  : Position géométrique du nœud de demande  $j$ .

- $D_{ij}$  : Distance euclidienne entre la poubelle  $i$  et le nœud de demande  $j$ .
- $A_{lj}$  : Distance euclidienne entre les nœuds de demande ( $j$  et  $l$ ).

**c. Les variables de décision**

- $Y_i$  : { prend 1, si la poubelle est localisée au site  $j$ , sinon prend 0 }
- $X_{ij}$  : { prend 1, si le point de vente  $j$  est affecté à une poubelle, sinon prend 0 }

**d. La fonction objective**

Le but du modèle est de minimiser le nombre des bacs-poubelles intelligents à localiser.

$$\text{Min} = \sum_{i=1}^n Y_i$$

**e. Les contraintes**

- 1)  $X_{ij} \leq Y_i \quad \forall i \in I$
- 2)  $\sum X_{ij} \geq 1$  si  $A_{lj} < 140m \quad \forall i \in I, j \in J, l = j + 1$
- 3)  $D_{ij} * X_{ij} \leq Y_i * 200m \quad \forall i \in I, j \in J$
- 4)  $Y_i, X_{ij} \in \{0, 1\} \quad \forall i \in I, j \in J$

- Contrainte (1) : Un point de vente ne sera affecté à une poubelle que si elle est localisée au site.
- Contrainte (2) : Plusieurs points de vente peuvent être affectés à un seul bac-poubelle si la distance entre eux est inférieure à 140m.
- Contrainte (3) : La distance maximale entre le bac-poubelle et le point de vente doit être 200m.
- Contrainte (4) : Définition de la nature des variables de décisions.

**2) Interprétation des résultats**

Après la résolution du modèle grâce au logiciel d'optimisation CPLEX, nous avons constaté que le problème contient au total 149795 contraintes et 46680 variables dont le temps d'exécution tient moins d'une minute. Alors que 24 poubelles soient localisées.

| Solution avec l'objectif 24 |                           |  |
|-----------------------------|---------------------------|--|
|                             | Nom                       | Valeur                                 |
|                             | Dmax2                     | 200                                    |
|                             | Sm                        | 1..65                                  |
|                             | X1                        | [2.322e+5 2.324e+5 2.326e+5 2.328e+... |
|                             | X2                        | [2.3286e+5 2.3191e+5 2.3311e+5 2.33... |
|                             | Y1                        | [3.2419e+6 3.2419e+6 3.2419e+6 3.24... |
|                             | Y2                        | [3.2415e+6 3.2411e+6 3.2409e+6 3.24... |
|                             | Variables de décision (3) |  |
|                             | x                         | [[000000000000000000000000000000...    |
|                             | y                         | [000000000000000000000000000000...     |

Figure III.26 : Les résultats de la résolution du 1<sup>er</sup> modèle sous CPLEX.

Nous avons introduit leurs coordonnées sur le logiciel QGIS afin de visualiser géographiquement l'emplacement de ces poubelles.



Figure III.27 : Les résultats de la résolution du modèle sous QGIS.

Les points en rouge présentent les magasins cependant les emplacements des poubelles à localiser sont illustrés par les points en blanc, nous observons que plusieurs magasins soient affectés à un seul bac-poubelle parce qu'ils soient proches l'un d'autre avec une distance moins de 140m.

## 7.2. La collecte des piles et des accus usagés au niveau national

Après la collecte hebdomadaire des déchets au niveau de chaque commune, une autre phase de collecte s'effectue afin de collecter les quantités ramassées au niveau de chaque une, puis les destiner vers des centres intermédiaires. L'Algérie se compose de 1541 communes, à l'aide du logiciel QGIS nous arrivons à les localiser afin d'obtenir leurs coordonnées cartésiennes de la zone UTM 31N. Le 11<sup>ème</sup> tableau attaché à la section des annexes regroupe les coordonnées cartésiennes de chaque commune.

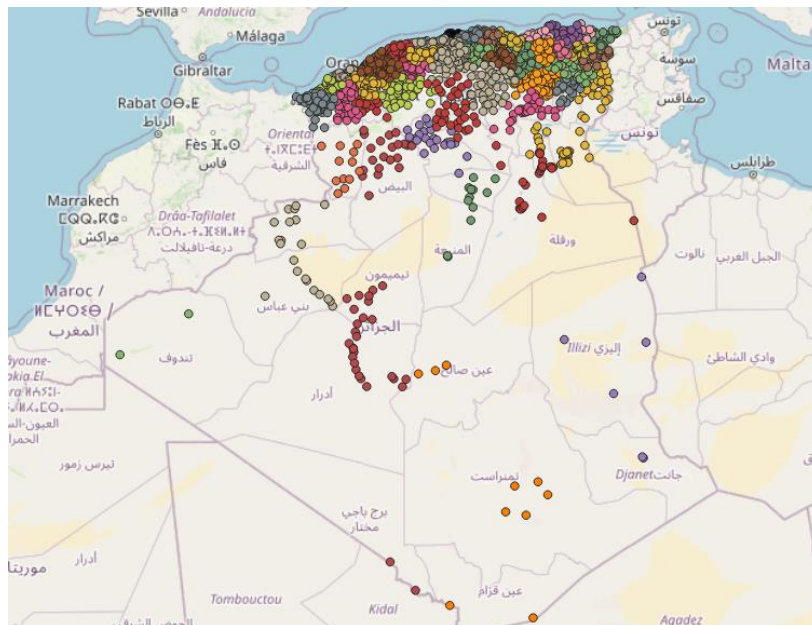


Figure III.28 : Localisation géographique des communes d'Algérie.

### 7.2.1. Clustering de l'Algérie

Nous avons développé un modèle mathématique en basant sur le principe du clustering (en anglais) ou le partitionnement des données pour résoudre le problème de localisation des

centres intermédiaires et l'affectation des communes aux eux. Il consiste à partitionner l'Algérie en 13 clusters, alors que les communes de chaque partition soient affectées à un seul centre intermédiaire pour que la quantité collectée dans chaque centre satisfasse la demande hebdomadaire d'usine.

A cause d'espace du stockage limité du notre matériel électronique, logiciel CPLEX n'arrivait plus à résoudre le problème si on voulait choisir les centres intermédiaires parmi les 1540 communes, parce qu'il fallait utiliser une matrice de taille 1540\*1540 à chaque exécution des boucles « for ». Donc nous avons l'ajusté en utilisant les 48 wilayas comme des sites candidats pour l'emplacement des centres alors que les communes et l'usine représentent les nœuds de la demande. Le 12<sup>ème</sup> tableau attaché à la section d'annexe montre le nombre d'habitant et la consommation annuelle des piles pour chaque commune algérienne.

### 1) Les paramètres

#### a. Les indices

- $i$  : indice de commune,  $i \in I$ ,  $I = \{1 \dots 1540\}$ .
- $j$  : indice de wilaya,  $j \in J$ ,  $J = \{1 \dots 48\}$ .

#### b. Les données

- $XI, YI$  : Position géométrique de commune  $i$ .
- $XJ, YJ$  : Position géométrique de wilaya  $j$ .
- $Xt, Yt$  : Position géométrique d'usine.
- $D1_{ij}$  : Distance euclidienne entre la commune  $i$  et le centre intermédiaire  $j$ .
- $D2_j$  : Distance euclidienne entre les centres intermédiaires  $j$  et l'usine.
- $Qc_i$  : Quantité hebdomadaire des déchets de commune  $i$ .
- $D$  : Demande hebdomadaire d'usine.
- $a$  : Coût unitaire du transport des déchets.

#### c. Les variables de décision

- $Y_{ij}$  : { prend 1, si la commune  $i$  est affecté à un centre intermédiaire  $j$ , sinon prend 0 }.
- $W_j$  : { prend 1, si le centre  $j$  est localisé, sinon prend 0 }.
- $Q_j$  : { la quantité totale des déchets ramassés du centre intermédiaire  $j$  }.

### 2) Modèle mathématique du problème

#### a. La fonction objective

Le but du modèle est du minimiser le coût du transport des déchets de chaque commune au centre intermédiaire et le coût du transport des déchets de chaque centre à l'usine.

$$\text{Min} = a \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m Y_{ij} * D1_{ij} + a \sum_{j=1}^m W_j * D2_j$$

#### b. Les contraintes

- 1)  $Y_{ij} \leq W_j \quad \forall j \in J$
- 2)  $\sum_{j=1}^m Y_{ij} = 1 \quad \forall i \in I$
- 3)  $\sum_{j=1}^m Q_j \leq 1.1 * D \quad \forall j \in J$
- 4)  $\sum_{j=1}^m Q_j \geq 0.9 * D \quad \forall j \in J$
- 5)  $Q_j = \sum_{i=1}^n Qc_i * Y_{ij} * 13 \quad \forall j \in J$

- 6)  $\sum_{j=1}^m W_j = 13 \quad \forall j \in J$   
 7)  $Y_{ij}, W_j \in \{0, 1\} \quad \forall i \in I, j \in J$   
 8)  $Q_j \in \{R^+\} \quad \forall j \in J$

- Contrainte (1) : La commune (i) ne sera affectée à un centre que s'il localisé au site (j).
- Contrainte (2) : Chaque commune (i) doit être affectée à un seul centre (j).
- Contrainte (3) et (4) : Contraintes de satisfaction de demande d'usine.
- Contrainte (5) : La quantité de chaque centre égale à la somme des quantités trimestrielles ramassées au niveau des communes affectées.
- Contrainte (6) : Le nombre de centres intermédiaires à localiser est 13 centres.
- Contrainte (7) et (8) : Définition de la nature des variables de décision.

### 3) Interprétation des résultats

Après la résolution du modèle grâce au CPLEX, nous avons constaté que le problème contient au total 75605 contraintes et 74016 variables dont le temps d'exécution tient 13 minutes et 56 secondes. Alors que la fonction objective soit 13 055 007 140.741unités.

| Solution avec l'objectif 13 055 007 140,741 |   |
|---|---|
| Nom   | Valeur                                      |
| XJ  | [1.7578e+5 3.3781e+5 2.4113e+5 3.09...      |
| Xt  | 4.8709e+5                                   |
| YI  | [3.0863e+6 4.0143e+6 3.9146e+6 4.07...      |
| YJ  | [3.0878e+6 2.9557e+6 3.1797e+6 2.98...      |
| Yt  | 3.8566e+6                                   |
| Variables de décision (3)                   |   |
| Q   | [0 0 0 0 199.06 0 0 198.99 243.09 199...    |
| W   | [0 0 0 0 1 0 0 1 1 1 1 0 0 0 1 0 0 0 0 0 1  |
| Y   | [[0 |

Figure III.29 : Les résultats de la résolution du 2<sup>ème</sup> modèle sous CPLEX.

Le tableau ci-dessous présente les centres intermédiaires et leurs quantités des déchets trimestrielles. Alors que, les communes affectées à chaque centre intermédiaire soient attachées à la section des annexes.

Tableau III.5 : Les centres intermédiaires localisés et leurs quantités des déchets collectés.

| Nom de wilaya<br>Centre.I | Q<br>(tonnes) |
|---------------------------|---------------|
| Tissemssilt               | 243.0927      |
| Blida                     | 243.0886      |
| Djelfa                    | 243.0335      |
| Tiaret                    | 242.9019      |
| Médéa                     | 242.8849      |
| M'sila                    | 226.8712      |
| Saida                     | 223.6214      |
| Bouira                    | 207.6874      |
| Bordj Bou<br>Arreridj     | 199.3442      |
| Sétif                     | 199.2033      |

|                 |          |
|-----------------|----------|
| <b>Batna</b>    | 199.0612 |
| <b>Biskra</b>   | 198.9910 |
| <b>Laghouat</b> | 198.9044 |

La figure suivante illustre les clusters de l'Algérie grâce au logiciel QGIS dont chaque couleur présente un cluster cependant les points en rouge montrent l'emplacement des centres intermédiaires. Les tableaux de 13 à 26 attachés à la section d'annexe montrent les communes affectées à chaque centre intermédiaire et leurs coordonnées cartésiennes de la zone UTM31N.

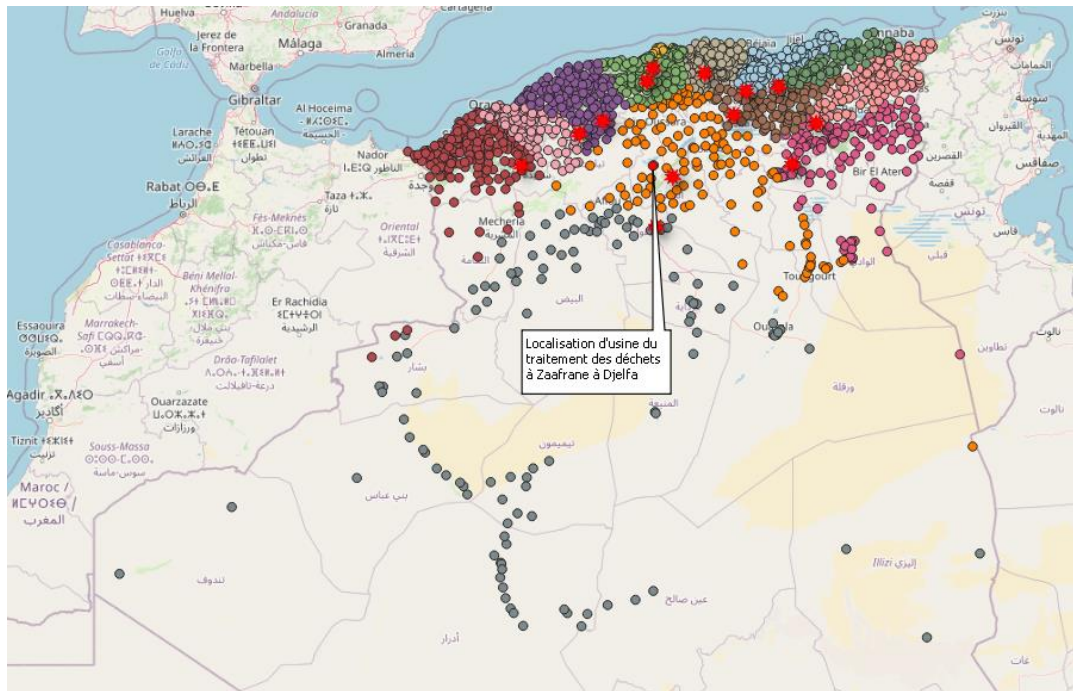


Figure III.30 : Partitionnement d'Algérie.

## 8. Le transport des déchets piles et accus

Afin de satisfaire la demande d'usine trimestrielle d'où chaque trimestre se compose de 13 semaines, nous avons proposé une stratégie qui consiste à collecter chaque week-end les quantités ramassées au niveau d'ensemble des communes affectées au même centre intermédiaire, ça vaut dire que chaque semaine un cluster soit choisi pour effectuer la collecte à son niveau alors que le ramassage soit renouvelé trimestriellement.

### 8.1. Application de modèle CVRP

CVRP (Capacitated Vehicle Routing Problem) est un problème de la recherche opérationnelle et l'optimisation combinatoire qui consiste à déterminer les tournées d'un ensemble des véhicules qui partent et reviennent au même point, en respectant la capacité de chaque camion.

À cause du stockage limité des matériels électroniques nous avons choisi un cluster ayant la plus petite taille que les autres dont se compose de 57 communes. Notre modèle consiste à déterminer le cheminement optimal de cinq camions homogènes en respectant leur capacité.

L'ensemble des camions démarrent d'usine en passant par certaines villes parmi les 57 communes pour collecter leurs déchets, puis ils reviennent au point du départ après que les quantités ramassées soient déchargées dans le centre intermédiaire. Les camions utilisés sont des camions à bras de 50 tonnes.

### 1) Les paramètres

#### a. Les indices

- $i, j, l$  : indices de villes,  $i, l, j \in A$ ,  $A = \{1 \dots 57\}$ .
- $k$  : indice des camions  $k \in N$ ,  $N = \{1 \dots 5\}$ .

#### b. Les données

- $D_{ij}$  : la distance entre chaque ville ( $i$  et  $j$ )
- $Cap$  : capacité de camion ;
- $Q_i$  : quantité des déchets collectés de chaque commune.

#### c. Les variables de décision

- $X_{kij}$  : {prend 1 si un camion  $k$  a tragi de la ville  $i$  à la ville  $j$ , si non 0} ;
- $Y_{ki}$  : {prend 1 si un camion  $k$  a passé par la ville  $i$  et prend sa quantité des déchets, sinon 0}.

### 2) Modèle mathématique du problème

#### a. La fonction objective

Le but du modèle a minimisé la distance totale parcourue par tous les camions.

$$\text{Min} = \sum_{k=1}^m \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n X_{kij} * D_{ij}$$

#### b. Les contraintes

- 1)  $\sum_{k=1}^m \sum_{j>1}^{n<59} X_{kij} = 1 \quad \forall i \in A$
- 2)  $\sum_{k=1}^m \sum_{i>1}^{n<59} X_{kij} = 1 \quad \forall j \in A$
- 3)  $\sum_{i=1}^n X_{kil} = \sum_{j=1}^n X_{klj} \quad \forall l \in A \quad \forall k \in N$
- 4)  $\sum_{j>1,}^{n<59} X_{k1j} = 1 \quad \forall k \in N$
- 5)  $\sum_{i>1}^{n<59} X_{ki59} = 1 \quad \forall k \in N$
- 6)  $\sum_{i=1}^n Y_{ki} * q_i \leq Cap \quad \forall k \in N$
- 7)  $X_{k590} = 1 \quad \forall k \in N$
- 8)  $X_{kij} \in \{0, 1\} \quad \forall i, j \in A \quad \forall k \in N$

- Contrainte (1) et (2) : Assurer que chaque commune est visitée une seule fois par un seul camion.
- Contrainte (3) : Assurer la continuité d'une tournée par un camion de tel sorte que le nœud visité doit impérativement être quitté.
- Contrainte (4) : Les camions doivent partir d'usine.
- Contrainte (5) : Ils doivent arriver au centre intermédiaire pour se décharger.
- Contrainte (6) : Contrainte du respect de capacité de chaque camion.
- Contrainte (7) : Les camions reviennent au point du départ après le déchargement.
- Contrainte (8) : Définition de la nature de variable de décision.

### 3) Interprétation des résultats



Après la résolution du modèle grâce au CPLEX, nous avons constaté que le problème contient au total 4025 contraintes et 17405 variables dont le temps d'exécution tient 24 minutes et 55 secondes. Alors que la fonction objective soit 2313, 71 km.

| Solution avec l'objectif 2 313,71 |                                |
|-----------------------------------|--------------------------------|
| Nom                               | Valeur                         |
| Classement                        | [0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 ... |
| Cnum                              | 5                              |
| Dist                              | [[0 216.57 204.63 215.77 ...   |
| Q                                 | [0 5.7537 1.9997 5.4488 8...   |
| Vil                               | 1..59                          |
| Vnum                              | 59                             |
| X                                 | [4.8709e+5 4.9297e+5 4....     |
| Y                                 | [3.8566e+6 4.0731e+6 4....     |
| Variables de décision             |                                |
| x                                 | [[[0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 ... |

Figure III.31 : Les résultats de la résolution du 3<sup>ème</sup> modèle sous CPLEX

Les figures suivantes présentent les cheminements des camions.

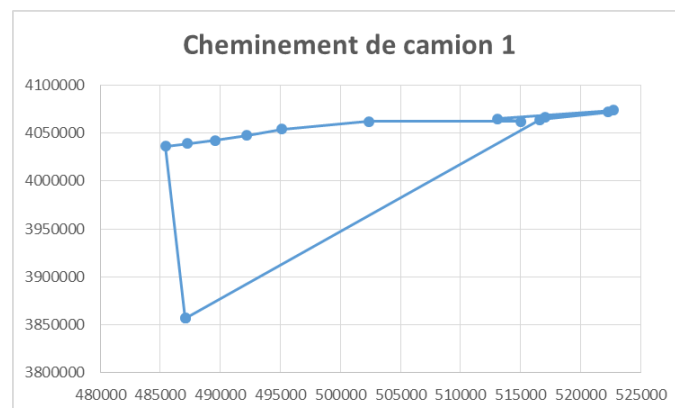


Figure III.32 : Le cheminement du 1<sup>er</sup> camion selon la résolution du CPLEX.

```

Erreurs | Journal de script | Solutions | Conflits | Relaxations | Journal du moteur | Statistiques | Profilleur | DOcplexcloud | Serveur
Scri « Journal de script (placer le code script ici pour l'exécuter)
Le 1er camion passe de Usine à Bab Ezzouar avec une distance parcourue 209.540354763km
Le 1er camion passe de Bab Ezzouar à Bordj El Bahri avec une distance parcourue 9.642547877km
Le 1er camion passe de Bordj El Bahri à Bordj El Kiffan avec une distance parcourue 7.241238225km
Le 1er camion passe de Bordj El Kiffan à El Marsa avec une distance parcourue 9.044919342km
Le 1er camion passe de El Marsa à Mohammadia avec une distance parcourue 13.171829762km
Le 1er camion passe de Mohammadia à Oued Smar avec une distance parcourue 3.415749863km
Le 1er camion passe de Oued Smar à Saoula avec une distance parcourue 12.642059451km
Le 1er camion passe de Saoula à Tessala El Merdja avec une distance parcourue 10.751801959km
Le 1er camion passe de Tessala El Merdja à Boufarik avec une distance parcourue 6.845427117km
Le 1er camion passe de Boufarik à Guerouaou avec une distance parcourue 5.997690999km
Le 1er camion passe de Guerouaou à Oulad Yaich avec une distance parcourue 4.038218218km
Le 1er camion passe de Oulad Yaich à Depot avec une distance parcourue 3.220065283km
Le 1er camion passe de Depot à Usine avec une distance parcourue 179.801043733km
    
```

Figure III.33 : Les points visités par le 1<sup>er</sup> camion.

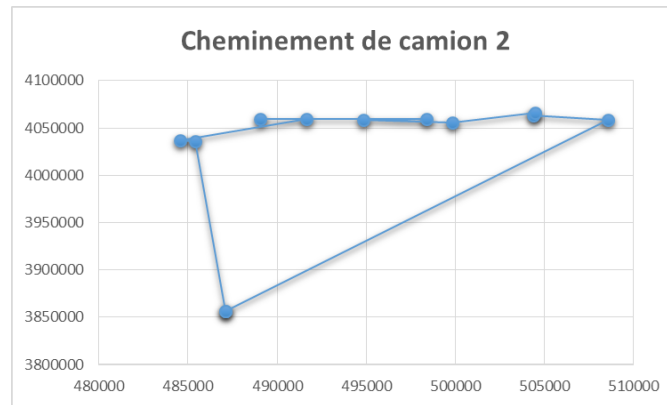


Figure III.34 : Le cheminement du 2<sup>ème</sup> camion selon la résolution du CPLEX.

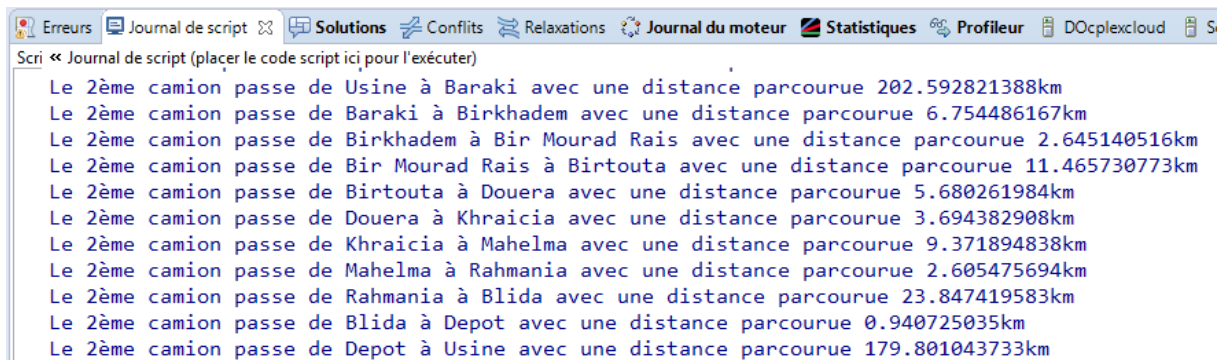


Figure III.35: Les points visités par le 2<sup>ème</sup> camion.

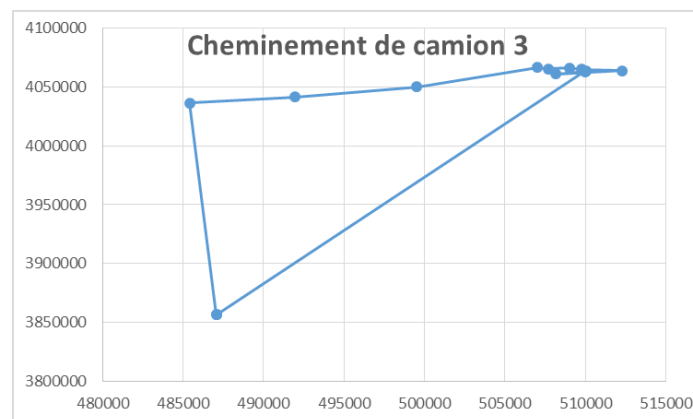


Figure III.36 : Le cheminement du 3<sup>ème</sup> camion selon la résolution du CPLEX.

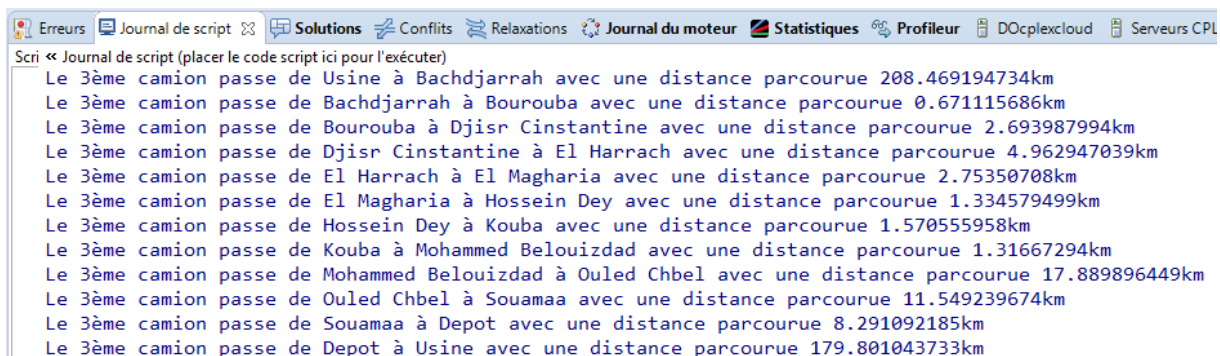


Figure III.37: Les points visités par le 3<sup>ème</sup> camion.

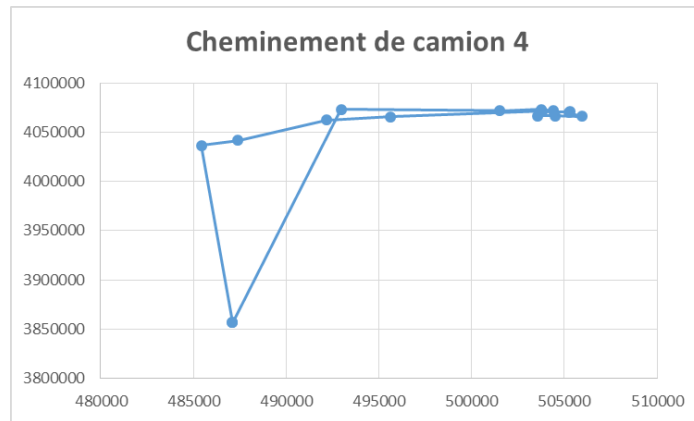


Figure III.38 : Le cheminement du 4<sup>ème</sup> camion selon la résolution du CPLEX.

```

Erreurs  Journal de script  Solutions  Conflits  Relaxations  Journal du moteur  Statistiques  Profileur  DOcplexcloud
Scri << Journal de script (placer le code script ici pour l'exécuter)
Le 4ème camion passe de Usine à Ain Benian avec une distance parcourue 216.572504192km
Le 4ème camion passe de Ain Benian à Bab El Oued avec une distance parcourue 11.529957545km
Le 4ème camion passe de Bab El Oued à Bloghine avec une distance parcourue 1.684568606km
Le 4ème camion passe de Bloghine à Bouzareah avec une distance parcourue 2.778695173km
Le 4ème camion passe de Bouzareah à Casbah avec une distance parcourue 3.886610562km
Le 4ème camion passe de Casbah à Alger avec une distance parcourue 0.943528388km
Le 4ème camion passe de Alger à El Madania avec une distance parcourue 3.750163798km
Le 4ème camion passe de El Madania à El Mouradia avec une distance parcourue 1.555479763km
Le 4ème camion passe de El Mouradia à Hydra avec une distance parcourue 0.934982572km
Le 4ème camion passe de Hydra à Oued Korrich avec une distance parcourue 4.350552369km
Le 4ème camion passe de Oued Korrich à Ouled Fayet avec une distance parcourue 9.957342251km
Le 4ème camion passe de Ouled Fayet à Souidania avec une distance parcourue 4.642787547km
Le 4ème camion passe de Souidania à Beni Mered avec une distance parcourue 21.042167734km
Le 4ème camion passe de Beni Mered à Depot avec une distance parcourue 5.864899257km
Le 4ème camion passe de Depot à Usine avec une distance parcourue 179.801043733km
    
```

Figure III.39: Les points visités par le 4<sup>ème</sup> camion.

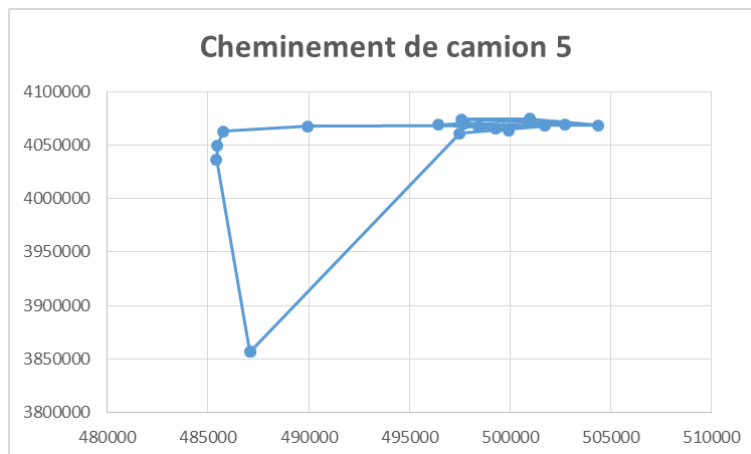


Figure III.40 : Le cheminement du 5<sup>ème</sup> camion selon la résolution du CPLEX.

```
Le 5ème camion passe de Usine à Baba Hassen avec une distance parcourue 204.628918251km
Le 5ème camion passe de Baba Hassen à Ben Aknoun avec une distance parcourue 8.368823933km
Le 5ème camion passe de Ben Aknoun à Beni Messous avec une distance parcourue 4.60397285km
Le 5ème camion passe de Beni Messous à Chéraga avec une distance parcourue 1.910798224km
Le 5ème camion passe de Chéraga à Dely Brahim avec une distance parcourue 2.552234212km
Le 5ème camion passe de Dely Brahim à Drarria avec une distance parcourue 4.473676793km
Le 5ème camion passe de Drarria à El Achour avec une distance parcourue 2.305842647km
Le 5ème camion passe de El Achour à El Biar avec une distance parcourue 5.208789679km
Le 5ème camion passe de El Biar à El Hammamet avec une distance parcourue 7.026369313km
Le 5ème camion passe de El Hammamet à Rais Hmidou avec une distance parcourue 3.460061228km
Le 5ème camion passe de Rais Hmidou à Sidi M'hamed avec une distance parcourue 6.756449627km
Le 5ème camion passe de Sidi M'hamed à Staoueli avec une distance parcourue 14.475194248km
Le 5ème camion passe de Staoueli à Zeralda avec une distance parcourue 6.187039938km
Le 5ème camion passe de Zeralda à BenKhellil avec une distance parcourue 13.806422573km
Le 5ème camion passe de BenKhellil à Depot avec une distance parcourue 12.792965551km
Le 5ème camion passe de Depot à Usine avec une distance parcourue 179.801043733km
```

Figure III.41: Les points visités par le 5<sup>ème</sup> camion.

## 8.2. Développement d'heuristique

Nous avons développé une heuristique en basant sur la minimisation de la distance parcourue par chaque camion afin de respecter sa capacité. L'heuristique consiste à chercher pour chaque visite le point le plus proche par rapport au point qui lui précède.

### 8.2.1. Description d'heuristique

Pour chaque camion, on doit calculer la distance entre les points et l'usine, puis on les ordonne suivant un ordre incrémental, on choisit le point le plus proche de l'usine noté 1 afin de construire le cheminement du camion, à chaque fois il faut vérifier le respect de la contrainte de sa capacité. Ensuite, on cherche le point noté 2 le plus proche du point qui lui précède de même façon que l'usine, si la contrainte de la capacité est validée, on ajoute le point 2 au cheminement, sinon on passe aux autres camions et ainsi de suite jusqu'à que les camions soient saturés.

### 8.2.2. Interprétation des résultats

Nous avons utilisé le logiciel Eclipse pour programmer notre heuristique en JAVA, après l'application nous avons obtenu que la fonction objective soit 2254.43 km. Il est connu que le logiciel CPLEX donne des résultats optimaux parmi des milliards de solutions faisables, alors que l'heuristique génère des solutions satisfaisantes. Mais dans notre cas, nous avons ajusté le modèle mathématique du problème CVRP où on a exigé que tous les camions passent par le centre de regroupement afin de décharger et stocker les quantités des déchets collectés, puis revenir au point de départ, donc le logiciel a essayé de minimiser à chaque fois la distance entre le point déjà visité (i) et le point à visiter (j) en incluant le centre. Cependant, l'heuristique consiste à chercher à chaque fois le point le plus proche jusqu'à que le camion soit saturé, puis passer par le centre avant de revenir au point de départ. La différence est clairement illustrée dans le cheminement du 2<sup>ème</sup> camion pour les deux applications.

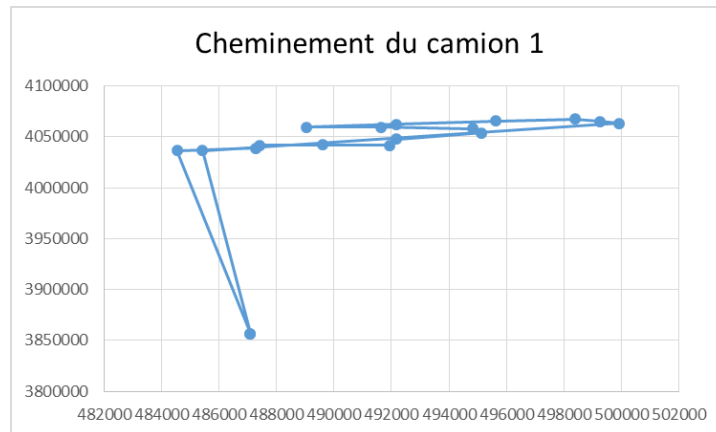


Figure III.42 : Le cheminement du 1<sup>er</sup> camion selon l'heuristique.

```

Problems @ Javadoc Declaration Console
<terminated> VRP [Java Application] C:\Program Files (x86)\Java\jre1.8.0_241\bin\javaw.exe (1 oct. 2020 à 01:29:16)
le 1er camion passe de Usine à Blida avec une distance parcourue 643.7204058016514km
le 1er camion passe de Blida à Oulad Yaich avec une distance parcourue 0.9407250346590099km
le 1er camion passe de Oulad Yaich à Beni Mered avec une distance parcourue 3.2200652831363588km
le 1er camion passe de Beni Mered à Guerouaou avec une distance parcourue 5.864899257319193km
le 1er camion passe de Guerouaou à Souamaa avec une distance parcourue 7.258274485256692km
le 1er camion passe de Souamaa à Boufarik avec une distance parcourue 8.291092184717709km
le 1er camion passe de Boufarik à Tessala El Merdja avec une distance parcourue 13.20818460499767km
le 1er camion passe de Tessala El Merdja à Douera avec une distance parcourue 20.03505090358052km
le 1er camion passe de Douera à Rahmania avec une distance parcourue 23.714478461042965km
le 1er camion passe de Rahmania à Mahelma avec une distance parcourue 23.903977974544333km
le 1er camion passe de Mahelma à Souidania avec une distance parcourue 23.520213523492362km
le 1er camion passe de Souidania à Ouled Fayet avec une distance parcourue 26.877806276735352km
le 1er camion passe de Ouled Fayet à Dely Brahim avec une distance parcourue 30.851252216040525km
le 1er camion passe de Dely Brahim à El Achour avec une distance parcourue 33.57744059006704km
le 1er camion passe de El Achour à Drarria avec une distance parcourue 32.104318295421486km
le 1er camion passe de Drarria au Depot avec une distance parcourue 30.42374283922495km
le 1er camion passe de Depot à Usine avec une distance parcourue 179.80104373336883km
    
```

Figure III.43 : Les points visités par le 1<sup>er</sup> camion.

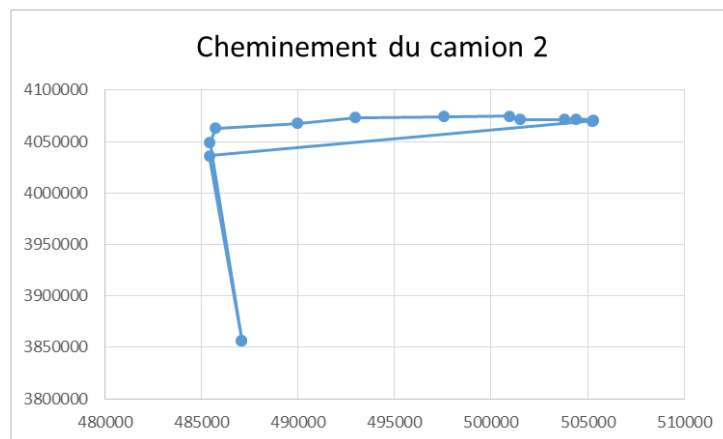


Figure III.44 : Le cheminement du 2<sup>ème</sup> camion selon l'heuristique.

```

Problems @ Javadoc Declaration Console
<terminated> VRP [Java Application] C:\Program Files (x86)\Java\jre1.8.0_241\bin\javaw.exe (1 oct. 2020 à 01:28:31)
le 2ème camion passe de Usine à BenKhellil avec une distance parcourue 758.4347362439929km
le 2ème camion passe de BenKhellil à Zeralda avec une distance parcourue 12.792965551499629km
le 2ème camion passe de Zeralda à Staoueli avec une distance parcourue 26.598232115662853km
le 2ème camion passe de Staoueli à Ain Benian avec une distance parcourue 31.459438927421534km
le 2ème camion passe de Ain Benian à El Hammamet avec une distance parcourue 37.46632143952776km
le 2ème camion passe de El Hammamet à Rais Hmidou avec une distance parcourue 39.55033882852115km
le 2ème camion passe de Rais Hmidou à Bouzareah avec une distance parcourue 41.23723253493329km
le 2ème camion passe de Bouzareah à Oued Korrich avec une distance parcourue 38.70996555773114km
le 2ème camion passe de Oued Korrich à Bab El Oued avec une distance parcourue 39.36429653904142km
le 2ème camion passe de Bab El Oued à Casbah avec une distance parcourue 40.05973171706102km
le 2ème camion passe de Casbah à Alger avec une distance parcourue 39.81797952820745km
le 2ème camion passe de Alger à Depot avec une distance parcourue 38.98399649949983km
le 2ème camion passe de Depot à Usine avec une distance parcourue 179.80104373336883km

```

Figure III.45 : Les points visités par le 2<sup>ème</sup> camion.

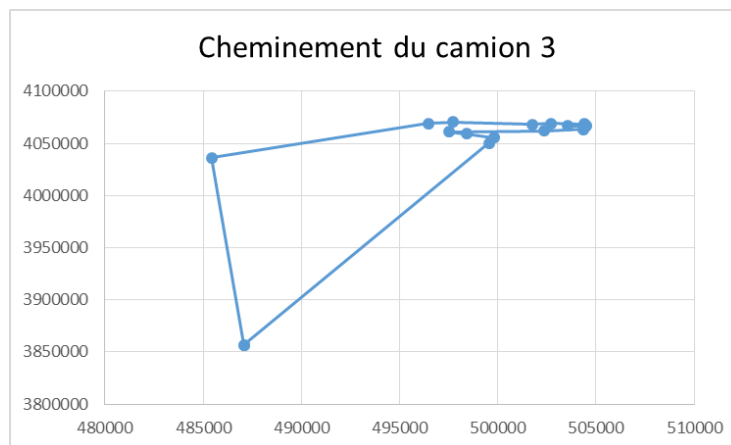


Figure III.46 : Le cheminement du 3<sup>ème</sup> camion selon l'heuristique.

```

Problems @ Javadoc Declaration Console
<terminated> VRP [Java Application] C:\Program Files (x86)\Java\jre1.8.0_241\bin\javaw.exe (1 oct. 2020 à 01:29:50)
le 3ème camion passe de Usine à Ouled Chbel avec une distance parcourue 822.0837355996803km
le 3ème camion passe de Ouled Chbel à Birtouta avec une distance parcourue 19.75578099049636km
le 3ème camion passe de Birtouta à Khraicia avec une distance parcourue 23.920983442843212km
le 3ème camion passe de Khraicia à Baba Hassen avec une distance parcourue 26.120429708569187km
le 3ème camion passe de Baba Hassen à Saoula avec une distance parcourue 27.37571601498613km
le 3ème camion passe de Saoula à Birkhadem avec une distance parcourue 30.598797863164553km
le 3ème camion passe de Birkhadem à Bir Mourad Rais avec une distance parcourue 32.91913740904158km
le 3ème camion passe de Bir Mourad Rais à El Mouradia avec une distance parcourue 35.18331708638291km
le 3ème camion passe de El Mouradia à Hydra avec une distance parcourue 35.94554801327183km
le 3ème camion passe de Hydra à Sidi M'hamed avec une distance parcourue 35.45980094601081km
le 3ème camion passe de Sidi M'hamed à El Biar avec une distance parcourue 37.49784873294566km
le 3ème camion passe de El Biar à Ben Aknoun avec une distance parcourue 37.13858997899878km
le 3ème camion passe de Ben Aknoun à Beni Messous avec une distance parcourue 35.72630762968103km
le 3ème camion passe de Beni Messous à Chéraga avec une distance parcourue 36.19305070661468km
le 3ème camion passe de Chéraga à Depot avec une distance parcourue 34.42937877647579km
le 3ème camion passe de Depot à Usine avec une distance parcourue 179.80104373336883km

```

Figure III.47 : Les points visités par le 3<sup>ème</sup> camion.

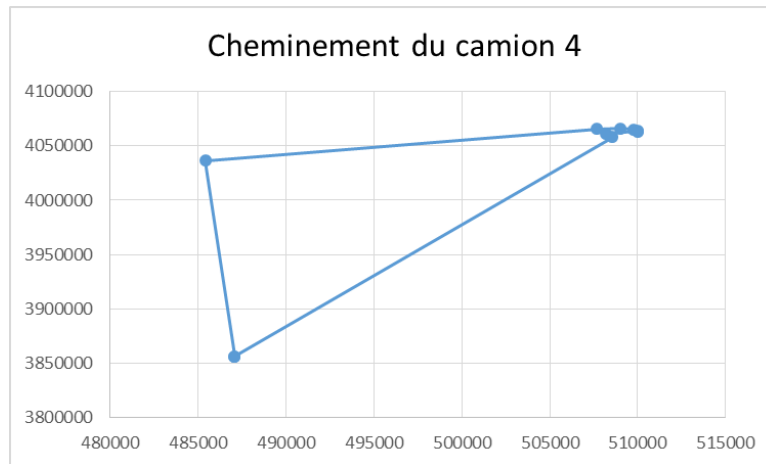


Figure III.48 : Le cheminement du 4<sup>ème</sup> camion selon l'heuristique.

```

Problems @ Javadoc Declaration Console
<terminated> VRP [Java Application] C:\Program Files (x86)\Java\jre1.8.0_241\bin\javaw.exe (1 oct. 2020 à 01:30:36)
le 4ème camion passe de Usine à Baraki avec une distance parcourue 632.9578515056478km
le 4ème camion passe de Baraki à Djisir Cinstantine avec une distance parcourue 31.682876290369794km
le 4ème camion passe de Djisir Cinstantine à Bourouba avec une distance parcourue 33.62942109415059km
le 4ème camion passe de Bourouba à Bachdjarrah avec une distance parcourue 36.32330750827179km
le 4ème camion passe de Bachdjarrah à El Magharia avec une distance parcourue 36.822800312593074km
le 4ème camion passe de El Magharia à Hossein Dey avec une distance parcourue 37.58920655632241km
le 4ème camion passe de Hossein Dey à Kouba avec une distance parcourue 37.993762874944935km
le 4ème camion passe de Kouba à Depot avec une distance parcourue 36.52261174798608km
le 4ème camion passe de Depot à Usine avec une distance parcourue 179.80104373336883km
    
```

Figure III.49 : Les points visités par le 4<sup>ème</sup> camion.

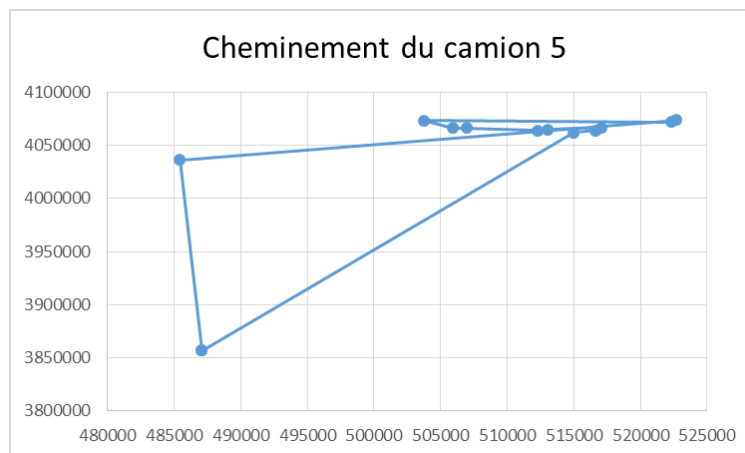


Figure III.50 : Le cheminement du 5<sup>ème</sup> camion selon l'heuristique.

```

Problems @ Javadoc Declaration Console
<terminated> VRP [Java Application] C:\Program Files (x86)\Java\jre1.8.0_241\bin\javaw.exe (1 oct. 2020 à 01:31:19)
le 5ème camion passe de Usine à Oued Smar avec une distance parcourue 808.6021171147231km
le 5ème camion passe de Oued Smar à Bab Ezzouar avec une distance parcourue 39.198623451095834km
le 5ème camion passe de Bab Ezzouar à Bordj El Kiffan avec une distance parcourue 41.67764756227352km
le 5ème camion passe de Bordj El Kiffan à Mohammadia avec une distance parcourue 43.90277537957062km
le 5ème camion passe de Mohammadia à El Harrach avec une distance parcourue 39.723910870842396km
le 5ème camion passe de El Harrach à Mohammed Belouizdad avec une distance parcourue 38.477805035042294km
le 5ème camion passe de Mohammed Belouizdad à El Madania avec une distance parcourue 37.02013205564952km
le 5ème camion passe de El Madania à Bloghine avec une distance parcourue 36.23229951560606km
le 5ème camion passe de Bloghine à Bordj El Bahri avec une distance parcourue 41.13497019387064km
le 5ème camion passe de Bordj El Bahri à El Marsa avec une distance parcourue 51.14396678294432km
le 5ème camion passe de El Marsa à Depot avec une distance parcourue 52.8822554124366km
le 5ème camion passe de Depot à Usine avec une distance parcourue 179.80104373336883km
    
```

Figure III.51 : Les points visités par le 5<sup>ème</sup> camion.

### 8.2.3. Algorithme d'heuristique

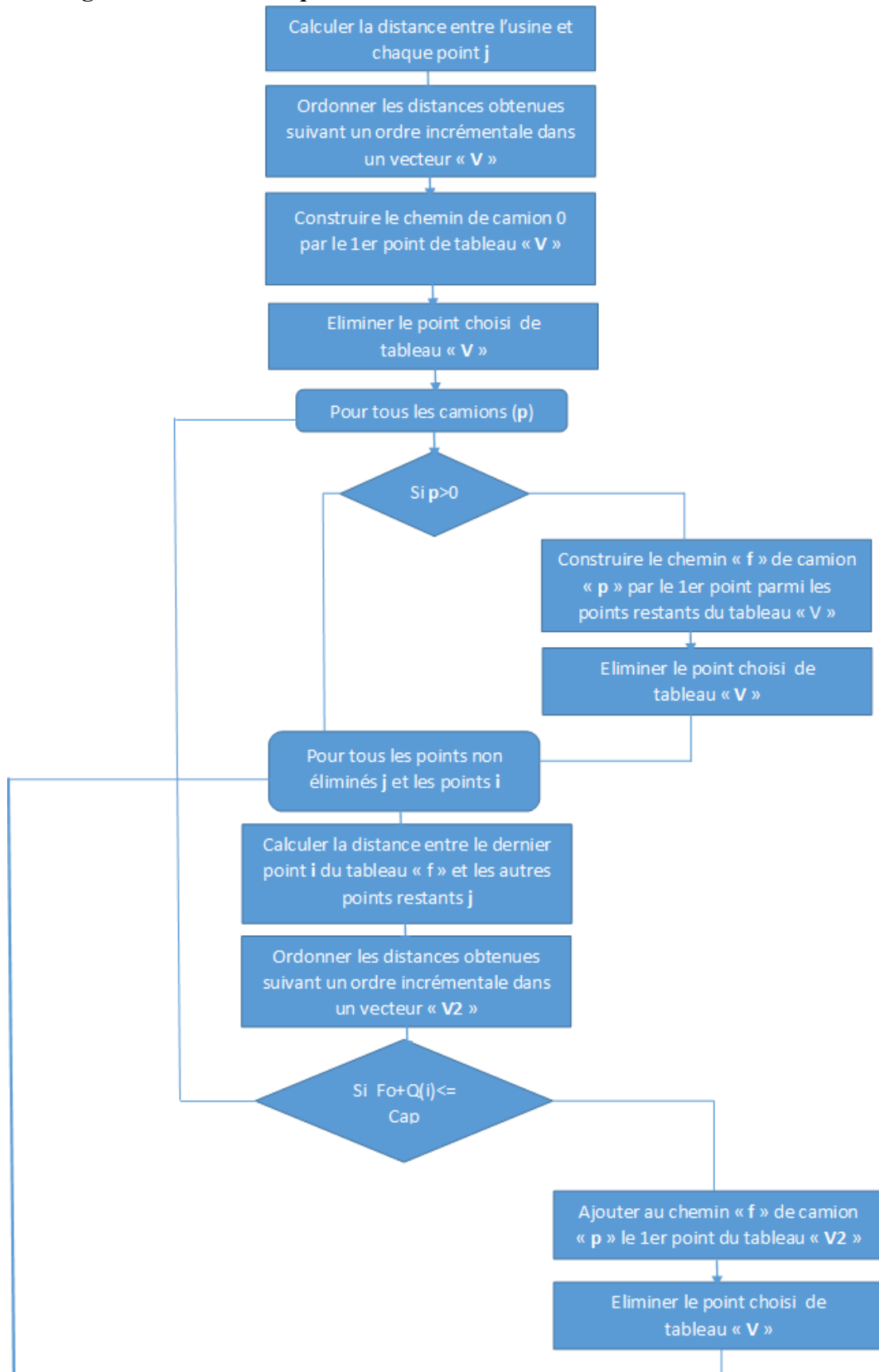


Figure III.52 : L'organigramme d'heuristique.



## **9. Conclusion**

Au cours de ce chapitre, nous avons localisé un ensemble des poubelles intelligente à TIMIMOUNE pour motiver les gens à trier ses déchets piles et accus, puis nous avons essayé de partitionner l'Algérie afin de faciliter la collecte au niveau national et le transport des déchets autour du pays, d'où nous avons obtenu 13 clusters alors que chaque un se compose d'un ensemble des communes qui sont affectées à un centre du regroupement. Enfin, nous avons appliqué deux approches différentes afin de résoudre le problème du transport des déchets.

# **CONCLUSION GENERALE**

## **Conclusion générale**

Dans une pile tout est utile : le fer et le manganèse peuvent être utilisés pour faire des couvertures de cuisines ou pour fabriquer des dents de pelleteuse, l'acier permet de fabriquer par exemple des carrosseries des voitures, le mercure sert à des applications industrielles spécifiques et pharmaceutiques, le cadmium est réemployé pour fabriquer des nouvelles batteries lithium...etc. Alors, le recyclage de cette catégorie des déchets non seulement contribue à la protection de l'environnement, mais grâce à l'utilisation de métaux valorisés, il contribue également de manière significative à limiter la consommation de ressources naturelles sachant que les métaux premiers composites des batteries en générale ne soient pas des matières renouvelables.

Malgré les efforts, les mesures et les ensembles de textes et d'organisation qui ont été adoptés par le ministère chargé de l'environnement et malgré les décrets et les nomenclatures qui considèrent les déchets des piles et des accumulateurs comme des déchets spéciaux dangereux, l'Algérie ne connaît aucune initiative pour gérer ce type de déchets. Donc, nous avons pris l'opportunité pour travailler sur ce sujet afin de construire un réseau de récupération des déchets piles et accus en Algérie.

Afin de traiter ces déchets et valoriser les métaux spéciaux, tout d'abord les piles et les accus doivent être collectés en plusieurs points de collecte, puis elles seront regroupées et acheminées vers des centres de regroupement qui se chargent par le transport des fûts regroupant toutes les quantités des déchets collectés autour du pays à l'unité de triage. Après la séparation des différents types des piles et des accus chacun de ces derniers subit un traitement différent selon sa composition chimique. On distingue quatre techniques principales du traitement des déchets piles et accus dont la distillation consiste à récupérer le mercure de son état vapeur à son état liquide et la fusion permet d'extraire et reformuler le plomb sous forme des lingots. Le traitement de ces déchets par voie hydro-métallurgique ou pyro-métallurgique permet de traiter les piles alcalines et à carbone-zinc et les accus au hydrure du nickel, au lithium-ions et au nickel-cadmium, mais la différence entre les deux techniques se figure clairement dans leur nom d'où la hydrométallurgie repose sur la dissolution des métaux en utilisant des solutions basiques ou acides cependant la pyro-métallurgie consiste à traiter les déchets par un traitement thermique à haute température.

Nous avons traité plusieurs points au cours de ce mémoire dont une politique de motivation pour trier cette catégorie des déchets a été définie grâce à l'analyse des réponses d'audit. Elle repose sur la rémunération des individus qui ramènent leurs déchets aux points de collecte et la pénalisation des gens qui ne respectent pas la stratégie. Ensuite, nous avons déterminé la localisation de notre usine qui se charge par le triage et le traitement des déchets piles et accus en utilisant la méthode de barycenter dont la wilaya de Djelfa représente le centre de gravité de l'Algérie. Puis, afin d'avoir une localisation plus précise d'usine nous avons adopté les méthodes MCDM, d'où la méthode AHP a été appliquée afin de déterminer les poids des critères d'importance pour les alternatives, et la méthode VIKOR et TOPSIS ont été développées afin de choisir la meilleure localisation d'usine parmi plusieurs communes de la wilaya de Djelfa en satisfaisant tous les critères d'importance. Alors que l'emplacement d'usine à la commune Zaafrane est la meilleure solution.

## *Conclusion générale.*

Ensuite, nous avons proposé une stratégie de collecte des déchets des piles et des accus qui consiste à effectuer le ramassage des déchets en deux niveaux, au niveau de chaque commune puis au niveau national. Au premier niveau, chaque commune doit être étudiée afin de localiser des poubelles intelligentes près des épiceries et des magasins des équipements électriques et électroniques qui ont été définies grâce à l'analyse des réponses du questionnaire comme des points les plus fréquentés pour l'achat de leur besoin en piles et accus. Alors, la ville de TIMIMOUNE était choisie pour établir notre étude, à l'aide du logiciel CPLEX nous avons résolu le modèle mathématique développé du problème P-médian qui consiste à localiser « p » installations parmi « n » emplacements. Ce qui nous a donné que 24 poubelles doivent être localisé.

Au deuxième niveau, nous avons partitionné l'Algérie afin de faciliter la collecte et le transport des déchets autour du pays d'où un modèle mathématique basé sur le principe de clustering a été développé pour que l'Algérie soit décomposée en 13 clusters dont chaque un de ces derniers se compose d'un ensemble des communes affectées à un seule centre intermédiaire.

Enfin, la dernière partie du travail consiste à résoudre le problème du transport des déchets, pour cela nous avons appliqué deux approches. Premièrement, on a basé sur le principe du problème CVRP qui consiste à déterminer le cheminement d'un flot des camions qui départent et reviennent au même point en respectant la capacité de chaque véhicule. Donc, notre modèle mathématique développé consiste à déterminer la tournée de cinq camions homogènes de 50 tonnes pour ramasser les quantités des déchets des communes et leur destiner au centre de regroupement avant que les camions reviennent à l'usine, pour cela nous avons choisi un cluster qui se compose de 57 communes. Deuxièmement, on a développé une heuristique qui consiste à chaque fois à choisir le point à visiter le plus proche du pont déjà visité jusqu'à que le camion soit saturé. Alors que cette dernière nous a donné des résultats très satisfaisants que la première approche.

Au cours de ce travail, nous avons essayé de traiter les points techniques essentiels pour construire un réseau de récupération des déchets piles et accus en Algérie, mais à l'absence des réglementations, des lois et de surveillance étatique concernant cette catégorie des déchets, notre travail reste qu'une proposition théorique. Malheureusement, le plus triste n'est pas seulement l'absence des organisations chargées de traiter ces déchets, mais des opérateurs restent exporter les boues d'accumulateurs malgré que l'article 84 de la loi de finances complémentaire de 2010 et l'article 75 de loi de finances complémentaire de 2014 (toujours en vigueur) interdisent l'exportation des déchets et des débris du plomb et des batteries usagées. (*Gaidi, 2020*)

## Références

1. **AND (2007)** : Revue de Presse N° 6, Octobre 2007.
2. **Actu Environnement** [En ligne]. - 23 July 2020. - [https://www.actu-environnement.com/ae/dictionnaire\\_environnement/definition/pile.php4#:~:text=Les%20piles%20et%20accumulateurs%20sont,accumulateur%20plusieurs%20fois%20car%20rechargeable.&text=Une%20pile%20est%20constitu%C3%A9e%20de,qui%20baignent%20dans%](https://www.actu-environnement.com/ae/dictionnaire_environnement/definition/pile.php4#:~:text=Les%20piles%20et%20accumulateurs%20sont,accumulateur%20plusieurs%20fois%20car%20rechargeable.&text=Une%20pile%20est%20constitu%C3%A9e%20de,qui%20baignent%20dans%20).
3. **BATTERY INFORMATION SHEET** [En ligne]. - 2014. - 02 February 2020. - <https://www.arts-energy.com/uploads/BIS-fusionn%C3%A9FR.pdf>.
4. **Battery univers blog** [En ligne]. - 3 February 2020. - <https://www.batteryuniverse.com/blog/tags/shelf-life/>.
5. **CHRISTIAN HOHMAN** [En ligne]. - 20 September 2020. - <http://christian.hohmann.free.fr/index.php/lean-entreprise/la-boite-a-outils-lean/422-la-methode-du-barycentre>.
6. **consoGlobe** [En ligne]. - 22 JUIN 2020. - <https://www.consoglobe.com/recycler-piles-4310-cg>.
7. **Corepile** [En ligne]. - 6 February 2020. - <https://www.corepile.fr/>.
8. **Décret présidentiel n° 02-250 du 24 juillet 2002**, modifié par le décret présidentiel n° 03-301 du 11 septembre 2003, modifié et complété par le décret présidentiel n° 08-338 du 26 octobre 2008
9. **El watan** [En ligne] / aut. Gaidi M-F.. - 19 March 2020. - 21 JUIN 2020. - <https://www.elwatan.com/pages-hebdo/magazine/faycal-loudjani-expert-en-environnement-la-collecte-et-le-recyclage-des-piles-sont-inexistants-en-algerie-12-03-2020#:~:text=Les%20Alg%C3%A9riens%20utilisent%20annuellement%20entre,soit%2018%20unit%C3%A9s%20par>.
10. **ETAT DE VAUD** [En ligne]. - 2 February 2020. - <https://www.vd.ch/themes/environnement/developpement-durable/dd-au-travail/fiches-cycles-de-vie/cycles-des-piles/>.
11. **fnade** [En ligne]. - 3 February 2020. - <https://www.fnade.org/fr/produire-matieres-energie/recyclage-valorisation-matiere>.
12. **Loi n° 01- 19 du 12 décembre 2001** : relative à la gestion, au contrôle et à l'élimination des déchets, définit les principes de base qui conduisent à une gestion intégrée des déchets, de leur génération à leur élimination.
13. **L'article 3 de la loi du 12 décembre 2001** : relative à la gestion, au contrôle et à l'élimination des déchets
14. **L'article de la loi du 12 décembre 2001** : relative à la gestion, au contrôle et à l'élimination des déchets
15. **LES DECHETS** [En ligne]. - 9 September 2020. - [http://www.spivds.org/medias/publications/les\\_dechets\\_definition\\_gestion\\_collecte\\_traitement\\_responsabilites\\_police\\_speciale.pdf](http://www.spivds.org/medias/publications/les_dechets_definition_gestion_collecte_traitement_responsabilites_police_speciale.pdf).

## Références

**16.L'information environnementale** [En ligne]. - 22 JUIN 2020. - <https://ree.developpement-durable.gouv.fr/themes/risques-nuisances-pollutions/sante-et-environnement/exposition-aux-substances-chimiques/article/metaux-lourds-cadmium-mercure-et-plomb>.

**17.Logistique Conseil** [En ligne]. - 22 Juin 2020. - <http://www.logistiqueconseil.org/Articles/Logistique/Methode-pareto-20-80-abc.htm>.

**18.qualtrics** [Online]. - February 2, 2020. - <https://www.qualtrics.com/fr/gestion-de-l-experience/produit/cycle-vie-produit/>.

**19.RYCUPYL** [En ligne]. - 6 February 2020. - <http://www.recupyl.fr/68-hydrometallurgie.html>.

Sweep-net (2010) : « Rapport pays sur la gestion des déchets solides en Algérie ». Préparé par Y. Kehila en collaboration avec L. Gourine. En ligne <http://www.sweepnet.org/ckfinder/userfiles/files/country-profiles/RA%20ALGERIE%20ANG.p>

**19.Sites GOOGLE** [En ligne]. - 22 JUIN 2020. - <https://sites.google.com/site/pilesetaccumulateurs/environnement/les-metaux-lourds>.

**20.TOLBA T 2013** : « Gestion La gestion des déchets municipaux en Algérie ». Thèses doctorat, universite de rouen, 2012.

**21.Traitement des piles grand public au Québec pour mettre en oeuvre la responsabilité élargie des producteurs** [Rapport]. - Québec : Sébastien Lachapell eCharette, 2014.

**22.Un point de vue environnemental** [En ligne]. - 6 july 2020. - <http://solutiondejeux.wifeo.com/limpact-de-lenvironnement.php>.

**24.Un point de vue environnementale** [En ligne]. - 22 JUIN 2020. - [solutiondejeux.wifeo.com/limpact-de-lenvironnement.php](http://solutiondejeux.wifeo.com/limpact-de-lenvironnement.php).

**25.Les articles et les lois sont du journal officiel** : <https://www.joradp.dz/HFR/Index.htm>

# **Annexes**

## Questionnaire sur la gestion des récupérations des déchets P&A.

[https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLSfNsnPxC3yiSjRdiOyhZk32c1SGOwDjCnNNK1DrI1RHgibdqw/viewform?fbclid=IwAR35bTAcjgW\\_DEvb1z6lfB-Whb\\_5CvjTdWxnZ7zq\\_dGZJPHyj3tEi7724](https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLSfNsnPxC3yiSjRdiOyhZk32c1SGOwDjCnNNK1DrI1RHgibdqw/viewform?fbclid=IwAR35bTAcjgW_DEvb1z6lfB-Whb_5CvjTdWxnZ7zq_dGZJPHyj3tEi7724)

03/10/2020

استبيان حول البطاريات منتهية الصلاحية

هل لك دراية بمفعول البطارية؟ \*

نعم

لا

اخرى:

من أين تقوم بشراء البطاريات؟ \*

إيمانك

في رأيك، لطفلك يلعب ببطارية هل هو فعل ايجابي او سلبي؟ \*

إيجابي

سلبي

اخرى:

في رأيك، الرمي العشوائي للبطاريات منتهية الصلاحية له فعل ايجابي او سلبي على المحيط البيئي؟ \*

إيجابي

سلبي

اخرى:

03/10/2020

استبيان حول البطاريات منتهية الصلاحية

إيمانك

في رأيك، ما هو الحل الأنسب لتجميع البطاريات المستعملة لإعادة رسكلتها (recycle)؟ \*

شراء بطاريات جديدة يجب استرجاع البطاريات المستعملة حيث تستعمل بطاقة لتسجيل وتأكيد العملية مع منع تعويض.

الاستفادة بنفسك للقيام بعمليات منتظمة لتجميع البطاريات المستعملة من كل حي.

وضع سلة مهملات نكية في فناء معينة تساعد على تجميع البطاريات، حيث تمنحك فرصة تعويض في حالة وضع بطارياتك المستعملة فيها.

صفحة 1 من 1

إرسال

عدم إرسال كلمات المرور عبر نماذج Google سئلا.

ترجم إنشاء هذا النموذج ولا تخافه من إيل Google، إلا أنه من إساءة الاستخدام، شروط الخدمة، سياسة الخصوصية

نماذج Google

استبيان حول البطاريات منتهية الصلاحية

البطارية هو الجواز الذي يقوم بتخزين الطاقة الكهربائية كيميائية وكثافة كيميائية ومن ثم تزويد هذه الطاقة كثافة كهربائية عند الحاجة. تصعب منتهية الصلاحية إذا لم تستطع توفير أكثر من 60% من سعتها الممتدة. البطاريات أنواع عديدة النوع الذي يتم دراسته من خلال هذا الاستبيان هو بطاريات الاستعمال المنزلي مثل بطاريات الجيواليف الطاقة، أجهزة الكمبيوتر المحمولة، أجهزة التحكم عن بعد، الآلات المنزلية، ساعات الجيب واليد... الخ.

\*مطلوب

العمر: \*

15-25 سنة

26-35 سنة

36-45 سنة

46-55 سنة

56-65 سنة

65+ سنة

الجنس: \*

تكر

أنثى

المستوى العلمي أو التقني: \*

مدر

في رأيك، ماذا يجب فعله عند انتهاء صلاحية البطارية؟ \*

وضعها في سلة المهملات مع المنتجات القابلة لإعادة التدوير

رميها في الطبيعة

وضعها في سلة تجميع خاصة

رميها في سلة المهملات مع الفواتج الأخرى كسفايات نفايات

اخرى:

من بين الأماكن التالية، أين يمكنك احضار بطارياتك المستعملة؟ \*

متاجر DIY

محلات السوبر ماركت

مراكز إعادة التدوير

أمام المدارس

مغارة الفتيات

أمام المدارس

اخرى:

ما هو سبب رميك العشوائي للبطاريات منتهية الصلاحية؟ \*

إيمانك

ماذا تقترح لتجنب هذه الظاهرة؟ \*

1x3l0ca.google.com/forms/d/e/1FAIpQLSfNsnPxC3yiSjRdiOyhZk32c1SGOwDjCnNNK1DrI1RHgibdqw/viewform?fbclid=IwAR35bTAcjgW\_DEvb1z6lfB-Whb\_5CvjTdWxnZ7zq\_dGZJPHyj3tEi7724



Les piles et accumulateurs sont des sources d'énergie électrique obtenue par transformation direct d'énergie chimique. Une pile ou une batterie est en fin de vie si elle ne peut plus fournir que 60% de la capacité spécifiée. Ces derniers comprennent beaucoup des types, les types étudiés à travers ce questionnaire sont les batteries à usage domestique telles que les batteries de téléphone portables, les pcs, les télécommandes, les montres...etc.

1-L'âge :

- 15-25 ans
- 26-35 ans
- 36-45 ans
- 46-55 ans
- 56-65 ans
- +66 ans

2-Genre :

- Homme
- Femme

3-Niveau culturel :

.....

4-Connaissez-vous l'effet des piles ?

- Oui
- Non
- Autres.....

5-D'où achetez-vous les piles ?

.....

6-À votre avis, si l'enfant a joué par une pile, est-ce qu'une action positive ou négative ?

- Positive
- Négative
- Autre.....

7-À votre avis, la jetée sans discernement des piles en fin de vie a un effet positif ou négatif sur l'environnement ?

- Positif
- Négatif
- Autre.....

8-Peut-elle être exploitée les piles usagées ?

- Oui
- Non
- Autre.....

9-À votre avis, que faire lorsque les piles sont expirées ?

- Mettez-les à la poubelle avec les produits recyclables
- Jetez-les dans l'environnement
- Collecte spéciale
- Jetez-les à la poubelle avec d'autres déchets comme déchets finals
- Autre.....

10-Parmi les endroits suivants, où pouvez-vous apporter vos piles usagées ?

- DIY (Magasins de bricolage)
- Les supermarchés
- Les centres de recyclage

- Devant les mosquées
- Détachement des déchets
- Devant les écoles
- Autres.....

11-Pourquoi jetez-vous aléatoirement vos piles usagées ?

.....

12-Que proposez-vous pour éviter ce phénomène ?

.....

-Selon vous, quelle est la solution la plus appropriée pour collecter et recycler les piles usagées ?

- Pour acheter des nouvelles piles, les piles usagées doivent être récupérées, ou une carte est utilisée pour enregistrer et confirmer le processus, avec une réduction de prix.
- Embaucher des personnes pour faire des visites régulières pour récupérer les piles usagées de chaque quartier
- Mettre des poubelles intelligentes à des endroits désignés pour vous aider à collecter les piles, car cela vous donne un bon de réduction si vous y mettez vos piles usagées.

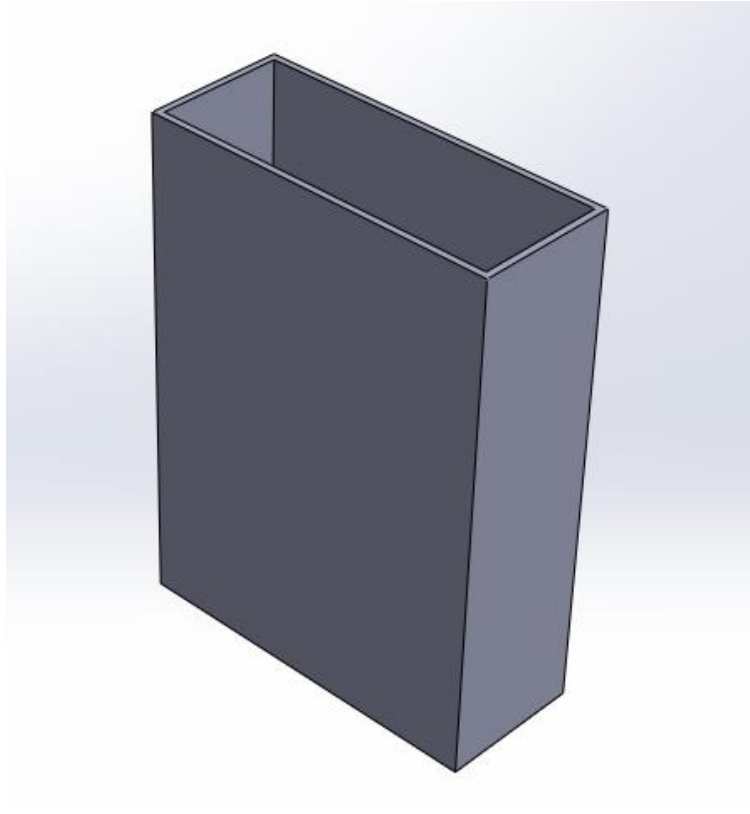


Figure 1 : Conception du conteneur des déchets accus.

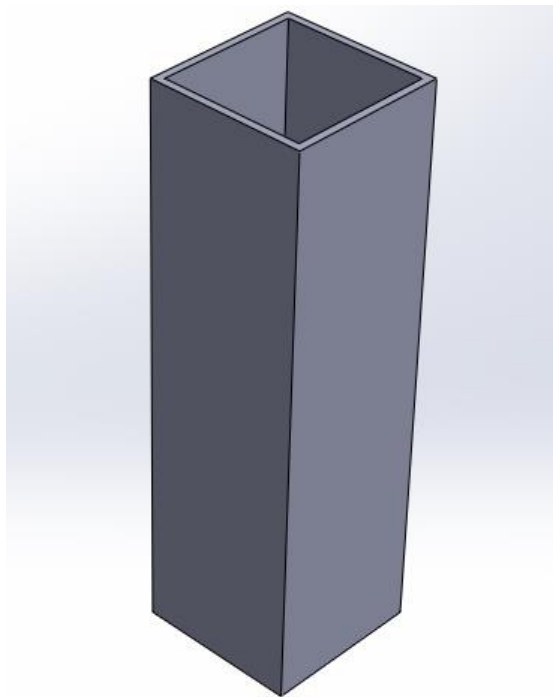


Figure 2 : Conception du conteneur des déchets pile.

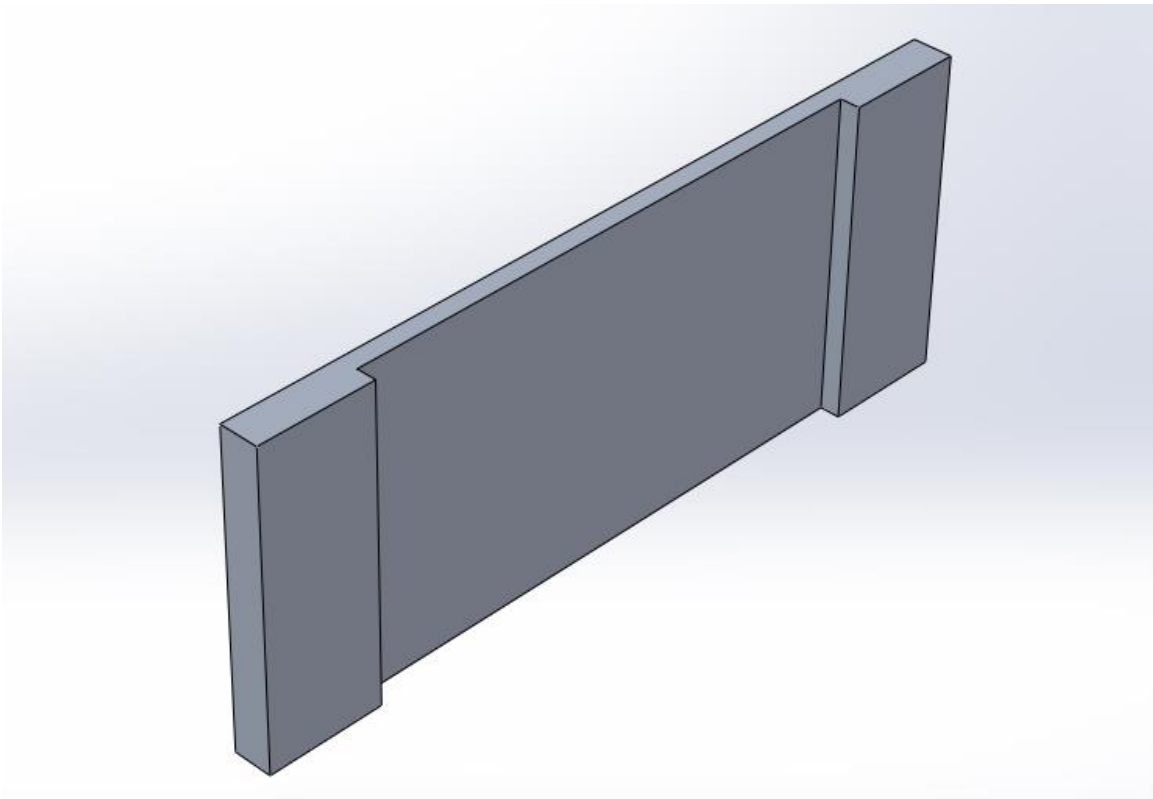


Figure 3 : Conception de la porte d'emplacement de collecte des déchets piles.

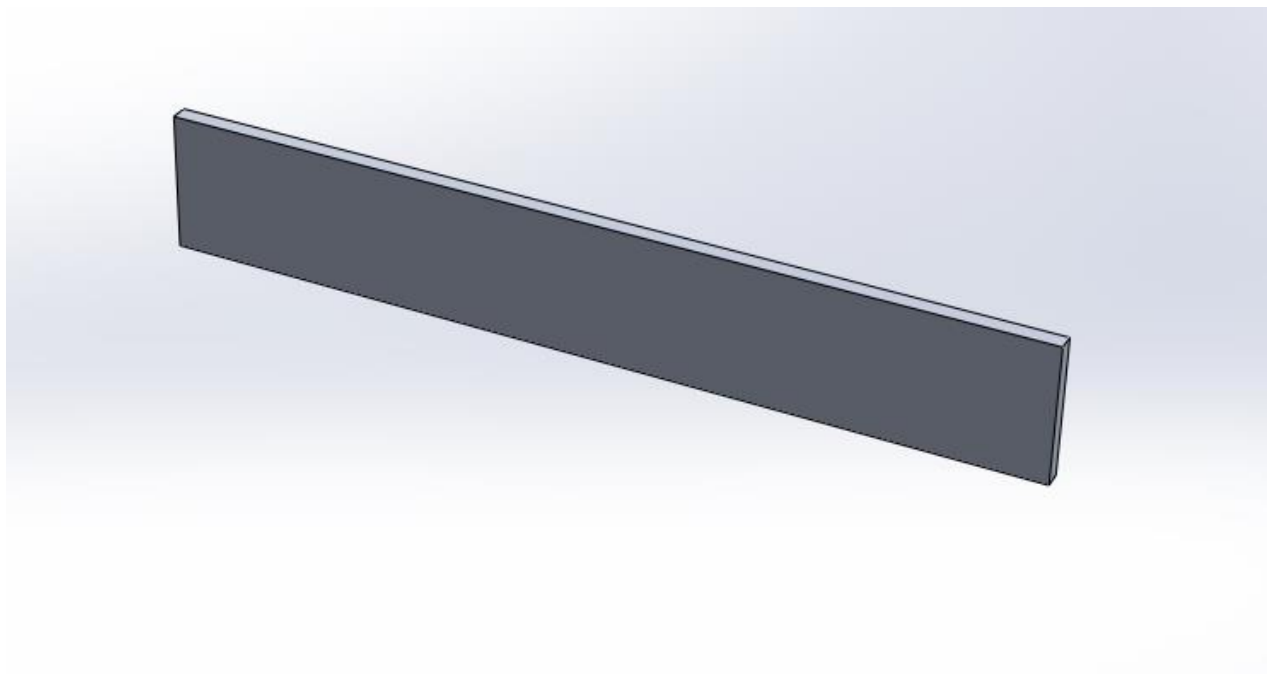


Figure 4 : Conception de la porte d'emplacement de collecte des déchets accus.

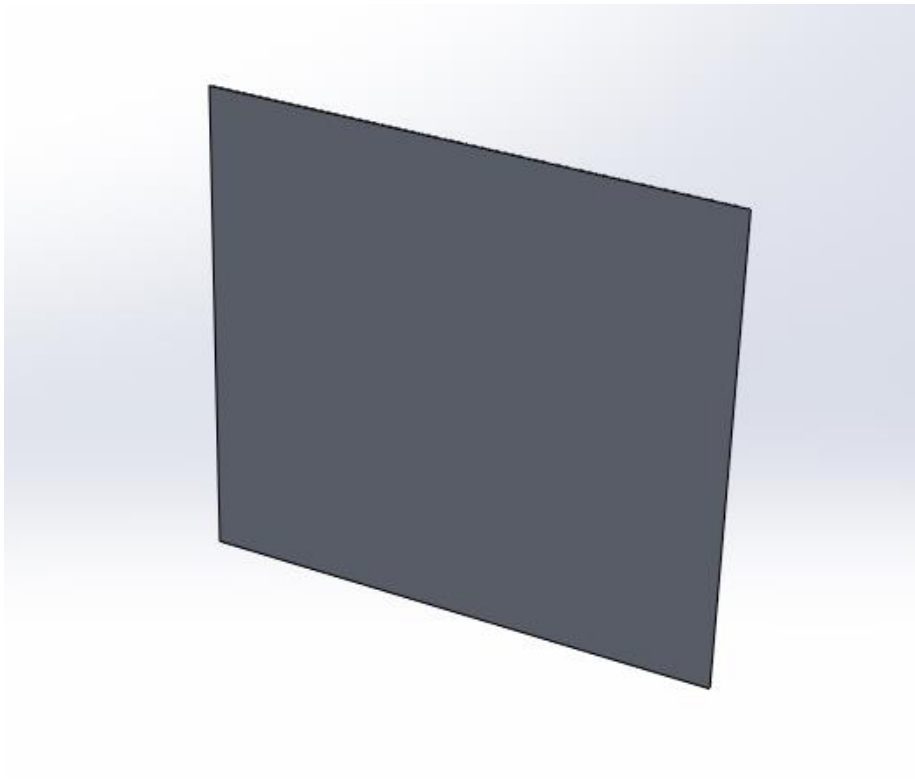


Figure 5 : Conception de la porte du corps de la poubelle intelligente.

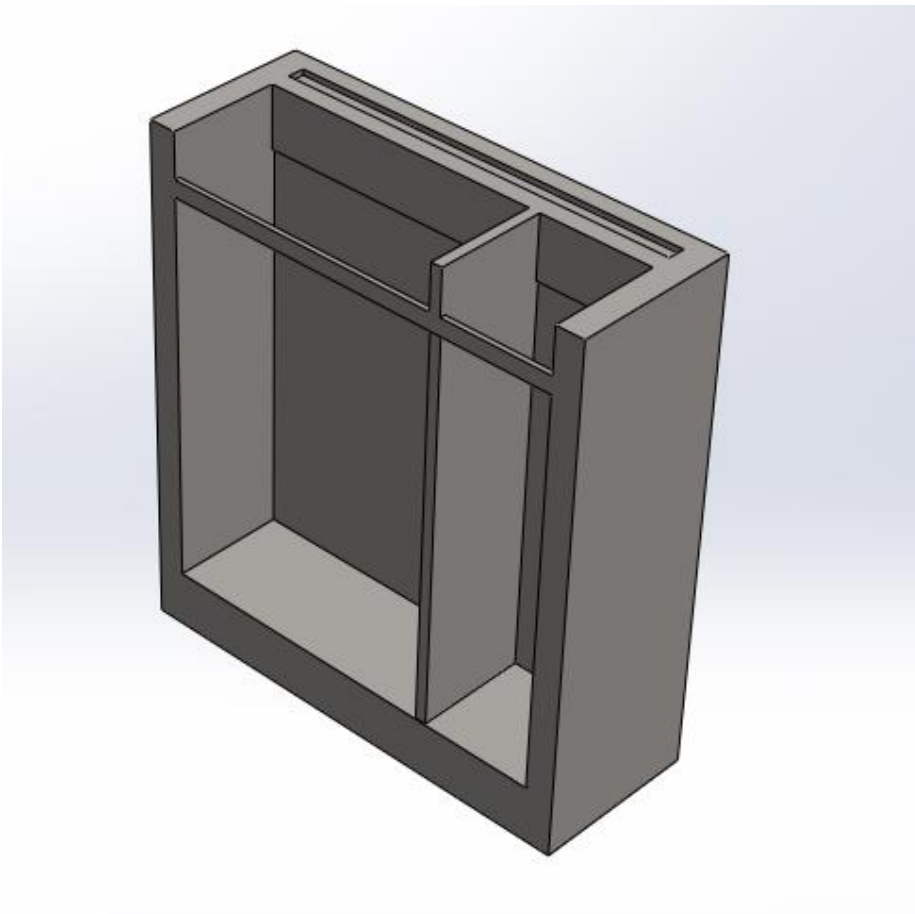


Figure 6 : Conception du corps de la poubelle intelligente.

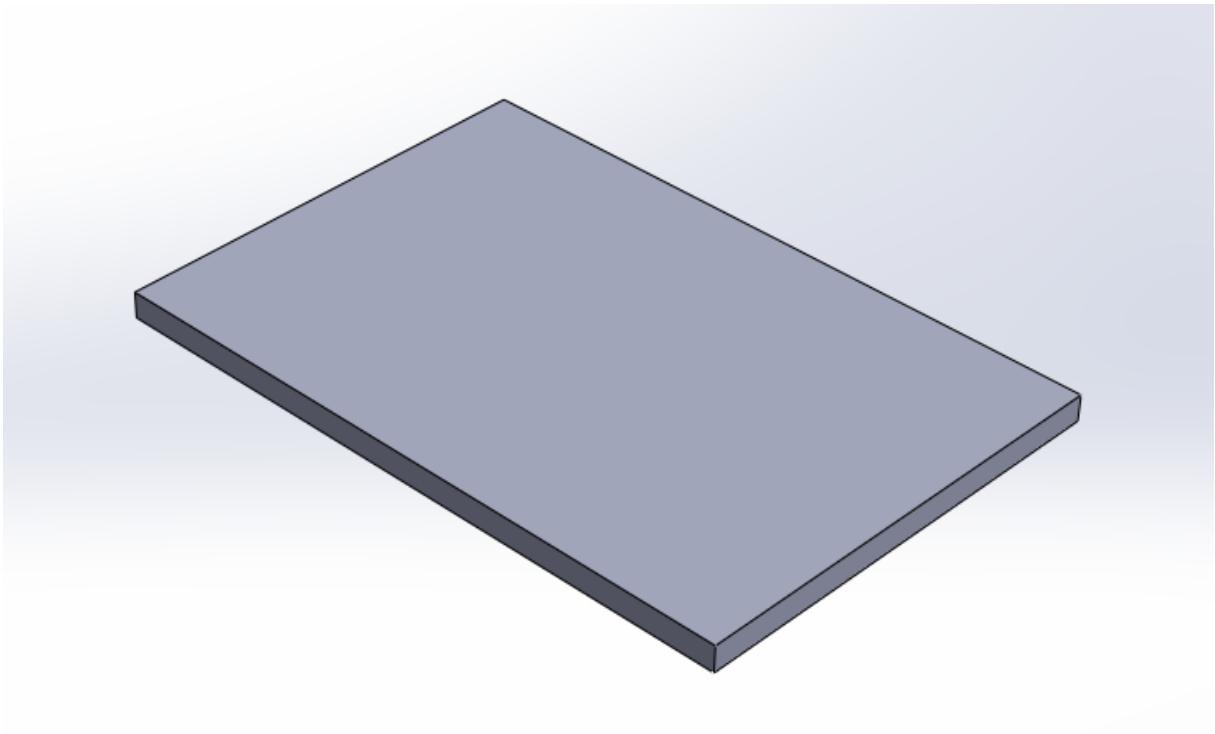


Figure 7 : Conception d'un clapet pour l'emplacement des déchets accus.

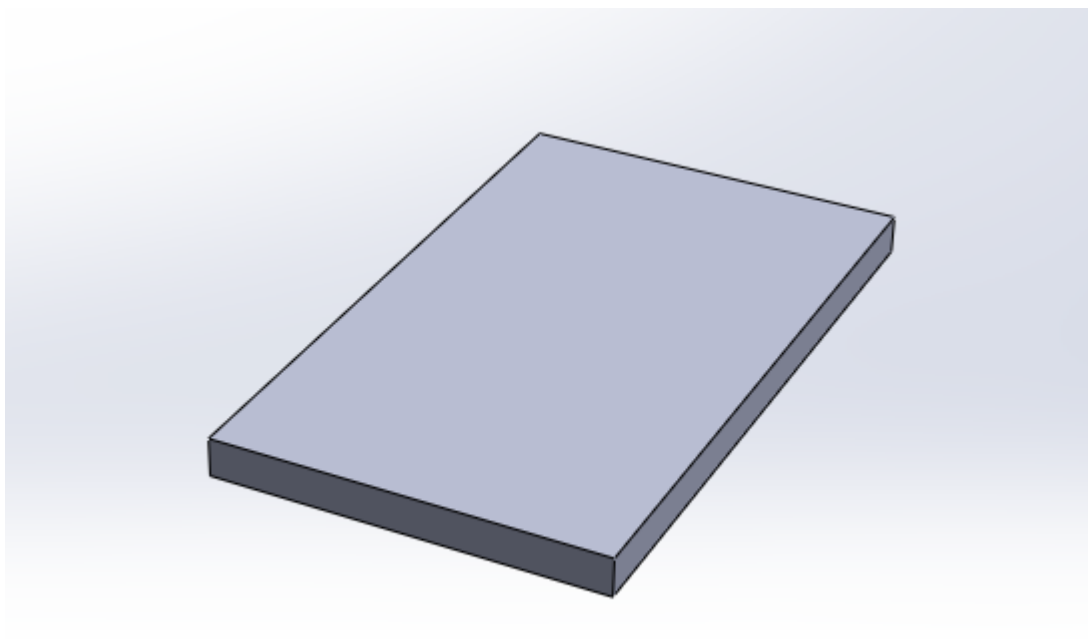


Figure 8 : Conception d'un clapet pour l'emplacement des déchets piles.

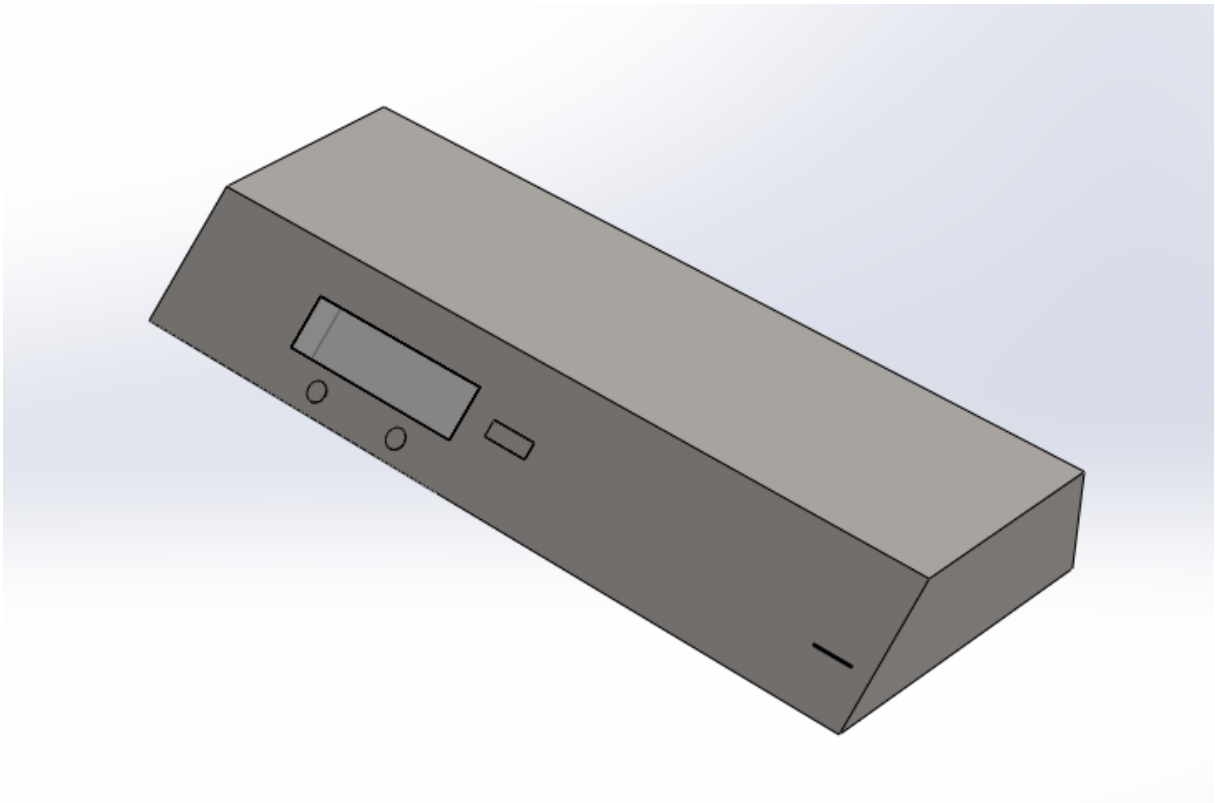


Figure 9 : Conception de la partie représentant l'interface Homme/Machine de la poubelle intelligente.

## AHP

**Tableau 3 :** La matrice de comparaison en paire.

|  | Nombre des habitants(hab) | Nombre des routes nationales parcours | Accès à l'énergie eau (Chott Hodna) (Km) | La superficie (Km2) |
|--|---------------------------|---------------------------------------|--|---------------------|
| Nombre des habitants(hab)                | 1.00                      | 0.50                                  | 0.20                                     | 0.50                |
| Nombre des routes nationales parcours    | 2.00                      | 1.00                                  | 0.20                                     | 2.00                |
| Accès à l'énergie eau (Chott Hodna) (Km) | 5.00                      | 5.00                                  | 1.00                                     | 5.00                |
| La superficie (Km2)                      | 2.00                      | 0.50                                  | 0.20                                     | 1.00                |
| Sum                                      | 10.00                     | 7.00                                  | 1.60                                     | 8.50                |

**Tableau 4 :** La matrice de comparaison en paire normalisée.

|  | Nombre des habitants(hab) | Nombre des routes nationales parcours | Accès à l'énergie eau (Chott Hodna) (Km) | La superficie (Km2) |
|--|---------------------------|---------------------------------------|--|---------------------|
| Nombre des habitants (hab)               | 0.10                      | 0.07                                  | 0.13                                     | 0.06                |
| Nombre des routes nationales parcours    | 0.20                      | 0.14                                  | 0.13                                     | 0.24                |
| Accès à l'énergie eau (Chott Hodna) (Km) | 0.50                      | 0.71                                  | 0.63                                     | 0.59                |
| La superficie (Km2)                      | 0.20                      | 0.07                                  | 0.13                                     | 0.12                |

**Tableau 5 :** La matrice de calcul de cohérence.

|  | Nombre des habitants(hab) | Nombre des routes nationales parcours | Accès à l'énergie eau (Chott Hodna) (Km) | La superficie (Km2) |
|--|---------------------------|---------------------------------------|--|---------------------|
| Nombre des habitants(hab)                | 0.09                      | 0.09                                  | 0.12                                     | 0.06                |
| Nombre des routes nationales parcours    | 0.18                      | 0.18                                  | 0.12                                     | 0.26                |
| Accès à l'énergie eau (Chott Hodna) (Km) | 0.44                      | 0.88                                  | 0.61                                     | 0.64                |
| La superficie (Km2)                      | 0.18                      | 0.09                                  | 0.12                                     | 0.13                |

## VIKOR

**Tableau 6 :** La matrice normalisée des décisions.

| Min                               | Max | Min | Max |
|-----------------------------------|-----|-----|-----|
| <b>Normalized decision matrix</b> |     |     |     |



|                | Nombre des habitants(hab) | Nombre des routes nationales parcours | Accès à l'énergie eau (Chott plus près) (Km) | La superficie (Km2) |
|----------------|---------------------------|---------------------------------------|--|---------------------|
| Aïn Chouhada   | 0.01                      | 0.00                                  | 0.15   | 0.03                |
| Aïn El Ibel    | 0.08                      | 0.16                                  | 0.15   | 0.08                |
| Aïn Feka       | 0.07                      | 0.16                                  | 0.10   | 0.07                |
| Aïn Maabed     | 0.06                      | 0.16                                  | 0.05   | 0.06                |
| Aïn Oussara    | 0.29                      | 0.32                                  | 0.11   | 0.10                |
| Amourah        | 0.02                      | 0.00                                  | 0.21   | 0.14                |
| Benhar         | 0.05                      | 0.16                                  | 0.11   | 0.14                |
| Beni Yagoub    | 0.03                      | 0.00                                  | 0.10   | 0.03                |
| Birine         | 0.09                      | 0.32                                  | 0.11   | 0.11                |
| Bouira Lahdab  | 0.03                      | 0.16                                  | 0.05   | 0.05                |
| Charef         | 0.07                      | 0.16                                  | 0.06   | 0.08                |
| Dar Chioukh    | 0.09                      | 0.00                                  | 0.06   | 0.04                |
| Deldoul        | 0.03                      | 0.00                                  | 0.18   | 0.24                |
| Djelfa         | 0.83                      | 0.32                                  | 0.10   | 0.07                |
| Douis          | 0.03                      | 0.16                                  | 0.12   | 0.07                |
| El Guedid      | 0.04                      | 0.16                                  | 0.05   | 0.15                |
| El Idrissia    | 0.09                      | 0.32                                  | 0.10   | 0.05                |
| El Khemis      | 0.02                      | 0.00                                  | 0.09   | 0.06                |
| Faidh El Botma | 0.09                      | 0.16                                  | 0.16   | 0.12                |
| Guernini       | 0.01                      | 0.00                                  | 0.06   | 0.07                |
| Guettara       | 0.03                      | 0.16                                  | 0.55   | 0.41                |
| Had-Sahary     | 0.09                      | 0.16                                  | 0.04   | 0.11                |
| Hassi Bahbah   | 0.25                      | 0.16                                  | 0.02   | 0.10                |
| Hassi El Euch  | 0.03                      | 0.00                                  | 0.03   | 0.07                |
| Hassi Fedoul   | 0.04                      | 0.32                                  | 0.15   | 0.07                |
| Messaad        | 0.29                      | 0.32                                  | 0.22   | 0.02                |
| M'Liliha       | 0.04                      | 0.16                                  | 0.09   | 0.12                |
| Moudjebara     | 0.04                      | 0.00                                  | 0.15   | 0.11                |
| Oum Laadham    | 0.07                      | 0.00                                  | 0.40   | 0.67                |
| Sed Rahal      | 0.04                      | 0.00                                  | 0.24   | 0.12                |
| Selmana        | 0.06                      | 0.16                                  | 0.23   | 0.25                |
| Sidi Ladjel    | 0.04                      | 0.16                                  | 0.13   | 0.05                |
| Tadmit         | 0.03                      | 0.00                                  | 0.14   | 0.12                |
| Zaafrane       | 0.04                      | 0.16                                  | 0.01   | 0.16                |
| Zaccar         | 0.01                      | 0.00                                  | 0.15   | 0.03                |

**Tableau 7 :** Les valeurs de mesure d'utilité « St », mesure de regret « Rt » et les valeurs de « Qi ».

| Commune        | St       | Rt       | Qi       |
|----------------|----------|----------|----------|
| Aïn Chouhada   | 0.465461 | 0.175788 | 0.319588 |
| Aïn El Ibel    | 0.36962  | 0.156696 | 0.214434 |
| Aïn Feka       | 0.308859 | 0.117874 | 0.121354 |
| Aïn Maabed     | 0.264346 | 0.120101 | 0.083484 |
| Aïn Oussara    | 0.254294 | 0.113315 | 0.067727 |
| Amourah        | 0.507256 | 0.2244   | 0.405272 |
| Benhar         | 0.312229 | 0.114265 | 0.120821 |
| Beni Yagoub    | 0.405184 | 0.175788 | 0.265324 |
| Birine         | 0.229888 | 0.111632 | 0.044091 |
| Bouira Lahdab  | 0.262601 | 0.122588 | 0.084371 |
| Charef         | 0.269309 | 0.117149 | 0.085033 |
| Dar Chioukh    | 0.363607 | 0.175788 | 0.227895 |
| Deldoul        | 0.457353 | 0.193907 | 0.330202 |
| Djel'fa        | 0.305104 | 0.118806 | 0.118896 |
| Douis          | 0.33206  | 0.122669 | 0.146982 |
| El Guedid      | 0.245317 | 0.102566 | 0.049019 |
| El Idrissia    | 0.237498 | 0.123235 | 0.062413 |
| El Khemis      | 0.382817 | 0.175788 | 0.245188 |
| Faidh El Botma | 0.375326 | 0.168932 | 0.231667 |
| Guernini       | 0.354422 | 0.175788 | 0.219626 |
| Guettara       | 0.747866 | 0.60688  | 1        |
| Had-Sahary     | 0.236871 | 0.11     | 0.048764 |
| Hassi Bahbah   | 0.235402 | 0.112227 | 0.049644 |
| Hassi El Euch  | 0.319879 | 0.175788 | 0.188529 |
| Hassi Fedoul   | 0.276124 | 0.153056 | 0.126667 |
| Messaad        | 0.395256 | 0.235637 | 0.315553 |
| M'Liliha       | 0.288273 | 0.10886  | 0.093912 |
| Moudjebara     | 0.445467 | 0.175788 | 0.301589 |
| Oum Laadham    | 0.623764 | 0.441412 | 0.724696 |
| Sed Rahal      | 0.542012 | 0.25478  | 0.466594 |
| Selmana        | 0.418766 | 0.243206 | 0.3442   |
| Sidi Ladjel    | 0.344136 | 0.129889 | 0.16499  |
| Tadmit         | 0.438411 | 0.175788 | 0.295237 |
| Zaafrane       | 0.192459 | 0.101116 | 0        |
| Zaccar         | 0.454791 | 0.175788 | 0.309983 |

# TOPSIS

**Tableau 8 : Matrice normalisée des décisions.**

|                | Normalized decision matrix |                                       |  |                     |
|----------------|----------------------------|---------------------------------------|--|---------------------|
|                | Nombre des habitants(hab)  | Nombre des routes nationales parcours | Accès à l'énergie eau (Chott plus près) (Km) | La superficie (Km2) |
| Aïn Chouhada   | 0.012995                   | 0                                     | 0.15383052                                   | 0.027701            |
| Aïn El Ibel    | 0.081147                   | 0.158114                              | 0.14922392                                   | 0.079051            |
| Aïn Feka       | 0.066858                   | 0.158114                              | 0.09519605                                   | 0.073694            |
| Aïn Maabed     | 0.057125                   | 0.158114                              | 0.05424578                                   | 0.062457            |
| Aïn Oussara    | 0.289208                   | 0.316228                              | 0.1075983                                    | 0.096691            |
| Amourah        | 0.022122                   | 0                                     | 0.20990816                                   | 0.137457            |
| Benhar         | 0.049155                   | 0.158114                              | 0.11119296                                   | 0.137065            |
| Beni Yagoub    | 0.028395                   | 0                                     | 0.0978694                                    | 0.025218            |
| Birine         | 0.088309                   | 0.316228                              | 0.10670934                                   | 0.105184            |
| Bouira Lahdab  | 0.031404                   | 0.158114                              | 0.05294687                                   | 0.049913            |
| Charef         | 0.06864                    | 0.158114                              | 0.06022467                                   | 0.077352            |
| Dar Chioukh    | 0.086763                   | 0                                     | 0.0584036                                    | 0.044687            |
| Deldoul        | 0.032081                   | 0                                     | 0.18257706                                   | 0.240812            |
| Djelfa         | 0.826227                   | 0.316228                              | 0.0961519                                    | 0.06899             |
| Douis          | 0.026693                   | 0.158114                              | 0.11872536                                   | 0.067161            |
| El Guedid      | 0.03666                    | 0.158114                              | 0.05489093                                   | 0.150916            |
| El Idrissia    | 0.093985                   | 0.316228                              | 0.10257957                                   | 0.046647            |
| El Khemis      | 0.01544                    | 0                                     | 0.08608856                                   | 0.064678            |
| Faidh El Botma | 0.092845                   | 0.158114                              | 0.16019131                                   | 0.118381            |
| Guernini       | 0.013124                   | 0                                     | 0.0613035                                    | 0.067161            |
| Guettara       | 0.028355                   | 0.158114                              | 0.55273047                                   | 0.413156            |
| Had-Sahary     | 0.086989                   | 0.158114                              | 0.03577835                                   | 0.113415            |
| Hassi Bahbah   | 0.246877                   | 0.158114                              | 0.01696354                                   | 0.102178            |
| Hassi El Euch  | 0.0334                     | 0                                     | 0.02830637                                   | 0.066769            |
| Hassi Fedoul   | 0.037625                   | 0.316228                              | 0.14596153                                   | 0.065201            |
| Messaad        | 0.292676                   | 0.316228                              | 0.21998013                                   | 0.019991            |
| M'Liliha       | 0.040685                   | 0.158114                              | 0.08736158                                   | 0.119165            |
| Moudjebara     | 0.040142                   | 0                                     | 0.14839106                                   | 0.112762            |
| Oum Laadham    | 0.065849                   | 0                                     | 0.40441925                                   | 0.668341            |
| Sed Rahal      | 0.039117                   | 0                                     | 0.23713786                                   | 0.124652            |
| Selmana        | 0.055622                   | 0.158114                              | 0.22676382                                   | 0.253617            |
| Sidi Ladjel    | 0.039025                   | 0.158114                              | 0.12519619                                   | 0.049391            |

|          |          |          |            |          |
|----------|----------|----------|------------|----------|
| Tadmit   | 0.029592 | 0        | 0.14452884 | 0.120863 |
| Zaafrane | 0.037057 | 0.158114 | 0.00877521 | 0.158233 |
| Zaccar   | 0.005168 | 0        | 0.14537465 | 0.02966  |

**Tableau 9** : Matrice normalisée pondérée des décisions.

| Normalized weighted decision matrix |                           |                                       |  |                     |
|-------------------------------------|---------------------------|---------------------------------------|--|---------------------|
|                                     | Nombre des habitants(hab) | Nombre des routes nationales parcours | Accès à l'énergie eau (Chott plus près) (Km) | La superficie (Km2) |
| Aïn Chouhada                        | 0.001154                  | 0                                     | 0.093357                                     | 0.00356             |
| Aïn El Ibel                         | 0.007207                  | 0.0277945                             | 0.090561                                     | 0.01016             |
| Aïn Feka                            | 0.005938                  | 0.0277945                             | 0.057773                                     | 0.009471            |
| Aïn Maabed                          | 0.005073                  | 0.0277945                             | 0.032921                                     | 0.008027            |
| Aïn Oussara                         | 0.025685                  | 0.055589                              | 0.065299                                     | 0.012427            |
| Amourah                             | 0.001965                  | 0                                     | 0.127389                                     | 0.017666            |
| Benhar                              | 0.004366                  | 0.0277945                             | 0.067481                                     | 0.017616            |
| Beni Yagoub                         | 0.002522                  | 0                                     | 0.059395                                     | 0.003241            |
| Birine                              | 0.007843                  | 0.055589                              | 0.06476                                      | 0.013518            |
| Bouira Lahdab                       | 0.002789                  | 0.0277945                             | 0.032132                                     | 0.006415            |
| Charef                              | 0.006096                  | 0.0277945                             | 0.036549                                     | 0.009941            |
| Dar Chioukh                         | 0.007706                  | 0                                     | 0.035444                                     | 0.005743            |
| Deldoul                             | 0.002849                  | 0                                     | 0.110802                                     | 0.030949            |
| Djelfa                              | 0.07338                   | 0.055589                              | 0.058353                                     | 0.008867            |
| Douis                               | 0.002371                  | 0.0277945                             | 0.072052                                     | 0.008631            |
| El Guedid                           | 0.003256                  | 0.0277945                             | 0.033312                                     | 0.019396            |
| El Idrissia                         | 0.008347                  | 0.055589                              | 0.062254                                     | 0.005995            |
| El Khemis                           | 0.001371                  | 0                                     | 0.052245                                     | 0.008312            |
| Faidh El Botma                      | 0.008246                  | 0.0277945                             | 0.097217                                     | 0.015214            |
| Guernini                            | 0.001166                  | 0                                     | 0.037204                                     | 0.008631            |
| Guettara                            | 0.002518                  | 0.0277945                             | 0.335441                                     | 0.053098            |
| Had-Sahary                          | 0.007726                  | 0.0277945                             | 0.021713                                     | 0.014576            |
| Hassi Bahbah                        | 0.021926                  | 0.0277945                             | 0.010295                                     | 0.013132            |
| Hassi El Euch                       | 0.002966                  | 0                                     | 0.017179                                     | 0.008581            |
| Hassi Fedoul                        | 0.003342                  | 0.055589                              | 0.088581                                     | 0.00838             |
| Messaad                             | 0.025993                  | 0.055589                              | 0.133502                                     | 0.002569            |
| M'Liliha                            | 0.003613                  | 0.0277945                             | 0.053018                                     | 0.015315            |
| Moudjebara                          | 0.003565                  | 0                                     | 0.090056                                     | 0.014492            |
| Oum Laadham                         | 0.005848                  | 0                                     | 0.245434                                     | 0.085894            |
| Sed Rahal                           | 0.003474                  | 0                                     | 0.143914                                     | 0.01602             |

|             |          |           |          |          |
|-------------|----------|-----------|----------|----------|
| Selmana     | 0.00494  | 0.0277945 | 0.137618 | 0.032595 |
| Sidi Ladjel | 0.003466 | 0.0277945 | 0.075979 | 0.006348 |
| Tadmit      | 0.002628 | 0         | 0.087712 | 0.015533 |
| Zaafrane    | 0.003291 | 0.0277945 | 0.005326 | 0.020336 |
| Zaccar      | 0.000459 | 0         | 0.088225 | 0.003812 |

**Tableau 10** : Les valeurs de distances euclidiennes d'idéal positif « Si+ » et négatif « Si- » et le score de performance pour chaque alternative.

|                | Si+      | Si-      | Pt       |
|----------------|----------|----------|----------|
| Aïn Chouhada   | 0.132737 | 0.252631 | 0.655558 |
| Aïn El Ibel    | 0.117554 | 0.255295 | 0.684714 |
| Aïn Feka       | 0.096922 | 0.287173 | 0.747662 |
| Aïn Maabed     | 0.087285 | 0.311427 | 0.781082 |
| Aïn Oussara    | 0.098136 | 0.280069 | 0.740521 |
| Amourah        | 0.150489 | 0.220485 | 0.59434  |
| Benhar         | 0.096504 | 0.278504 | 0.742661 |
| Beni Yagoub    | 0.113356 | 0.284996 | 0.715438 |
| Birine         | 0.093943 | 0.284207 | 0.751572 |
| Bouira Lahdab  | 0.088395 | 0.312677 | 0.779604 |
| Charef         | 0.08688  | 0.307718 | 0.779827 |
| Dar Chioukh    | 0.102343 | 0.307118 | 0.750055 |
| Deldoul        | 0.131302 | 0.237155 | 0.643644 |
| Djelfa         | 0.118586 | 0.28268  | 0.70447  |
| Douis          | 0.105822 | 0.274273 | 0.721591 |
| El Guedid      | 0.077367 | 0.311857 | 0.801227 |
| El Idrissia    | 0.098422 | 0.286291 | 0.744167 |
| El Khemis      | 0.106355 | 0.292264 | 0.733191 |
| Faidh El Botma | 0.119469 | 0.248849 | 0.675635 |
| Guernini       | 0.100381 | 0.306916 | 0.753542 |
| Guettara       | 0.33291  | 0.091362 | 0.215339 |
| Had-Sahary     | 0.078614 | 0.321951 | 0.803741 |
| Hassi Bahbah   | 0.080947 | 0.330533 | 0.803278 |
| Hassi El Euch  | 0.095991 | 0.326014 | 0.772536 |
| Hassi Fedoul   | 0.113791 | 0.26262  | 0.697695 |
| Messaad        | 0.154997 | 0.214745 | 0.580796 |
| M'Liliha       | 0.089658 | 0.292515 | 0.7654   |
| Moudjebara     | 0.124005 | 0.255402 | 0.673161 |
| Oum Laadham    | 0.246518 | 0.140017 | 0.362237 |
| Sed Rahal      | 0.164889 | 0.204329 | 0.55341  |
| Selmana        | 0.145379 | 0.213288 | 0.59467  |
| Sidi Ladjel    | 0.110005 | 0.270176 | 0.71065  |
| Tadmit         | 0.121791 | 0.257961 | 0.679288 |

*Annexes*

|          |          |          |          |
|----------|----------|----------|----------|
| Zaafrane | 0.071263 | 0.339083 | 0.826333 |
| Zaccar   | 0.129228 | 0.25775  | 0.666057 |

## Résumé

A notre vie quotidienne, les piles et les accus sont essentiels. Leur utilisation pour faire fonctionner les jouets, les appareils photos, les télécommandes ... est incontournable. Plus de 300 millions de piles et d'accumulateurs sont mises sur le marché en Algérie. Bien que leur essentialité, ils sont très dangereux pour l'environnement, leur rejet sans précaution peut libérer des nombreux métaux lourds comme le mercure, le zinc ou le nickel. En conséquent, s'ils sont collectés puis traités convenablement, leurs composants sont en grande partie récupérés et valorisés afin de limiter ainsi le prélèvement sur les ressources naturelles. Alors, nous avons établi au cours de ce travail, une étude stratégique logistique afin de construire un réseau de récupération et de valorisation des piles et accus usagés en Algérie.

### Mots Clés :

Les piles et les accus, métaux lourds, stratégie logistique, réseau de récupération et valorisation.

## Abstract

In our daily life, batteries and accumulators are essential. Their use to operate toys, cameras, remote controls ... is essential. Over 300 million batteries and accumulators are marketed in Algeria. Although their essentiality, they are very dangerous for the environment, their careless discharge can release many heavy metals such as mercury, zinc or nickel. Consequently, if they are collected and then treated properly, their components are largely recovered and valued in order to limit the withdrawal from natural resources. So, during this work, we established a strategic logistics study in order to build a network for the recovery of used batteries and accumulators in Algeria.

### Key Words:

Batteries and accumulators, heavy metals, strategic logistics, recovery and recovery network.

## ملخص

تعتبر البطاريات والمراكم بشتى أنواعها ضرورية في حياتنا اليومية. استخدامها لتشغيل الألعاب والكاميرات وأجهزة التحكم عن بعد ... أمر ضروري. يتم طرح أكثر من 300 مليون بطارية في الأسواق في الجزائر. على الرغم من أهميتها، إلا أنها خطيرة جدًا على البيئة إذ أن رميها بإهمال يمكن أن يطلق العديد من المعادن الثقيلة المكونة لها مثل الزئبق أو الزنك أو النيكل. وبالتالي، إذا تم جمعها ثم معالجتها بشكل صحيح، فسيتم استرداد مكوناتها وتقييمها إلى حد كبير من أجل الحد من استهلاك الموارد الطبيعية. لذلك، خلال هذا العمل، أنشأنا دراسة لوجستية إستراتيجية من أجل بناء شبكة لاستعادة ومعالجة البطاريات والمراكم المستعملة في الجزائر.

### كلمات مفتاحية:

البطاريات والمراكم، المعادن الثقيلة، دراسة لوجستية إستراتيجية، شبكة لاستعادة ومعالجة البطاريات والمراكم المستعملة