

République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Université Abou bakr Belkaid – Tlemcen  
Faculté de Technologie  
Département de Génie Electrique et Electronique

Filière : Génie Industriel Génie Productique

## Projet de Fin d'Etudes

Master : Génie Industriel

Intitulé :

# Récupération & traitement des déchets d'Equipements Electriques & Electroniques

Soutenu le 27 Juin 2018

Par

OULADKADDOUR Leila  
ZIAN Hakima

**Devant le jury**

**Président :**

KARA Ali Djamel Abdelilah      MCB      Université de Tlemcen

**Examineurs:**

BENSMACHINE Abderrahmane      MCB      Université de Tlemcen

BENSMACHINE Nardjes      MCB      Université de Tlemcen

HOUBAD Yamina      MAA      Université de Tlemcen

**Encadreur :**

SARI Mohammed      Magistère      Université de Tlemcen

**Invités :**

HAKOUM Elhadj      Directeur      CFPA de Tlemcen

BELKAID Fayçal      MCB      Université de Tlemcen

**Année Universitaire : 2017/2018**

*Dédicace*

*À mes parents ;  
À mon frère Lakhdar ;  
À mes sœurs Raïssa & Manar  
À mes chères amies Somia & Djihane ...*

*Leila*

*Dédicace*

*Ce travail modeste est dédié  
A ma chère mère et mon père  
Pour leurs soutiens,  
Qui ont toujours cru en moi et m'ont encouragé.  
A mes sœurs : Meriem, Hanane, Fatima Zohra et Khaoula  
A mon frère Bahri  
Et à tous mes proches de la famille Ziantout à son nom  
  
Et à tous mes amis, Boumediene et Ismail.*

*Hakima*

## ***Remercîment***

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

Nous tenons à remercier en cette occasion tout le corps enseignant qui à contribuer à notre formation, pour son dynamisme et la qualité de l'enseignement qui nous ont été dispensés, notre encadreur Mr. Sari Mohammed, pour son aide, son écoute, sa disponibilité et les précieux conseils qu'il a bien voulu nous donner.

Nos vifs remerciements vont à Monsieur Hakoum Elhadj, directeur du centre de formation professionnelle de Tlemcen pour avoir acceptés de nous aider dans notre projet au sein de son organisme.

Nous remercions aussi vivement Monsieur Bouchnafa Réda et toute l'équipe de la spécialité d'électrotechnique du CFPA pour leurs aides et son soutien pendant la réalisation de notre projet.

Nous remercions aussi vivement les membres de jury qui vont se pencher sur notre travail et vont lui prêter toute l'attention qu'il mérite pour l'évaluation à sa juste valeur.

Nous n'oublions pas nos parents pour leurs contributions, leur soutien et leur patience, nos proches et nos amis qui nous ont soutenu et encouragé, ainsi que toutes les personnes qui vont nous ont aidé de près ou de loin.

Merci à tous.

## Sommaire

Sommaire .....	IV
Liste des figures .....	VIII
Liste des tableaux .....	IX
Introduction générale : .....	1
1. Introduction : .....	4
2. Les déchets : .....	4
2.1. Définition : .....	4
2.2. Classification des déchets : .....	4
2.2.2. Selon la nature : .....	5
3. L'impact des déchets : .....	9
4. La valorisation des déchets : .....	10
5. Le recyclage : .....	10
5.1. Définition : .....	10
5.2. L'histoire du recyclage : (4) .....	10
5.3. Les types de recyclage : .....	11
6. La gestion des déchets en Algérie : .....	12
7. Les Déchets d'Equipements Electriques & Electroniques (DEEE) : .....	12
7.1. Définition : .....	13
8. Le classement des DEEE : .....	13
9. L'impact des DEEE : .....	14
9.1. Les substances toxiques dans les appareils électroniques : .....	15
9.1.1. Plomb .....	15
9.1.2. Mercure .....	15
9.1.3. Métaux précieux .....	15
9.1.4. Le chrome : .....	16
9.1.5. Les ignifuges bromés .....	16
9.1.6. Plastique PVC .....	16
10. Le recyclage des DEEE : .....	17
10.1. L'histoire du recyclage des DEEE : (8) .....	17
10.2. La composition des DEEE : .....	18
10.2.1. Les métaux lourds : .....	19
10.2.2. Les cartes de circuits imprimés : .....	19
10.2.3. La structure métallique : .....	19

## Sommaire

10.2.4.	La coque plastique :.....	19
10.2.5.	Le clavier :.....	20
10.2.6.	L'écran :.....	20
10.2.7.	Les batteries rechargeables :.....	20
10.2.8.	Le câblage :.....	20
10.3.	Le concept de 3RV : .....	20
10.4.	La procédure de recyclage des DEEE :.....	21
10.4.1.	La collecte : .....	21
10.4.2.	Le démantèlement : .....	21
10.4.3.	Le broyage :.....	21
10.4.4.	La séparation : .....	21
11.	Conclusion :.....	22
1.	Introduction :.....	24
2.	La logistique inverse : .....	24
2.1.	Définition de la logistique inverse :.....	24
2.2.	Les formes de la logistique inverses :.....	24
2.2.1.	La logistique verte :.....	24
2.2.2.	Le recyclage des DEEE :.....	25
2.3.	La structure de la chaîne logistique inverse : .....	25
2.4.	Etapas de la logistique inverse : .....	26
2.5.	Les problématiques liées à la logistique inverse : .....	27
2.5.1.	Problème de conception d'un réseau de logistique inverse : .....	27
2.5.2.	Problème de localisation/allocation : .....	27
2.5.3.	Problème de sélection des sites :.....	27
2.5.4.	Le problème du transport : .....	28
2.6.	Les niveaux décisionnels de la logistique inverse :.....	28
2.6.1.	Le niveau stratégique : .....	28
2.6.2.	Le niveau tactique : .....	28
2.6.3.	Le niveau opérationnel : .....	28
3.	L'aide à la décision multicritères : .....	28
4.	L'optimisation multi-objective sur la base de l'analyse des rapports (MOORA) : .....	29
4.1.	L'état de l'art : .....	29
4.2.	Définition :.....	31
4.3.	Méthodologie :.....	32
4.3.1.	La première partie : L'analyse des rapports .....	32

## Sommaire

Etape 1 :.....	32
Etape 2 :.....	32
Étape 3:.....	33
Etape 4:.....	33
Étape 5:.....	33
4.3.2. La deuxième partie : Le point de référence.....	33
4.3.3. La troisième partie : L'approche MULTIMOORA.....	34
4.3.4. La quatrième partie : MOOSRA .....	34
5. Présentation du problème :.....	35
5.1. Regroupement des points de collecte : .....	35
5.2. L'analyse multicritère d'aide à la décision :.....	39
5.2.1. La partie d'analyse des ratios :.....	40
5.2.2. La partie de point de référence :.....	41
5.2.3. La partie MULTIMOORA :.....	42
5.2.4. La partie MOOSRA : .....	42
5.2.5. Discussion : .....	43
5.3. La conception de la chaîne logistique inverse par optimisation des coûts :.....	43
5.3.1. Résolution du problème : .....	46
6. Conclusion :.....	49
1. Introduction :.....	51
2. Généralité sur l'entreprise :.....	51
2.1. Définition de l'entreprise :.....	51
2.2. Classification des entreprises : .....	51
2.2.1. En fonction de leur activité : .....	51
Entreprise artisanale : .....	51
Entreprise commerciale.....	51
Entreprise industrielle : .....	51
Société de services : .....	51
2.2.2. En fonction de leur secteur économique : .....	51
Secteur primaire : .....	51
Secteur secondaire :.....	51
Secteur tertiaire : .....	51
Secteur quaternaire :.....	51
2.2.3. En fonction de leur taille :.....	51
- Petite entreprise : .....	51

## Sommaire

- Moyenne entreprise : .....	51
- Grande entreprise : .....	51
2.2.4. En fonction de leur statut juridique : .....	52
Les entreprises publiques : .....	52
Les entreprises privées : .....	52
2.3. Les objectifs d'une entreprise : .....	52
3. Les étapes de la création de l'entreprise : .....	52
3.1. L'étude de marché : .....	53
3.2. L'étude technique : .....	55
3.2.1. Le démantèlement et la dépollution : .....	55
3.2.2. Le broyage : .....	55
3.2.3. La séparation magnétique : .....	55
3.2.4. La séparation par courant de Foucault : .....	56
3.3. L'étude organisationnelle et institutionnelle : .....	57
3.3.1. Etude organisationnelle : .....	57
3.3.2. L'étude institutionnelle : .....	61
- L'ampleur du projet : .....	63
3.4. L'étude financière : .....	63
4. Conclusion : .....	65
1. Introduction : .....	67
2. La conception assistée par ordinateur : .....	67
2.1. Le séparateur magnétique : .....	67
2.2. Le séparateur à courant de Foucault : .....	67
3. La réalisation des machines : .....	78
3.1. Les matériels utilisés : .....	78
3.1.1. Les moteurs électriques : .....	78
3.1.2. Les tambours : .....	79
3.1.3. Les engrenages et la courroie : .....	79
3.1.4. Le tapis : .....	80
3.1.5. Le rotor magnétique : .....	81
3.1.6. Les aimants : .....	81
3.1.7. Le montage des pièces : .....	82
Conclusion générale et perspectives : .....	84
Référence bibliographique .....	85



## Liste des figures

Figure 1. 1: Déchets dangereux .....	5
Figure 1. 2: Déchets ménagers et assimilés.....	7
Figure 1. 3: Déchets médicaux et pharmaceutiques. ....	7
Figure 1. 4: Déchets agricoles. ....	8
Figure 1. 5: Les déchets organiques. ....	8
Figure 2. 1: La structure de la chaine logistique inverse.....	25
Figure 2. 2: Les types de la structure de la logistique inverse. ....	26
Figure 2. 3: Les étapes de la logistique inverse.....	26
Figure 2. 4: Les approches de la méthode MOORA. ....	32
Figure 2. 5: Les points de collecte (réparateurs + vendeurs). ....	36
Figure 2. 6: Les centres de collecte. ....	37
Figure 3. 1: Organigramme de l'entreprise.....	58
Figure 4. 1: Moteur électrique.....	78
Figure 4. 2: Le tambour.....	79
Figure 4. 3: Engrenages et courroie.....	80
Figure 4. 4: Le tapis.....	80
Figure 4. 5: Le rotor magnétique.....	81
Figure 4. 6: Les aimants. ....	82
Figure 4. 7: Le montage de la machine. ....	82

## Liste des tableaux

Tableau 1. 1: La durée de décomposition des matières.....	10
Tableau 1. 2: Les substances dangereuses des composants électroniques. ....	15
Tableau 1. 3: La composition moyenne des DEEE en matières. ....	19
Tableau 2. 1: Analyse comparative entre quelque méthodes MODM. ....	31
Tableau 2. 2: les points de collecte et leur type.....	38
Tableau 2. 3: Les valeurs d'évaluation de l'environnement. ....	39
Tableau 2. 4: Les valeurs d'accessibilité des centres de collecte. ....	39
Tableau 2. 5: Les distances entre les centres et les points de collecte. ....	39
Tableau 2. 6: Les coûts de location des centres de collecte. ....	40
Tableau 2. 7: la matrice de décision. ....	40
Tableau 2. 8: des sommes et des racines des carrées des $x_{ij}$ .....	40
Tableau 2. 9: calcul du rapport des $x_{ij}$ . ....	41
Tableau 2. 10: Classement par analyse des ratios. ....	41
Tableau 2. 11: la distance entre les alternatives et le point de référence. ....	41
Tableau 2. 12: Classement par point de référence.....	42
Tableau 2. 13: Classement par MULTIMOORA.....	42
Tableau 2. 14: Classement par MOOSRA. ....	42
Tableau 2. 15: Comparaison entre les quatre approches de MOORA. ....	42
Tableau 2. 16: Les distances entre les points et les centres de collecte. ....	44
Tableau 2. 17: Les quantités estimées des point de collecte .....	45
Tableau 2. 18: Les coûts fixes d'ouverture des centres.....	45
Tableau 2. 19: La valeur $\alpha$ selon le classement de l'MCDM.....	47
Tableau 2. 20: Estimation des charges nécessaires de l'entreprise.....	65
Tableau 3. 1: Clients ciblés des métaux. ....	53
Tableau 3. 2: Les clients ciblés des plastiques. ....	54
Tableau 3. 3: Clients ciblés des métaux non ferreux.....	54
Tableau 3. 4: Les besoins en personnel. ....	61
Tableau 3. 5: Rémunération des salariés. ....	64

Introduction générale :

## **Introduction générale :**

L'augmentation de la population et sa répartition inégale sur le territoire peut causer non seulement une surexploitation des ressources naturelles, mais aussi une augmentation des besoins à satisfaire, donc une augmentation de la production des déchets, l'accroissement des déchets dans le milieu naturel sans être traités, constitue une menace sur la société, la santé humaine, l'économie, les espèces vivantes, la production alimentaire, le tourisme et l'écologie.

Avec cette croissance de consommation nous ne pourrons pas diminuer le rejet des déchets tant que l'on n'exploitera pas les ressources d'une façon intelligente et en prévenant le gaspillage inutile.

Le rapide essor de l'utilisation mondiale des appareils électriques et électroniques est à l'origine d'une forte augmentation de la quantité des déchets électroniques fabriqués aux quatre coins du globe. La complexité des éléments qui les composent, la dangerosité ou la toxicité de certaines substances contenues, et l'impact sur l'environnement via l'exploitation de matières premières qui entrent dans leur composition justifient pleinement une gestion spécifique des déchets qui résultent de ces équipements une fois qu'ils sont usagés. De plus, ces déchets représentent une source intéressante de matières premières secondaires.

Les déchets électroniques sont exportés vers des pays ne disposant pas des ressources nécessaires pour prendre en charge les déchets eux-mêmes, ni leurs conséquences sur la santé et l'environnement. Brûler, décomposer ou consigner les déchets électroniques dans des décharges ne résout pas le problème. Avec le temps, plus de 1 000 substances décelées dans les déchets électroniques, notamment le plomb, le cadmium et le mercure, peuvent être libérées et s'évaporer dans l'écosystème.

Les activités informelles de la chaîne de recyclage des déchets électroniques se retrouvent dans tous les pays ayant fait l'objet de l'étude et comportent la collecte, le démantèlement manuel, l'incinération à ciel ouvert pour la récupération des métaux et le déversement à ciel ouvert des résidus. Alors que dans certains pays, ces activités sont menées par des individus à faible production matérielle

Les émissions provenant des activités de recyclage informelles posent problème dans ces pays et leur impact sur la santé humaine et l'environnement sont souvent manifestes. Les impacts de ces activités de recyclage sur la santé humaine et l'environnement.

En Algérie, nous sommes bien en retard en matière de recyclage des déchets électroniques, car il n'y a pas de loi spécifique relative au traitement des déchets électroniques. L'Etat n'a pas encore accordé une grande importance à ce domaine. La loi 19-01 du 12 décembre 2001 relative au contrôle et à la gestion des déchets, notamment l'article 3 qui reste vague à ce sujet, il ne cible pas les déchets d'équipements électriques électroniques. Ils sont considérés comme des déchets inertes ou spéciaux. Toutefois, bien qu'il n'existe pas de loi spécifique aux DEEE, leur gestion nécessite une prise en charge par des entreprises qui seront spécialement créées pour faire le ramassage, le tri et la récupération de ce genre de déchets. Cela en plus de campagnes de sensibilisation de la population au sujet des dangers que représentent certains composants des appareils électroniques sur la santé et sur l'environnement.

## Introduction générale :

Le gisement que constituent nos déchets d'équipements électriques et électroniques (DEEE) est un vrai gisement de métaux précieux en Algérie. Rentable, mais, bizarrement, personne ne semble vouloir en parler. Le gros des DEEE est constitué de pièces contenues dans les ordinateurs, téléphones, postes radio, les appareils électroménagers... Il serait intéressant de se poser quelques questions très simples et très pertinentes. Quoi faire avec ces déchets et que deviennent-ils ?

L'objectif de ce travail est de mettre au point une stratégie de récupération et de collecte des DEEE en minimisant les charges de transport et de stockage, et traitement de ces déchets sur des machines de séparation à savoir : le séparateur magnétique et le séparateur par courant de Foucault, et finalement une étude sur la possibilité de création d'une unité de recyclage des DEEE en Algérie.

Notre travail est composé de trois parties essentielles : une première dévoilera la stratégie de collecte des déchets, une deuxième partie sera consacrée à la création de l'entreprise de traitement de ces déchets, et une troisième sera réservée à la réalisation du projet.

Dans le chapitre 1 une étude théorique générale sur la gestion des déchets, leur dangerosité et la nécessité de les récupérer et recycler.

Le chapitre 2 portera sur la conception d'un réseau de collecte des déchets électroniques dans la ville de Tlemcen, en utilisant une méthode d'aide à la décision multicritères et une modélisation mathématique accompagnée par l'exécution sous logiciel Lingo.

Dans le chapitre 3 une étude de faisabilité d'une entreprise de recyclage des DEEE, cette étude comporte l'étude de marché, l'étude technique et l'étude financière du projet.

Le quatrième chapitre portera sur la conception assistée par ordinateur des différentes machines de traitement des déchets électroniques avec une explication détaillée de la réalisation du projet.

# Chapitre I : Généralités

## **1. Introduction :**

Au début du XXI<sup>ème</sup> siècle, les ordinateurs et les autres technologies de l'information et des communications sont devenus des outils de travail et de loisir incontournables. Souvent complémentaires du fait de leur composition ou de leur fonction.

Face à l'utilisation croissante d'appareils électroniques et à leur évolution technologique fulgurante, Cette consommation importante d'équipements électroniques et leur rapide obsolescence ont pour conséquence une production importante de déchets électroniques. La question relative à leur traitement se fait de plus en plus pressante.

## **2. Les déchets :**

### **2.1.Définition :**

Dans le langage courant, le terme déchets désigne ordure, immondice, ou tout autre résidu rejeté parce qu'il n'est plus consommable ou utilisable et donc n'a plus de valeur.

Selon le législateur français, la loi du 15 juillet 1975<sup>1</sup>, a considéré un déchet comme: « Tout résidu d'un processus de production, de transformation ou d'utilisation, toute substance, matériau, produit, ou plus généralement tout bien meuble abandonné ou que le détenteur destine à l'abandon » (article L.541-1-1 du Code de l'environnement). [1]

Selon La loi n° 01-19 du 12 décembre 2001<sup>2</sup>, déchets est tout résidu d'un processus de production, de transformation ou d'utilisation, toute substance, matériau, produit ou, plus généralement, tout objet, bien meuble dont le détenteur se défait, projette de se défaire, ou dont il a l'obligation de se défaire ou de l'éliminer.

Directive européenne du 18 mars 1991 : « Toute substance ou tout objet dont le détenteur se défait ou dont il a l'intention ou l'obligation de se défaire ».

### **2.2.Classification des déchets :**

#### **2.2.1. Selon la réglementation algérienne :**

Déchets ménagers et assimilés : tous déchets issus des ménages ainsi que les déchets similaires provenant des activités industrielles, commerciales, artisanales, et autres qui, par leur nature et leur composition sont assimilables aux déchets ménagers.

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

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

---

<sup>1</sup>Loi n° 75-633 du 15 juillet 1975 relative à l'élimination des déchets et à la récupération des matériaux

<sup>2</sup> Loi n° 01-19 du 12 décembre 2001 de la réglementation algérienne relative à la gestion, au contrôle et à l'élimination des déchets.

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

### 2.2.2. Selon la nature :

Déchets dangereux : les déchets dangereux sont les déchets issus de l'activité industrielle contiennent, en quantité variable, des éléments toxiques ou dangereux qui présentent des risques pour la santé humaine et l'environnement et qui de ce fait, nécessitent un traitement particulier, adapté à leur dangerosité. Un déchet dangereux présente une ou plusieurs des caractéristiques suivantes : explosif, comburant, inflammable, irritant, nocif, toxique, cancérogène, infectieux, corrosif, mutagène, ...



Figure 1. 1: Déchets dangereux

Les déchets dangereux sont généralement répartis en deux grandes familles :

Les déchets industriels spéciaux : Ils correspondent aux déchets produits par les entreprises industrielles ainsi que les déchets spéciaux produits par les hôpitaux, les laboratoires et les agriculteurs. Ils contiennent des éléments toxiques et représentent un réel danger pour la santé et pour l'environnement. On peut les diviser en trois catégories :

- Les déchets organiques ;
- Les déchets minéraux liquides et semi liquides ;
- Les déchets minéraux solides.

Les déchets toxiques en quantités dispersées : Ils sont produits en petites quantités par les ménages, les commerçants ou les petites, les moyennes et les grandes entreprises, qui sont chargés de les faire éliminer ou valoriser dans les installations spéciales, dont la fonction est la protection de l'environnement.

Déchets non dangereux : les déchets non dangereux sont les déchets qui ne sont pas toxiques et ils ne constituent pas un risque sur la santé ou l'environnement parce qu'ils ne

présentent aucune des caractéristiques relatives au degré de dangerosité. Ils sont principalement générés par les entreprises et les industriels, mais aussi par les collectivités et les ménages.

Le traitement de ces déchets permet de les transformer en matières réutilisables ou en matières premières secondaires et de limiter ainsi l'épuisement des matières premières.

Typologies des déchets acceptés [2]

- Déchets Industriels Banals (D.I.B)
- Ordures ménagères résiduelles (O.M.R.)
- Encombrants
- Emballages valorisables en mélange ou pré-triés
- Bois A et Bois B
- Déchets verts
- Papiers, cartons
- Verre
- Déchets minéraux (sable, laitiers...)
- Déchets volumineux (laine de verre, polystyrène...)
- PVC (menuiserie)

Déchets inertes : les déchets inertes sont les déchets qui ne subissent aucune modification physique, chimique ou biologique importante. Les déchets inertes ne se décomposent pas, ne brûlent pas et ne produisent aucune réaction physique ou chimique, ne sont pas biodégradables et ne détériorent pas d'autres matières avec lesquelles ils entrent en contact, d'une manière susceptible d'entraîner une pollution de l'environnement ou nuire à la santé humaine.

Déchets ultimes : déchets qui ne sont plus valorisables, ni par recyclage, ni par valorisation énergétique.

Un déchet résultant ou non du traitement d'un déchet, qui n'est plus susceptible d'être traité dans les conditions techniques et économiques du moment, notamment par extraction de la part valorisable ou par réduction de son caractère polluant ou dangereux<sup>3</sup>.

### **2.2.3. Selon l'origine :**

Déchets ménagers et assimilés : les déchets issus des ménages et tout déchet provenant des activités économiques, commerciales ou artisanales et qui par leur nature, leur composition et leurs caractéristiques, sont similaires aux déchets ménagers.

---

<sup>3</sup>. La loi du 15 juillet 1975 relative à l'élimination des déchets et la récupération des matériaux art 1.





Figure 1. 2: Déchets ménagers et assimilés.

Déchets des Activités Economiques (DAE) : il s'agit de déchets d'entreprises qui s'apparentent, par leur nature et leur composition, aux déchets ménagers. La loi considère qu'ils sont « assimilables aux déchets ménagers » et peuvent ainsi être collectés et éliminés comme tels.

Déchets industriels : tout déchet résultant d'une activité industrielle, agroindustrielle, artisanale ou d'une activité similaire ;

Déchets médicaux et pharmaceutiques : tout déchet issu des activités de diagnostic, de suivi et de traitement préventif, palliatif ou curatif dans les domaines de la médecine humaine ou vétérinaire et tous les déchets résultant des activités des hôpitaux publics, des cliniques, des établissements de la recherche scientifique, des laboratoires d'analyses opérant dans ces domaines et de tous établissements similaires ;



Figure 1. 3: Déchets médicaux et pharmaceutiques.

Déchets agricoles : tout déchet organique généré directement par des activités agricoles ou par des activités d'élevage ou de jardinage (gazon, branchage...);



Figure 1. 4: Déchets agricoles.

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



Figure 1. 5: Les déchets organiques.



### 3. L'impact des déchets :

Dans ces dernières décennies, les questions environnementales occupent la majeure partie des débats internationaux, nationaux et régionaux suite aux menaces que subit l'environnement par les effets induits des activités de l'homme. Les concentrations sociales, l'intensification des activités industrielles, lancement de nouveaux produits consommables (matériaux plastiques, polymères, textiles, colorants synthétiques, détergents ménagers...) ont complètement modifié la gestion des déchets. Les résidus s'accumulent, et même lorsqu'ils sont biodégradables, ils sont rejetés en quantité telle que les mécanismes naturels de résorption, métabolisation et fermentation, sont profondément perturbés. C'est ainsi que les pollutions par les déchets ont pris de nos jours.

La production des ordures ménagères par habitant et par jour est très variable d'une région à une autre et aussi entre le milieu urbain et rural. Les variations peuvent exister au sein d'un même quartier en fonction de type d'habitation haut standing, moyen standing ou économique. Les dépôts d'ordure ménagers représentent non seulement une pollution esthétique du cadre de vie, mais ils sont surtout une source très diverse de maladies. Paludismes, intoxication alimentaires, fièvre typhoïde, choléra... Or l'accumulation des ordures dans une ville, quelle qu'en soit la cause, porte préjudice à la santé. Elles peuvent être à l'origine de la prolifération de microbes, parasites et autres vecteurs de maladies. Par ailleurs, la putréfaction engendre des odeurs incommodes et vapeurs irritantes, susceptibles de provoquer des phénomènes allergiques voire des pneumonies. En effet lors de la putréfaction, les ordures ménagères dégagent des gaz toxiques, comme l'hydrogène sulfureux, le méthane, le dioxyde de carbone... ainsi que des animaux qui vivent de ces reliefs : salmonelles, mouches, moustiques, rats, souris.

Les déchets mis en décharges continuent de se dégrader pendant de longues années et produisent ainsi des lixiviats, c'est à dire un jus lié notamment à la dégradation de la matière organique. En période de pluie, le lixiviat peut contaminer les eaux superficielles et lorsque les conditions d'imperméabilité des sols sont insuffisantes, celui peut polluer les nappes phréatiques. Ces décharges émettent également du méthane qui est un gaz à effet de serre. Ce gaz participe au réchauffement de la planète. Dans un périmètre proche d'une décharge, il existe toujours des emballages qui ont été transportés par le vent et qui polluent les écosystèmes aquatiques voisins.

On peut noter que si les transferts par les zones humides permettent effectivement d'atténuer la pollution organique (effet de lagunage). Il ne s'agit que d'un pouvoir tampon pour les éléments trace métalliques : fixation dans les sédiments et les végétaux. En d'autres termes, ce n'est pas parce que la décharge pollue modérément aujourd'hui qu'elle n'engendrera pas de pollutions plus graves demain.

La durée de décomposition de quelques matières :

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

Tableau 1. 1: La durée de décomposition des matières. [3]

#### **4. La valorisation des déchets :**

Il existe plusieurs types de valorisation des déchets :

Le recyclage : est la réutilisation des matériaux qui composent un produit en fin de vie.

Le compostage : une méthode de valorisation biologique qui permet la formation d'un apport organique qui s'appelle « compost ».

L'épandage de boues issues des stations d'épurations des eaux usées, il permet un amendement organique des terres agricoles. Il faut limiter ce type d'amendement car les métaux lourds présents dans celles-ci sont susceptibles, à forte concentration, de polluer les sols et les nappes phréatiques.

L'incinération avec récupération d'énergie : cette valorisation énergétique permet la production de la chaleur et/ou d'électricité tout en réduisant considérablement le volume des déchets.

#### **5. Le recyclage :**

##### **5.1.Définition :**

Le recyclage est un procédé qui consiste à réutiliser partiellement ou totalement les matériaux qui composent un produit en fin de vie pour en fabriquer de nouveaux. C'est-à-dire valoriser un objet et le transformer en matière première.

Le recyclage des déchets présente des avantages :

- Il permet d'abord d'économiser de la matière première et donc de préserver les ressources naturelles de notre planète.
- Il permet de réduire le volume et le poids de nos poubelles et donc de limiter les risques de pollution de l'air et des sols.
- Il permet d'éviter la mise en décharge et l'incinération des déchets à ciel ouverts.

##### **5.2.L'histoire du recyclage : [4]**

Le recyclage des déchets n'est pas né hier, et précède même de plusieurs siècles l'invention des poubelles. Brève histoire d'un principe millénaire, de l'antiquité jusqu'au recyclage industriel.

Les historiens ne doutent pas que le principe du recyclage ait accompagné le développement des premiers artisanats humains, dont un certain nombre de recherches archéologiques prouvent que les proto-décharges de la Grèce antique – aux alentours de – 400 avant JC contenaient moins d'outils usagés ou de vases brisés lors des périodes de récession.

Ce qui impliquerait un réemploi systématique des matériaux, refondus pour être transformés en nouvelles pièces.

L'idée fait alors son chemin au sein des différentes communautés humaines, et prend de nouvelles formes. Dans la Chine du 1<sup>er</sup> siècle, le ministre de l'agriculture de la dynastie Han recommande de faire bouillir de vieux chiffons de lin afin de fabriquer du papier.

En Angleterre, les premiers recycleurs professionnels se lancent dans la collecte systématique de la poussière et des cendres générées par les feux de cheminées, puis les revendent aux fabricants de briques, qui voient en elles un matériau de base particulièrement économique.

Au XIX<sup>ème</sup> siècle, les activités de recyclage prennent un nouvel essor avec la révolution industrielle. A Paris en 1870, un arrêté gouvernemental interdit enfin le dépôt de déchets sur les voies publiques, et contraint tout citoyen à s'équiper d'un récipient personnel. Le préfet de la Seine Eugène Poubelle oblige les parisiens à placer un couvercle sur les dits récipients, et donne son nom à ce nouvel objet : la poubelle.

Parallèlement, la filière du recyclage se professionnalise. Ferrailleurs, chiffonniers et crieurs divers patrouillent les rues des villes européennes, une charrette dans leur sillage, pour récupérer les matières recyclables. Les premiers centres de recyclage font leur apparition, et ces collecteurs y trient les ferrailles, les poteries ou les boîtes de conserves des autres détritiques pour n'y laisser que les matières organiques. Qui seront par exemple utilisées pour faire du compost.

Dans l'Europe en guerre du début du XX<sup>ème</sup> siècle, La ferraille collectée devient une matière première cruciale, refondue pour fabriquer des armes ou des chemins de fer. Au fil des années, la collecte des déchets se modernise et s'intensifie. Lors de la seconde guerre mondiale, le recyclage d'objets du quotidien s'accélère chez les particuliers. Chiffons, tissus usagés, pulls en fin de vie ou encore boutons sont systématiquement récupérés, réutilisés à domicile ou revendus aux professionnels.

Dans les années 70, le tri et le recyclage professionnel s'accélère encore avec la prise de conscience collective du problème environnemental. Progressivement, états et industries le favorisent, les premiers textes de lois encadrant ces activités apparaissent, les premières sociétés de recyclage sont fondées et ce secteur entre à son tour dans l'ère de l'industrialisation. Et n'a cessé, jusqu'à aujourd'hui, de se perfectionner. [4]

### **5.3. Les types de recyclage :**

Il existe trois grandes familles de techniques de recyclage : chimique, mécanique et organique.

Le recyclage chimique : est un recyclage qui utilise une réaction chimique pour traiter les déchets ;

Le recyclage mécanique : est la transformation des déchets à l'aide d'une machine, par exemple le broyage ou la séparation par le magnétisme ;

Le recyclage organique : consiste, après compostage ou fermentation, à produire des engrais ou du carburant tel que le biogaz.

## **6. La gestion des déchets en Algérie :**

La gestion se définit selon le Petit Larousse comme étant l'action ou la manière de gérer, d'administrer, de diriger, d'organiser quelque chose. C'est une définition plus générale et par conséquent peu précise lorsqu'on parle de la gestion des déchets. La réglementation algérienne (loi 01-19 du 12 décembre 2001) définit la gestion des déchets comme « Toute opération relative à la collecte, au tri, au transport, au stockage, à la valorisation et à l'élimination des déchets, y compris le contrôle de ces opérations »

Avec la croissance démographique et celle de la consommation, l'Algérie connaît une augmentation remarquable des déchets, dont la quantité estimée des déchets solides générés annuellement est près de 13 millions de tonnes, et plus de la moitié de cette quantité est constitués de déchets ménagers et assimilés (DMA). [5]

La loi n°01-19, a apporté une nouvelle dynamique qui repose sur le principe de hiérarchisation ; c'est-à-dire la prévention par la réduction des déchets à la source, le développement de la réutilisation et du recyclage, la responsabilité des producteurs, la réduction de l'incinération et de l'enfouissement. L'objectif, aujourd'hui, est d'améliorer les performances des consignes de tri, de développer des filières de recyclage et de valorisation. La prévention est donc la première priorité de la politique nationale des déchets.

En effet, durant cette année une attention particulière est accordée à la collecte sélective à travers la mise en place de déchetteries et de centres de tri déjà opérationnels qui permettront à cette industrie de récupération et de valorisation des déchets de se mettre en place progressivement à l'échelle nationale.

La gestion, le contrôle et l'élimination des déchets reposent sur les principes suivants :

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

## **7. Les Déchets d'Équipements Electriques & Electroniques (DEEE) :**

Dans les premières années du développement de l'électronique, celle-ci était réservée à certains domaines particuliers : l'industrie militaire dans un premier temps, puis le monde de l'aérospatial et la recherche, en particulier le milieu médical. Décennie après décennie, l'accès aux équipements électroniques s'est démocratisé dans les pays occidentaux, dans le milieu professionnel comme dans l'équipement personnel. Finalement, la révolution des communications avec l'internet et le téléphone portable a consacré la place de l'électronique dans la vie quotidienne.

Aujourd'hui, les équipements électroniques se sont installés dans tous les compartiments de la vie : au bureau, à l'usine, dans les moyens de transport, dans la cuisine, dans l'atelier, dans les outils de communication, dans les jouets, etc. Conséquemment, le devenir des équipements informatiques en fin de vie est une problématique qui prend de plus en plus

d'ampleur et qui sera amplifiée dans les prochaines décennies avec l'essor des pays en développement. Les déchets informatiques présentent des caractéristiques spécifiques, dont la présence de matières dangereuses et un nombre très important de matières de base. Des modes de gestion particuliers de ces déchets doivent être mis en place pour en assurer un traitement adéquat.

### **7.1.Définition :**

La notion de déchets électroniques comprend l'ensemble des déchets issus des appareils électriques et électroniques et leurs composants. Un Équipement Électrique et Électronique (EEE) est un équipement fonctionnant grâce à un courant électrique ou à un champ électromagnétique, ou un équipement de production, de transfert ou de mesure de ces courants et champs, conçu pour être utilisé à une tension ne dépassant pas 1000 volts en courant alternatif et 1500 volts en courant continu. Font partie de ces déchets : les appareils électroménagers, l'électronique de loisir, les appareils informatiques et bureautiques, ceux utilisés pour les distributeurs de billets, les outils électriques, les installations de mesure, de commande et de réglage, les installations d'éclairage, les jouets, les montres, les appareils de laboratoires et les appareils médicaux, les appareils d'enregistrement et de reproduction d'images etc... dans la mesure où ils contiennent des composants électriques ou électroniques.

## **8. Le classement des DEEE :**

Les 10 catégories actuelles des EEE sont les suivantes [6] :

- Catégorie 1 : gros appareils ménagers froid et hors froid (GEM) ;
- Catégorie 2 : petits appareils ménagers (PAM) ;
- Catégorie 3 : équipements Informatiques et de télécommunications (Dans le cadre français, sont ajoutées les catégories 3A : Ecrans, moniteurs et équipements comprenant des écrans d'une surface supérieure à 100 cm<sup>2</sup>, 3B : Autres équipements informatiques et de télécommunications) ;
- Catégorie 4 : matériel grand public (Dans le cadre français, sont ajoutées les catégories 4A : Ecrans, moniteurs et équipements comprenant des écrans d'une surface supérieure à 100 cm<sup>2</sup>, 4B : autres matériels grand public) ;
- Catégorie 5 : matériel d'éclairage ;
- Catégorie 6 : outils électriques et électronique ;
- Catégorie 7 : jouets, équipements de loisir et de sports ;
- Catégorie 8 : dispositifs médicaux ;
- Catégorie 9 : instruments de surveillance et de contrôle ;
- Catégorie 10 : distributeurs automatiques ;
- Catégorie 11 : panneaux photovoltaïques.

Sont exclus de ces catégories [6]:

- Les équipements électriques et électroniques liés à la protection des intérêts essentiels de sécurité de l'Etat, les armes et les munitions et autres matériels de guerre, s'ils sont liés à des fins exclusivement militaires.
- Les équipements électriques et électroniques faisant partie d'un autre type d'équipement qui n'est pas lui-même un équipement électrique ou électronique au sens des différentes catégories citées ci-dessus

Suite à la révision de la directive, en 2018 les EEE se décomposeront selon les sept catégories d'équipements suivantes :

- Catégorie 1 : équipements d'échange thermique ;
- Catégorie 2 : écrans, moniteurs et équipements comprenant des écrans ;
- Catégorie 3 : lampes ;
- Catégorie 4 : gros Equipements ;
- Catégorie 5 : petits Equipements ;
- Catégorie 6 : petits équipements informatiques et de télécommunications ;
- Catégorie 7 : panneaux photovoltaïques (décret français uniquement).

### **9. L'impact des DEEE :**

Les conséquences environnementales de la production des biens électriques et électroniques dépassent de loin celles de la fabrication d'autres produits.

Depuis le début des années 90, le problème lié aux déchets électroniques est en point de mire des milieux spécialisés. De plus, la quantité de déchets électroniques produite augmente en raison du nombre croissant d'appareils utilisés dans les ménages, les bureaux et plus généralement dans le monde moderne.

Lors de sa vie utile, un équipement informatique ne pose généralement pas de problème d'émission de substances toxiques. En tant que déchet électronique par contre, ces équipements sont potentiellement en mesure d'émettre de nombreux éléments toxiques si la gestion de la fin de vie de ces équipements n'est pas assurée adéquatement et ne respecte pas l'environnement.

Tout cela a des conséquences néfastes sur l'environnement, car environ 70 % des matières premières des déchets spécifiques sont contaminées et ne sont pas toujours correctement traitées. En outre, dans de nombreux pays, la population n'a pas conscience des problèmes engendrés par les déchets informatiques et cela augmente le problème.

Les appareils électriques et électroniques sont des produits complexes, fabriqués à partir de nombreuses matières ayant des effets sur l'environnement et l'élimination et le recyclage de ce genre de déchets constitue un problème à cause de ces matières polluantes comme le plomb, le cadmium ou le biphénylène surchloré.



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

Tableau 1. 2: Les substances dangereuses des composants électroniques. [7]

## 9.1. Les substances toxiques dans les appareils électroniques :

### 9.1.1. Plomb

Le traitement inadéquat des déchets informatiques peut amener à une contamination de l'air, de l'eau et du sol par le plomb et ses composés inorganiques. Lors de l'incinération des déchets, le plomb utilisé pour les soudures peut être volatilisé dans l'air.

L'oxyde de plomb qui est contenu dans le tube cathodique est soluble et il peut contaminer le sol ou les eaux par l'intermédiaire des eaux de lixiviation si ces déchets sont enfouis

Le plomb est toxique pour l'humain de façon chronique. Il est bioaccumulable et possède des effets néfastes sur le système digestif, le système nerveux, le système sanguin et les reins.

### 9.1.2. Mercure

Le mercure est présent principalement dans les batteries et dans les écrans plats.

Le mercure est bioaccumulable et possède des effets néfastes, tant en exposition aiguë que chronique. Absorbé principalement par les voies respiratoires sous forme de vapeur ou par la peau, il a des effets sévères sur le système nerveux central et périphérique. Il se volatilise à température ambiante et dans l'eau, il forme du méthyl-mercure qui contamine les sédiments et toute la chaîne alimentaire. L'incinération et l'enfouissement non contrôlés des déchets électroniques contribuent donc à la contamination de l'environnement par le mercure.

### 9.1.3. Métaux précieux

Plusieurs métaux précieux sont utilisés dans les TIC comme élément dans les composants électroniques, dans les piles ou encore dans les autres parties de l'équipement. Lorsque les

équipements sont disposés, les métaux précieux peuvent être émis dans l'environnement avec des conséquences dangereuses pour certains :

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

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

### **9.1.4. Le chrome :**

Ce produit était utilisé couramment comme agent de placage pour le traitement des métaux ferreux, mais son utilisation tend à diminuer du fait de sa toxicité.

L'incinération et l'enfouissement non contrôlés sont tous les deux des sources d'émissions de chrome dans l'environnement.

Il présente des effets hautement toxiques pour l'humain lors d'une exposition chronique, dont des troubles respiratoires, des dommages hépatiques et rénaux, des risques accrus de cancer et des modifications du bagage génétique. Il est de plus un contaminant pour l'environnement.

### **9.1.5. Les ignifuges bromés**

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

### **9.1.6. Plastique PVC**

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

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

## **10. Le recyclage des DEEE :**

La question du recyclage des déchets électriques et électroniques (DEEE) prend une importance grandissante du fait de l'explosion de la consommation de ces appareils. Les appareils usagés sont la plupart du temps évacués avec les déchets ménagers. Ce type d'évacuation soulève diverses difficultés. D'une part, la mise au rebut des déchets sans tri préalable entraîne une émission de polluants incontrôlée, lorsque ces derniers sont déposés dans des décharges ou incinérés. D'autre part, ce type d'évacuation ne respecte pas la loi sur l'élimination des déchets et la gestion des déchets qui impose le tri et la séparation des déchets selon leur nature en vue de leur traitement.

### **10.1. L'histoire du recyclage des DEEE : [8]**

La nécessité d'en prévenir la production, afin d'en réduire le futur gisement, s'est progressivement imposée depuis le milieu des années 1970, en particulier dans l'espace politique et marchand de l'Union Européenne. Ici, la « réduction des déchets à la source » s'est en effet imposée comme une priorité, dans le cadre d'un objectif global de développement économique durable. Dans le cadre du principe de la réduction à la source, l'Organisation de coopération et de développements économiques (OCDE), a lancé le principe du pollueur-payeur (PPP), qui responsabilise les responsables de la pollution de l'environnement.

A partir des années 1990, le problème de l'accumulation de Déchets d'Equipements Electriques et Electroniques (DEEE) a été progressivement mis en forme, surtout par la mobilisation des mouvements environnementalistes, comme menace pour l'environnement et comme problème émergeant à niveau global demandant ainsi à être régulé. Dans cette période plus de 90% des DEEE étaient mis en décharge, incinérés ou récupérés sans traitement préalable et, par conséquent, une grande partie des substances dangereuses trouvées dans les déchets municipaux provenaient des DEEE.

Dans le cadre de la gestion des déchets dangereux, 172 pays ont signé la convention de Bâle, en 1992, qui régleme strictement l'exportation des déchets dangereux des pays riches vers les pays pauvres. Dans la foulée, l'union européenne s'est dotée en 2005 de deux directives relatives aux DEEE. La première organise les filières de collecte et de recyclage de ces déchets dans chaque pays européen. La seconde limite l'utilisation de six matières dangereuses (plomb, mercure, cadmium, chrome hexavalent, des inhibiteurs de flammes comme les Biphényles Poly-Bromés PBB et les Ethers Biphényles Poly-Bromés PBDEs) dans les équipements vendus sur le marché européen.

La composition des équipements électriques et électroniques est très variable d'un équipement à un autre (métaux ferreux, non ferreux et rares, matériaux inertes, plastiques, gaz à effet de serre, piles et accumulateurs, tubes cathodiques avec luminophores contenant des terres rares, écrans à cristaux liquides, commutateurs au mercure, etc.). Cette composition complexe conduit à une diversité des modes de traitement en fin de vie. Le décret n°2005-829 et son arrêté du 23 novembre relatif aux modalités de traitement des déchets d'équipements électriques et électroniques imposent par ailleurs des objectifs de valorisation et de recyclage élevés. Par ailleurs, la limitation de certaines substances polluantes (arrêté du 25

novembre 2005) conduit à des développements pour trouver des matériaux de substitution et des techniques de détection ou d'extraction de ces polluants afin de recycler la matière.

La Commission européenne a déjà préparé en 1998 un premier projet de directive minimisant la charge environnementale des DEEE, afin de prévenir et réduire ce type de déchets et de promouvoir leur réutilisation et leur recyclage. Cette directive a finalement été adoptée en 2002. Elle est rédigée selon le modèle de la responsabilité des producteurs : les producteurs - et les importateurs - doivent assumer la responsabilité de leurs produits, également en phase d'élimination. En plus de chercher à prévenir la production de déchets et d'optimiser l'utilisation des ressources dans le développement du produit, la directive contient des objectifs concernant la collecte et la récupération des équipements électriques et électroniques à la fin de leur vie utile.

La directive 2002/96/CE du parlement européen et du conseil du 27 Janvier 2003, dite « directive DEEE », fixe le cadre réglementaire européen selon lequel sont organisés, dans chaque état membre, la collecte sélective et le traitement des déchets d'équipements électriques et électroniques.

Les principaux objectifs de la directive DEEE 2002/96 / CE étaient de prévenir la production de DEEE et, en outre, d'améliorer la réutilisation, le recyclage et la valorisation des DEEE plutôt que leur élimination pour réduire les impacts environnementaux et sanitaires des DEEE. En outre, il vise à harmoniser les mesures nationales des États membres en matière de gestion des DEEE afin d'éviter les approches nationales susceptibles d'entraver l'efficacité des politiques de recyclage et de provoquer des disparités substantielles dans la charge financière au niveau de l'UE. Ces objectifs devraient être atteints par un large éventail d'exigences des opérateurs impliqués dans le cycle de vie des DEEE, y compris les producteurs, les consommateurs et, en particulier, les opérateurs directement impliqués dans le traitement des DEEE.

Depuis les années 2000, les textes de lois se multiplient pour encadrer la fin de vie déchets électriques et électroniques. La filière grand public de la collecte de DEEE s'est organisée autour de 4 organismes agréés chargés pour les professionnels, producteurs et utilisateurs des marchandises électriques et électroniques, la date marquante est 2005. A partir de 2006, un producteur d'appareils électriques ou électroniques est responsable du recyclage et de la valorisation de ces futurs déchets. Le professionnel peut s'en charger lui-même ou faire appel à la société spécialisée de son choix. Depuis 2010, la loi est plus contraignante face aux entreprises récalcitrantes, notamment en appliquant des amendes voire même une suspension d'activités. Tous les produits mis sur marché après 2005 disposent d'une signalétique adaptée : une poubelle barrée qui signifie que ce déchet ne se jette pas.

### **10.2. La composition des DEEE :**

Malheureusement, les équipements numériques récents ont une durée de vie de quelques années seulement, voire de quelques mois, et leurs technologies s'avèrent rapidement obsolète ; de plus, les DEEE n'entrent généralement pas dans le circuit de traitement des déchets classiques à cause de leur composition dangereuse. Ils sont composés d'environ 1000 matières différentes contenant des substances toxiques pouvant causer des pollutions lors du stockage ou d'incinération. On y compte des métaux lourds comme le mercure, le plomb, le

cadmium, le chrome...etc. Les limites de séparation et de tri ont été en partie largement dépassées en raison de l'existence de matériaux composites contenant des matières atteignant des ordures de grandeurs microscopiques.

La composition moyenne des DEEE est comme suite :

<b>Matières</b>	<b>Quantités (%)</b>
Fer et acier	50
Non ferreux	13
Plastique	21
D'autres	16

Tableau 1. 3: La composition moyenne des DEEE en matières.

D'autre part, les déchets électroniques contiennent des matières premières précieuses, y compris de nombreux métaux rares. Excepté pour les condensateurs et quelques matières plastiques, la technologie permet à présent de retraiter la plupart des composants d'un appareil électrique ou électronique en vue de leur recyclage. Il est possible de recycler jusqu'à 95 % du poids d'une armoire électrique utilisée dans les techniques de commande industrielle.

#### **10.2.1. Les métaux lourds :**

Le plomb incorporé au verre du tube à rayons cathodiques protège l'utilisateur des radiations. La quantité de plomb varie entre 0,4 et 3 kg pour un écran, selon la taille et l'année de fabrication, la moyenne classique étant de 1,36 kg<sup>17</sup>.

Les écrans plats ne renferment pas de plomb et consomment 33 % moins d'énergie qu'un écran cathodique de même surface d'affichage. Par contre, chaque écran plat renferme entre 0,12 mg et 5 mg de mercure servant au rétroéclairage, de même que de l'arsenic utilisé pour prévenir la formation de défauts (bulles d'oxygène) pendant la production du verre<sup>19</sup>. Du côté des téléphones cellulaires, ce sont davantage l'arsenic, le cadmium, le plomb et les retardateurs de flammes présents dans le plastique de l'appareil qui représentent un danger. [9]

#### **10.2.2. Les cartes de circuits imprimés :**

Les cartes de circuits imprimés, ces plaquettes multicolores et en relief où se trouvent les circuits de l'ordinateur, contiennent divers métaux lourds, dont le mercure, le cadmium et une légère quantité de plomb. Les concentrations de plomb sont cependant beaucoup moins élevées que dans les tubes à rayons cathodiques.

Les cartes électroniques assurent l'intelligence de l'équipement. Elles sont constituées de plaques formées d'un assemblage de cuivre, de résine époxy (un plastique thermodurcissable) et de fibre de verre, sur lesquels les composants électroniques sont soudés. La soudure est composée d'un mélange d'étain et de plomb. Dans les appareils les plus modernes, de la soudure sans plomb est utilisée pour des considérations environnementales.

#### **10.2.3. La structure métallique :**

Elle rigidifie l'équipement. Les métaux utilisés sont principalement des métaux ferreux et de l'aluminium ; [9]

#### **10.2.4. La coque plastique :**

Elle protège l'équipement. Les plastiques utilisés sont de diverse nature. On retrouve en particulier de l'acrylonitrile butadiène styrène (ABS) et du polychlorure de vinyle (PVC). Des

produits chimiques sont incorporés aux plastiques pour améliorer leur performance, en particulier des retardateurs de flammes (ignifuges bromés) ; [9]

#### **10.2.5. Le clavier :**

Tout comme précédemment, il est composé de plastique auquel sont ajoutés différents additifs ;

#### **10.2.6. L'écran :**

Deux technologies existent actuellement sur le marché : l'écran à tube cathodique et l'écran plat. La technologie à tube cathodique utilise principalement du verre auquel est incorporé du plomb. Les écrans plats ne contiennent plus de plomb, mais cette nouvelle technologie requiert l'emploi de mercure ; [9]

#### **10.2.7. Les batteries rechargeables :**

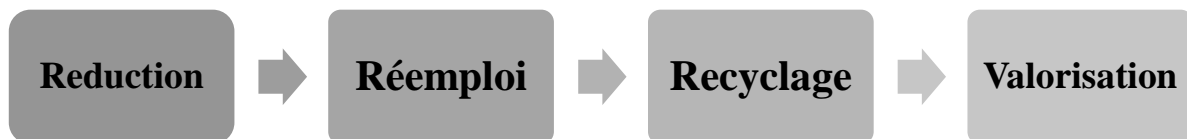
Plusieurs technologies se sont succédé au cours des dernières années : les batteries Nickel-Cadmium, Nickel-hydrure métallique, Lithium-ion et Lithium polymère. Comme leur nom l'indique, elles contiennent plusieurs éléments chimiques précieux comme le Nickel, le Cadmium ou le Lithium ; [9]

#### **10.2.8. Le câblage :**

Les câbles dans l'ordinateur permettent d'alimenter en énergie les différentes composantes et de transmettre les données entre elles. Ils sont composés de métal (généralement du cuivre) et recouverts d'une gaine plastique (du PVC additionné de retardateurs de flammes). [9]

### **10.3. Le concept de 3RV :**

Le principe des 3RV établit afin de réduire les impacts environnementaux liés à notre consommation, il est primordial d'effectuer les activités suivantes dans un ordre bien défini.



Cette priorisation établit une suite d'actions possibles qui devraient permettre d'allonger la vie utile des matériaux, de réduire la consommation énergétique des biens produits et de diminuer les impacts liés à l'élimination des déchets.

- La réduction fait appel à la réduction à la source. Ceci peut correspondre à une diminution de la matière utilisée pour fabriquer les équipements, à une diminution de la quantité d'emballages utilisés ainsi qu'à une réduction de la consommation des biens produits. Cette dernière action devrait être priorisée, car c'est celle qui procure une économie maximale des ressources.
- Le réemploi vient en deuxième place et correspond à une seconde utilisation d'un produit sans modification de son apparence ou de ses propriétés. Par le réemploi, le bien réutilisé ne subit pas de transformations et requiert un minimum d'énergie pour servir de nouveau.

- Le recyclage permet d'utiliser une matière résiduelle récupérée et de la transformer lors d'un procédé industriel en de nouveaux produits. Ainsi les matières recyclables sont récupérées, triées et traitées avant d'être utilisées dans un cycle de production en remplacement des matières premières.
- La valorisation consiste en la mise en valeur d'une matière résiduelle par une transformation chimique qui modifie radicalement la nature du matériau. Dans le cas du matériel informatique, un exemple de valorisation peut être l'utilisation des plastiques

#### **10.4. La procédure de recyclage des DEEE :**

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

Le traitement s'effectue essentiellement selon les étapes suivantes :

##### **10.4.1. La collecte :**

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

##### **10.4.2. Le démantèlement :**

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

Généralement on extrait :

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

##### **10.4.3. Le broyage :**

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

##### **10.4.4. La séparation :**

C'est une étape très importante dans le processus de recyclage des DEEE, car elle permet la séparation et le tri de plusieurs métaux.

On utilise la séparation magnétique lorsqu'il faut séparer une quantité importante des substances métalliques à partir du flux de matières déjà broyées.

La séparation par courant de Foucault est utilisée pour la séparation des métaux non ferreux, comme son nom l'indique cette technique utilise le courant de Foucault pour repousser les matériaux non métalliques du convoyeur et alors ils seront séparés.

La flottaison est la technique utilisée pour la séparation des plastique en se basant sur le principe de la différence de la masse volumique des déchets à séparés et la masse volumique du liquide dans lequel ces déchets sont plongés.

### **11. Conclusion :**

La protection de l'environnement devient de plus en plus une préoccupation collective. La question des déchets est quotidienne et touche chaque être humain tant sur le plan professionnel que familial. En qualité de consommateur, producteur, usager du ramassage des ordures et trieur des déchets, citoyen ou contribuable, chacun peut et doit être acteur d'une meilleure gestion des déchets. Dans une vision intégrée de développement durable, la problématique des déchets ne peut pas être traitée comme un objet isolé, ni même se limiter aux seuls aspects de valorisation et d'élimination. Elle doit être placée dans une perspective holistique de gestion des risques et des ressources, qui couvre tout le cycle de vie du déchet, depuis sa génération jusqu'au traitement ultime.



# Chapitre II : Conception du réseau de collecte des DEEE

## **1. Introduction :**

La collecte des DEEE doit s'accompagner du tri, du traitement sélectif et de la valorisation des déchets. Elle est mise en œuvre par l'entreprise, ou confiée à des éco-organismes agréés.

Le problème de collecte des déchets d'équipements électriques et électroniques c'est que le citoyen algérien n'est pas conscient de la dangerosité de ces déchets pour l'environnement et la santé, vu l'absence de réglementation et de textes juridiques contraignant et le faible niveau d'éducation environnementale de la population. En effet, les usagers sont très réticents à se débarrasser de leurs déchets en accolant presque toujours une valeur sentimentale ou économique exorbitant à leurs déchets. Au niveau des organisations écologiques ou environnementales le message passe mieux, mais pour le reste de la population le travail reste à faire. Cette résistance de la population s'explique par le fait que la filière soit encore jeune et assez peu connue, ralentissant ainsi les opérations de collecte.

Pour cela on a proposé un système de collecte de ce type de déchets. Ce système est basé sur l'installation des centres de collecte en fonction de la concentration des réparateurs et des vendeurs des équipements électroniques dans la ville de Tlemcen. En utilisant une méthode d'aide à la décision multicritères, on va sélectionner les meilleurs endroits pour installer les centres et avec en essayant de minimiser le coût.

## **2. La logistique inverse :**

### **2.1. Définition de la logistique inverse :**

Selon Grellier, (2008) la logistique inverse, comme son nom l'indique, se réfère aux activités de logistique d'une organisation mais dans un sens inversé à ce qu'il peut être dans la logistique traditionnelle. La logistique inverse est un concept émergent qui, depuis une dizaine d'années, se rencontre dans la littérature sous différents termes : logistique inversée, reverse logistics, gestion de la récupération des produits, logistique à rebours, logistique négative, etc. [10]

La logistique inverse est une chaîne de retour et un pilotage des flux de produits défectueux, usagés et récupérés auprès ou par des clients jusqu'aux usines, en passant par des activités telles que la collecte/tri et le désassemblage, le tout en minimisant les impacts sur l'environnement et à moindre coût. [11]

### **2.2. Les formes de la logistique inverses :**

Il existe en effet plusieurs formes de la logistique inverse, parmi ces formes on présente :

#### **2.2.1. La logistique verte :**

C'est un système de distribution et de transport efficient ami de l'environnement. La logistique verte est plus que la logistique inversée car elle cherche à économiser les ressources, à éliminer des déchets et à améliorer la productivité. Elle doit avoir la plus petite empreinte sur l'environnement.

Cette définition reprend également l'idée d'écoconception des produits (fabrication sans l'utilisation de matière toxique) permettant un retraitement plus aisé des déchets à un coût plus faible.

### 2.2.2. Le recyclage des DEEE :

Cette forme de reverse logistic consiste à créer des réseaux de retours entre le détenteur final d'un appareil et le producteur afin d'assurer le recyclage des matériaux. Pour un appareil mis en vente après le 13 août 2005, les coûts liés à la collecte et au retraitement sont à la charge du fabricant.

### 2.3. La structure de la chaîne logistique inverse : [11]

Dans l'étude des chaînes logistiques inverses, il est nécessaire d'identifier et de caractériser les acteurs qui interfèrent et coopèrent afin de créer une telle chaîne.

La structure type d'une chaîne logistique inverse est comme elle est montrée dans la figure 2.1 consiste à prendre en charge les flux de produits retournés. Ces derniers sont collectés, traités puis redistribués aux clients qui sont généralement des clients différents de ceux qui ont retourné les produits. Dans cette chaîne, figurent de nombreux acteurs :

- Les clients ont en général accès au service-après-vente qui a pour objectif de recevoir ;
- Les produits défectueux ou en panne ; - les points de collecte pour la récupération de ces produits ;
- Les centres de traitements pour les traiter ou réparer ;
- Les centres de redistribution permettant le rassemblement et la distribution des produits traités ;
- Les « nouveaux » clients utilisateurs des produits.

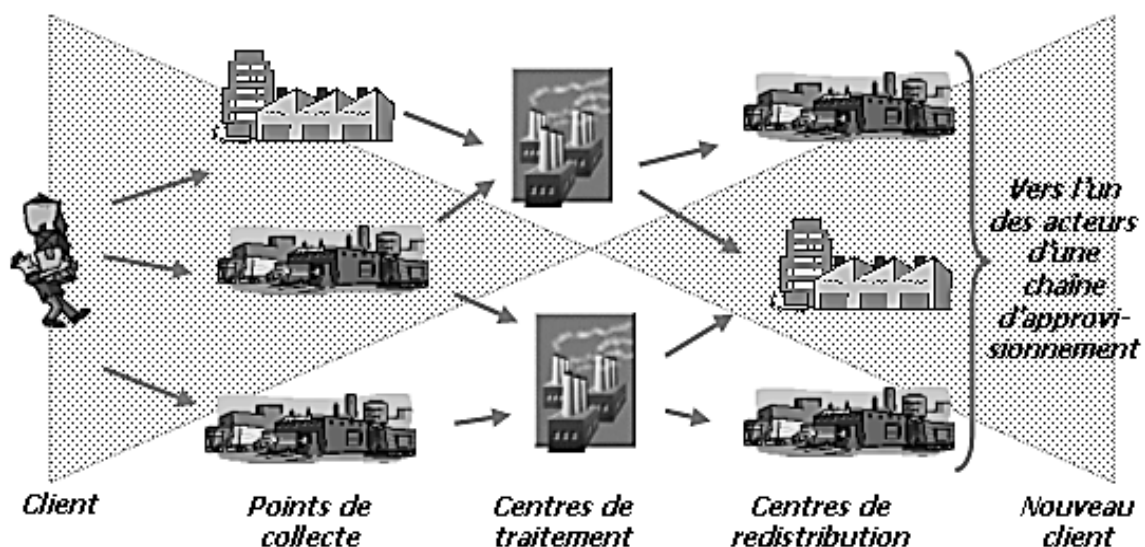


Figure 2. 1: La structure de la chaîne logistique inverse.

Une chaîne logistique inverse au même titre que la chaîne directe peut se décomposer en trois structures types [12]

Dans cette section, nous présentons les différents types de structure qui peuvent donc être décelés dans tout ou partie d'une chaîne logistique inverse : la structure en « réseau », la structure convergente et la structure divergente.

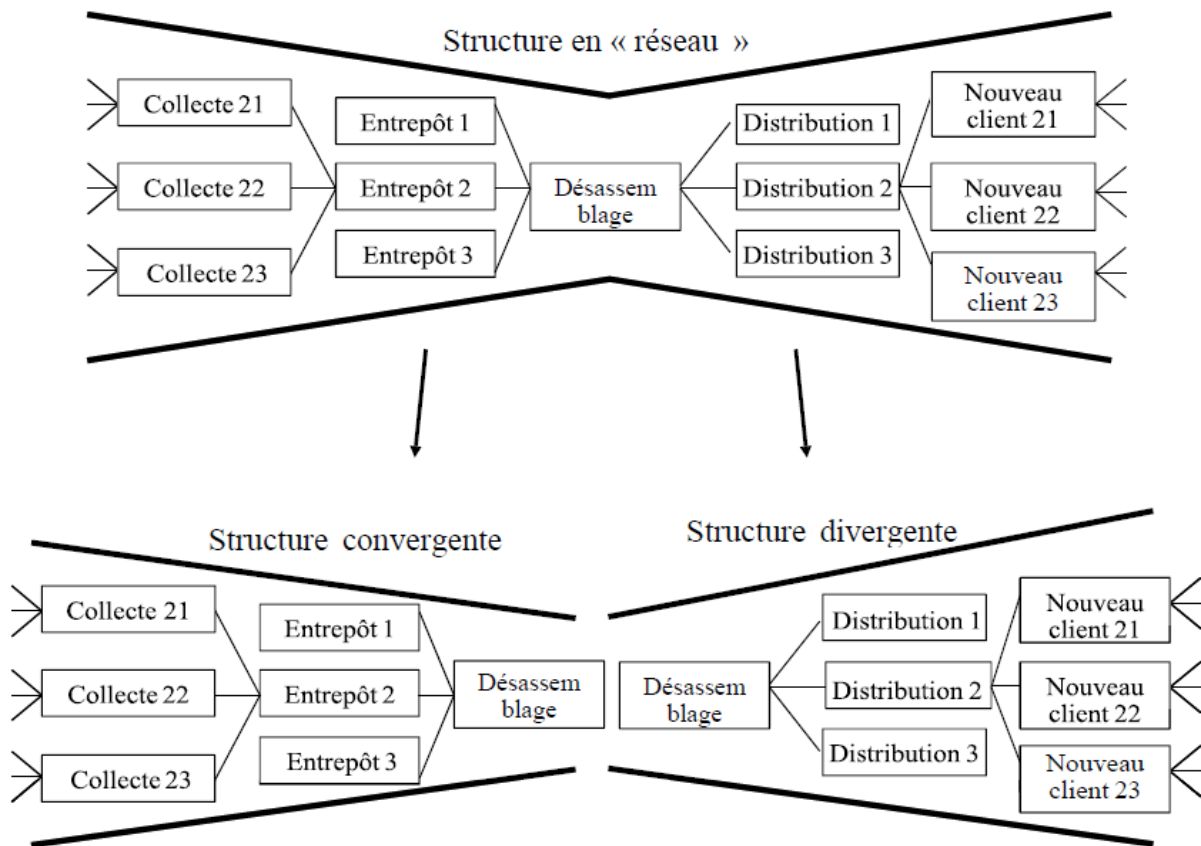


Figure 2. 2: Les types de la structure de la logistique inverse.

#### 2.4.Étapes de la logistique inverse :

Nous présentons dans cette section, certaines étapes impliquées dans la logistique inverse, illustrées par la figure 2.2. Dans la littérature, la plupart des auteurs semblent considérer ces mêmes étapes que nous allons expliquer dans les paragraphes suivants.

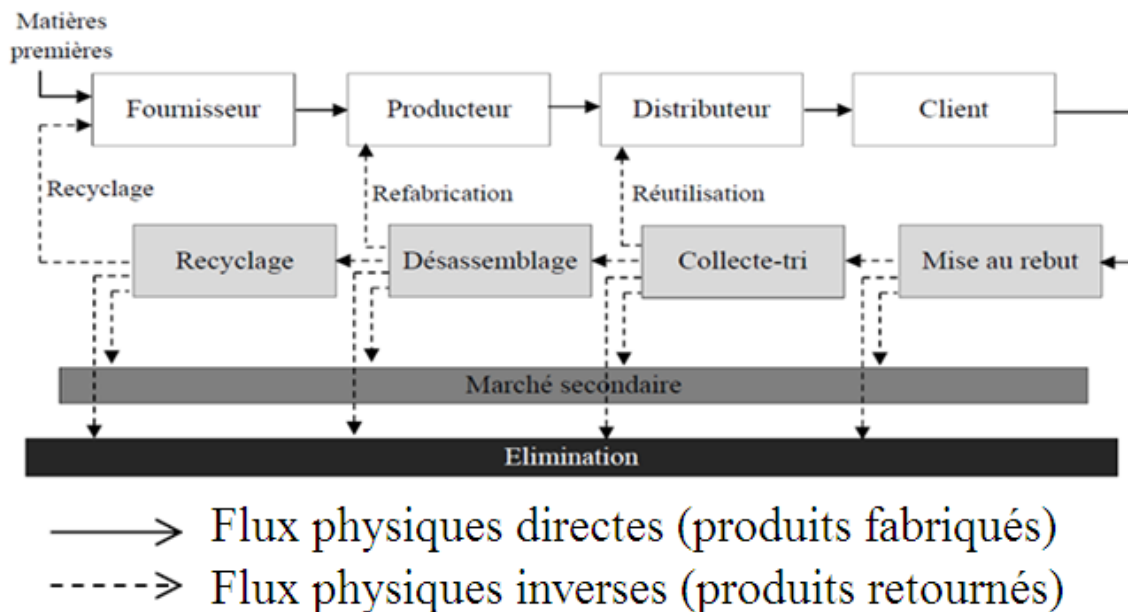


Figure 2. 3: Les étapes de la logistique inverse.

### **2.5. Les problématiques liées à la logistique inverse :**

Nous présentons dans cette partie la structuration de la logistique inverse par problématique.

#### **2.5.1. Problème de conception d'un réseau de logistique inverse :**

Ce problème consiste à construire ou reconstruire une chaîne logistique inverse, parfois couplée à la chaîne logistique directe, en définissant le rôle de chaque site et les flux globaux de produits entre ces sites.

Dans le flux direct, de nouveaux produits sont expédiés à partir de centres de production sur les zones de clients par le biais des centres de distribution. Dans le flux inverse, les produits retournés sont recueillis dans les centres de collecte et, après inspection, les produits récupérables sont expédiés au centre de récupération et de traitement.

La conception d'un réseau logistique comme le processus de détermination de l'infrastructure de la chaîne logistique.

Un réseau logistique est l'ensemble des ressources et des processus utilisés par une entreprise au sein de sa chaîne logistique. Le terme réseau est utilisé parce que cet ensemble peut être conceptuellement et mathématiquement représenté par un réseau dont les nœuds consistent en un ensemble d'installations (accueillant des activités d'approvisionnement, de production, de fabrication, d'assemblage, de distribution, de consolidation ou de vente) ou de partenaires (clients, fournisseurs, etc.), alors que les arcs représentent des mouvements de produits entre les activités ou les installations de l'entreprise et de ses partenaires. [13]

Les décisions reliées à la conception du réseau ont un impact majeur sur les profits à long terme de l'entreprise et sur sa position compétitive. Elle peut contribuer significativement à la réduction des impacts négatifs sur l'environnement, en plus son rôle important dans l'amélioration des performances économiques.

#### **2.5.2. Problème de localisation/allocation :**

L'origine des modèles de localisation-allocation on trouve au problème d'Alfred Weber1 : "comment localiser un centre de production de manière à minimiser la distance pondérée entre ce centre et les sources de matières premières?". Le principe des modèles de localisation-allocation est la détermination de tous les sites disponibles simultanément avec l'évaluation de la demande dans ces sites dans une zone géographique donnée et on va sélectionner le site (ou les sites) qui optimise la performance de la firme qui va créer les nouveaux magasins. [13]

#### **2.5.3. Problème de sélection des sites :**

Le problème de la sélection de sites consiste à déterminer, dans un réseau logistique existant comportant un certain nombre de sites potentiels, des sites qui seront ouverts (opérationnels) ou fermés. En général, les modèles utilisés pour résoudre ce type de problème, nécessitent des variables de décisions binaires liées aux sites (la variable prend la valeur 1 si le site est ouvert ou affecté et 0 sinon).

Un cas d'ouverture ou de fermeture des usines, des entrepôts et des centres de désassemblage. Le modèle associé cherche à minimiser les coûts d'ouverture. La solution montre que les usines situées à Viseu, Madrid et Séville ont été ouvertes pour servir cinq centres d'entrepôts et quatre centres de désassemblage ont été créés pour satisfaire les demandes et les retours de tous les clients. [14]

Les chercheurs Lee & Dong présentent une étude pour l'ouverture ou la fermeture de sites tels que des centres de traitement direct, des centres de collecte et des centres de retraitement. La particularité dans ces travaux est une modélisation multi-périodes. De plus, pour chaque période, un site ne peut livrer ses produits qu'à un seul dépôt. [15]

#### **2.5.4. Le problème du transport :**

On entendra par problème de transport tout problème d'optimisation du transfert entre points-origine ou fournisseurs et points –destination ou clients. Lorsque ces points matérialisent des lieux géographiques et lorsque l'objet du transfert est un ensemble de marchandises, il s'agit du problème de transport au sens strict. Mais il peut s'agir, également de personnel jouant le rôle de points-origine, que l'on désire affecter dans les meilleures conditions à des fonctions vacantes jouant le rôle de point-destinations.

Tous ces problèmes, bien qu'appartenant à des domaines de la gestion très différents, sont susceptibles d'être traités à l'aide du même modèle, le modèle de transport, qui constitue une catégorie particulière de programmes linéaires.

Certains auteurs tel que Vahdani, Ramezani, Hu et Logozar [11] traitent du problème du transport et prennent notamment en compte les flux de produits au niveau opérationnel de la logistique inverse.

### **2.6. Les niveaux décisionnels de la logistique inverse :**

#### **2.6.1. Le niveau stratégique :**

Les décisions stratégiques impactent la performance de la chaîne logistique à long terme et impliquent des investissements importants. Ces décisions portent sur la conception du réseau logistique intégrant la chaîne logistique inverse à la chaîne logistique traditionnelle, la conception des produits, la sélection de ressources et de technologies, la définition des politiques d'acquisition/collecte, de traitement et de redistribution des retours.

#### **2.6.2. Le niveau tactique :**

Les décisions tactiques portant sur l'agencement et la réservation des ressources en prévision des besoins futures d'une organisation (ex : établissement du plan maître de production).

#### **2.6.3. Le niveau opérationnel :**

Les décisions de ce niveau portent sur les décisions journalières pour répondre aux sollicitations manifestées à une organisation (ex : planification de la production et de la distribution).

### **3. L'aide à la décision multicritères : [16]**

L'aide à la décision est généralement sollicitée par des organisations dans le cas où elles sont confrontées à des problèmes complexes, par exemple, de planification, de localisation, d'allocation et de gestion de ressources, de dimensionnement de structure, ...etc.

La notion d'aide à la décision consiste à synthétiser des informations relatives à différents points de vue et aspects concernant un ensemble d'objets, et choisir un ou plusieurs objets parmi cet ensemble.

Un problème multicritère se caractérise par la prise en compte explicite de plusieurs objectifs à optimiser simultanément dans l'analyse des préférences, la comparaison des solutions et la détermination d'un ou plusieurs solutions optimales. Pour introduire

formellement ce genre de problème il faut définir tout d'abord l'ensemble d'alternatives (les candidats), on définit ensuite l'ensemble des critères permettant de traduire l'ensemble des objectifs du décideur. Pour toute alternative on appelle performance la valeur qui reflète l'alternative au point de vue critère.

Les problèmes de décision varient selon la question posée. On peut distinguer les problèmes de choix où l'on cherche à déterminer les meilleures solutions, les problèmes de rangement où l'on cherche à ordonner les solutions selon leur mérite relatif, ou les problèmes de tri où l'on cherche à affecter des solutions à des catégories prédéfinies selon leur valeur intrinsèque.

L'optimisation multi-objective sur la base de l'analyse de rapport (MOORA) est une de ces méthodes qui a été largement utilisée par les chercheurs en raison de sa procédure de calcul relativement simple et logique. En outre, cette méthode permet aux décideurs d'éliminer les alternatives inappropriées, tout en sélectionnant l'alternative la plus appropriée. L'applicabilité, la potentialité et la flexibilité de cette méthode ont été prouvées par plusieurs chercheurs à travers son application dans la résolution de problèmes liés à différents domaines.

Dans ce chapitre, le problème de sélection des centres de collecte des DEEE est résolu avec l'optimisation multi-objectif par analyse de ratio plus la méthode de multiplication complète (MULTIMOORA) et l'optimisation multi-objectif sur la base de méthodes d'analyse de rapports simples (MOOSRA). La méthode MULTIMOORA résume la méthode MOORA, y compris le système de ratio, le point de référence et la forme multiplicative complète, tandis que la méthode MOOSRA calcule le ratio simple de critères bénéfiques et non bénéfiques.

### **4. L'optimisation multi-objective sur la base de l'analyse des rapports (MOORA) :**

#### **4.1.L'état de l'art :**

L'optimisation multi-objective sur la base de la méthode d'analyse des ratios (MOORA) est une nouvelle méthode proposée par Brauers et Zavadskas en 2006, qui a été utilisée pour atteindre la meilleure solution parmi des alternatives discrètes données avec des objectifs contradictoires.

La méthode MULTIMOORA est issue de la méthode MOORA. Brauers et Zavadskas ont ajouté la forme multiplicative complète au MOORA puis la nouvelle méthode a été appelée MULTIMOORA. MOORA nécessite une matrice de réponses des alternatives aux objectifs. Ensuite, un système de ratio est développé dans lequel chaque réponse d'une alternative sur un objectif est comparée à un dénominateur, qui est le représentant pour toutes les alternatives concernant cet objectif. Il existe deux méthodes différentes sous le nom de MOORA lorsque le système de ratio et le point de référence se rapprochent. [13]

Bien que la MOORA soit une méthode nouvellement proposée, elle a été appliquée pour résoudre de nombreux problèmes économiques, de gestion et de construction. La méthode MOORA a été utilisée pour résoudre différents problèmes de prise de décision dans l'environnement de fabrication en temps réel. Une application de la méthode MOORA dans la construction afin de résoudre les problèmes liés à la perte d'énergie dans les bâtiments de

chauffage. Le but de sa recherche est de créer une technique pour la sélection des murs extérieurs et des fenêtres des bâtiments. Dans le domaine mentionné Brauers et Zavadskas utilisent la méthode MOORA pour évaluer les entrepreneurs dans le secteur des installations. La méthode MOORA a également été utilisée avec succès pour déterminer la meilleure alternative de conception routière. [16]

L'utilisation de la méthode MOORA dans divers domaines de l'économie est proposée par Brauers et Zavadskas [17]. Par exemple, Brauers et Zavadskas [17] utilisent la méthode MOORA pour la gestion de projet dans une économie transactionnelle, et Brauers et Ginevicius [18] utilisent la méthode MOORA pour définir la politique économique pour un développement régional équilibré en Lituanie.

Avec la méthode MOORA. Chakraborty a présenté les solutions des problèmes dans l'environnement de fabrication. Gadakh [19] a sélectionné des paramètres de procédé de fraisage appropriés dans différents processus de fraisage. El Santawy et El-Dean ont combiné la méthode MOORA avec la méthode de l'écart-type. Ils ont présenté un exemple de sélection d'entreprises de conseil. Stanujkic a proposé seulement une extension en gris du système de ratio de la méthode MOORA alors que Stanujkic et al [20] ont proposé les extensions grises du système de ratios et les approches par points de référence de la méthode MOORA. Stanujkic et al [21] ont classé les banques serbes avec les méthodes SAW, ARAS, COPRAS, MOORA, GRA, CP, VIKOR et TOPSIS. Brauers a évalué les projets de planification portuaire. Özdağoğlu [22] a étudié les effets de différentes méthodes de normalisation dans la méthode MOORA. Adhikary et Kundu [23] ont évalué et sélectionné les alternatives de petits projets hydroélectriques avec le produit pondéré et les méthodes MOORA. Achebo et Odinikuku [24] ont utilisé l'écart-type et la méthode MOORA pour optimiser les paramètres du procédé de soudage pour le soudage à l'arc sous gaz des plaques d'acier doux. Madic et al [25] ont résolu la sélection de procédés d'usinage complexes non conventionnels avec la méthode MOORA. Dans la littérature, certains articles intégraient la méthode MOORA et la théorie des ensembles flous, puis la méthode MOORA floue était appliquée pour la sélection des systèmes ERP, les emplacements des fournisseurs et des entrepôts, les systèmes de fabrication, les conceptions des circuits de broyage, les fournisseurs, les machines à découper et les administrateurs des écoles professionnelles dans les universités. [16]

La méthode MULTIMOORA a également trouvé de larges domaines d'application comme la méthode MOORA. Brauers a appliqué la méthode MULTIMOORA pour classer les avions de combat. Kracka et al [26] ont présenté les méthodes MOORA et MULTIMOORA pour résoudre les problèmes de perte de chaleur énergétique dans les bâtiments. Brauers a utilisé la méthode MULTIMOORA pour l'évaluation de projet dans un pays à économie de marché contrôlée. Karande et Chakraborty [27] ont résolu quatre problèmes de sélection de matériaux en temps réel avec la méthode MULTIMOORA. Streimikiene et Balezentis [28] ont appliqué la méthode MULTIMOORA pour la priorisation du changement climatique. Brauers et Zavadskas [29] ont présenté la robustesse de la méthode MULTIMOORA avec un exemple. Aksoy et al [30] ont évalué les performances de huit sous-sociétés opérées par Turkish Coal Enterprises en utilisant les méthodes MULTIMOORA et COPRAS basées sur AHP. Lazauskas et al [31] ont appliqué les méthodes AHP, ARAS, MOORA et MULTIMOORA pour les solutions de construction non finies.



Brauers et al ont proposé la première extension floue de la méthode MULTIMOORA et utilisé la théorie des nombres flous dans les trois parties de la méthode MULTIMOORA. Ensuite, la méthode MULTIMOORA floue a été utilisée pour former un cadre de décision multicritères pour la priorisation des cultures énergétiques, le défrichement des plantations de palmiers à huile et la sélection du personnel et étudiant. [16]

Dans une analyse comparative de quelques méthodes MODM (MOORA, AHP, TOPSIS, VIKOR, ELECTRE et PROMETHEE) Bauers et Zavadskas arrivent à la conclusion que le MOORA a besoin de moins de temps de calcul, de calculs mathématiques minimums et est facile à utiliser et plus stable par rapport à la méthode.

MODM	Temps de calculs	Simplicité	Calcul Mathématique	Stabilité	Type d'information
MOORA	Très faible	Très simple	Minimum	Bien	Quantitative
AHP	Très élevé	Compliqué	Maximum	Faible	Hybride
TOPSIS	Moyen	Moyennement élevé	Moyen	Moyen	Quantitative
VIKOR	Faible	Simple	Moyen	Moyen	Quantitative
ELECTRE	Elevé	Moyennement élevé	Moyen	Moyen	Hybride
PROMETHEE	Elevé	Moyennement élevé	Moyen	Moyen	Hybride

Tableau 2. 1: Analyse comparative entre quelque méthodes MODM.

#### 4.2.Définition :

La méthode MOORA, est une technique d'optimisation multi-objective qui peut être appliquée avec succès pour résoudre différents types de problèmes complexes de prise de décision dans l'environnement industriel.

Deux méthodes différentes sous le nom de MOORA, à savoir un système de ratio et une approche de point de référence à partir des rapports obtenus, en plus de l'approche MULTIMOORA basé sur la forme multiplicative complète et l'approche MOOSRA (l'optimisation multi-objectif basé sur l'analyse des ratios simples), tenteront de rendre optimal le contenu de la matrice de décision.

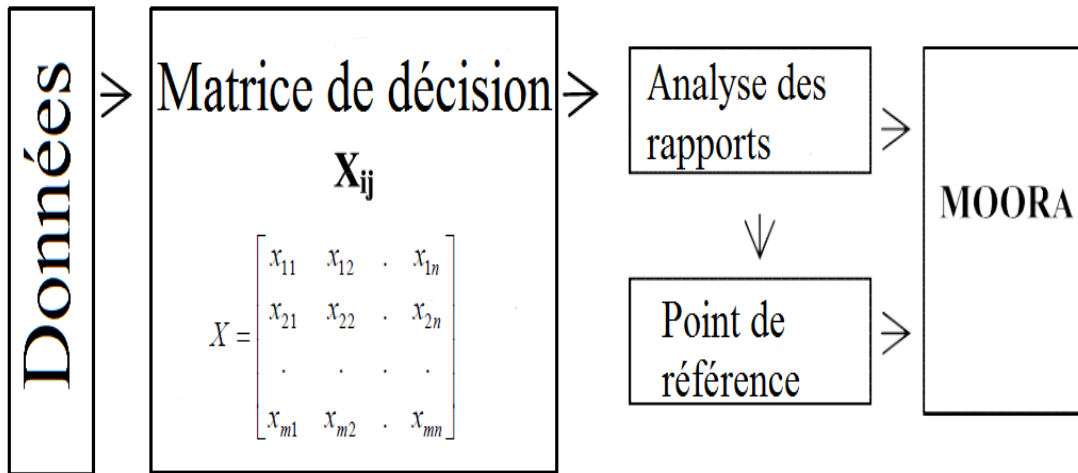


Figure 2. 4: Les approches de la méthode MOORA.

La méthode MOORA est composée de cinq étapes majeures en commençant par une matrice de décision montrant la performance de différentes alternatives par rapport à divers attributs (objectifs) jusqu'à l'obtention d'un classement idéal des alternatives.

#### 4.3.Méthodologie : [16]

Comme il est montré déjà, il existe deux méthodes dans l'optimisation multi-objective basé sur l'analyse de rapport (MOORA) qui sont bien expliqué dans la partie suivante :

##### 4.3.1. La première partie : L'analyse des rapports

###### Etape 1 :

La première étape consiste à déterminer l'objectif et à identifier les attributs d'évaluation pertinents.

###### Etape 2 :

L'étape suivante consiste à représenter toutes les informations disponibles pour les attributs sous la forme d'une matrice de décision. Les données en Eq (1) sont représentés en tant que matrice X (m,n). Où  $x_{ij}$  est la mesure de la performance de l'alternative sur l'attribut j, m est le nombre d'alternatives, et n est le nombre d'attributs. Ensuite, un système de rapport est développé dans lequel chaque performance d'une alternative sur un attribut est comparée à un dénominateur qui est un représentant pour toutes les alternatives concernant cet attribut.

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdot & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \cdot & x_{2n} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ x_{m1} & x_{m2} & \cdot & x_{mn} \end{bmatrix} \quad \text{Eq(1)}$$

**Étape 3 :**

Brauers a conclu que pour ce dénominateur, le meilleur choix est la racine carrée de la somme des carrés de chaque alternative par attribut. Ce rapport peut être exprimé comme suit :

$$x_{ij}^* = x_{ij} / \sqrt{\left[ \sum_{i=1}^m x_{ij}^2 \right]} \quad (j = 1, 2, \dots, n) \quad \text{Eq(2)}$$

Où  $x_{ij}^*$  est la performance normalisée de l'alternative sur l'attribut j.

**Étape 4 :**

Pour une optimisation multi-objective, ces performances normalisées sont ajoutées en cas de maximisation (pour les attributs bénéfiques) et soustraites en cas de minimisation (pour les attributs non bénéfiques). Ensuite, le problème d'optimisation devient :

$$y_i = \sum_{j=1}^g x_{ij}^* - \sum_{j=g+1}^n x_{ij}^* \quad \text{Eq(3)}$$

Où g est le nombre d'attributs à maximiser, (n-g) est le nombre d'attributs à minimiser, et  $y_i$  est la valeur d'évaluation normalisée de la i-eme alternative par rapport à tous les attributs. Dans certains cas, on observe souvent que certains attributs sont plus importants que les autres. Afin de donner plus d'importance à un attribut, il pourrait être multiplié par son poids correspondant (coefficient de signification) (Brauers et al. 2009). Lorsque ces poids d'attributs sont pris en compte, Eq (3) devient comme suit :

$$y_i = \sum_{j=1}^g w_j x_{ij}^* - \sum_{j=g+1}^n w_j x_{ij}^* \quad (j = 1, 2, \dots, n) \quad \text{Eq(4)}$$

Où  $w_j$  est le poids de l'attribut jéme.

**Étape 5 :**

La valeur  $y_i$  peut être positive ou négative selon les totaux de ses maximum (attributs bénéfiques) et minimum (attributs non bénéfiques) dans la matrice de décision. Un classement ordinal de  $y_i$  montre la préférence finale. Ainsi, la meilleure alternative à la valeur  $y_i$  la plus élevée, alors que la pire alternative à la plus faible valeur  $y_i$ .

**4.3.2. La deuxième partie : Le point de référence**

La théorie des points de référence par des ratios déjà normalisés tels que définis dans la méthode MOORA, à savoir la formule (2).

Ensuite, la théorie des points de référence choisit pour la maximisation un point de référence, qui a comme coordonnée la plus haute coordonnée par objectif de toutes les alternatives candidates. Pour la minimisation, la coordonnée la plus basse est choisie.

Pour mesurer la distance entre les alternatives et le point de référence, on utilise la formule suivante :

$$\min_{(j)} \{ \max_{(i)} |r_i - x_{ij}^*| \} \quad \text{Eq(5)}$$

$r_i$  = la i-eme coordonnée du point de référence.

### 4.3.3. La troisième partie : L'approche MULTIMOORA

La forme multiplicative complète des critères multiples consiste à la fois à maximiser et à minimiser une fonction d'utilité purement multiplicative. Il a d'abord été développé par Miller et Starr (1969). Les principales caractéristiques de cette forme sont non linéaires, non additives et n'utilisent pas de poids d'attributs. L'utilité globale de l'alternative i-eme ( $U_i$ ) est calculée comme suit : [16]

$$U_i = \prod_{j=1}^n x_{ij} \quad i = 1, 2, \dots, m \text{ and } j = 1, 2, \dots, n \quad \text{Eq(6)}$$

Dans cette formule, m et n sont les nombres d'alternatives et de critères, respectivement, et  $x_{ij}$  est la performance de l'alternative i sur le l'objectif j. Les utilités globales sont obtenues par la multiplication de différentes unités de mesure et deviennent sans dimension. Si les décideurs veulent combiner le problème de minimisation avec la maximisation d'autres critères, alors Eq (6) devient Eq (7) :

$$U_i = \frac{A_i}{B_i} \quad \text{Eq(7)}$$

Dans cette formule  $A_i$  et  $B_i$  sont calculés comme suit :

$$A_i = \prod_{j=1}^g x_{ij} \quad \text{Eq(8)}$$

$$B_i = \prod_{j=g+1}^n x_{ij} \quad \text{Eq(9)}$$

(g) et (g+1) sont le nombre des critères à maximiser et à minimiser respectivement. Si  $x_{ij}$  est égal à 0, Brauers (2002) a suggéré de retirer ce critère de la matrice de décision, car la prise de valeur 0 signifie l'absence d'un critère particulier dans la matrice de décision. [16]

### 4.3.4. La quatrième partie : MOOSRA

La méthode MOOSRA est l'une des méthodes d'optimisation multi-objective. Si la méthode MOOSRA est comparée à la méthode MOORA, les scores de performance négatifs dans la méthode MOORA n'apparaissent pas et la méthode MOOSRA est moins sensible à la grande variation des valeurs des critères. [16]

Les étapes d'application de la méthode MOOSRA sont similaires à la méthode MOORA. A savoir, la première étape consiste à construire la matrice de décision du problème et la seconde étape est la normalisation de la matrice de décision. Lors du calcul du score de performance global de chaque alternative ( $y_i$ ), la méthode MOOSRA utilise un ratio simple

de la somme des valeurs de performance normalisées pour les critères bénéfiques à la somme des valeurs de performance normalisées pour les critères non bénéfiques. Alors la formule devient comme : [16]

$$y_i^* = \frac{\sum_{j=1}^g x_{ij}^*}{\sum_{j=g+1}^n x_{ij}^*} \quad \text{Eq(10)}$$

Dans cette formule,  $g$  et  $(n - g)$  sont le nombre de critères à maximiser et à minimiser, respectivement. Lorsque les poids des critères sont considérés, Eq(10) devient Eq (11) comme :

$$y_i^* = \frac{\sum_{j=1}^g w_j x_{ij}^*}{\sum_{j=g+1}^n w_j x_{ij}^*} \quad \text{Eq(11)}$$

$w_j$  est le poids du  $j$ -eme critère. Le classement des alternatives est obtenu en fonction du score global de performance de chaque alternative ( $y_i$ ). L'alternative avec le score de performance globale le plus élevé est la meilleure [16].

## 5. Présentation du problème :

L'étude présentée dans ce chapitre est basé sur la chaine logistique inverse, cette chaine est composée d'un ensemble de points de collecte qui seront affecté à un centre de collecte et de traitement. Les points affectés sont des réparateurs et des vendeurs des équipements électriques et électroniques dans la région de Tlemcen, et chaque ensemble de point est reliée à un centre correspondent.

Dans la première partie, nous traitons le problème de localisation des meilleurs centres parmi l'ensemble par une analyse multicritères d'aide à la décision (MCDM), et par la suite on a utilisé une modélisation mathématique accompagnée par l'exécution sous logiciel Lingo.

### 5.1.Regroupement des points de collecte :

Dans cette partie, on va définir les différents points de collecte qui sont des réparateurs et des vendeurs des EEE, et dans chaque région on va installer un ou plusieurs centres qui englobent quelques points de collecte, comme montre les figures ci-après.

Nous avons utilisé la carte d'aménagement de la ville de Tlemcen pour collecter le maximum de points de collecte avec le logiciel ArcGIS 10.4 pour présenter les points et les centres de collecte de notre problème.



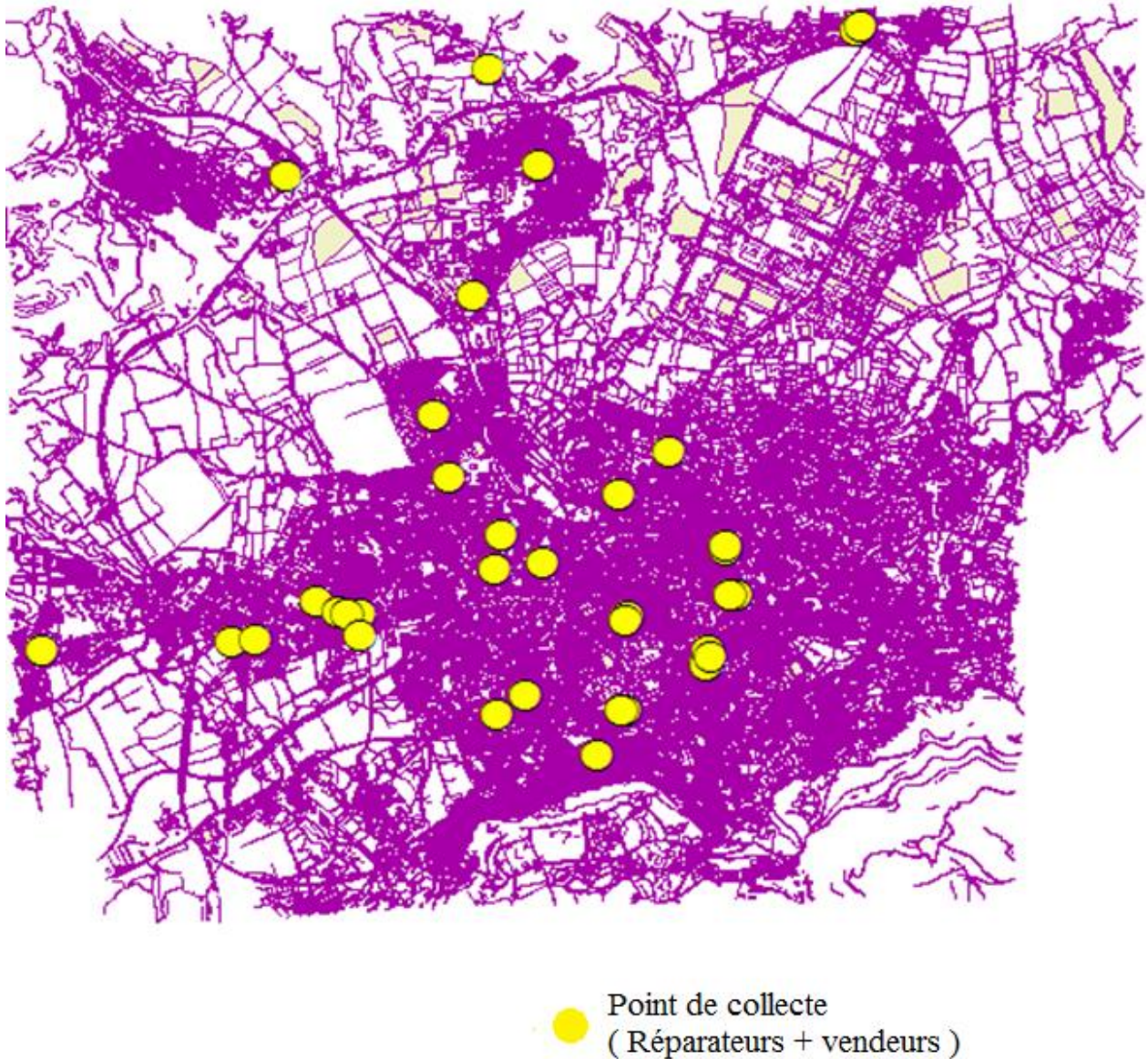


Figure 2. 5: Les points de collecte (réparateurs + vendeurs).

Après le regroupement des points de collecte dans la ville de Tlemcen, on a choisi cinq sites candidats pour la localisation des centres finals de collecte et de traitement à savoir, Ain Fezza, Ain Defla, Mansourah, Hennaya et Safsaf.

Les cinq sites sont présentés sur la carte de Tlemcen par un triangle bleu comme montre la figure 2.6.



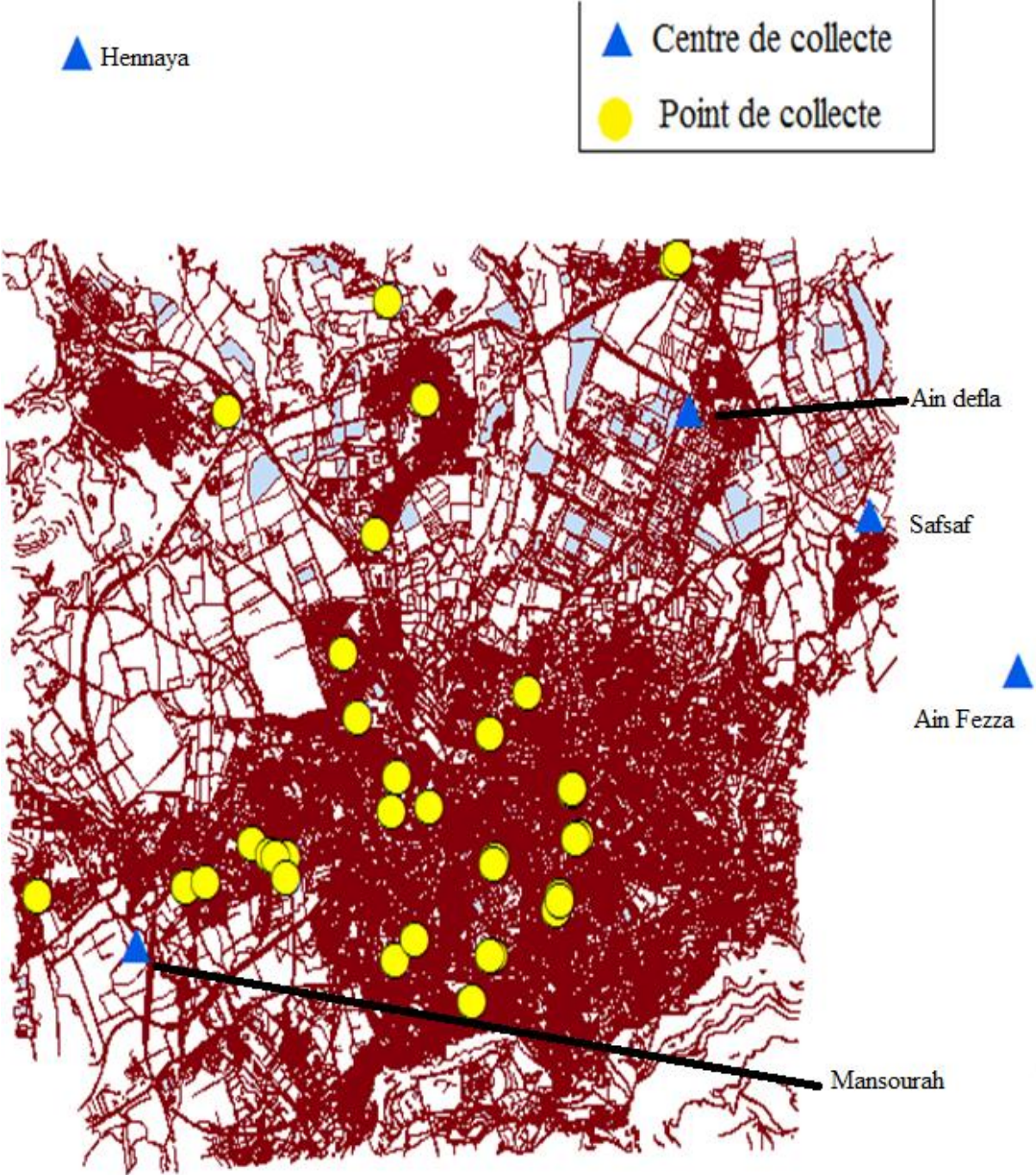


Figure 2. 6: Les centres de collecte.

## Chapitre II : Conception du réseau de collecte des DEEE

Le tableau ci-après montre les points de collecte et leur type entre réparateur et vendeur.

<b>Point</b>	<b>Position géographique</b>	<b>Type de point</b>
1	34.882507, -1.306166	Réparateur
2	34.885566, -1.306558	Point de vente
3	34.885566, -1.306558	Point de vente
4	34.875283, -1.308498	Point de vente
5	34.880420, -1.334368	Point de vente
6	34.882331, -1.307116	Point de vente
7	34.920725, -1.324546	Point de vente
8	34.874827, -1.314735	Point de vente
9	34.874953, -1.324658	Point de vente
10	34.882290, -1.339006	Point de vente
11	34.919898, -1.297430	Réparateur
12	34.918930, -1.297860	Réparateur
13	34.881461, -1.335118	Point de vente
14	34.881884, -1.338356	Point de vente
15	34.891702, -1.311149	Point de vente
16	34.889352, -1.314685	Réparateur
17	34.881006, -1.314402	Réparateur
18	34.880865, -1.314450	Réparateur
19	34.881576, -1.335672	Point de vente
20	34.917437, -1.324348	Réparateur
21	34.884005, -1.325292	Point de vente + Réparation
22	34.872526, -1.318479	Réparateur
23	34.877895, -1.308124	Réparateur
24	34.877807, -1.308221	Réparateur
25	34.878679, -1.307963	Réparateur
26	34.876280, -1.322259	Réparateur
27	34.884703, -1.321063	Réparateur
28	34.892383, -1.328870	Réparateur
29	34.879963, -1.343799	Réparateur
30	34.879787, -1.345720	Réparateur
31	34.880183, -1.360848	Réparateur
32	34.906186, -1.322236	Réparateur
33	34.886660, -1.324261	Réparateur
34	34.911192, -1.321045	Réparateur
35	34.897542, -1.311249	Réparateur

Tableau 2. 2: les points de collecte et leur type.



### 5.2.L'analyse multicritère d'aide à la décision :

En appliquant la méthode MOORA, on peut choisir les meilleurs sites pour installer les centres de collecte et de traitement des déchets électronique qui vont rendre l'opération de collecte plus accessible et moins coûteuse.

**Les alternatives proposées :** Ain Fezza, Hennaya, Ain Defla, Mansourah, Safsaf

**Les critères proposés :**

La protection de l'environnement : lorsqu'on parle des déchets, on parle de la pollution de l'environnement. Alors il faut prendre le facteur environnement en considération. On a choisi dans notre cas de donner une évaluation par poids pour ce critère parce qu'on ne peut pas le mesurer directement.

Les valeurs d'évaluation de l'environnement :

La valeur	description
9	un environnement ou il n'y a pas de risque de pollution et une population.
7	Un environnement peu loin de la population et avec un risque de pollution
5	Un environnement où il y'a un risque de pollution
3	Un environnement avec un risque de pollution et une population élevé.

Tableau 2. 3: Les valeurs d'évaluation de l'environnement.

L'accessibilité : est un critère qui désigne la facilité d'accès aux centres de collecte.

La valeur	description
7	Forte accessibilité
5	Moyenne accessibilité
3	faible accessibilité

Tableau 2. 4: Les valeurs d'accessibilité des centres de collecte.

La distance :

La distance entre chaque centre et l'ensemble de points de collecte. Pour la partie MCDM on utilise la moyenne des distances pour chaque centre.

	Ain Defla	Safsaf	Ain Fezza	Mansourah	Hennaya
Distance moyenne (m)	5227,16886	8226,37886	18527,1689	4310,72771	14227,1689

Tableau 2. 5: Les distances entre les centres et les points de collecte.

Le coût d'ouverture : Après une étude de marché des locaux des cinq sites et en prenant en considération que les coûts d'ouvertures sont égaux, on a fait une évaluation des coûts comme montre le tableau suivant :

<b>La valeur</b>	<b>description</b>
9	Coût très élevé
7	Coût important
5	Coût moyen
3	Coût faible

Tableau 2. 6: Les coûts de location des centres de collecte.

L'étape suivante consiste à représenter toutes les informations relatives aux critères et alternatifs pour construire la matrice de décision.

	La distance(m) (Min)	Environnement (Max)	Le coût (Min)	L'accessibilité (Max)
Ain Fezza	18527,16	9	3	3
Hennaya	14227,16	7	7	3
Ain Defla	5227,16	3	9	7
Mansourah	4310,73	5	9	7
Safsaf	8226,38	7	5	5

Tableau 2. 7: la matrice de décision.

### 5.2.1. La partie d'analyse des ratios :

Le calcul des sommes et des racines des carrées des  $x_{ij}$  :

	<b>La distance (m) (Min)</b>	<b>Environnement (Max)</b>	<b>Le coût (Min)</b>	<b>L'accessibilité (Max)</b>
Ain Fezza	343255658	81	9	9
Hennaya	202412082	49	49	9
Ain Defla	27323201,7	9	81	49
Mansourah	18582393,1	25	81	49
Safsaf	67673327,9	49	25	25
<b>La somme</b>	659246662	213	245	141
<b>La racine</b>	25675,7992	14,5945195	15,65247584	11,8743421

Tableau 2. 8: des sommes et des racines des carrées des  $x_{ij}$ .

Le calcul du rapport des  $x_{ij}$  sur la racine des sommes des carrées des  $x_{ij}$ :

	<b>La distance (m) (Min)</b>	<b>Environnement (Max)</b>	<b>Le coût (Min)</b>	<b>L'accessibilité (Max)</b>
Ain Fezza	0,72158066	0,61666984	0,191662969	0,25264558
Hennaya	0,55410778	0,4796321	0,447213595	0,25264558
Ain Defla	0,20358315	0,20555661	0,574988908	0,58950634
Mansourah	0,16789078	0,4796321	0,574988908	0,42107596
Safsaf	0,32039431	0,4796321	0,319438282	0,42107596

Tableau 2. 9: calcul du rapport des  $x_{ij}$ .

Le calcul des  $y_i$  est la valeur d'évaluation normalisée pour chaque alternative et le classement des sites :

	<b>Yi</b>	<b>Classement</b>
Ain Fezza	-0,04392821	4
Hennaya	-0,2690437	5
Ain Defla	0,0164909	3
Mansourah	0,18922101	2
Safsaf	0,26087546	1

Tableau 2. 10: Classement par analyse des ratios.

### 5.2.2. La partie de point de référence :

On choisit dans cette partie un point de référence pour chaque critère. Pour la maximisation un point de référence, qui a comme la plus haute coordonnée et pour la minimisation, la plus basse.

<b>ri</b>	0,16789078	0,61666984	0,191662969	0,58950634
-----------	------------	------------	-------------	------------

En utilisant l'équation (05), on calcule la distance entre les alternatives et le point de référence.

	<b>La distance (m) (Min)</b>	<b>Environnement (Max)</b>	<b>Le coût (Min)</b>	<b>L'accessibilité (Max)</b>
Ain Fezza	-0,55368987	0	0	0,33686077
Hennaya	-0,386217	0,13703774	0,255550626	0,33686077
Ain Defla	-0,03569237	0,41111323	0,383325939	0
Mansourah	0	0,27407548	0,383325939	0
Safsaf	-0,15250353	0,13703774	-0,12777531	0,16843038

Tableau 2. 11: la distance entre les alternatives et le point de référence.

Le classement par l'approche point de référence :

	<b>Y<sub>i</sub></b>	<b>Le classement</b>
Ain Fezza	0,55368987	5
Hennaya	0,386217	3
Ain Defla	0,41111323	4
Mansourah	0,38332594	2
Safsaf	0,16843038	1

Tableau 2. 12: Classement par point de référence.

### 5.2.3. La partie MULTIMOORA :

	<b>Y*<sub>ij</sub></b>	<b>Le classement</b>
Ain Fezza	0,000485773	3
Hennaya	0,000210864	5
Ain Defla	0,000446386	4
Mansourah	0,000902142	1
Safsaf	0,000850921	2

Tableau 2. 13: Classement par MULTIMOORA.

### 5.2.4. La partie MOOSRA :

	<b>Y*<sub>ij</sub></b>	<b>Le classement</b>
Ain Fezza	0,95189869	4
Hennaya	0,73131134	5
Ain Defla	1,02118096	3
Mansourah	1,25471286	2
Safsaf	1,40772456	1

Tableau 2. 14: Classement par MOOSRA.

Comparaison entre les quatre approches de MOORA :

	<b>Analyse des ratios</b>	<b>Point de référence</b>	<b>MULTIMOORA</b>	<b>MOOSRA</b>
Ain Fezza	4	5	3	4
Hennaya	5	3	5	5
Ain Defla	3	4	4	3
Mansourah	2	2	1	2
Safsaf	1	1	2	1

Tableau 2. 15: Comparaison entre les quatre approches de MOORA.

### **5.2.5. Discussion :**

Dans cette partie, le problème de décision multicritère de sélection du meilleur centre de collecte est résolu par la méthode MOORA avec ces quatre approches. Les résultats de calcul ont donné que la région de Safsaf est la meilleure pour l'installation du centre vient ensuite Mansourah.

Cette étude est la première qui résout le problème de localisation des centres de collecte des DEEE en utilisant la méthode MOORA, MOOSRA et MULTIMOORA qui sont relativement des nouvelles approches.

On a utilisé MOORA, MOOSRA et MULTIMOORA parce qu'ils ont des avantages par rapport d'autres méthodes multi-objectives. MULTIMOORA est composé de la forme multiplicative complète des objectifs multiples et de la méthode MOORA. La méthode MOORA traite à la fois des critères bénéfiques et non bénéfiques et utilise des processus mathématiques distincts contrairement à d'autres méthodes, la méthode SAW par exemple, ne traite pas les critères bénéfiques et non bénéfiques séparément et, au cours du processus de normalisation, les critères non bénéfiques sont transformés en critères bénéfiques. La procédure de la méthode MOORA produit la performance globale des alternatives par rapport à divers critères. Ces avantages rendent la méthode MOORA facile à appliquer et flexible.

Le contexte mathématique de la méthode MOORA n'est pas complexe, donc il est facilement compréhensible. Le temps nécessaire pour faire la sélection finale n'est pas trop long. Il n'y a pas de limite au nombre de critères et d'alternatives du problème. L'ajout de tout paramètre supplémentaire n'affecte pas la procédure de calcul.

Enfin, ces approches sont considérées comme des outils appropriés pour classer ou sélectionner la meilleure alternative parmi un ensemble d'alternatives en raison des résultats satisfaisants. Dans les études futures, le même problème de sélection des centres de collecte des DEEE peut être résolu par d'autres méthodes multi-objectives et les performances de ces méthodes peuvent être comparables aux méthodes existantes. Les méthodes MULTIMOORA et MOOSRA peuvent être appliquées aux autres problèmes de prise de décision avec un nombre quelconque de critères et d'alternatives.

### **5.3.La conception de la chaîne logistique inverse par optimisation des coûts :**

Les objectifs annoncés au début étaient de proposer une stratégie de collecte des déchets à partir des points de collecte cités au tableau 2.2 et les affectés vers les centres de collecte et de traitement proposer.

Dans cette partie de chapitre, nous allons utiliser en premier temps un modèle mathématique qui est basé sur les problèmes de localisation et allocation pour la résolution de notre problème.

Dans une première étape, et en utilisant le logiciel ArcGIS 10.4, on a calculé les distances entre les points et les centres de collecte comme montre le tableau suivant :

Chapitre II : Conception du réseau de collecte des DEEE

	Ain Defla	Safsaf	Ain Fezza	Mansourah	Hennaya
1	5139,25	8138,46	18439,25	5761,41	14139,25
2	5173,88	8173,09	18473,88	5779,03	14173,88
3	4725,37	7724,58	18025,37	6095,48	13725,37
4	4723,5	7722,71	18023,5	6118,95	13723,5
5	4567,02	7566,23	17867,02	6301,61	13567,02
6	4571,05	7570,26	17871,05	6324,71	13571,05
7	5792,02	8791,23	19092,02	5424,75	14792,02
8	5813,34	8812,55	19113,34	5446,47	14813,34
9	5709,87	8709,08	19009,87	5341,35	14709,87
10	5756,9	8756,11	19056,9	5388,17	14756,9
11	6510,16	9509,37	19810,16	4331,52	15510,16
12	6541,86	9541,07	19841,86	4326,89	15541,86
13	7480,59	10479,8	20780,59	3426,56	16480,59
14	7345,71	10344,92	20645,71	3769,04	16345,71
15	7769,85	10769,06	21069,85	4313,02	16769,85
16	5340,99	8340,2	18640,99	1969,09	14340,99
17	5355,58	8354,79	18655,58	1711	14355,58
18	5435,1	8434,31	18735,1	2067,06	14435,1
19	5492,85	8492,06	18792,85	2122,15	14492,85
20	5666,99	8666,2	18966,99	2294,52	14666,99
21	6208,64	9207,85	19508,64	1003,13	15208,64
22	6312,32	9311,53	19612,32	765,25	15312,32
23	8186,82	11186,03	21486,82	2103,59	17186,82
24	1732,72	4731,93	15032,72	8871,85	10732,72
25	1779,18	4778,39	15079,18	8832,39	10779,18
26	2610,14	5609,35	15910,14	4569,69	11610,14
27	3079,27	6078,48	16379,27	4037,85	12079,27
28	4083,8	7083,01	17383,8	4222,25	13083,8
29	5879,65	8878,86	19179,65	4774,71	14879,65
30	4099,01	7098,22	17399,01	3325,94	13099,01
31	4808,85	7808,06	18108,85	2982,89	13808,85
32	5399,01	8398,22	18699,01	4461,05	14399,01
33	3938,09	6937,3	17238,09	5573,21	12938,09
34	4213,11	7212,32	17513,11	3368,16	13213,11
35	5708,42	8707,63	19008,42	3670,73	14708,42

Tableau 2. 16: Les distances entre les points et les centres de collecte.

## Chapitre II : Conception du réseau de collecte des DEEE

Les quantités estimées par mois pour chaque point de collecte :

Point de collecte	Quantité (Kg/mois)
1	300
2	100
3	100
4	150
5	150
6	130
7	120
8	115
9	140
10	135
11	350
12	320
13	100
14	100
15	110
16	200
17	180
18	170
19	130
20	150
21	400
22	110
23	230
24	300
25	320
26	350
27	300
28	100
29	200
30	200
31	350
32	320
33	280
34	180
35	300

Tableau 2. 17: Les quantités estimées des points de collecte

Les coûts fixes d'ouverture des centres : on a proposé un coût de location d'un site d'une surface de 1000 m<sup>2</sup> plus l'estimation des coûts fixes d'ouverture présenté dans le chapitre 03 :

Le centre	Le coût (DA)
Ain Defla	2 837 000
Safsaf	2 806 000
Ain Fezza	2 803 000
Mansourah	2 827 000
Hennaya	2 812 000

Tableau 2. 18: Les coûts fixes d'ouverture des centres.

La capacité des centres est de 10000 Kg, elle similaire pour les cinq centres.

### 5.3.1. Résolution du problème :

#### 1- Le modèle mathématique 01 :

Dans cette partie, le modèle mathématique pour la résolution du problème de collecte des DEEE est basé sur l'optimisation des coûts d'ouverture et la capacité des centres et les distances entre les centres et les points de collecte ou on a adapté le modèle de P-Médian à capacité limité à notre problème.

#### La nomenclature :

CAP (j) : Capacité du centre.

X (i, j) : La quantité expédié du point (i) vers le centre (j).

D (i, j) : La distance entre le point (i) et le centre (j).

Cf (j) : Le coût fixe d'ouverture du centre (j).

DEM (i) : La quantité estimé pour le point (i).

#### Variables de décision :

$$OPEN(i) = \begin{cases} 1 & \text{si le centre est ouvert} \\ 0 & \text{Sinon} \end{cases}$$

$$Y (i, j) = \begin{cases} 1 & \text{si le point est affecté} \\ 0 & \text{Sinon} \end{cases}$$

#### La fonction objectif :

La fonction objectif est pour objet de minimiser la distance et le coût d'ouverture.

Minimiser la distance et alors le coût de transport en multipliant la distance avec la quantité estimée pour chaque point et la variable binaire  $Y_{ij}$  qui désigne l'affectation du point au centre ou non. Et minimiser le coût d'ouverture des centres ou on trouve la somme sur les points de collecte multiplié fois la variable binaire qui désigne l'ouverture du centre ou non.

$$\min \left( \sum_{i=1}^5 \sum_{j=1}^{35} D_{ij} * DEM_i * Y_{ij} + \sum_{j=1}^{35} C_{fj} * OPEN_j \right)$$

#### Les contraintes :

- La première contrainte est la contrainte de capacité du centre ou il faut que la somme des quantités à expédier vers le centre ne dépasse pas sa capacité.

$$\forall j \sum_{i=1}^5 Y_{ij} * DEM_i \leq CAP_j * OPEN_j$$

- La deuxième contrainte est pour assurer que chaque point est affecté à un seul centre.

$$\forall i \sum_{j=1}^{35} Y_{ij} = 1$$

- La contrainte d'ouverture d'un seul centre, la somme des centres à ouvrir est égale à 1.

$$\sum_{j=1}^{35} OPEN(j) = 1$$



- Les variables de décision OPEN et Y sont des variables binaires.

$$\forall j \text{ OPEN} \in \{0, 1\}$$

$$\forall i \forall j \text{ Y} \in \{0, 1\}$$

**Les résultats obtenus :**

Les centres à ouvrir sont : le centre de Mansourah.

La valeur de la fonction objectif : 61 170960

Les affectations des points au centre avec les quantités à expédier : parce qu'on a un seul centre à ouvrir alors toutes les points sont affectés à ce centre.

**2- Le modèle Mathématiques 02 :**

Dans cette partie on va prendre en considération le classement trouvé dans la partie MCDM, alors on va ajouter un facteur  $\alpha$  qui présente le classement du centre par MOORA est alors le modèle sera basé sur l'aspect des coûts d'ouvertures ainsi que l'environnement.

La valeur  $\alpha$  selon le classement de l'MCDM :

Les centres	$\alpha$
Ain Defla	0.3
Safsaf	0.1
Ain Fezza	0.4
Mansourah	0.2
Hennaya	0.5

Tableau 2. 19: La valeur  $\alpha$  selon le classement de l'MCDM

**La fonction objectif :**

En multipliant la fonction objectif dans la valeur de  $(1 - \alpha)$ ,

$$\min \left( \left( \sum_{i=1}^5 \sum_{j=1}^{35} D_{ij} * DEM_i * Y_{ij} \right) * (1 - \alpha) + \left( \sum_{j=1}^{35} C_{fj} * OPEN_j \right) * (1 - \alpha) \right)$$

**Les contraintes :**

- La contrainte de capacité :

$$\forall j \sum_{i=1}^5 Y_{ij} * DEM_i \leq CAP_j * OPEN_j$$

- La contrainte d'affectation à un seul centre :

$$\forall i \sum_{j=1}^{35} Y_{ij} = 1$$

- La contrainte d'ouverture d'un seul centre, la somme des centres à ouvrir est égale à 1.

$$\sum_{j=1}^{35} OPEN(j) = 1$$

- Les contraintes de variables binaires :

$$\forall j \quad OPEN \in \{0, 1\}$$

$$\forall i \quad \forall j \quad Y \in \{0, 1\}$$

### Les résultats obtenus :

Les centres à ouvrir sont : le centre de Hennaya.

La valeur de la fonction objectif : 34 135240

### 3- Le modèle mathématique 3 :

#### La fonction objectif :

$$\min \left( \left( \sum_{i=1}^5 \sum_{j=1}^{35} Dij * DEMi * Yij \right) * (1 - \alpha) + \left( \sum_{j=1}^{35} Cfj * OPENj \right) * (1 - \alpha) \right)$$

#### Les contraintes :

- La contrainte d'ouverture du centre de Safsaf (centre choisi par l'MCDM) :

$$OPEN(2) = 1$$

- La contrainte de capacité :

$$\forall j \quad \sum_{i=1}^5 Yij * DEMi \leq CAPj * OPENj$$

- La contrainte d'affectation à un seul centre :

$$\forall i \quad \sum_{j=1}^{35} Yij = 1$$

- La contrainte d'ouverture d'un seul centre, la somme des centres à ouvrir est égale à 1.

$$\sum_{j=1}^{35} OPEN(j) = 1$$

- Les contraintes de variables binaires :

$$\forall j \quad OPEN \in \{0, 1\}$$

$$\forall i \quad \forall j \quad Y \in \{0, 1\}$$

**Les résultats obtenus :**

Le centre à ouvrir est le centre de Safsaf.  
La valeur de la fonction objectif : 43 106490

**Interprétation et discussion des résultats :**

Les trois modèles proposés sur le choix du site à ouvrir sont des modèles différents, afin d'étudier le problème de sélection du site de collecte et traitement des DEEE sur plusieurs aspects.

Le premier aspect est l'optimisation des coûts d'ouvertures des centres dans les cinq zones différentes, et les distances entre les centres et les points de collecte, où on a estimé les coûts de location du centre et les différentes charges de l'entreprise (coûts du personnels, installations, ...), dans cette partie, on a trouvé que le centre de Mansourah est le meilleur à ouvrir avec une valeur de la fonction objectif de 61 170 960.

Le deuxième aspect est la sélection des sites et l'affectation des points en prenant en considération la valeur du classement final de sites par le MCDM  $\alpha$ , dans cette partie on a choisi le centre de Hennaya pour installer notre usine avec la valeur de 34 135 240.

La troisième partie, on a combiné les eux partie précédentes, en créant un modèle d'optimisation des coûts on intégrant le facteur de classement  $\alpha$  et on ajoutant une contrainte qui oblige le solveur à choisir le site sélectionné par le MCDM, est alors on a trouvé que le centre de Safsaf est le centre à ouvrir avec une fonction objectif de 43 106 490.

**6. Conclusion :**

Comme attendu, ce travail a permis de dérouler une stratégie de collecte et de récupération des déchets électroniques dans la ville de Tlemcen. L'objectif été encore une fois le développement d'une combinaison entre les modélisations multi-objective d'aide à la décision et l'optimisation des coûts par le solveur Lingo.

Dans la suite, une étude de faisabilité d'une unité de traitement de ce genre de déchets après avoir les collecter intelligemment.

# **Chapitre III :** **La création** **d'entreprise**

## 1. Introduction :

Plus que jamais, les professionnels du recyclage et de la récupération des déchets industriels doivent faire face à des enjeux majeurs, entraînant une nécessité de professionnaliser leurs activités et de structurer leur entreprise prenant en compte les évolutions des directives et réglementations environnementales et sociétales, contraintes de traçabilité et de sécurité. D'une manière générale, on constate que les entreprises sont confrontées à une faible croissance économique, ce qui engendre une réduction notable des volumes des déchets collectés par les entreprises de recyclage. Cependant, certaines entreprises arrivent à tirer leur épingle du jeu parce qu'elles ont très tôt pris conscience que travailler intelligemment, en structurant l'organisation, en formalisant les procédures, en respectant les réglementations en vigueur, était la meilleure chose à faire.

## 2. Généralité sur l'entreprise :

### 2.1. Définition de l'entreprise :

D'une manière générale, l'entreprise est une structure économique et sociale, financièrement indépendante, produisant des biens et des services destinés à un marché concurrentiel ou monopolistique. Elle constitue l'unité fondamentale de l'économie de marché [32].

### 2.2. Classification des entreprises :

Les entreprises peuvent être classées selon plusieurs critères : [32]

#### 2.2.1. En fonction de leur activité :

**Entreprise artisanale** : Elle n'emploie pas plus de dix salariés.

**Entreprise commerciale** : Elle achète des biens qu'elle revend sans transformation.

**Entreprise industrielle** : Elle transforme les matières premières et vend des produits finis (ou semi-finis), elle appartient au secteur secondaire, celui de la transformation.

**Société de services** : Elle revend un travail sans fabrication d'objets physiques.

#### 2.2.2. En fonction de leur secteur économique :

**Secteur primaire** : agricole, sylviculture, pêche, mines.

**Secteur secondaire** : industrie, bâtiment et travaux publics

**Secteur tertiaire** : services.

**Secteur quaternaire** : recherche, développement et information.

#### 2.2.3. En fonction de leur taille :

Selon la taille ou la dimension, on distingue la petite, la moyenne et la grande entreprise. Les critères de la taille retenus sont très nombreux : le chiffre d'affaire, l'effectif du personnel, le résultat net...

Cependant, plusieurs spécialistes intéressés par la question de taille de l'entreprise, retiennent les critères des effectifs salariés pour classer les entreprises. Ainsi, est considérée comme :

- **Petite entreprise** : celui qui emploie de 1 à 19 salariés ;
- **Moyenne entreprise** : celle qui emploie un effectif de 20 à 499 salariés ;
- **Grande entreprise** : celui qui emploie un effectif de 500 salariés et plus.

#### **2.2.4. En fonction de leur statut juridique :**

**Les entreprises publiques :** leur capital est détenu totalement ou en partie par l'état ou les collectivités publiques.

**Les entreprises privées :** où on distingue les entreprises individuelles dans lesquelles un seul propriétaire assume tous les risques financiers (c'est le cas des artisans et des commerçants) ensuite il y a les sociétés où plusieurs associés assument tous les risques (société de personnes) ou une partie seulement (société de capitaux : SA, SARL). [33]

#### **2.3. Les objectifs d'une entreprise :**

Le premier but d'une entreprise est de produire des biens et services pour les distribuer sur un marché. Ce but est le seul économique. Il n'existe aucune entreprise qui pourrait survivre sans avoir cet objectif.

Le deuxième but est de gagner de l'argent et faire un bénéfice sur les biens et les services vendus. Ce but attire aussi des investisseurs ou des actionnaires pour investir de l'argent dans l'entreprise.

### **3. Les étapes de la création de l'entreprise :**

Cette partie du projet consiste à étudier la faisabilité d'une entreprise de recyclage des DEEE, qui assure la récupération et le traitement de ce type de déchet.

Dans un marché très concurrentiel, on doit définir une stratégie et un positionnement clair, par exemple le recyclage de matières ou déchets spécifiques, nécessite un traitement ou des précautions particulières, et le choix d'une spécialisation soit sur l'amont (capacité à capter un certain gisement), soit sur l'aval (capacité à créer de la valeur par un procédé de transformation).

Un des facteurs-clés de succès de ce genre d'entreprise est l'accès à un gisement intéressant de déchets ou matières, étant entendues que les matériaux à forte valeur sont souvent captés par des sociétés de recyclage bien implantées. Dans ce type d'activité, l'amont (sourcing) est donc aussi important que l'aval (commercialisation des produits).

Le marché du recyclage présente aussi un certain nombre de menaces, parmi lesquelles :

- La forte concurrence et la concentration au sein du secteur,
- La tendance à la réduction des déchets à la source,
- La prise en compte du recyclage par les fabricants eux-mêmes,
- L'évolution du cours des matières : depuis 2007, les cours sont plutôt orientés à la baisse, ce qui n'est pas favorable au recyclage.

Toutefois certains risques économiques pèsent sur les activités de recyclage :

- Les procédés de recyclage peuvent nécessiter d'importants investissements,
- En l'absence d'investissement, les procédés de recyclage peuvent s'avérer très gourmands en main d'œuvre,
- L'image des produits recyclés est parfois moins bonne que celle des produits neufs.

### 3.1.L'étude de marché :

L'étude de marché est une étape très importante. Confronter votre produit ou service aux futurs clients vous permettra de cerner leurs attentes, d'adapter et/ou faire évoluer votre offre en conséquence.

Il convient donc de vous assurer que le marché est porteur et de définir une stratégie commerciale adéquate :

- Le prix : combien vos clients sont-ils prêts à payer et pour quel produit ou service ?  
Quelle est votre marge ?
- La distribution : vous devez définir vos canaux de distribution, en fonction de chaque segment de clientèle,
- La communication : c'est le message que vous délivrerez afin de séduire la clientèle et la fidéliser.

Après avoir collecté, broyé et trié les déchets d'équipements électriques et électroniques, on doit encore les commercialiser, afin qu'ils soient réinjectés dans le cycle de production. Surtout avec les multiples réutilisations finales que les déchets DEEE recyclés et valorisés permettent.

Les matières récupérées à l'issue du tri des déchets sont à la fois nombreuses et variées. Mais si tous les pourcentages sont variables on peut néanmoins dire que parmi les trois grandes familles (ferreux, non ferreux et fractions plastiques), le fer extrait des déchets collectés représente environ 50% du flux global et le plastique environ 20%.

Dans ce domaine particulier de la gestion des déchets, les principaux clients de l'entreprise de recyclage sont des affineurs qui vont se charger de traiter les matières vendues pour atteindre un taux de pureté capable d'intéresser les intégrateurs industriels. Dans certains cas, l'intervention d'un second transformateur est nécessaire, pour passer, par exemple, d'un pourcentage de 90 à 99% de pureté, et ainsi favoriser l'utilisation finale des ex-déchets électroniques ou électriques.

<b>L'entreprise</b>	<b>L'activité</b>	<b>L'adresse</b>
Entreprise Nationale des Produits Miniers Non Ferreux et des Substances Utiles (Groupe ENOF)	Recyclage des métaux,	31, rue Mohamed Hattab, Hacène Baddie Belfort 16010 El Harrach Alger
Entreprise de Récupération de l'Est (ERE)	Fonderie alliages ferreux - petite, moyenne et grande série, Recyclage des métaux.	ZI Pont Bouchet 23200 El Hadjar Annaba
Alpaprec (ALPAPREC)	Recyclage des métaux,	R. de l'Huilerie BP 34. Oran

Tableau 3. 1: Clients ciblés des métaux [34].

<b>L'entreprise</b>	<b>L'activité</b>	<b>L'adresse</b>
ALG CAR-AGR EAUX	Recyclage du plastique, Tuyaux d'arrosage, Filtres hydrauliques, Raccords, vannes et crépines, Filtres,	Route de la base Aérienne, Grand Chéraga. Alger
ETOILE PLASTIQUE	Recyclage du plastique,	14 bis, voie n°2, ZI Es-Senia Oran
La Gazelle(S.M.P.G)	Documentation en Caoutchouc et plastique, Recyclage du plastique,	78, R. de l'Etoile, ZI n°2 31100 Es-Senia Oran
Groupe Industriel ENPC (Groupe ENPC)	Documentation en Caoutchouc et plastique, Recyclage du plastique,	Zone Industrielle de Sétif route de Batna 19000 Sétif
Ould Chakmakdji ex:chakplast	Recyclage du plastique,	Quartier Merdjechkir 26000 Medea
Nariplast	Recyclage du plastique,	zone industrielle de Hassi Ameer Oran Oran
Groupe Rymm(Groupe RYMM)	Recyclage du plastique,	Nouvelle ZA, Rte de Biskra 30200 Touggourt Ouargla
<b>ATPS - Algérie Transformation Plastique Sétif, Sarl</b>	Production des tuyaux et tubes plastiques	Zone d'Activité Artisanale, 6ème tranche, lot n°60 BP 310bis 19000 Sétif Algérie

Tableau 3. 2: Les clients ciblés des plastiques [34].

<b>L'entreprise</b>	<b>L'activité</b>	<b>L'adresse</b>
ALGAL Société Algérienne d'aluminium, Spa	Fonderies Métaux non-ferreux et leurs alliages	Pont Henri Huc Saint Charles,MRA (Ex Brossette) 31000 Oran
METANOF - Entreprise Nationale de Métallurgie & de Transformation de Métaux non Ferreux,Spa	Profilés en acier et acier laminé Métaux légers et leurs alliages Semi-produits en aluminium et ses alliages Métaux non-ferreux et leurs alliages (autres)	Zone Industrielle Oued Smar. BP 50 M 16059 Oued Smar Algérie
METANOF - Entreprise Nationale de Métallurgie &de Transformation des Métaux non Ferreux,Spa	Métaux légers et leurs alliages Semi-produits en aluminium et ses alliages Métaux non-ferreux et leurs alliages (autres) Semi-produits en cuivre Semi-produits en zinc	Boulevard 18 Février, Imama BP 588 13000 Tlemcen Algérie

Tableau 3. 3: Clients ciblés des métaux non ferreux [34]



### **3.2.L'étude technique :**

Une fois revenus de leurs différents points de collecte DEEE, les camions entament le déchargement des déchets électroniques ou électriques sur le sol de l'usine, pour les envoyer vers la chaîne du traitement.

#### **3.2.1. Le démantèlement et la dépollution :**

L'étape de démantèlement est importante, elle permet de séparer des matériaux à valoriser de ceux qui ne peuvent l'être et composants dangereux. Cette opération principalement manuelle car le démontage manuel permet une meilleure récupération de métaux à valoriser.

Deux opérateurs se placent devant un tapis dont ils contrôlent le flux, désincarcèrent les produits, retirent les câbles, les cartouches, les batteries...etc. Le démantèlement des écrans, quant à lui, est tout à fait particulier. Les tubes cathodiques récupérés n'étant plus ouverts. Ces substances polluantes sont ensuite placées dans des caisses spéciales, et récupérés par une société spécialisée. Les autres éléments polluants, quant à eux, sont également jetés, et les déchets D3E dépollués continuent leur route vers le broyeur.

#### **3.2.2. Le broyage :**

Le broyage consiste à réduire la taille des déchets afin de garantir une séparation efficace.

Les déchets sont régulièrement répartis sur toute la longueur des cylindres pour être broyés (chaque cylindre est composé d'un ensemble de lames). Le système est entraîné par moteur électrique.

Dans la partie de réalisation, présentés dans le chapitre 4, on a pris le broyeur réalisé par les étudiants CHOUAR Amine et BEMAMI Kamal Eddine.

#### **3.2.3. La séparation magnétique :**

On utilise la séparation magnétique lorsqu'il faut séparer des métaux ferreux d'autres matériaux. Le procédé repose sur l'utilisation d'aimants permanents et d'électro-aimants. Le séparateur est composé d'un segment magnétique (des aimants) immobile autour duquel tourne un rouleau en acier inoxydable. L'aimant attire les particules de métal ferromagnétiques, les particules métalliques capturées vont emporter vers le dessous du tambour jusqu'à ce qu'elles soient en dehors du champ magnétique.

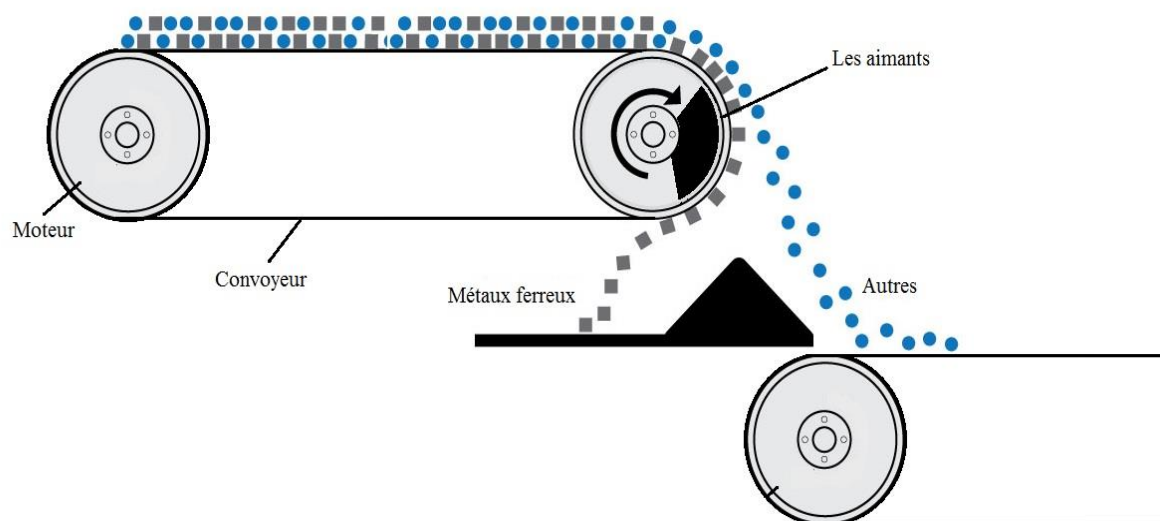


Tableau 3. 4: Séparation magnétique.

La séparation magnétique comporte certaines limitations. Elle ne peut séparer le fer et l'acier du nickel ou des aciers inoxydables magnétiques. En outre, les pièces composites qui contiennent du fer sont collectées et peuvent alors contaminer la fonte. On peut utiliser le triage à la main conjointement avec la séparation magnétique pour éviter que cela se produise.

Principaux avantages :

- Augmentation du degré d'élimination du fer ;
- Purification matière très fine ;
- Systèmes à très faible encombrement idéals ;
- Pour des installations où des séparateurs classiques ne peuvent être installés faute d'espace.

### 3.2.4. La séparation par courant de Foucault :

Les séparateurs à courant de Foucault sont dotés d'un système de bande de transport avec un rotor magnétique à rotation rapide. La vitesse de rotation des aimants provoque un champ magnétique. La séparation est basée sur le principe que chaque particule (électriquement) conductrice qui se trouve dans un champ magnétique variable devient elle-même (temporairement) magnétique. Autrement dit : tous les métaux qui passent dans le rouleau magnétique deviennent eux-mêmes magnétiques et sont ainsi « catapultés ». De cette manière, de très nombreux métaux non-ferreux peuvent être séparés.

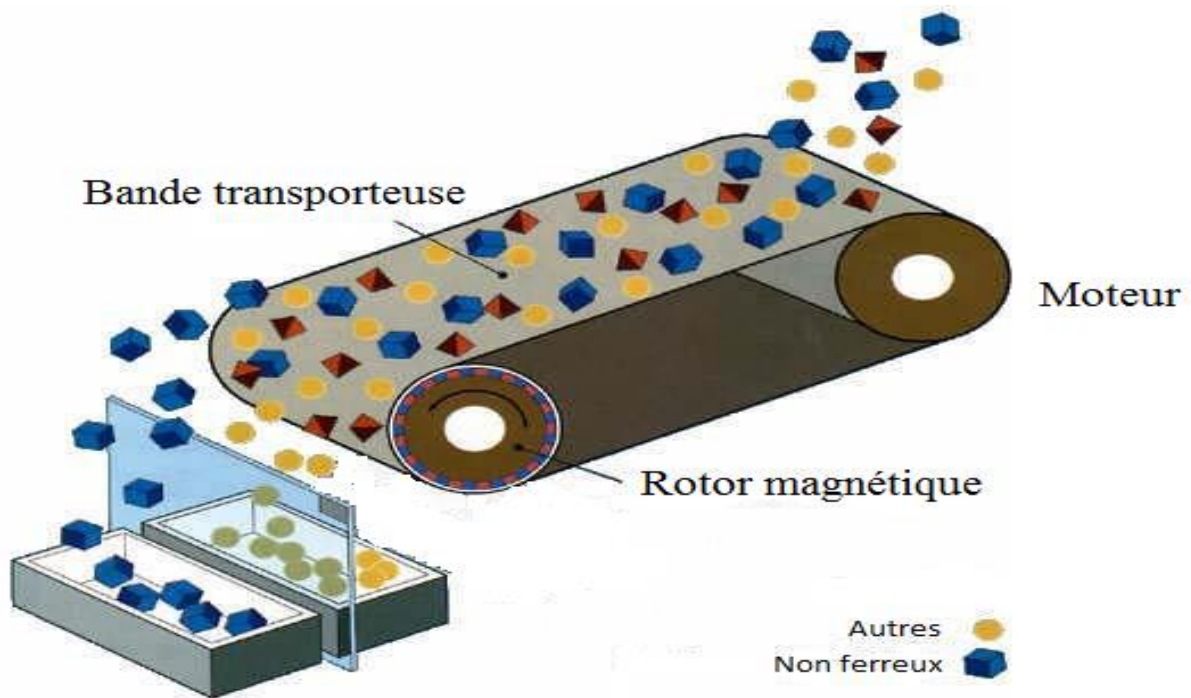


Tableau 3. 5: Séparation par courant de Foucault.

### 3.3.L'étude organisationnelle et institutionnelle :

L'étude organisationnelle et institutionnelle réserve une grande espace dans les études de conception des entreprises modernes car l'impact de ces études reste à long temps avec ces entreprises quel que soit le niveau juridique, les droits social et les méthodes de fonctionnement administratives.

#### 3.3.1. Etude organisationnelle :

C'est une étude de haut niveau qui consiste à étudier tous les éléments d'organisation d'une entreprise. Elle constitue également une étape préalable d'une évaluation plus globale du système de gestion de l'entreprise.

Cette analyse permet de tirer des premières conclusions sur la qualité du système de management de l'entreprise.

La structure administrative de notre entreprise est présentée dans l'organigramme suivant :

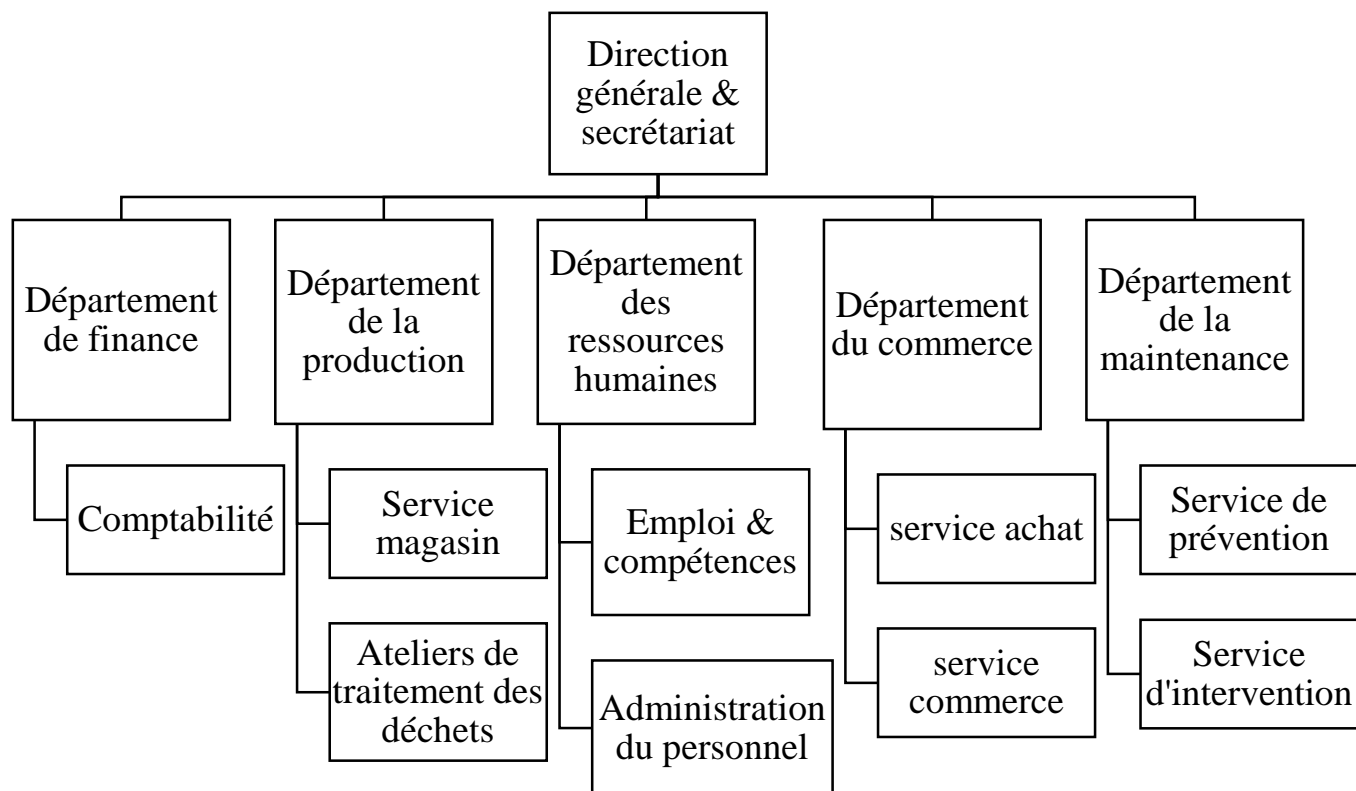


Figure 3. 1: Organigramme de l'entreprise.

**Le département de finance :** ce département a pour mission l'animation, la coordination et le contrôle de l'ensemble des activités financière et comptable de notre entreprise.

Cette mission a pour objectif de :

- Donner des informations sur la situation financière de l'entreprise ;
- Aider à la décision en mettant en avant les données économiques nécessaires ;
- Utiliser au mieux les ressources financières disponibles dans l'entreprise ;
- Obtenir les capitaux (au meilleur coût) nécessaires pour le développement de l'entreprise.

**Le département de la production :** dans notre entreprise le département de production est le responsable de tout ce qui concerne le processus de recyclage, le flux de la matière première et les matières séparées.

Ce département a pour mission la préparation et la planification des tâches nécessaires pour le recyclage et l'élaboration d'un plan de production en définissant le contenu de chaque poste, la réalisation des tâches conformément au plan et le contrôle des machines et des produits séparés après la fin du recyclage.

- **Service magasin :**

Ce service a pour mission de mettre à disposition des clients internes et externes les produits, matières et articles en quantité, qualité et selon les délais prévus dans le respect des bonnes pratiques de distribution et de fabrication.

Activités principales :

- Organisation des activités de réception, de stockage, de préparation et de distribution des marchandises ;
- Organisation et coordination de la préparation des ordres de production ;
- Contrôle des stocks (rotation des stocks...), des approvisionnements (volume, qualité) et des inventaires ;
- Traitement administratif du transport des produits ;
- Etablissement et suivi des tableaux de bord magasins ;
- Gestion du budget de son secteur ;
- Sélection et gestion des sous-traitants pour le transport des produits.

- **Atelier de traitement :** au sein de l'atelier de la production on exécute les tâches de recyclage, commençant par le démantèlement manuel des déchets, passant par le broyage jusqu'à la dernière étape de séparation des différents métaux et matières.

**Le département de commerce :** le département de commerce est chargé de toutes les tâches d'achats de matières recyclables et vente de matières recyclées.

Il faut que le département commercial puisse être en communication et en collaboration permanente avec les autres départements pour être en adéquation dans sa stratégie avec la vision globale ainsi que les capacités réelles de l'organisation.

- **Service achat :**

La fonction Achats est chargée de procurer les composants nécessaires au traitement des déchets, les déchets eux-mêmes et les différents articles et moyens pour l'administration. Ces composants doivent être livrés dans les délais, tout en étant conformes en qualité et en quantité au cahier des charges de l'entreprise.

L'importance de la fonction achat peut s'appréhender à plusieurs niveaux :

- Sur le plan financier : la politique d'achats contribue à la rentabilité de l'entreprise en influant sur les coûts des composants et donc sur la marge de l'entreprise.
- Sur le plan commercial : la fonction d'approvisionnement permet de fournir des produits de bonne qualité tout en évitant les ruptures de stocks (qui sont très mauvaises pour l'image d'une entreprise)
- Sur le plan stratégique : la fonction achats va contribuer à la compétitivité de l'entreprise tant en termes de coûts que de délais.

**Service commerce :**

La fonction commerce et vente regroupe l'ensemble des activités et processus permettant à notre entreprise de :

- Comprendre les attentes des consommateurs et la situation du marché des plastiques et de métaux ferreux et non ferreux ;

- D'essayer d'influencer le comportement des consommateurs dans le sens de nos objectifs.

**Le département de la maintenance :** la fonction maintenance participe à l'entretien et à l'optimisation des ressources nécessaires à la production. Cette fonction a pour mission de garantir le fonctionnement des capacités de production, la sécurité des hommes et du matériel.

Les tâches à exécutées au sein de ce département sont :

- Assurer la maintenance des installations et du matériel de production ;
- Garantir et optimiser les outils de production en orientant sur les décisions d'investissements ;
- Mettre en place une politique de maintenance préventive (organisation, système d'information...);
- Gérer l'activité du service maintenance (suivi de tableaux de bord, reporting, etc.);
- Appliquer les réglementations en matière de sécurité dans l'entreprise.
- Prévenir et assurer la sécurité du personnel, des installations et de l'environnement,
- Effectuer une veille sur les évolutions réglementaires en matière d'hygiène et de sécurité et mettre en place une culture de la sécurité au sein de la structure.

Pour notre entreprise le service de maintenance peut également être amené à participer à des études d'amélioration du processus industriel, et doit comme d'autres services de l'entreprise, prendre en considération de nombreuses contraintes comme la qualité, la sécurité, l'environnement, le coût, etc.

**Le département des ressources humaines :** le département des RH est responsable de la gestion et du développement des ressources humaines mises à disposition pour les différents départements de l'entreprise. Il est chargé de l'engagement des collaborateurs et du développement et du suivi de la politique du personnel. Il vise à maintenir un bon climat de travail et mène des discussions positives avec les collaborateurs.

Les prestations du service des ressources humaines comprennent notamment :

- Le management du Département des ressources humaines ;
- La gestion du budget des postes ;
- La gestion du processus du recrutement du personnel ;
- La gestion des salaires, des assurances et des charges sociales ;
- La planification et la gestion du temps de travail ;
- La gestion du personnel ;
- L'évaluation et la qualification du personnel ;
- Le développement d'instruments RH ;
- La gestion des tâches administratives diverses ;
- Le traitement juridique des dossiers des collaborateurs ;
- La contribution à l'organisation de la vie sociale interne ;

<b>Fonction</b>	<b>Tâches</b>	<b>Effectif</b>
Direction générale	Gestion financière et stratégique, relations extérieures, interface collectivités et filières repreneurs.	1
Administration	secrétariat	1
Comptable	Chargé des opérations financières	1
Responsable de la GRH	Gestion du personnel	1
Responsable de la production	Planification et contrôle de la production Gestion de la maintenance (gros entretien)	1
Magasinier	Gestion des flux du magasin	1
Electromécanicien de maintenance	Entretien courant de l'installation Prévention des pannes	2
Opérateurs pour le démantèlement	Démantèlement des déchets et dépollution des substances dangereux	2
Opérateur 1	Pilotage du broyeur	1
Opérateur 2	Pilotage du séparateur magnétique	1
Opérateur 3	Pilotage du séparateur à courant de Foucault	1
Agent d'hygiène	Nettoyage de l'atelier de traitement. Nettoyage des bureaux et sanitaires.	2
Agent de sécurité	Assurer la sécurité de l'entreprise et ses environs durant la journée.	2
Chauffeurs	La conduite des camions de collecte	2
Infirmier	Secourisme (les petits soins)	1
<b>TOTAL</b>	/	

Tableau 3. 6: Les besoins en personnel.

### 3.3.2. L'étude institutionnelle :

Pour que notre société réussisse dans le domaine commercial, il faut bien déterminer la forme institutionnelle et juridique de l'administration à fin d'éviter le risque que notre entreprise glisser vers l'échec.

On entend par forme institutionnelle le cadre juridique qui permet à l'entreprise de voir le jour en toute légalité. Il n'existe pas de statut juridique idéal mais simplement un statut juridique adapté à la situation de chaque entrepreneur, en fonction de la nature et de l'importance de son projet.

**Les critères de choix du statut juridique de l'entreprise : [35]**

**- La volonté de s'associer ou non :**

Le choix du statut juridique d'une entreprise dépend, en premier lieu, du nombre de personnes contribuant au projet de création d'entreprise. Lorsque le porteur de projet souhaite travailler seul, il pourra opter pour les statuts juridiques suivants :

- Auto-Entreprise (AE) ;
- Entreprise Individuelle (EI) ;
- Entreprise Individuelle à Responsabilité Limitée (EIRL) ;
- Entreprise Unipersonnelle à Responsabilité Limitée (EURL) ;
- Société par Actions Simplifiée Unipersonnelle (SASU).

L'un des avantages d'avoir recours à une EURL ou à une SASU réside dans le fait qu'il sera possible de faire entrer ultérieurement d'autres associés sans envisager une transformation de la société.

Si le porteur de projet souhaite s'associer à d'autres personnes, il devra obligatoirement opter pour une structure sociétale ; dont voici les plus courantes :

- Société A Responsabilité Limitée (SARL)
- Société par Actions Simplifiée (SAS)
- Société Anonyme (SA)
- Société en Nom Collectif (SNC)
- Société d'Exercice Libéral (SEL)
- **La responsabilité du créateur :**

Le second critère important pour choisir le statut juridique de l'entreprise concerne l'étendue de votre responsabilité en tant que créateur d'entreprise par rapport aux dettes sociales. Voici les règles applicables par statut juridique :

- Entreprise individuelle : responsabilité illimitée (statut juridique à risque) ;
- EIRL : responsabilité limitée au montant du patrimoine affecté (statut juridique protecteur) ;
- SNC : responsabilité indéfinie et solidaire de tous les associés (statut juridique à risque) ;
- EURL, SARL, SASU, SAS et SA : responsabilité limitée au montant des apports effectués (statut juridique protecteur).
- **Les règles de fonctionnement de l'entreprise :**

Selon la structure que vous choisirez, les règles de fonctionnement seront plus ou moins contraignantes.

Dans l'entreprise individuelle, le dirigeant est seul. De ce fait, les règles de fonctionnement sont réduites au minimum. Il prend toutes les décisions et engage en contrepartie sa responsabilité.



Dans les sociétés, le dirigeant n'agit pas pour son propre compte, mais « au nom et pour le compte » de la société. Il doit donc observer un certain formalisme et obtenir l'autorisation de ses associés pour tous les actes importants qui touchent la vie de l'entreprise.

### - **L'ampleur du projet :**

Certains statuts juridiques sont plus appropriés que d'autres en fonction de la dimension du projet. En effet, ceux qui nécessitent des investissements importants (et donc des financements considérables) sont généralement envisagés au sein de sociétés de capitaux comme la société par actions simplifiée (SAS) ou la société anonyme (SA).

### - **Les besoins financiers :**

Une société et une entreprise individuelle n'exigent pas les mêmes besoins. Si les besoins sont conséquents, la création d'une SA (société anonyme) ou d'une SAS (société par actions simplifiée) peut être judicieux, notamment pour ouvrir le capital à des investisseurs.

### - **Le régime social :**

A chaque statut juridique correspond un régime social pour le dirigeant. Ce dernier pourra, soit être « assimilé salarié », soit être « non salarié ».

Les assimilés salariés bénéficient d'une meilleure protection sociale que les non-salariés en matière de remboursement de soins et de retraite mais leur coût est également plus important pour l'entreprise.

L'entrepreneur est soumis au régime social des indépendants s'il est entrepreneur individuel, gérant d'EURL ou gérant majoritaire de SARL. Il cotise au régime des salariés s'il est gérant minoritaire ou égalitaire de SARL, PDG ou directeur général de SA.

### - **Le régime fiscal :**

les bénéficiaires de l'entreprise sont soumis soit à l'impôt sur le revenu (entreprise individuelle, EURL) soit à l'impôt sur les sociétés (SARL, SA, SAS, SASU). Dans le premier cas, la déclaration fiscale prend en compte les revenus personnels du créateur et le bénéfice de l'entreprise. Dans le second, seuls les bénéfices de la société sont déclarés.

D'après l'étude des critères de choix du statut juridique de notre entreprise, on a choisi la société à responsabilité limitée (SARL). Car elle représente une forme commerciale très adaptée aux petites et moyennes entreprises. La SARL est une personne morale, ce qui signifie qu'elle a une existence juridique propre qui est indépendante de celle de ses fondateurs. Elle a un patrimoine qui lui est propre et donc séparé du patrimoine de ses associés. Le mode de gestion d'une SARL est le plus simple que les autres sociétés. En effet, une SARL est gérée par un gérant, qui est tenu de rendre des comptes au moins une fois par an à une assemblée générale des associés. Créer une SARL en Algérie se fait avec un minimum de deux associés et un maximum de 100, les associés composent capital qu'en minimum 100 000 DA.

### **3.4.L'étude financière :**

Une bonne gestion financière dans une entreprise est un signe de réussite. C'est à partir de ces données que les dirigeants d'une entreprise prennent des décisions conséquentes. C'est en quelque sorte un outil financier qui permet d'évaluer les risques, les bénéfices et les tendances financières. Il est utile de déterminer les prévisions de la trésorerie au sein d'une entreprise pour mieux gérer la marche de l'entreprise et d'adopter une politique financière

### Chapitre III : La création d'entreprise

adaptée aux besoins de cette entité. La gestion financière est une aptitude obligatoire à adopter au sein d'une entreprise.

La gestion financière englobe le développement des budgets de l'entreprise. Ces derniers servent à planifier et à avoir de la visibilité quant au bon déroulement de l'exploitation et des projets futurs.

Même si ces documents sont basés sur des hypothèses, il n'en reste pas moins qu'ils sont travaillés en fonction des chiffres financiers présents et prélevés de l'historique. Ces budgets peuvent, à tout moment, être révisés et corrigés selon l'évolution.

Afin de réaliser l'estimation du cout prévisionnel final de la réalisation de notre centre de récupération et de traitement des DEEE, nous avons utilisé la méthode de détermination du cout des ressources qui consiste à estimer le coût total du projet par l'évaluation des coûts détaillés des ressources utilisées dans ce projet.

<b>Personnel</b>	<b>Prix (DA)</b>	<b>Effectif</b>	<b>Prix total (DA)</b>
Directeur général	100 000	1	100000
Administration	35 000	1	35 000
Comptable	42 000	1	42 000
Responsable de la GRH	40 000	1	40 000
Responsable de la production	70000	1	70 000
Magasinier	30000	1	30000
Electromécanicien de maintenance	35 000	2	70 000
Opérateurs pour le démantèlement	20 000	2	40 000
Opérateur 1	20 000	1	20 000
Opérateur 2	20 000	1	20 000
Opérateur 3	20000	1	20000
Agent d'hygiène	18000	2	36000
Agent de sécurité	22000	2	44000
Chauffeurs	40000	2	80 000
Infirmier	30 000	1	30 000
TOTAL	/	/	677 000

Tableau 3. 7: Rémunération des salariés.

<b>Matériel</b>	<b>Prix (DA)</b>
Matériel informatique	500 000
Matériel bureautique	500 000
Installation informatique	20 000
Installation d'électricité	20 000
Installation d'eau	20 000
<b>Total</b>	<b>1060 000</b>

Tableau 2. 20: Estimation des charges nécessaires de l'entreprise.

#### **4. Conclusion :**

A Partir de cette étude nous avons pu montrer et définir les caractéristiques judiciaires et organisationnelles de notre entreprise industrielle et leur avantage par rapport à notre cas, les besoins de notre société en termes de main d'œuvre (leurs compétences et salaires) et matériels et aussi la hiérarchie organisationnelle des différents départements de l'entreprise.

# Chapitre IV : La réalisation du projet

## **1. Introduction :**

Dans le but de réaliser le projet de recyclage des déchets électriques et électroniques on s'intéresse à la réalisation des machines de séparation des métaux ferreux et non ferreux, qui permet de trier les différents composants des déchets en fonction de leur nature ferromagnétique.

## **2. La conception assistée par ordinateur :**

En utilisant le logiciel de conception assistée par ordinateur SolidWorks, pour concevoir la machine de séparation magnétique et par courant de Foucault.

### **2.1. Le séparateur magnétique :**

**Le tambour :** un organe de forme cylindrique pour entraîner le tapis. Ce tambour est relié avec une poulie de courroie pour la transmission de rotation du moteur.

**Le tambour magnétique :** est le tambour positionné à la fin du séparateur et équipé par un ensemble d'aimants à l'intérieur pour qu'il sépare de manière continue les particules ferromagnétiques à partir du flux de la matière.

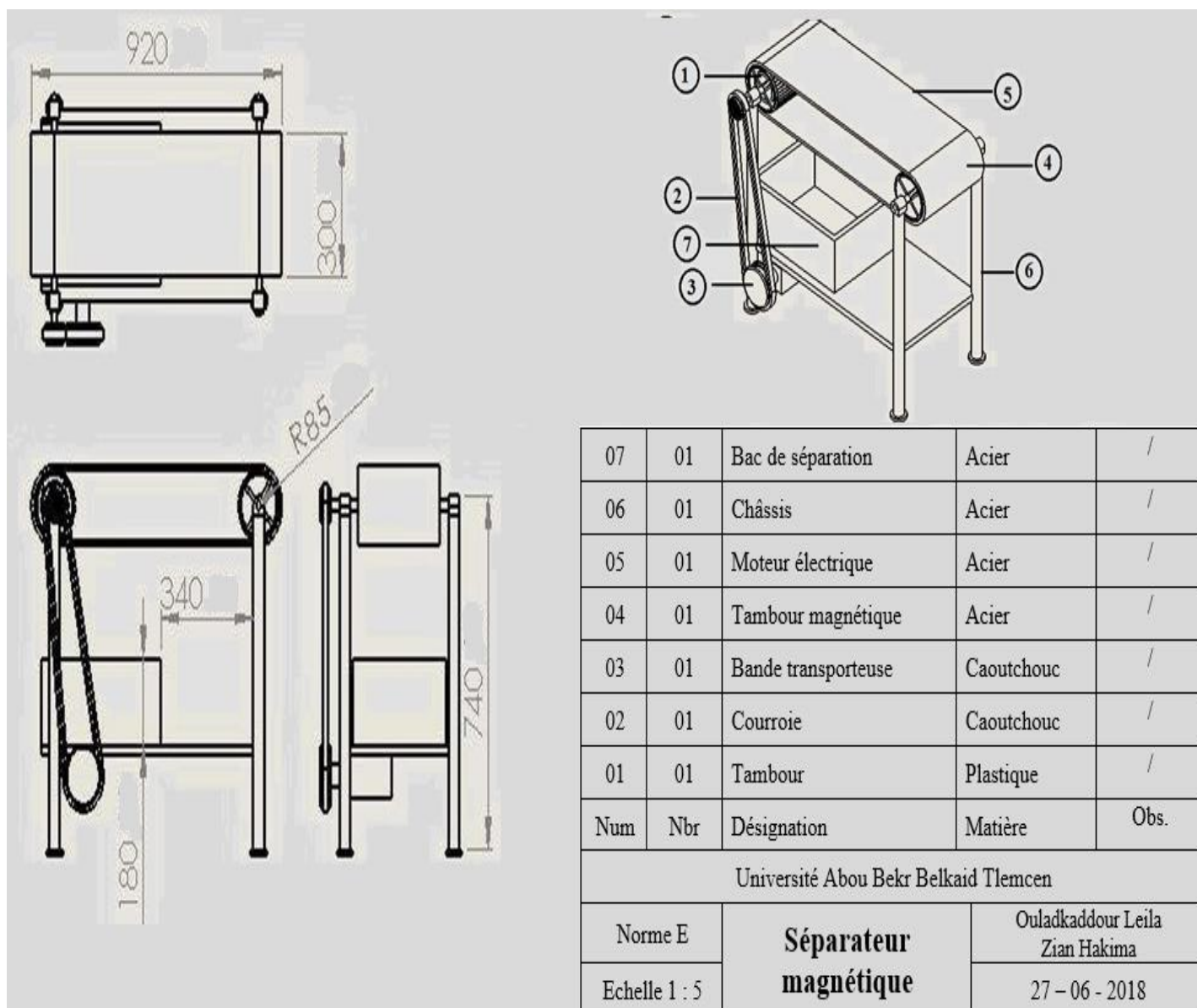
**Le tapis :** le tapis est le dispositif de transport permettant le déplacement continu de la matière, elle est constituée essentiellement d'une bande en matière souple entraînée par un tambour motorisé.

**La courroie :** est l'organe responsable de la transmission du mouvement à partir du moteur vers le tambour receveur pour faire tourner le tapis, la courroie présente une grande souplesse de conception.

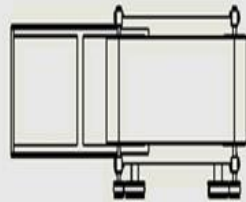
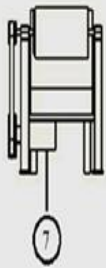
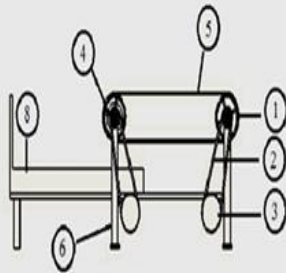
**Le châssis :** le châssis ou la table joue le rôle du support pour les tambours du convoyeur, les moteurs et les bacs de tri. Dans le séparateur magnétique le bac est placé au-dessous de la table car les particules vont tomber lorsqu'ils seront loin du champ magnétique.

### **2.2. Le séparateur à courant de Foucault :**

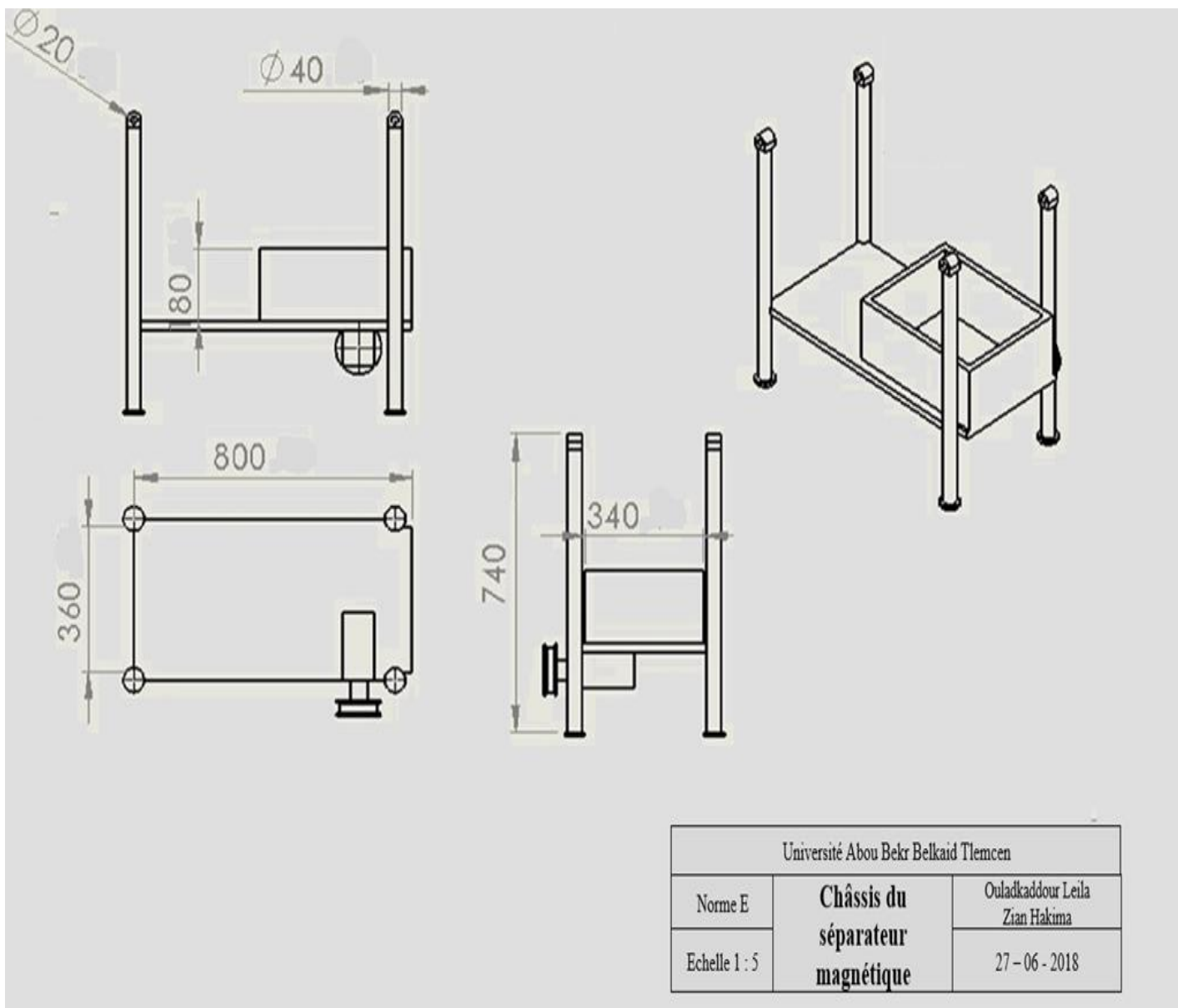
**Le tambour à rotor :** est le tambour positionné à la fin du séparateur et équipé par un rotor magnétique à l'intérieur pour qu'il sépare de manière continue les particules non ferreuses à partir du flux de la matière.



## Chapitre IV : Réalisation du projet

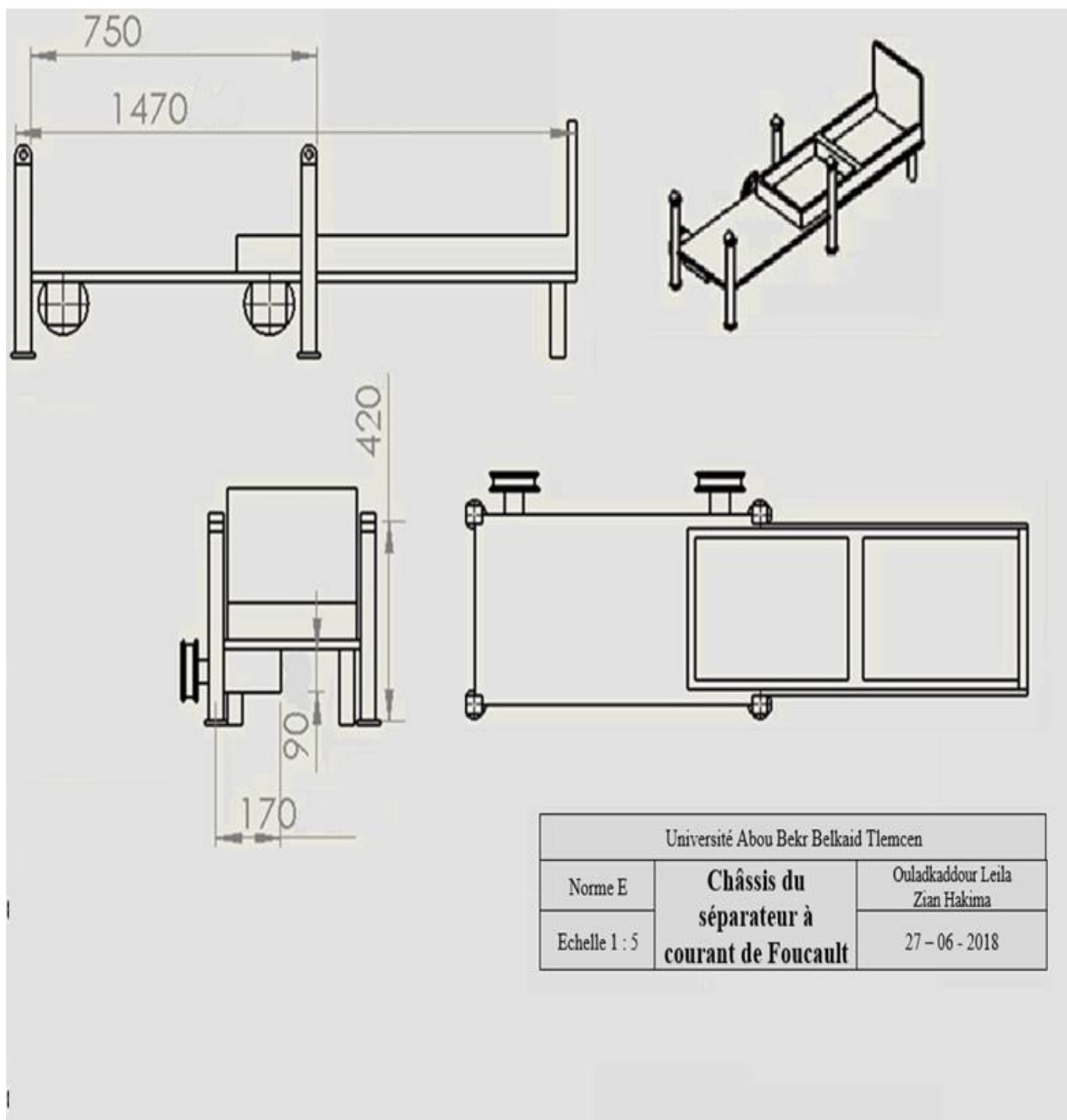


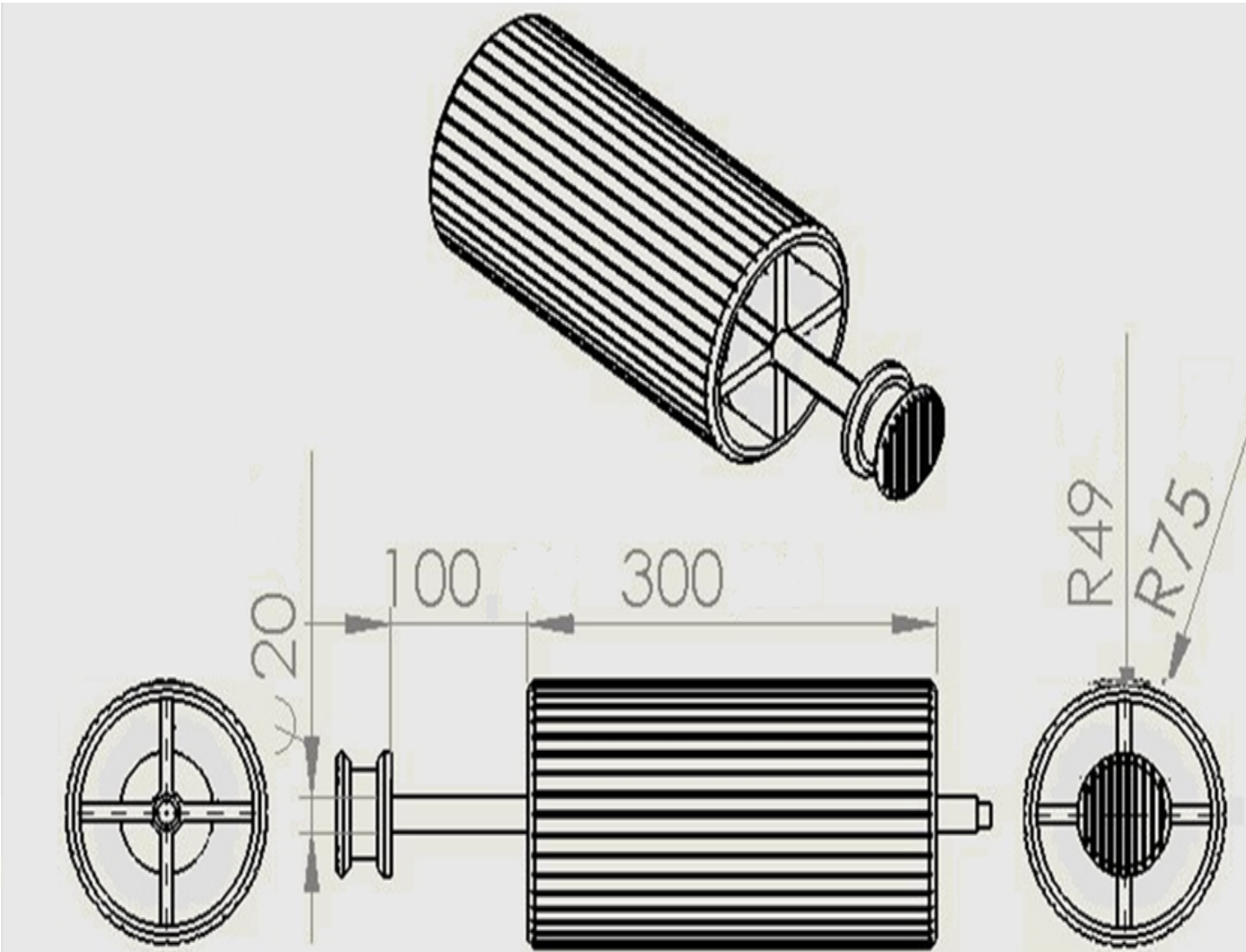
08	01	Bac de séparation	Acier	/
07	01	Moteur	Acier	/
06	01	Châssis	Acier	/
05	01	Bande transporteuse	Caoutchouc	/
04	01	Tambour à rotor magnétique	Plastique	/
03	01	Moteur électrique	Acier	/
02	01	Courroie	Caoutchouc	/
01	01	Tambour	Plastique	/
Num	Nbr	Désignation	Matière	Obs.
Université Abou Bekr Belkaid Tlemcen				
Norme E	<b>Séparateur à courant de Foucault</b>		Ouladkaddour Leila Zian Hakima	
Echelle 1 : 5			27 - 06 - 2018	



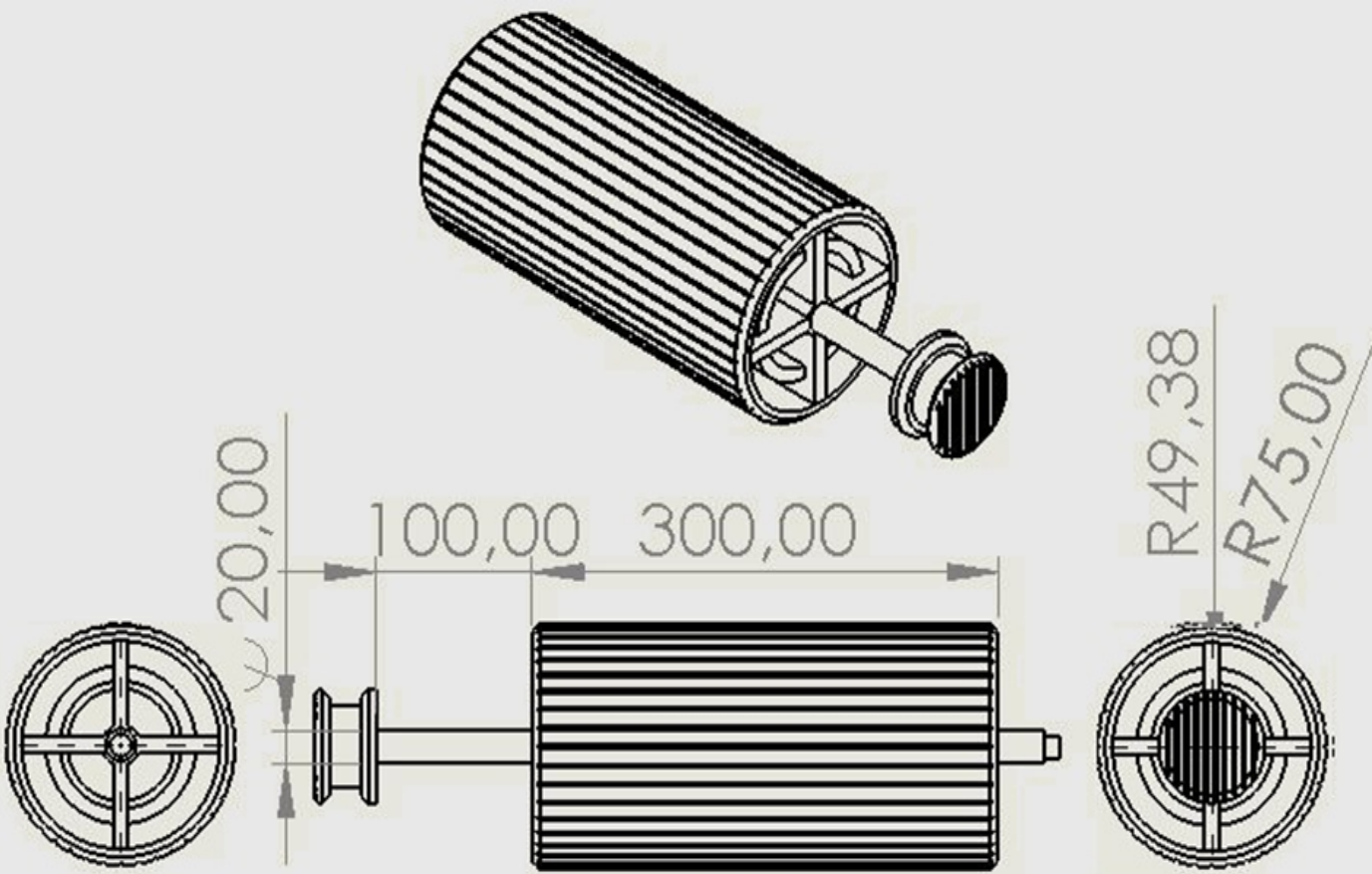
Université Abou Bekr Belkaid Tlemcen		
Norme E	<b>Châssis du séparateur magnétique</b>	Ouladkaddour Leila Zian Hakima
Echelle 1 : 5		27 - 06 - 2018



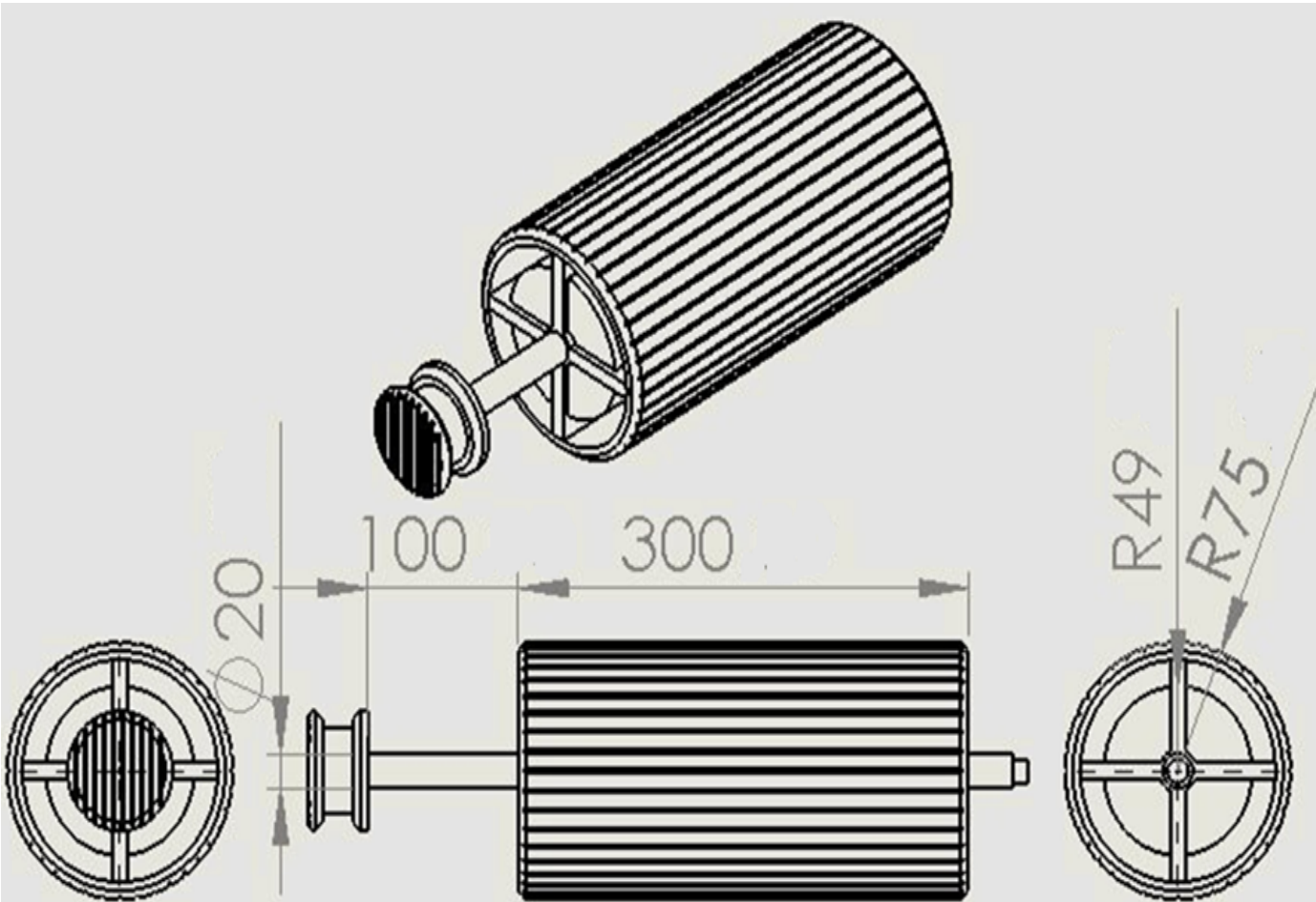




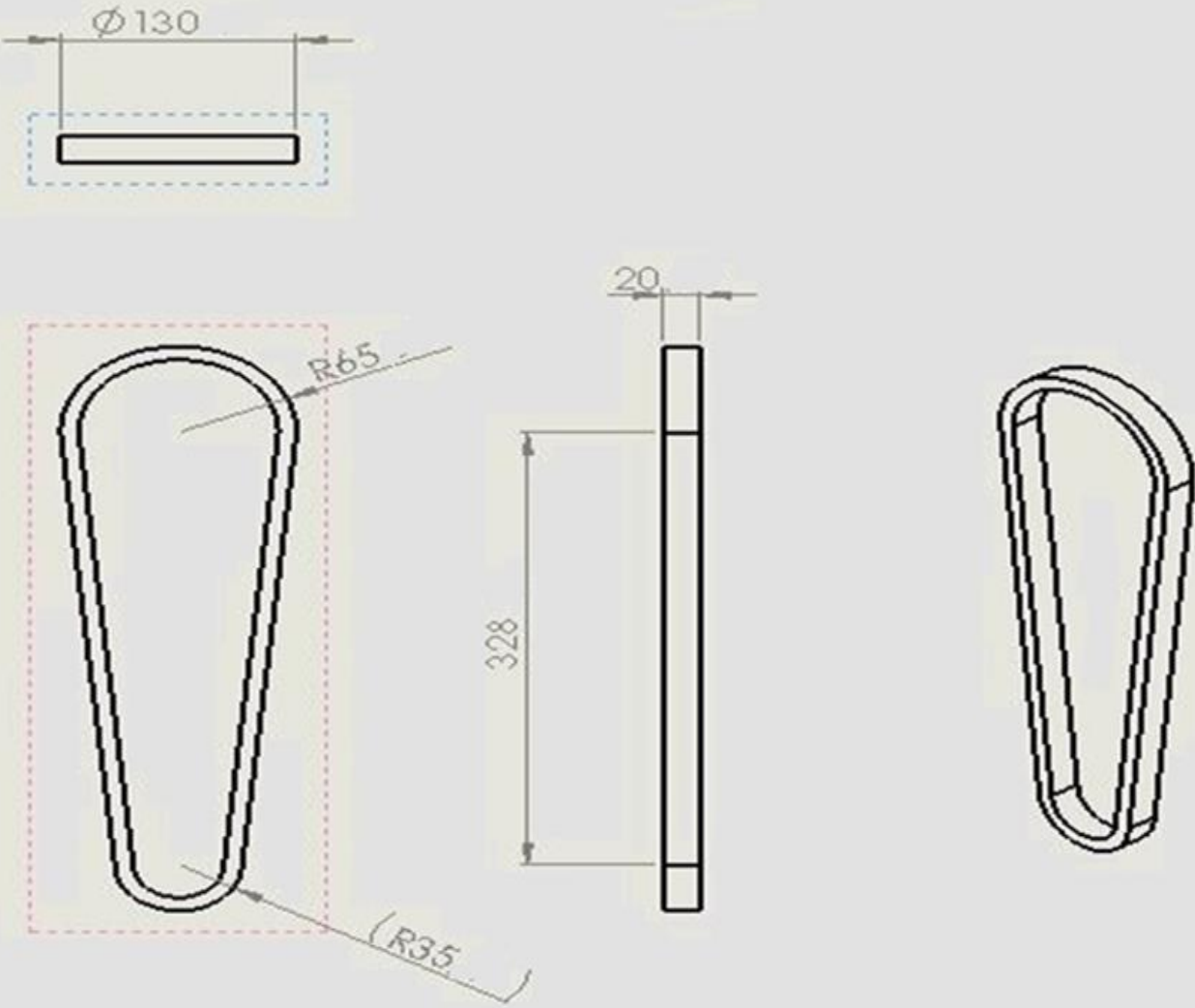
Université Abou Bekr Belkaid Tlemcen		
Norme E	<b>Tambour de rotation</b>	Ouladkaddour Leila Zian Hakima
Echelle 1 : 5		27 - 06 - 2018



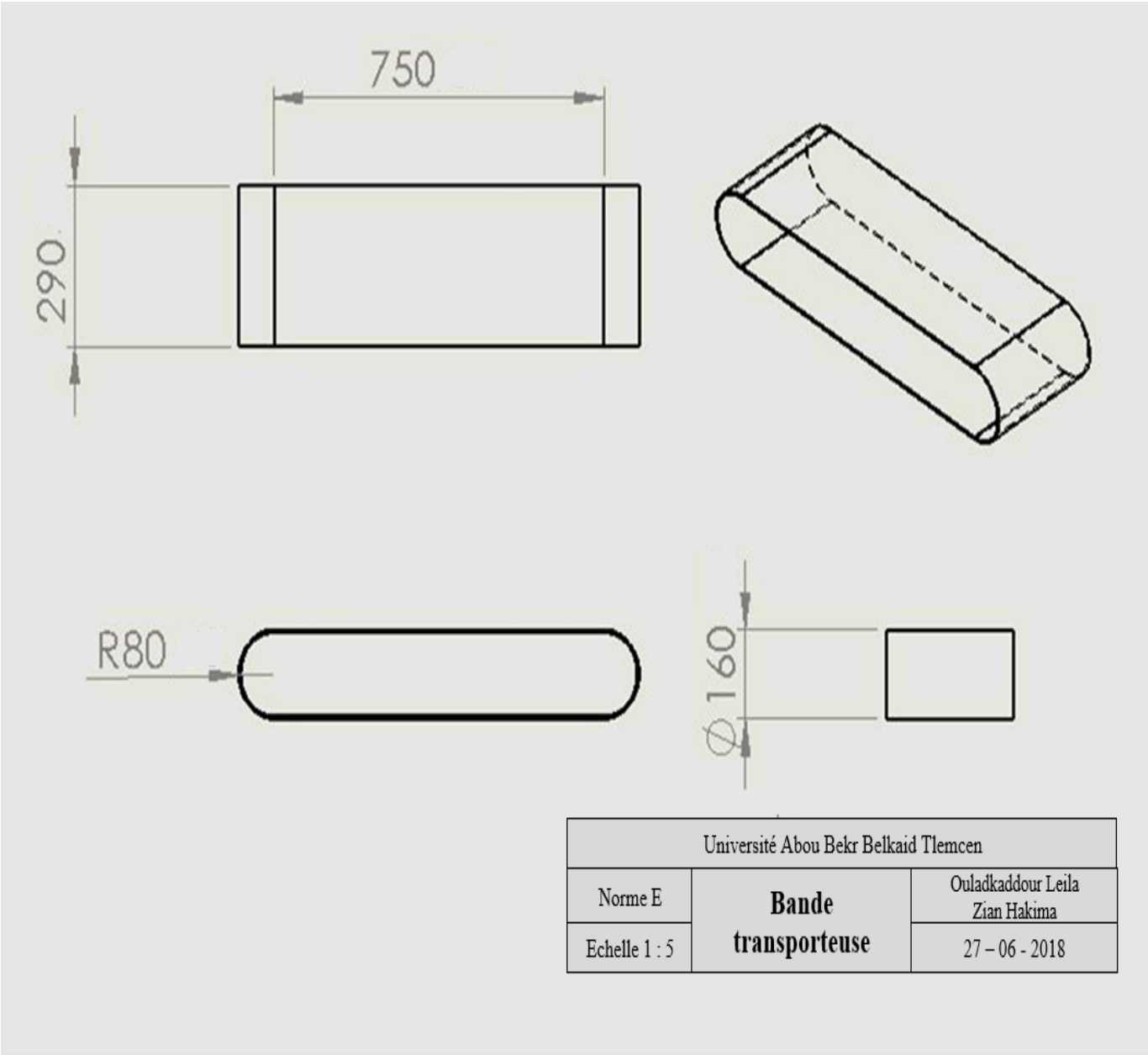
Université Abou Bekr Belkaid Tlemcen		
Norme E	<b>Tambour magnétique</b>	Ouladkaddour Leila Zian Hakima
Echelle 1 : 5		27 - 06 - 2018



Université Abou Bekr Belkaid Tlemcen		
Norme E	<b>Tambour à rotor magnétique</b>	Ouladkaddour Leila Zian Hakima
Echelle 1 : 5		27 - 06 - 2018

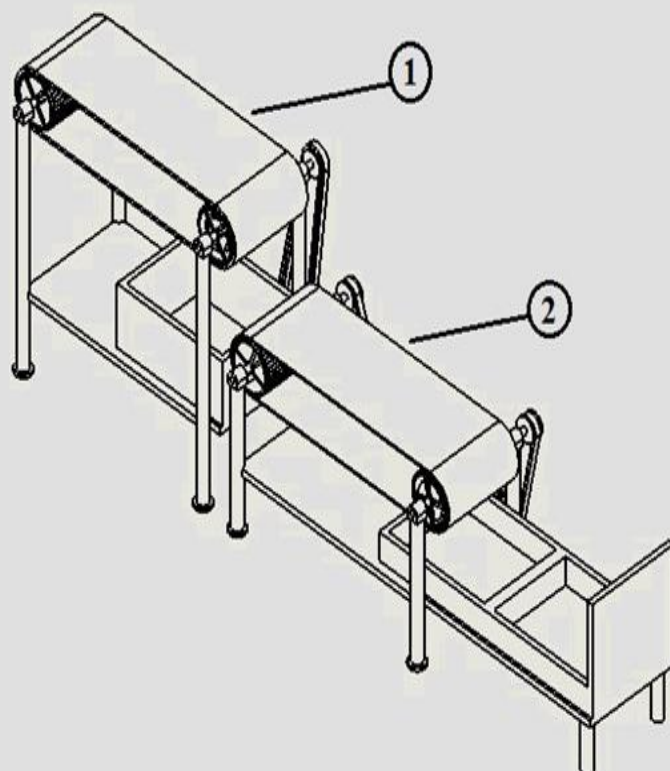
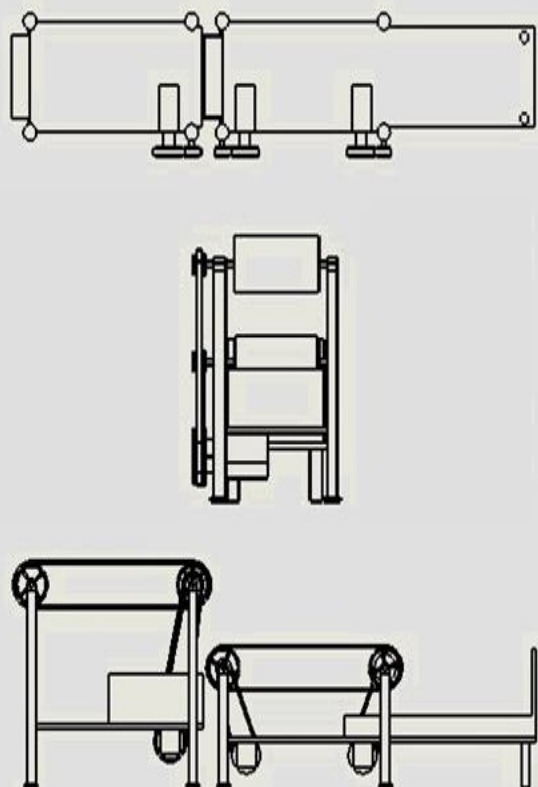


Université Abou Bekr Belkaid Tlemcen		
Norme E	<b>Courroie</b>	Ouladkaddour Leila Zian Hakima
Echelle 1 : 5		27 - 06 - 2018



Université Abou Bekr Belkaid Tlemcen		
Norme E	<b>Bande transporteuse</b>	Ouladkaddour Leila Zian Hakima
Echelle 1 : 5		27 - 06 - 2018





02	01	Séparateur à courant de Foucault		/
01	01	Séparateur magnétique		/
Num	Nbr	Désignation	Matière	Obs.
Université Abou Bekr Belkaid Tlemcen				
Norme E	<b>Montage du système</b>		Ouladkaddour Leila Zian Hakima	
Echelle 1 : 5			27 - 06 - 2018	

### 3. La réalisation des machines :

#### 3.1. Le matériel utilisé :

##### 3.1.1. Les moteurs électriques :

Les moteurs courant continu sont des convertisseurs de puissance : Soit ils convertissent l'énergie électrique absorbée en énergie mécanique lorsqu'ils sont capables de fournir une puissance mécanique suffisante pour démarrer puis entraîner une charge en mouvement. On dit alors qu'ils ont un fonctionnement en moteur. Soit ils convertissent l'énergie mécanique reçue en énergie électrique lorsqu'ils subissent l'action d'une charge entraînée. On dit alors qu'ils ont un fonctionnement en générateur. En mode « moteur », l'énergie électrique est convertie en énergie mécanique. En mode « générateur » ou « dynamo », l'énergie mécanique est convertie en une énergie électrique capable de se comporter comme un frein.

Dans notre cas le moteur fonctionne en mode « moteur », pour convertir l'énergie électrique en énergie mécanique pour entraîner le tapis roulant.



Figure 4. 1: Moteur électrique.



### 3.1.2. Les tambours :



Figure 4. 2: Le tambour.

### 3.1.3. Les engrenages et la courroie :

Un engrenage est un système mécanique composé de deux roues dentées ou plus engrenées servant : soit à la transmission du mouvement de rotation entre elles, soit à la propulsion d'un fluide (on parle alors de pompe à engrenages). Dans le cas de la transmission de mouvement, les deux roues dentées sont en contact l'une avec l'autre soit directement soit avec courroie et se transmettent de la puissance par obstacle. Un engrenage est composé d'un pignon, c'est ainsi que l'on nomme la seule roue ou la roue la plus petite, et d'une roue, d'une crémaillère, d'une couronne ou d'une vis.

La courroie est une pièce utilisée pour la transmission du mouvement. Elle est construite dans un matériau souple. Par rapport à d'autres systèmes, elle présente l'avantage d'une grande souplesse de conception pour placer le moteur et récepteur, d'être économique, silencieuse et d'amortir les vibrations, chocs et à coups de transmission. En revanche, elle présente une durée de vie limitée. La courroie est utilisée avec des poulies, ou des engrenages.



Figure 4. 3: Engrenages et courroie.

### 3.1.4. Le tapis :



Figure 4. 4: Le tapis.

### 3.1.5. Le rotor magnétique :

Le rotor présente la partie mobile dans un moteur électrique. Pour que le rotor crée un champ magnétique variable il faut le faire tourner à une très grande vitesse et par conséquent il va injecter les métaux non ferreux à partir du flux de la matière.



Figure 4. 5: Le rotor magnétique.

### 3.1.6. Les aimants :

Un aimant est un matériau développant naturellement un champ magnétique et capable d'attirer du fer, le nickel, le cobalt, le chrome. Un aimant possède un pôle nord et un pôle sud. Les pôles de même nature se repoussent, ceux de natures différentes s'attirent. Les aimants sont donc des dipôles magnétiques, dont les pôles sont inséparables ; l'existence d'un monopôle magnétique étant exclue jusqu'à preuve du contraire. Il existe des aimants naturels (à base d'un minéral de fer, la magnétite) et des aimants artificiels. Parmi les aimants artificiels, on distingue les aimants permanents tels que le barreau aimanté, l'aimant en U, l'aiguille magnétique, et les aimants temporaires tels que les électroaimants. Ces aimants sont constitués de matières ferromagnétiques.



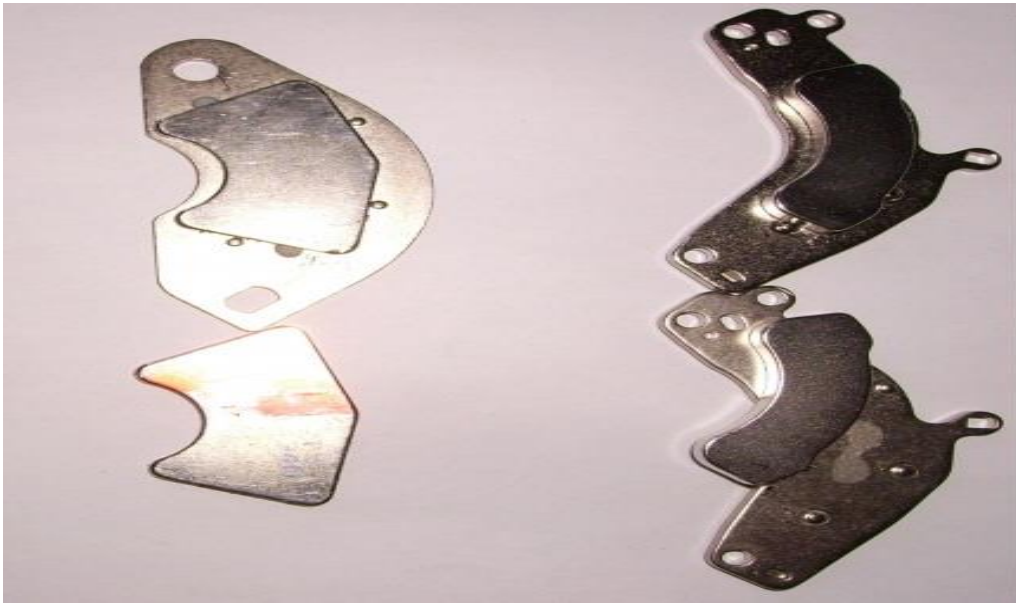


Figure 4. 6: Les aimants.

### 3.1.7. Le montage des pièces :

Dans les machines de séparation on trouve trois types de tambours à savoir : le tambour de commande relié avec le moteur par une courroie et des engrenages, on a placé un petit engrenage dans le moteur et un autre grand dans le rouleau pour diminuer la vitesse du moteur et entraîner le tapis à une petite vitesse.

Un tambour magnétique placé dans l'extrémité du convoyeur qui tourne par l'entraînement du premier tambour, ce tambour contient des aimants permanents à l'intérieur, le tambour utilisé est fabriqué en plastique au lieu de l'acier pour ne pas absorber le champ magnétique produit par les aimants.

Un troisième rouleau est le rouleau du rotor pour le séparateur à courant de Foucault ou un rotor magnétique à cage d'écureuil est à l'intérieur du rouleau qui est en plastique pour éviter que le rouleau absorbe le champ magnétique.



Figure 4. 7: Le montage de la machine.



Le montage de la machine.



Le montage de la machine.

Conclusion générale et perspectives :

## **Conclusion générale et perspectives :**

La prise en conscience des enjeux du développement durable par les industriels, assure la motivation nécessaire pour améliorer la gestion des déchets et la conception des réseaux logistiques inverses et s'assurer de sa performance surtout dans la gestion des processus de retours de déchets électriques et électroniques.

Pour cette raison, notre travail est porté sur la récupération et le traitement des déchets électriques et électroniques et la modélisation et l'optimisation de la conception de réseaux logistiques sur la base de facteurs économiques et écologiques.

Nous avons tout d'abord proposé une modélisation multi-objective d'aide à la décision pour la sélection du meilleur site à installer en prenant en considération des critères environnementaux. Ainsi, on a proposé un modèle mathématique d'optimisation pour l'affectation des points de réparation et de vente aux sites. Par la suite, et pour combiner les deux parties on a proposé un modèle d'optimisation mais en rajoutant les facteurs de classement calculé par l'MCDM, et cela donne un résultat qui s'est optimisé les facteurs économiques ainsi que les facteurs environnementaux prises par l'MCDM.

La mise en œuvre d'un système de tri et de recyclage des déchets électroniques porte sur une étude technique des installations de séparation des métaux ferreux et non ferreux. A cet égard, nous avons essayé de réaliser les deux systèmes de séparation afin de concrétiser le projet de recyclage en Algérie, vu que la réalisation d'un nouveau projet porte plusieurs difficultés.

Le principal obstacle qu'on a rencontré est le manque de matériels, il nous a été indispensable de faire une réalisation des machines afin de concrétiser notre travail et d'étudier les systèmes de séparation des différents métaux ferreux et non ferreux.

Plusieurs aspects n'ont pas pu être réalisés ou traités au cours de ce projet, tel que la réalisation de station de tri des plastiques et le traitement chimique des cartes électroniques, car nous avons eu des difficultés du manque de matériels au sein de l'université.

Néanmoins les résultats de ce modeste travail constituent les bases d'un travail à poursuivre et à améliorer pour une étude beaucoup plus approfondie des autres techniques de séparation.

Ainsi, les perspectives futures sont dans un premier temps la réalisation d'un poste de séparation et de tri des matières inertes par les techniques de flottaison, ceci constituera une étude sur la densité des matériaux à séparer.

Une autre perspective est la mise en œuvre d'une étude de traitement des différents types des déchets électroniques, et sur le traitement chimique des cartes électroniques pour l'extraction de l'or et des différents métaux précieux.

Nous espérons avoir posé la première pierre dans le domaine de recyclage des DEEE, ce qui donnera une impulsion à la recherche universitaire dans cet axe, en vue d'une prise de conscience de « l'après pétrole », du respect de l'environnement et du développement durable.

## Références bibliographiques

- [1] French Environment & Energy Management Agency, «ADEME,» 02 03 2017. [En ligne]. Available: <http://www.ademe.fr>. [Accès le 17 03 2018].
- [2] baudelet-environnement, «baudelet-environnement,» [En ligne]. Available: <http://www.baudelet-environnement.fr>. [Accès le 2018 03 24].
- [3] conservation nature, [En ligne]. Available: <http://www.conservation-nature.fr/>.
- [4] PAPREC Group, «PAPREC Group,» [En ligne]. Available: <https://www.paprec.com> . [Accès le 23 03 2018].
- [5] Algérie presse service, «Algérie presse service,» 01 11 2017. [En ligne]. Available: <http://www.aps.dz>. [Accès le 24 03 2018].
- [6] B. Reygner, «Eco3E,» 2018. [En ligne]. Available: <http://eco3e.eu/reglementations/deee-2/>. [Accès le 04 04 2018].
- [7] Secrétariat du Programme régional océanien de l'environnement, «Déchets électroniques dans le Pacifique : stratégie régionale et plan d'action,» Apia, Samoa, 2011.
- [8] L. D. & L. Centemeri, «researchgate,» 10 03 2017. [En ligne]. Available: [www.researchgate.net](http://www.researchgate.net). [Accès le 05 04 2018].
- [9] M. Lassalle, «LA FIN DE VIE DU MATÉRIEL INFORMATIQUE : COMPARATIF DES MODES DE GESTION EN FRANCE ET AU QUÉBEC ET DÉTERMINATION DES FACTEURS DE SUCCÈS,» CENTRE UNIVERSITAIRE DE FORMATION EN ENVIRONNEMENT, UNIVERSITÉ DE SHERBROOKE, Québec, Canada, 2011.
- [10] M. BENNEKROUF, Modélisation et Simulation d'Une Chaîne Logistique Inverse en Tenant Compte de La Robustesse, Tlemcen: Faculté de Technologie Département de Génie Electrique et Electronique, 2013.
- [11] A. Fall, Planification des activités en logistique inverse : modélisation et optimisation des performances par une approche stochastique en programmation linéaire, BORDEAUX : ÉCOLE DOCTORALE DES SCIENCES PHYSIQUES ET DE L'INGENIEUR , 2016.
- [12] J. François, Planification des chaînes logistiques: Modélisation du système décisionnel et performance., Université de Bordeaux, 2007.
- [13] M. BELU, LES MODELES DE LOCALISATION-ALLOCATION, Bucharest: Faculty of International Business and Economics Bucharest.
- [14] M. I. B.-P. A. P. & N. A. Q. Salema, An optimization model for the design of a capacitated multi-product reverse logistics network with uncertainty, (Elsevier, Éd.) European Journal of Operational Research,, 2007.
- [15] D. & D. M. Lee, Dynamic network design for reverse logistics operations under

## Références bibliographiques

- uncertainty., (Elsevier, Éd.) Transportation Research Part, 2009.
- [16] E. A. A. e. A. T. Isik, «The multi-objective decision making methods based on MULTIMOORA and MOOSRA for the laptop selection problem,» Springerlink, 2016.
- [17] Z. E. Brauers WKM, roject management by MULTIMOORA as an instrument for transition economies, Technol Econ Dev Econ Balt J Sustain , 2010.
- [18] G. R. Brauers W. K., Robustness in Regional Development Studies. The Case of Lithuania, Journal of BusinessEconomics and Management, 2009.
- [19] G. VS, Application of MOORA method for parametric optimization of milling process, Int J Appl Eng Res Dindigul, 2011.
- [20] M. N. J. R. S. S. Stanujkic D, An objective multi-criteria approach to optimization using MOORA method and interval grey numbers., Technol Econ Dev Econ , 2012a.
- [21] Đ. B. Đ. M. Stanujkic D, Comparative analysis of some prominent MCDM methods: a case of ranking Serbian banks., Serbian J Manag , 2013.
- [22] Ö. A, Normalizasyon yöntemlerinin çok ölçütlü karar verme sürecine etkisi–MOORA yöntemi incelemesi, Ege Akademik Bakış Dergisi , 2014.
- [23] K. S. Adhikary P, MCDA or MCDM based selection of transmission line conductor: small hydropower project planning and development., Int J Eng Res Appl , 2014.
- [24] O. W. Achebo J, Optimization of gas metal arc welding process parameters using standard deviation (SDV) and multi-objective optimization on the basis of ratio analysis (MOORA), J Miner Mat Charact Eng, 2015.
- [25] R. M. P. D. Madić M, Non-conventional machining processes selection using multi-objective optimization on the basis of ratio analysis method., J Eng Sci Technol , 2015.
- [26] B. W. Z. E. Kracka M, Ranking heating losses in a building by applying the MULTIMOORA, Eng Econ , 2010.
- [27] C. S. Karande P, Application of multi-objective optimization on the basis of ratio analysis (MOORA) method for materials selection., Mater Des , 2012b.
- [28] B. T. Streimikiene D, Multi-objective ranking of climate change mitigation policies and measures in Lithuania., Renew Sust Energ Rev , 2013.
- [29] Z. E. Brauers WKM, Robustness of MULTIMOORA: a method for multi-, objective optimization. Informatica, 2012.
- [30] Ö. N. K. M. Aksoy E, AHP Temelli MULTIMOORA ve COPRAS yöntemi ile Türkiye Kömür İşletmeleri'nin performans değerlendirmesi., Hacettepe Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi , 2015.
- [31] K. V. Z. E. Lazauskas M, Multicriteria assessment of unfinished construction projects.,



## Références bibliographiques

Gradevinar, (2015) .

- [32] memoire en ligne, «memoire en ligne-economie et finance-,» 2009. [En ligne]. Available: <https://www.memoireonline.com>. [Accès le 15 04 2018].
- [33] Tifawt, «Tifawt,» 15 03 2018. [En ligne]. Available: <http://www.tifawt.com>. [Accès le 10 04 2018].
- [34] KOMPASS Annuaire des entreprises, «KOMPASS,» [En ligne]. Available: [dz.kompass.com](http://dz.kompass.com). [Accès le 12 04 2018].
- [35] Le coin des entrepreneurs, «Le coin des entrepreneurs,» 12 01 2018. [En ligne]. Available: <https://www.lecoindesentrepreneurs.fr>. [Accès le 10 14 2018].
- [36] M. E. BOUNJIM, CONTRIBUTION À LA CONCEPTION DE LA CHAÎNE LOGISTIQUE VERTE EN BOUCLE FERME, QUEBEC: L'UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À TROIS-RIVIÈRES, 2016.

## Résumé :

Nous nous intéressons dans ce mémoire à mettre en place des techniques de tri et de recyclage des produits électriques et électroniques en fin de vie, ce projet cible le secteur de protection de l'environnement et surtout avec la dangerosité des substances présentes dans ce genre de déchets, et ils nécessitent un traitement spécifique. Pour cela, on a proposé une stratégie de collecte des DEEE, pour les envoyer à une unité de traitement qui regroupe l'ensemble de machines de séparation réalisés lors de ce projet.

## الملخص:

في هذا المشروع ركزنا على إعداد تقنيات الفرز وإعادة التدوير للمنتجات الكهربائية والإلكترونية المنتهية الصلاحية، بهدف حماية البيئة وخصوصاً مع خطورة المواد الموجودة في هذا النوع من النفايات، وأنها تتطلب معالجة محددة. ولهذا الغرض، اقترحنا من خلال هذه المذكرة استراتيجية لجمع مخلفات المعدات الكهربائية والإلكترونية لإرسالها إلى وحدة المعالجة التي تجمع معاً أجهزة الفرز التي تم إعدادها خلال هذا المشروع.

## Abstract:

We are interested in this paper to set up sorting and recycling techniques for e-waste, this project targets the environmental protection sector and especially with the dangerousness of the substances present in this kind of waste, and they require specific treatment. For this, a WEEE collection strategy has been proposed, to send them to a processing unit which groups together the set of separation machines produced during this project.