



**République Algérienne Démocratique et Populaire**  
**Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique**  
**Université Aboubakr Belkaïd – Tlemcen –**  
**Faculté de Technologie**  
**Département Génie Electrique et Electroniques**



**Mémoire de fin d'étude intitulé :**

**Etude de Faisabilité de Création d'une Entreprise de  
Recyclage des Déchets Electroniques avec de l'Eau  
Supercritique**

**Filière : Génie Industriel**

**Spécialité : Ingénierie de la production**

**Par : OUBRAHAM Oualid**

**Soutenu le 10/ 07/ 2021, Devant le jury composé de :**

<b>Dr. GUEZZEN Amine Hakim</b>	<b>MCB</b>	<b>Président</b>	<b>Univ. Tlemcen</b>
<b>Dr. MEKAMCHA Khalid</b>	<b>MCB</b>	<b>Examineur</b>	<b>Univ. Tlemcen</b>
<b>Dr. GAOUAR Nihad</b>	<b>MCB</b>	<b>Co-Encadreur</b>	<b>Univ. Tlemcen</b>
<b>Dr. MEROUFEL Bahia</b>	<b>MCA</b>	<b>Encadreur</b>	<b>Univ. Tlemcen</b>

**Année Universitaire : 2020/2021**

## **Remerciement**

*Je remercie Allah, le tout-puissant le miséricordieux, de m'avoir appris ce que j'ignorais, de m'avoir donné la santé et tout dont je necessitais pour l'accomplissement de ce travail.*

*Je voudrais adresser mes plus vifs remerciements à ma directrice de mémoire, Madame MEROUFEL Bahia et Madame GUAOUAR Nihad pour leur patience, leur disponibilité et surtout leurs judicieux conseils.*

*Je tiens à remercier grandement les membres du jury, qui ont accepté d'évaluer mon travail et de faire partie de cette soutenance.*

*Mes remerciements s'adressent également à tous les enseignants de la Faculté de Technologie, Département du Génie Electrique et Electronique et en particulier les enseignants de la spécialité Génie Industrielle.*

*Je voudrais aussi remercier toutes les personnes qui ont participé de près ou de loin à mes recherches et à l'élaboration de ce mémoire.*

*Je tiens surtout à exprimer mes sincères reconnaissances à mes parents qui m'ont soutenue durant toutes mes études*

## *Dédicace*

*Ce travail modeste est dédié :*

*A mon père et ma chère mère pour leurs soutiens, qui ont toujours  
cru en moi et m'ont encouragé que DIEU les protège.*

*A mes frères Karim et sa famille , Salem et sa famille, Nabil,*

*Fouad, Farhat*

*A ma sœur Fairouz et sa famille .*

*Et à tous mes proches de la famille Oubraham.*

*Et à tous mes amis.*

## Table de matière

<b>Introduction générale.....</b>	<b>- 1 -</b>
<b>ChapitreI : Généralités sur les déchets .....</b>	<b>- 3 -</b>
I.1 Introduction .....	- 3 -
I.2 Déchets .....	- 3 -
I.2.1 Définition de déchet .....	- 3 -
I.2.2 Classification des déchets .....	- 4 -
I.2.2.1 Selon la législation Algérienne (Agence nationale des déchets, 2021) : ..	- 4 -
I.2.2.2 Selon la nature .....	- 5 -
I.2.2.3 Selon leur origine .....	- 7 -
I.3 Impact des déchets .....	- 9 -
I.3.1 Impacts sur la santé humaine .....	- 9 -
I.3.2 Impacts sur l'environnement.....	- 10 -
I.4 Valorisation des déchets.....	- 11 -
I.5 Recyclage des déchets .....	- 12 -
I.5.1 Définition .....	- 12 -
I.5.2 Types de recyclage.....	- 13 -
I.6 Gestion des déchets en Algérie .....	- 14 -
I.7 Déchets électroniques.....	- 15 -
I.8 Classement des déchets électroniques.....	- 16 -
I.9 Impact des déchets électroniques .....	- 17 -
I.9.1 Substances toxiques dans les appareils électroniques.....	- 18 -
I.9.1.1 Plomb .....	- 18 -
I.9.1.2 Mercure .....	- 18 -
I.9.1.3 Métaux précieux.....	- 18 -
I.9.1.4 Chrome hexa valent (Chrome VI).....	- 19 -
I.9.1.5 Ignifuges bromés.....	- 19 -
I.9.1.6 Plastique PVC .....	- 19 -
I.10 Recyclage des déchets électronique .....	- 20 -
I.10.1 Composition des déchets électroniques.....	- 20 -
I.11 Procédure de recyclage des déchets électroniques .....	- 22 -

I.12	Conclusion .....	- 24 -
<b>Chapitre II : Recyclage des déchets électroniques avec l'eau supercritiques .....</b>		<b>25</b>
II.1	Introduction .....	- 25 -
II.2	Carte électronique .....	- 25 -
II.2.1	Définition .....	- 25 -
II.2.2	Métaux précieux .....	- 26 -
II.3	Etats de l'art .....	- 28 -
II.3.1	Procédé de recyclage des déchets électroniques par pyrométallurgie.....	- 28 -
II.3.2	Procédé de recyclage des déchets électroniques par hydrométallurgies .....	- 29 -
II.3.3	Procédé de recyclage des déchets électroniques par pyrolyse .....	- 29 -
II.4	Procédés de recyclage en eau supercritique (oxydation hydrothermale) .....	- 30 -
II.4.1	Eau supercritique.....	- 30 -
II.4.1.1	Fluides supercritiques .....	- 30 -
II.4.1.2	Eau supercritique .....	- 31 -
II.4.2	Procédés de recyclage en eau supercritique (oxydation hydrothermale) .....	- 34 -
II.4.2.1	Principe de l'oxydation hydrothermale.....	- 34 -
II.5	Réacteur chimique.....	- 35 -
II.5.1	Définition .....	- 35 -
II.5.2	Réacteur utilisé pour le traitement en eau supercritique .....	- 35 -
II.5.2.1	Réacteur à eau supercritique(SCWR).....	- 35 -
II.6	Procédé de recyclage des déchets électroniques avec l'eau supercritique .....	- 37 -
II.6.1	Description de procédé.....	- 37 -
II.6.1.1	Déchiquetage.....	- 38 -
II.6.1.2	Classification.....	- 39 -
II.6.1.3	Attaque par l'eau supercritique.....	- 39 -
II.6.1.4	Filtration.....	- 40 -
II.6.1.5	Classification par émotteur .....	- 40 -
II.6.1.6	Séparation magnétique.....	- 42 -
II.7	Pourquoi cet eau supercritique .....	- 42 -
II.8	Conclusion.....	- 42 -

## **Chapitre III : Création d'une entreprise de recyclage des déchets électroniques avec l'eau supercritique ..... 43**

III.1	Introduction .....	- 43 -
III.2	Généralités sur l'entreprise.....	- 43 -
III.2.1	Définition de l'entreprise .....	- 43 -
III.2.2	Classification des entreprises .....	- 43 -
III.2.2.1	Classification selon la taille .....	- 43 -
III.2.2.2	Classification selon leur secteur d'activité .....	- 44 -
III.2.2.3	Classification selon Le statut juridique.....	- 44 -
III.2.3	Objectifs d'une entreprise .....	- 45 -
III.3	Étapes de la création de l'entreprise .....	- 46 -
III.3.1	Etude de marché.....	- 46 -
III.3.1.1	Introduction.....	- 46 -
III.3.1.2	Quantité des déchets électroniques dans le monde .....	- 46 -
III.3.1.3	Fournisseurs de matière premier .....	- 49 -
III.3.1.4	Concurrents dans notre secteur .....	- 52 -
III.3.1.5	Clients ciblés pour nos produits.....	- 53 -
III.3.2	Etude technique .....	- 55 -
III.3.2.1	Choix du local .....	- 55 -
III.3.2.2	Présentation du problème de localisation selon MCDM .....	- 55 -
III.3.2.3	Étape de traitement .....	- 68 -
III.3.3	Etude organisationnelle et institutionnelle .....	- 75 -
III.3.3.1	Etude organisationnelle.....	- 75 -
III.3.3.2	Etude institutionnelle .....	- 81 -
III.3.4	Etude financière.....	- 84 -
III.3.4.1	Source de financement.....	- 87 -
III.3.4.2	Etude de la rentabilité du projet .....	- 87 -
III.3.4.3	Plan d'affaires .....	- 88 -
III.3.4.4	Comptes de résultat annuel .....	- 90 -
III.3.4.5	Remboursement de l'argent à la banque.....	- 91 -

III.4 Conclusion.....	- 91 -
<b>Conclusion générale .....</b>	<b>- 92 -</b>
<b>Références bibliographiques .....</b>	<b>93</b>

## Liste des figures

### Chapitre I :Généralités sur les déchets

<b>Figure I- 1</b> : Déchets dangereux (location bennes) .....	- 5 -
<b>Figure I- 2</b> : Déchets ménagers et assimilés (France bleu, 2021) .....	- 7 -
<b>Figure I- 3</b> : Déchets d'activité de soins (Gap tallard durance) .....	- 8 -
<b>Figure I- 4</b> : Déchets agricoles (Myclimate) .....	- 8 -
<b>Figure I- 5</b> : Déchets biodégradables (Ambassade des Déchets).....	- 9 -
<b>Figure I- 6</b> : Types de pollution générée par les déchets solides (d'après Navarro, 1999) (Bennama, Janvier 2016).....	- 11 -
<b>Figure I- 7</b> : le symbole de recyclage (Cédre recylons solidaire) .....	- 13 -
<b>Figure I- 8</b> : les déchets électroniques (Actu environnement, 2021) .....	- 15 -
<b>Figure I- 9</b> : déchets électroniques dans la nature (Anderson, 2005).....	- 17 -
<b>Figure I- 10</b> : le recyclage des déchets électronique (Le journal Armand-Corbeil, 2019) .....	- 20 -

### Chapitre II : Recyclage les déchets électroniques avec l'eau supercritique

<b>Figure II- 1</b> : carte de circuits imprimé ( Jonathan, 2018) .....	- 25 -
<b>Figure II- 2</b> : Diagrammes Pression-Température-Volume de l'eau (Leybros, 2009) .....	- 30 -
<b>Figure II- 3</b> : Point critique de l'eau a température de 370° C et a pression de 221bar (Frédéric , 2016).....	- 32 -
<b>Figure II- 4</b> : Propriétés de l'eau supercritique à 24,5 MPa ( <b>Leybros, 2009</b> ) .....	- 32 -
<b>Figure II- 5</b> : réacteur à eau supercritique (SCWR) (Connor, 2019) .....	- 36 -

<b>Figure II- 6:</b> les étapes du procédé de recyclage des cartes électroniques selon l'invention des chercheurs de de l'université d'Orléans (Menad, Guignot, Gokalp, Bostyn, Graz, & Poirier, 2016) .....	- 37 -
<b>Figure II- 7:</b> broyeur à couteaux industriel (techni-contact).....	- 38 -
<b>Figure II- 8:</b> autoclave 300 ml (alibaba.com) .....	- 39 -
<b>Figure II- 9:</b> l'émotteur utilisé pour écraser les cartes électroniques (Menad, Guignot, Gokalp, Bostyn, Graz, & Poirier, 2016) .....	- 40 -
<b>Figure II- 10:</b> regroupe les clichés des produits obtenus après l'attaque à l'eau supercritique en présence d'eau oxygénée (Menad, Guignot, Gokalp, Bostyn, Graz, & Poirier, 2016).....	- 41 -

### **Chapitre III : Création d'une entreprise de recyclage des déchets électroniques avec l'eau supercritique**

<b>Figure III- 1 :</b> déchets électroniques et électriques générer dans le monde en 2016.....	- 47 -
<b>Figure III- 2:</b> déchets électronique mondiaux générer par an ( Forti, Baldé, Kuehr, & Bel, 2020) .....	- 48 -
<b>Figure III- 3:</b> les quantités de DEEE générées et collectées dans chaque continent en 2019 ( Forti, Baldé, Kuehr, & Bel, 2020).....	- 48 -
<b>Figure III- 4:</b> Structure hiérarchique de la méthode AHP .....	- 57 -
<b>Figure III- 5:</b> site de notre entreprise situé dans la région de Saf Saf, Wilaya de Tlemcen-	66
-	
<b>Figure III- 6:</b> les déférentes zones de notre entreprise .....	- 67 -
<b>Figure III- 7:</b> processus de recyclage par l'eau supercritique.....	- 68 -
<b>Figure III- 8:</b> le stocke des déchets électroniques .....	- 69 -
<b>Figure III- 9:</b> démontage et dépolluer les déchets électroniques .....	- 70 -
<b>Figure III- 10 :</b> récupérations des cartes électroniques.....	- 70 -
<b>Figure III-11:</b> shéma de traitement en eau supercritique.....	- 71 -
<b>Figure III-12:</b> Réacteur en titane à Autoclave utilisé pour le traitement en eau supercritique..-	71 -
-	
<b>Figure III- 13:</b> Émotteur à un cylindre denté RGM séries.....	- 73 -
<b>Figure III- 14:</b> séparateur magnétiques MSR .....	- 74 -
<b>Figure III- 15:</b> les métaux précieux .....	- 75 -
<b>Figure III-16:</b> Organigramme de l'entreprise.....	- 76 -

## Liste des tableaux

### Chapitre I : Généralités sur les déchets

**Tableau I- 1:** durée de vie d'un déchet dans la nature (Laujarguette, 2014)..... - 10 -

**Tableau I- 3 :** Composition des déchets électronique selon leurs poids (Welslau & Kraus, 1998)  
..... - 21 -

### Chapitre II : Recyclage les déchets électroniques avec l'eau supercritique

**Tableau II- 1 :** des exemples de compositions de téléphones portables, ordinateurs personnels (PC) et leur impact sur la demande annuelle en métaux (UNEP 2013) (*Menad, Guignot, Gokalp, Bostyn, Graz, & Poirier, 2016*). ..... - 26 -

**Tableau II- 2:** Quelques propriétés des fluides supercritiques (Leybros, 2009)..... - 30 -

**Tableau II- 3 :** la composition chimique de la phase liquide en sortie de l'étape d'attaque par eau supercritique, à l'issue de la filtration (Menad, Guignot, Gokalp, Bostyn, Graz, & Poirier, 2016)..... - 40 -

### Chapitre III : Création d'une entreprise de recyclage des déchets électroniques avec l'eau supercritique

**Tableau III- 1 :** Adresses et quantité des déchets électroniques collecté par an du Les établissements d'enseignement supérieure Tlemcen. .... - 49 -

**Tableau III- 2:** Adresses et quantité des déchets électroniques collecté par an du Les réparateurs des produits électroniques dans la wilaya de Tlemcen..... - 50 -

**Tableau III- 3:** Adresses et quantité des déchets électroniques collecté par an du Les entreprises électroménager hors wilaya de Tlemcen ..... - 51 -

**Tableau III- 4 :** Recycleurs des déchets électroniques (Belaid Recuperation, 2018) , (KOMPASS, 2021) ..... - 52 -

**Tableau III- 5 :** Clients ciblés pour le cuivre (KOMPASS, 2021) ..... - 53 -

**Tableau III- 6 :** Clients ciblés pour les métaux précieux (KOMPASS, 2021)..... - 53 -

**Tableau III- 7:** Clients ciblés pour l'acier (KOMPASS, 2021)..... - 54 -

**Tableau III- 8:** Clients ciblés pour le plastique et le caoutchouc (KOMPASS, 2021)..... - 54 -

**Tableau III-9:** spécification sur la machine ..... - 72 -

<b>Tableau III- 10:</b> Le rôle de chaque fonctionnaire dans notre entreprise .....	- 80 -
<b>Tableau III- 11:</b> Estimation mensuelle des charges salariales des employés.....	- 85 -
<b>Tableau III- 12:</b> estimation des couts de matériel .....	- 86 -
<b>Tableau III- 13:</b> estimation des couts d'installations .....	- 86 -
<b>Tableau III- 14:</b> calcule de chiffre d'affaire .....	- 87 -
<b>Tableau III- 15:</b> Fiche synthétique de projet .....	- 88 -
<b>Tableau III- 16:</b> Besoins en matières premières.....	- 88 -
<b>Tableau III- 17:</b> cout d'énergie.....	- 89 -
<b>Tableau III- 18:</b> Fond de roulement.....	- 89 -
<b>Tableau III- 19:</b> Comptes de résultat annuel.....	- 90 -

## **Liste des abréviations**

- DIS** : Déchets industriels spécial
- DTQD** : Les déchets toxiques en quantités dispersées
- D.I.B** : Déchets Industriels Banals
- O.M.R** : Ordures ménagères résiduelles
- DAE** : Déchets des Activités Economiques
- EEE** : équipements électriques et électroniques
- MLCC** : les condensateurs céramiques multicouches
- SCWR** : super critical water coaled reactor
- CANDU** : Canadian deutérium uranium
- BTP** : Bâtiment et des travaux publics.
- MCDM**: Multiple-criteria decision-making
- MODM**: Multi-Objective Decision Making
- ENSEJ** : Agence Nationale de Soutien à l'Emploi des Jeunes

# **Introduction Générale**

### Introduction générale

Depuis le début des années 1990, la protection de l'environnement est devenue une préoccupation collective. Le problème des déchets se produit tous les jours ; il touche toutes les populations.

La forte augmentation des déchets a un impact grave sur l'environnement et la santé humaine et la quantité de déchets que nous générons sont étroitement liées à nos modes de consommation et de production. Un autre défi est le grand nombre de produits entrants sur le marché. Les changements dans la structure démographique, tels que l'augmentation du nombre de ménages d'une personne, affecteront également la quantité de déchets que nous produisons.

Parmi ces déchets les déchets électroniques que nous générons à partir d'équipements électroniques redondants, endommagés et obsolète. Ils contiennent une variété de substances et de matériaux chimiques toxiques et dangereux tels que le mercure, le plomb et le cadmium ; si nous ne les manipulons pas correctement, ils seront rejetés dans l'environnement et ils contiennent également plusieurs métaux précieux comme l'or, l'argent et le tantale qui constituent un apport économique majeur dans l'optique d'un développement durable.

Le recyclage des déchets électroniques est le processus de récupération des matériaux de l'ancien équipement pour une utilisation dans de nouveaux produits. Il nous permet de récupérer divers métaux précieux et autres matériaux électroniques, d'économiser les ressources naturelles (énergie), de réduire la pollution, de conserver l'espace d'enfouissement et de créer des emplois.

Il y a diverses méthodes de recyclage de déchets électroniques mais ces méthodes ne permettant pas de les récupérer et de les traiter efficacement car il y a une grande perte de métaux au moment du traitement, ces métaux sont par la suite rejetés dans l'environnement et constituent une menace pour la nature et la santé publique. Raison pour laquelle des chercheurs ont pensé à un nouveau procédé de recyclage de déchets électroniques avec l'eau à l'état supercritique ; ce qui permet de récupérer les métaux précieux contenus dans les appareils électroniques grâce aux propriétés étonnantes de l'eau chauffée dans un réacteur. Cette eau atteint des températures extrêmes et possède un puissant effet corrosif, le dispositif a été testé sur des cartes électroniques, dans l'objectif de détruire la résine servant de support aux composants électroniques afin de nous conserver les métaux. Le réactif utilisé est seulement l'eau, portée à 500°C sous 250 bars, cet état est nommé un état *supercritique*.

## Introduction générale

---

L'objectif de ce travail est d'étudier la faisabilité de création d'une usine de recyclage de déchets électroniques avec de l'eau supercritique. Cette usine nous permettra de constituer une nouvelle source d'approvisionnement en métaux précieux et une solution pour éliminer la toxicité de ces déchets et aussi créer des emplois.

Notre travail est composé de cette introduction générale et de trois chapitres importants : Dans le premier chapitre nous présentons les différents déchets et leur impact sur l'environnement et la santé humaine, la gestion de ces déchets et des généralités sur les déchets électroniques en particulier.

Le deuxième chapitre traite la nouvelle technique du procédé de recyclage des déchets électronique avec l'eau supercritique.

Dans le troisième chapitre est consacré à l'étude de faisabilité de création d'une entreprise de recyclage de déchets électroniques avec de l'eau supercritique. Elle touche l'étude du marché, des études techniques, des études organisationnelles et institutionnelles et des études financières.

Et enfin une conclusion générale qui englobe l'ensemble des résultats des différentes études.

# **Chapitre I : Généralités sur les déchets**

## I.1 Introduction

Les déchets deviennent de plus nombreux avec le développement de population et de l'industrie ; ceci peut être néfaste pour l'environnement et la santé publique. Il devient donc nécessaire de trouver des méthodes durables et innovantes de collecte sélective et de traitement de déchets, en vue de surmonter les défis liés au changement climatique, à la pollution atmosphérique et de l'eau.

La gestion et la valorisation des déchets est un ensemble de procédés par lesquels on transforme un déchet matériel ou organique dans l'objectif d'un usage spécifique comme le recyclage, le compostage ou encore la transformation en énergie. L'objectif de ce chapitre est de donner un aperçu sur les déchets en générale, de voir leurs impacts et l'ensemble des méthodes appropriées à leur valorisation ensuite sur les déchets électroniques que nous avons choisis comme déchet solide pour réaliser notre mémoire de master.

## I.2 Déchets

### I.2.1 Définition de déchet

Selon le dictionnaire Larousse un déchet est défini comme étant une « partie irrécupérable de quelque chose » (*Larousse, 2021*) .

Un déchet correspond à tout matériau, substance ou produit qui a été jeté ou abandonné car il n'a plus d'utilisation précise (*Agence de transition écologique «ADEME», 2020*).

Selon la loi française du 15 juillet 1975, est considéré comme constituant un déchet : « 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) (*Agence de transition écologique «ADEME», 2020*).

Selon la loi du 13 juillet 1992 La définition de déchet est complétée par la notion de déchet ultime : « un déchet résultant ou non d'un traitement d'un déchet, qui n'est plus susceptible d'être traité dans des conditions techniques et économiques du moment, notamment par extraction de la part valorisable ou par réduction de son caractère polluant ou dangereux », et précisée par la circulaire d'avril 1998 (*Agence de transition écologique «ADEME», 2020*).

Selon l'article 03 de la loi 01-19 du 12 décembre 2001 de journal officiel de la république algérienne, le déchet est : «tout résidu d'un processus de production ,de transformation ou

## Chapitre I : Généralité sur les déchets

---

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 (Agence nationale des déchets, 2021).

### I.2.2 Classification des déchets

#### I.2.2.1 Selon la législation Algérienne (Agence nationale des déchets, 2021) :

- **Déchets ménagers et assimilés :**

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

- **Déchets encombrants :**

Tous déchets issus des ménages qui en raison de leur caractère volumineux ne peuvent être collectés dans les mêmes conditions que les déchets ménagers et assimilés.

- **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.

- **Déchets d'activité de soins :**

Tous déchets issus des activités de diagnostic, de suivi et de traitement préventif ou, curatif dans les domaines de la médecine humaine et vétérinaire.

- **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.

### I.2.2.2 Solon la nature

- **Déchets dangereux :**

Les déchets dangereux sont les déchets issus de l'activité industrielle qui représentent un risque pour la santé ou l'environnement et qui nécessitent un traitement adapté (*Actu environnement*). Un ou plusieurs déchets dangereux présente les caractéristiques suivantes : explosifs, oxydants, inflammables, irritants, nocifs, toxiques, Cancérigène, infectieux, corrosif, mutagène, ....



**Figure I- 1** : Déchets dangereux (*location bennes*)

Les déchets dangereux sont généralement divisés en deux catégories principales :

Déchets industriels spécial (DIS) : Déchets toxiques produits par l'industrie dont l'élimination nécessite des précautions particulières vis-à-vis de la protection de l'homme et de l'environnement (*Actu environnement*). Ils peuvent être divisés en trois catégories :

- ✓ Déchets organiques
- ✓ Déchets minéraux liquides et semi-liquides
- ✓ Déchets minéraux solides

Les déchets toxiques en quantités dispersées (DTQD) : désigne des déchets dangereux produits et détenus par les professionnels en trop petites quantités pour suivre directement la filière habituelle de traitement des déchets dangereux (*Actu environnement*).

## Chapitre I : Généralité sur les déchets

---

- **Déchets non dangereux :**

Les déchets non dangereux sont les déchets qui ne présentent aucune des caractéristiques relatives à la “dangerosité” mentionnées dans l’annexe I de l’article R 541-8 du Code de l’environnement (toxique, explosif, corrosif, etc.) (*Baudelet environnement*).

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 (*Baudelet environnement*).

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

- **Déchets inertes :**

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 autre réaction physique ou chimique. Ils 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 de nuire à la santé humaine (Directive 1999/31/CE du conseil du 26 avril 1999 - JOCE du 16 juillet 1999) (*Actu environnement*) .

- **Déchets ultimes :**

Selon l'article L 541-1 du Code de l’Environnement, le déchet ultime est défini comme 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 (*Actu environnement*).

### I.2.2.3 Selon leur origine

- **Déchets ménagers et assimilés :**

Il s'agit des déchets issus des ménages et des déchets assimilés. Ils ne comprennent pas les déchets produits par les services municipaux, déchets de l'assainissement collectif, déchets de nettoyage des rues, de marchés, etc. (*Agence de transition écologique «ADEME», 2020*).



**Figure I- 2 :** Déchets ménagers et assimilés (*France bleu, 2021*)

- **Déchets des Activités Economiques (DAE) :**

Ce sont les déchets, dangereux ou non dangereux, dont le producteur initial n'est pas un ménage. Les activités économiques regroupent l'ensemble des secteurs de production (agriculture-pêche, construction, secteur tertiaire, industrie). Une partie des déchets des activités économiques sont des déchets assimilés (*Agence de transition écologique «ADEME», 2020*).

- **Déchets industriels :**

Tout déchet causé par l'industrie, l'agro-industrie, les activités artisanales ou des activités similaires.

## Chapitre I : Généralité sur les déchets

---

- **Déchets d'activité de soins :**

Déchets comprenant les déchets hospitaliers et les déchets des professions libérales de santé. Sont concernés : les déchets piquants, coupants, tranchants qui ne doivent en aucun cas être éliminés dans les poubelles classiques. L'élimination doit se faire conformément à la réglementation en vigueur (décret 97-1 048 du 6 novembre 1997 et arrêtés du 7 septembre 1999) » (*Actu environnement*)



**Figure I- 3 :** Déchets d'activité de soins (*Gap tallard durance*)

- **Déchets agricoles :** Tout déchet organique directement généré par les activités agricoles ou d'élevage ou de jardinage



**Figure I- 4 :** Déchets agricoles (*Myclimate*)

- **Déchets biodégradables :**

Tout déchet susceptible de subir une décomposition biologique naturelle, anaérobie ou aérobie, comme les déchets alimentaires, les déchets de jardin, les déchets de papier et de carton et les carcasses d'animaux.



Figure I- 5 : Déchets biodégradables (*Ambassade des Déchets*)

### I.3 Impact des déchets

#### I.3.1 Impacts sur la santé humaine

Aujourd'hui, les êtres humains sont devenus des consommateurs et donc de gros producteurs de déchets. Ceux-ci peuvent être recyclés, mais la plupart d'entre eux sont toxiques et extrêmement nocifs pour notre santé (*Apprendre en ligne*). Pour cette raison, les déchets peuvent provoquer des maladies, telles que :

- Hépatites épidémiques et sériques,
- Conjonctivites épidémiques,
- Tétanos,
- Proéminence de la tuberculose,
- Effets multiples des substances radioactives
- Intoxications aux produits dangereux,
- Maladies de contact de la peau et des muqueuses (*Bennama, Janvier 2016, p. 13*).

## Chapitre I : Généralité sur les déchets

### I.3.2 Impacts sur l'environnement

L'impact réel des déchets dans la nature dépend du type de matériau, de son épaisseur et des conditions climatiques, et le temps de décomposition de certains déchets peut être très long. Par exemple, une bouteille en verre peut mettre 4 000 ans à se décomposer (*Groupe BOUFFARD, 2015*). Voici d'autres exemples de décomposition des déchets (Tableau I- 1).

**Tableau I- 2:** durée de vie d'un déchet dans la nature (*Laujarguette, 2014*)

Déchets	Temps de décomposition
Emballages aluminium	Environ 200 ans
Mouchoir en papier	3 mois
Peau de banane	8 à 10 mois
Journal	3 à 12 mois
Filtre de cigarette	1 à 5 ans
Piles	Plus de 50 ans
Carte téléphonique	1000 ans
Sac plastique	Entre 100 et 1000 ans
Bouteille plastique	Plus de 500 ans
Cannette	100 ans et +
Verre	4000 ans

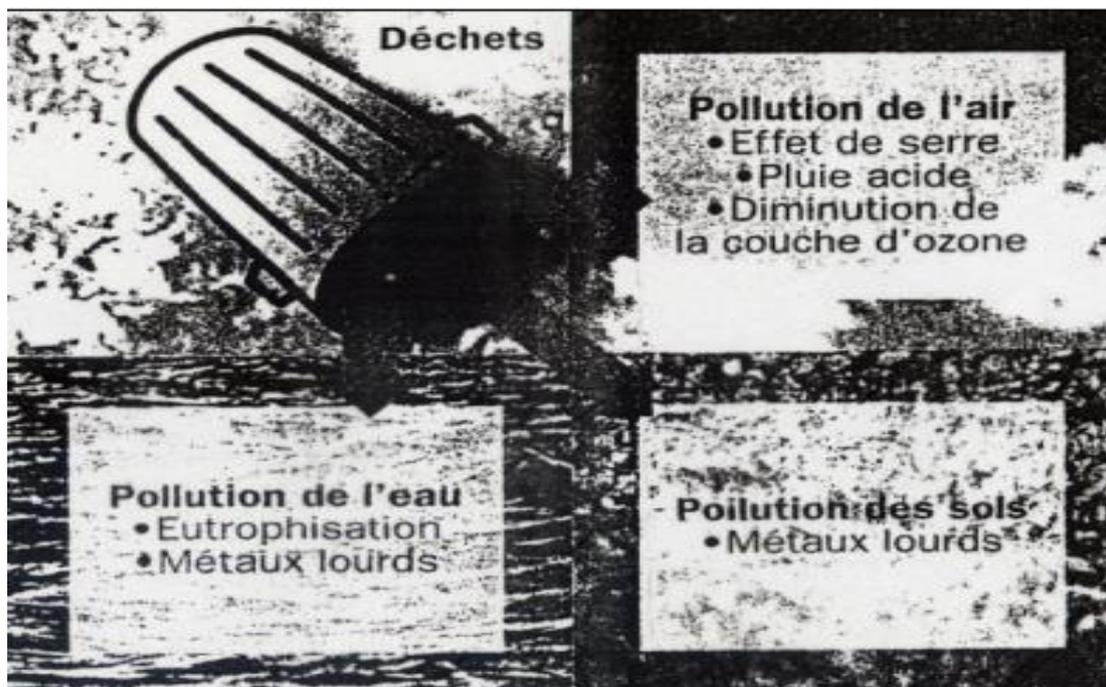
Chaque année l'humanité rejette 12 milliards de tonnes de déchets industriels et ménagers 2 tonnes par individu ! La production est naturellement aussi mal répartie que les richesses moins d'un quart de la population mondiale génère 75 % des déchets (*Jean-Noël Salomon, 2003*). Les déchets générés par l'homme mènent à la pollution de notre planète. Avec le progrès de la technologie, la quantité des déchets a augmenté à grande vitesse. A cause de la surconsommation des ressources, on cherche de divers moyens afin de recycler les déchets en découlant. Il y a des moyens auxquels on a recours comme les décharges, l'incinération ou le stockage afin de tenir front à cette situation qui est la pollution. Une cause principale de la pollution c'est l'existence des décharges qui contiennent des déchets en grande quantité. C'est un mélange entre les déchets organiques et l'eau, ce qui provoque un gaz à l'effet de serre. Ainsi, les décharges deviennent une cause de la pollution de l'air. Pourtant, une autre façon de détruire les déchets c'est l'incinération. De cette façon, on brûle les déchets dans un grand four, ce qui est aussi une méthode

## Chapitre I : Généralité sur les déchets

polluante. Une autre cause de pollution de l'air c'est l'utilisation des produits ménagers tels les produits d'entretien. La vaporisation toxique de ces produits ménagers pollue, à coup sûr, l'air (*Poubelle direct.fr, 2021*).

Par exemple les déchets solides ont un impact environnemental sévère qui se manifeste par une (Figure I- 6) :

- ❖ Altération de la qualité de l'air (gaz, fumées et poussières) ;
- ❖ Altération des sols et des paysages par des polluants chimiques ;
- ❖ Pollution des ressources en eau par les infiltrats et les eaux usées (*Bennama, Janvier 2016, p. 14*).



**Figure I- 7** : Types de pollution générée par les déchets solides (d'après Navarro, 1999) (*Bennama, Janvier 2016*)

### I.4 Valorisation des déchets

La valorisation des déchets d'après l'article 03 de la loi 01-19 du 12 décembre 2001 est « toutes les opérations de réutilisation, de recyclage ou de compostage des déchets » (*Agence nationale des déchets, 2021*).

## Chapitre I : Généralité sur les déchets

---

Il existe plusieurs types de valorisation des déchets (*Torregrossa, Timmermans, & Pico, 2006*) :

### 1. Le Recyclage :

Le recyclage est les réintroductions directes d'un déchet dans le cycle de production dont il est issu, en remplacement total ou partiel d'une matière première neuve. Par exemple, prendre des bouteilles cassées, les refondre, et en faire des bouteilles neuves.

### 2. Le Réemploi :

C'est un nouvel emploi d'un déchet pour un usage analogue à celui de sa première utilisation. C'est, en quelque sorte, prolonger la durée de vie du produit avant qu'il ne devienne un déchet. Par exemple la consigne des bouteilles, à nouveau remplies après leur nettoyage.

### 3. La Réutilisation :

Consiste à utiliser un déchet pour un usage différent de son premier emploi, ou à faire, à partir d'un déchet, un autre produit que celui qui lui a donné naissance. Par exemple la réutilisation dans l'agriculture.

### 4. La Régénération :

Consiste en un procédé physique ou chimique qui redonne à un déchet les caractéristiques permettant de l'utiliser en remplacement d'une matière première neuve. C'est le cas, de la régénération des huiles usées ou des solvants, ou du papier qui est à la fois recyclé et régénéré par le désencrage.

### 5. La valorisation Energétique :

Consiste à utiliser les calories dans les déchets, en les brûlant et en récupérant l'énergie ainsi produite pour, par exemple chauffer des immeubles ou produire de l'électricité. C'est l'exploitation du gisement d'énergie que contiennent les déchets.

## I.5 Recyclage des déchets

### I.5.1 Définition

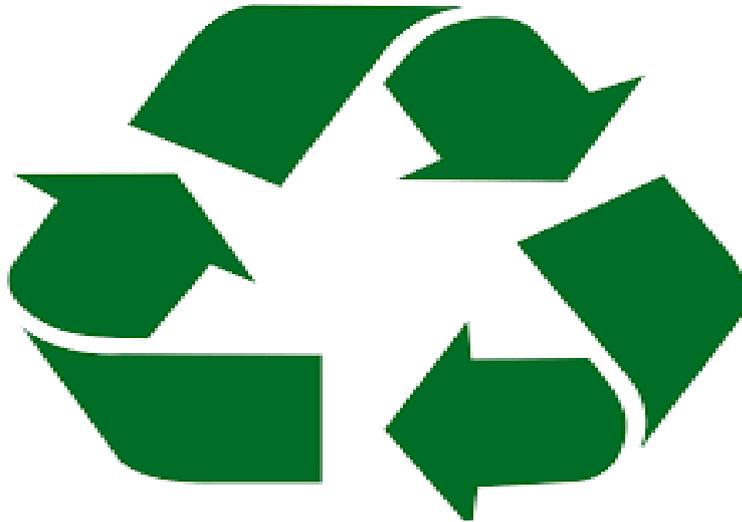
Selon le dictionnaire de Larousse « Ensemble des techniques ayant pour objectif de récupérer des déchets et de les réintroduire dans le cycle de production dont ils sont issus (*Larousse, 2021*) ». Et d'après l'article L. 541-1-1 du code de l'environnement le recyclage est : « toute opération de valorisation par laquelle les déchets, y compris les déchets organiques, sont retraités en substances, matières ou produits aux fins de leur fonction initiale ou à d'autres fins. Les opérations de valorisation énergétique des déchets, celles relatives à la conversion des déchets

## Chapitre I : Généralité sur les déchets

---

en combustible et les opérations de remblaiement ne peuvent pas être qualifiées d'opération de recyclage. »,

- Le recyclage est une opération de traitement de déchets,
- Le recyclage est une opération de valorisation matière,
- Le recyclage permet de substituer des substances, des matières, ou des produits à d'autres substances, matières ou produits,
- Certaines opérations de recyclage s'accompagnent de la sortie du statut de déchet,
- Le compostage est une opération de recyclage (*Maël, Xavier, Christian, & Doris, 2012, p. 25*),



**Figure I- 8** : le symbole de recyclage (*Cédre recyclons solidaire*)

### I.5.2 Types de recyclage

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

- Le recyclage dit « chimique » utilise des réactions chimiques pour traiter les déchets, comme la séparation de certains composants.
- Le recyclage dit « mécanique » : fait référence à l'utilisation des machines pour transformer des déchets, comme le fracassement ou la séparation par courants de Foucault.
- Recyclage dit « organique » : après compostage ou fermentation, il est utilisé pour produire des engrais ou du carburant (comme le biogaz).

### I.6 Gestion des déchets en Algérie

La loi 01-19 du 12 décembre 2001 de la réglementation algérienne a défini 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 » (*Agence nationale des déchets, 2021*).

Avec la croissance démographique et la croissance de la consommation, l'Algérie connaît une augmentation significative des déchets, y compris la quantité estimée de déchets solides générés près de 13 millions de tonnes par an, dont plus de la moitié sont par ordures ménagères et déchets assimilés (DMA) (*Algérie presse service, 2017*).

La loi n°01-19, du 12 décembre 2001, relative à la gestion, au contrôle et à l'élimination des déchets, 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 (séparation des flux), de développer des filières de recyclage et de valorisation. La prévention est donc la première priorité de la politique nationale des déchets. Le meilleur déchet est celui que l'on ne produit pas (*Ain El Kheir, 2017, p. 3*).

Selon l'article 2 de la loi n°01-19, du 12 décembre 2001 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 (*Journal officiel de la république algérienne N77, 2001*).

### I.7 Déchets électroniques

La notion de déchets électroniques comprend l'ensemble des déchets issus des appareils électriques et électroniques et leurs composants. 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 (Welslau & Kraus, 1998). Les équipements électroniques comprennent des produits très variés équipés de circuits ou composants électriques et qui fonctionnent avec une batterie ou une alimentation électrique. Presque tous les ménages ou toutes les entreprises utilisent des produits tels que des appareils de cuisine simples, des jouets et des outils pour la musique, ainsi que des produits TIC, par exemple des téléphones mobiles, des ordinateurs portables, etc. (Vanessa , Cornelis , Ruediger, & Garam , 2020).



**Figure I- 9** : les déchets électroniques (Actu environnement, 2021)

### I.8 Classement des déchets électroniques

Les 54 catégories de produits EEE sont regroupées en six catégories générales définies selon les caractéristiques de gestion des déchets (Vanessa , Cornelis , Ruediger, & Garam , 2020):

**1. Les équipements d'échange thermique :**

Plus communément appelés équipements de refroidissement et de congélation, par exemple les réfrigérateurs, congélateurs, climatiseurs et pompes à chaleur.

**2. Les écrans et moniteurs :**

Par exemple les télévisions, moniteurs, ordinateurs portables, ordinateurs bloc-notes et tablettes.

**3. Les lampes :**

Par exemple les lampes fluorescentes, lampes à décharge à haute intensité et lampes à DEL.

**4. Les gros équipements :**

Par exemple les lave-linge, sèche-linge, lave-vaisselle, cuisinières électriques, grosses imprimantes, photocopieuses et panneaux photovoltaïques.

**5. Les petits équipements :**

Par exemple les aspirateurs, micro-ondes, équipements de ventilation, grille-pain, bouilloires électriques, rasoirs électriques, pèse-personnes, calculatrices, appareils de radio, caméras vidéo, jouets électriques et électroniques, petits outils électriques et électroniques, petits appareils électriques et électroniques, petits appareils médicaux et petits instruments de contrôle et de surveillance Par exemple les aspirateurs, micro-ondes, équipements de ventilation, grille-pain, bouilloires électriques, rasoirs électriques, pèse-personnes, calculatrices, appareils de radio, caméras vidéo, jouets électriques et électroniques, petits outils électriques et électroniques, petits appareils électriques et électroniques, petits appareils médicaux et petits instruments de contrôle et de surveillance.

**6. Les petits équipements informatiques et de télécommunication :**

Par exemple les téléphones mobiles, systèmes de positionnement mondial (GPS), calculatrices de poche, routeurs ordinateurs personnels, imprimantes et téléphones.

### I.9 Impact des déchets électroniques

#### ✚ Conséquences sur l'environnement :

Évidemment, la pollution électronique engendre plusieurs conséquences environnementales telle que la pollution des sols, la contamination de l'eau (nappe phréatique, cours d'eau), la contamination de l'air, la contamination de la chaîne alimentaire, des produits issus de l'agriculture et l'augmentation du nombre de décharges ou dépotoirs. Toutes ses conséquences ont un impact très important sur notre empreinte écologique. Le stockage des déchets est une des causes principales de ces conséquences (*Le journal Armand-Corbeil, 2019*).



**Figure I- 10** : déchets électroniques dans la nature (*Anderson, 2005*)

#### ✚ Conséquences sur notre santé :

La santé des travailleurs est également mise à rude épreuve. Les travailleurs ayant pour tâche de disposer des produits électroniques ne disposent pas de protection adéquate lorsqu'ils sont en contact direct avec ces produits. La poussière qu'ils inhalent porte atteinte à leur système respiratoire, ce qui peut provoquer toux, infection, suffocation, asthme et irritation des yeux. Leur peau est aussi fortement endommagée, car ils sont exposés à des métaux lourds, tel le plomb, le mercure, le cadmium, qui sont des substances cancérigènes et qui endommagent le système nerveux, sanguin, reproductif, respiratoire, les reins et les os. Ces employés sont aussi à risque de recevoir des chocs électriques lors du démantèlement des objets (*Le journal Armand-Corbeil, 2019*).

### I.9.1 Substances toxiques dans les appareils électroniques

#### I.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 (*Maxime , 2011, p. 16*).

#### I.9.1.2 Mercure

Dans les équipements, le mercure est présent principalement dans les batteries et dans les écrans plats. Le mercure 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. L'incinération et l'enfouissement non contrôlés des déchets électroniques contribuent donc à la contamination de l'environnement par le mercure (*Maxime , 2011*).

#### I.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 (*Maxime , 2011*) :

- ✚ 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 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 cancérogène (*Maxime , 2011*).

✚ 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 (*Maxime , 2011*).

### **I.9.1.4 Chrome hexa valent (Chrome VI)**

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 VI 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 (*Maxime , 2011*).

### **I.9.1.5 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 produisent des dioxines et des furanes (*Maxime , 2011*).

### **I.9.1.6 Plastique PVC**

Il est utilisé dans les équipements électroniques pour la fabrication du boîtier et du câblage. Ce matériau est recyclable, mais présente des inconvénients environnementaux importants, 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 (*Maxime , 2011*).

### I.10 Recyclage des déchets électronique

Le recyclage des déchets électroniques n'est pas seulement une question importante du point de vue de l'élimination des déchets, mais aussi une question importante du point de vue de la valorisation des matériaux de valeur.



**Figure I- 11** : le recyclage des déchets électronique (*Le journal Armand-Corbeil, 2019*)

#### I.10.1 Composition des déchets électroniques

Les déchets électroniques sont des déchets variés de composition complexe. Ils sont composés en majeure partie de (*Bujumbura, 2016*):

- Métaux ferreux et non ferreux (10 à 85%) ;
- Matériaux inertes : verre (hors tube cathodique), bois, béton... (0 à 20%) ;
- Plastique contenant ou non des retardateurs de flamme halogénés (1 à 70%) ;
- Fluides frigorigènes (Fréon, Forane, Iscéon,...) ;
- Piles et accumulateurs ;
- Tubes cathodiques (environ 65 % sur un téléviseur) ;
- Condensateurs pouvant contenir des PCB5 ;
- Cartes électroniques ;
- Ecrans à cristaux liquides ;
- Relais ou commutateurs au mercure ;
- Câble ;
- Cartouches et toners d'imprimante.

## Chapitre I : Généralité sur les déchets

**Tableau I- 3 :** Composition des déchets électronique selon leurs poids (*Welslau & Kraus, 1998*)

Matières	Taux (%)
Métaux	49
Matières plastiques	20,7
Verre/céramique	18,1
Béton (lave-linge)	4,1
Platines	1,2
Matériau isolant	0,8
Câble	0,4
Caoutchouc	0,4
Bois	0,3
Divers	4,9

Le démontage d'un équipement informatique typique (par exemple un ordinateur portable) permet d'isoler certains groupes de composantes :

- **Les cartes électroniques** : elles 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. Les composants électroniques sont constitués de silicium et de nombreux autres composants chimiques (arsenic, gallium, germanium, antimoine, etc.) (*Maxime, 2011*).
- **La structure métallique** : elle rigidifie l'équipement. Les métaux utilisés sont principalement des métaux ferreux et de l'aluminium (*Maxime, 2011*).
- **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) (*Maxime, 2011*).
- **Le clavier** : tout comme précédemment, il est composé de plastique auquel sont ajoutés différents additifs (*Maxime, 2011*).

- **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 (*Maxime , 2011*).
- **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 (*Maxime , 2011*).
- **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) (*Maxime , 2011*).

### I.11 Procédure de recyclage des déchets électroniques

- **La collecte** : les collecteurs font du porte-à-porte pour acheter ou collecter des équipements électriques et électroniques usagés, ou récupèrent des déchets électriques et électroniques dans des décharges. Également désignés par les termes de « récupérateurs de déchets », ils travaillent pour la plupart de façon informelle, dans des conditions dangereuses, et nombre d'entre eux appartiennent à des groupes ou à des minorités défavorisés (*Bureau International du travail ,Genève, 2019*).
- **Le démontage manuel** : S'effectue à l'aide d'outils pneumatiques. Les gros transformateurs, les ventilateurs, les châssis en fer, par exemple, sont également démontés manuellement, mis à part les composants contenant des polluants (*Welslau & Kraus, 1998*).
- **La séparation des polluants** : S'effectue manuellement lors du démontage des appareils. Les condensateurs humides, ainsi que les accumulateurs Ni-Cd, les batteries au lithium, les interrupteurs au mercure et les diodes électroluminescentes sont démontés en raison du danger encouru à cause du PCB. Il est procédé au stockage et au traitement des matières selon les directives légales relatives aux déchets et aux techniques de stockage (*Welslau & Kraus, 1998*).

## Chapitre I : Généralité sur les déchets

---

- **La mouture à froid et la séparation** : (Par exemple, le traitement mécanique à sec) s'effectuent progressivement par broyage des composants électroniques en un produit de la taille d'un grain de sable à l'aide de divers broyeurs. Le matériau ainsi obtenu est ensuite séparé en métaux, matières plastiques et fibres synthétiques selon des procédés de séparation différents (aimants, séparateurs à haute capacité, tamis) (Welslau & Kraus, 1998).

Le recyclage se divise en sept fractions (Welslau & Kraus, 1998) :

1. **Les métaux** : sont séparés par fractions selon leur degré de pureté et les matériaux composites sont retraités mécaniquement. Les fractions sont ensuite fondues.
2. **Les matières plastiques** : sont recyclées, dans la mesure où le tri par critère de pureté est possible ; dans le cas contraire (matières plastiques mélangées) ces matières sont utilisées à des fins énergétiques ou thermiques.
3. **Le verre** : peut être réutilisé comme écran de télévision dans l'industrie du verre ; il est possible d'utiliser des écrans de télévisions contaminés (verre conique) comme fondant de scorification.
4. **Les circuits imprimés** : permettent une récupération thermique ou électrolytique du métal ; les scories se déposent.
5. **Les composants** : sont retraités dans la mesure du possible. Si tel n'est pas le cas ils sont incinérés comme des déchets spécifiques ou stockés dans des décharges souterraines.
6. **Les prises et connecteurs** : à partir desquels des métaux peuvent être récupérés de manière mécanique ou thermique ; les matières plastiques sont recyclées ou valorisées.
7. **Les câbles** : dont les composants métalliques peuvent être récupérés de manière mécanique ; les matières plastiques sont recyclées ou valorisées.

### I.12 Conclusion

La protection de l'environnement est de plus en plus au centre de l'attention des gens. Le problème des déchets se pose tous les jours et touche tout le monde. En tant que consommateurs, producteurs, utilisateurs, citoyens ou contribuables de la collecte des déchets et des trieurs de déchets, chacun peut et doit participer à l'amélioration de la gestion des déchets. Dans Une vision globale du développement durable, Le problème des déchets ne peut être vu comme un objet isolé, ni même limité au seul aspect du recyclage et de l'élimination. Il doit être placé dans une perspective globale de gestion des risques et des ressources, couvrant l'ensemble du cycle de vie des déchets, de la production à l'élimination finale.

Les déchets d'équipements électroniques sont un type de déchets consistant en des équipements de rebut. Ces déchets ont une empreinte écologique élevée, donc lorsqu'ils sont terminés et jetés à la poubelle, ils auront un grand impact sur notre planète. Beaucoup d'entre nous les jettent à la poubelle, causant de graves problèmes environnementaux et une perte économique vue leur contenance en métaux nobles, la raison pour laquelle nous nous sommes intéressés à ce type de déchets. Le prochain chapitre sera consacré au recyclage de ce type de déchets avec l'eau supercritique.

**ChapitreII : Recyclage les  
déchets électroniques avec l'eau  
supercritiques**

### II.1 Introduction

Les métaux précieux que l'on trouve dans les téléphones portables, les ordinateurs, les imprimantes..., etc., ces métaux sont indispensables dans la technologie moderne, et ils doivent tous être récupérés et recyclés dans l'intégralité. Dans ce chapitre, nous verrons la méthode de récupération des métaux des cartes électroniques, qui incluent l'étape de traitement des cartes électroniques en milieu aqueux dans des conditions supercritiques. Il comprend également l'étape ultérieure de concassage de la matière solide produite dans des conditions supercritiques.

### II.2 Carte électronique

#### II.2.1 Définition

Une carte électronique est un circuit imprimé sur lequel sont soudés différents types de composants électroniques. Ces cartes sont retrouvées dans de nombreux équipements électriques et électroniques (EEE) tels que les téléphones portables, les imprimantes ou encore les ordinateurs. Elles sont généralement composées de 35% de métaux génériques et précieux, 35% de fibres de verre (ou fibres siliceuses) constituant l'armature de la carte, et de 30% de matières organiques telles que les plastiques et les résines. En termes de métaux précieux, on peut y retrouver de l'or dans les processeurs et sur les connections, du palladium dans les condensateurs céramiques multicouche (MLCC) et quelques transistors, du tantale dans certains condensateurs et de l'argent dans les circuits intégrés (Menad, Guignot, Gokalp, Bostyn, Graz, & Poirier, 2016).



**Figure II- 1:** carte de circuits imprimé ( Jonathan, 2018)

## Chapitre II : Recyclage les déchets électroniques avec l'eau supercritique

### II.2.2 Métaux précieux

Les métaux précieux désignent un groupe de métaux, généralement rares et chers, dotés d'excellentes qualités de protection. Ces termes font référence à des métaux tels que l'or, l'argent et le platine. Ces métaux précieux font l'objet d'investissements importants, parfois spéculatifs, et se négocient partout dans le monde.

**Tableau II- 1** : des exemples de compositions de téléphones portables, ordinateurs personnels (PC) et leur impact sur la demande annuelle en métaux (UNEP 2013) (Menad, Guignot, Gokalp, Bostyn, Graz, & Poirier, 2016).

Téléphones portables (A)	PC et ordinateurs portable (B)	Mines urbaines (A+B)
1600 millions unités/ an	350 millions unités/ an	Production minière part
x 250 mg Ag ~ 400t	x 1000 mg Ag ~ 350 t	Ag : 22,200 t/a 3%
x 24 mg Au ~ 38t	x 220 mg Au ~ 77 t	Au : 2.500 t/a 5%
x 9 mg Pd ~ 1 4t	x 80 mg Pd ~ 28 t	Pd : 200 t/a 21%
x 9 g Cu ~ 1400t	x ~ 500g Cu ~ 175000 t	Cu : 16 M t/a 1%

#### ➤ L'argent :

Métal précieux et peu abondant, il est utilisé en électronique pour ses propriétés de conduction électrique dans de nombreux composants (contacts, soudures, condensateurs multicouches...). L'argent serait présent en faible quantité dans les cartes électroniques cependant il serait facilement accessible. Il est parfois allié au palladium ce qu'est d'un point de vue recyclage, augmente son attractivité (Jonathan, 2018).

#### ➤ Le tantale :

Il est majoritairement utilisé pour la fabrication de condensateurs miniaturisés. Il se présente sous forme métallique et sous forme oxyde dans les condensateurs. Bien qu'il soit présent en faible quantité dans les condensateurs, ces derniers sont en grande quantité dans les téléphones portables (plus d'une vingtaine de condensateurs), qui eux-mêmes, constituent une grande quantité de déchets. En 2008, le nombre d'unités de téléphones portables collectés en France était de 800 000 (Jonathan, 2018).

## Chapitre II : Recyclage les déchets électroniques avec l'eau supercritique

---

### ➤ **Le palladium :**

De la famille des platinoïdes, il est présent essentiellement dans les cartes électroniques sous forme pure ou alliée (connecteurs, condensateurs multicouches, revêtements sur circuits imprimés...). Bien qu'il soit disponible en faible quantité dans les cartes électroniques, sa valeur marchande couplée au gisement de déchets collectés (plus de 6kt de cartes électroniques traitées par Ecosystème en 2014) en fait un très bon candidat au recyclage (*Jonathan, 2018*).

### ➤ **Le germanium :**

C'est un métalloïde semi-conducteur sous-produit de production du zinc. Il est utilisé dans les panneaux solaires et les LEDs, sous forme alliée (GeAs, SiGe), pour ses propriétés semi-conductrices. Bien qu'il soit dispersé en faibles quantités dans ces applications, il est intéressant à recycler de par sa haute valeur marchande. De plus, la demande devrait croître à hauteur de 4%/an jusqu'à 2020 (*Jonathan, 2018*).

### ➤ **L'indium :**

Métal rare sous-produit de production du zinc et de l'étain. Il est contenu sous forme pure ou forme oxyde dans des produits à demande croissante. Il est contenu dans les cartes pauvres et les écrans plats essentiellement. Il est très accessible dans les écrans LCD (dépôt mince sur substrat de verre) et présente donc un intérêt certain au recyclage. Toutefois, la technologie LCD est récente et représente une faible proportion de flux de déchets collectés. Les prévisions estiment la croissance annuelle de la demande entre 5 et 8%/an à l'horizon 2020 (*Jonathan, 2018*).

### ➤ **Le gallium :**

Métal très abondant, il est utilisé à 95% sous forme de GaAs ou GaN pour la fabrication des semi-conducteurs (LED, Photovoltaïque, cartes électroniques). La demande devrait croître de plus de 8%/an d'ici 2020. De plus, il n'est pas recyclé en France. La Chine exerce un monopole de la production et rend ce métal critique malgré de grande capacité de production. Bien que sujet aux crises, le prix du gallium est relativement faible et il est présent en faible quantité dans les DEEE. D'où un intérêt relativement modéré au recyclage (*Jonathan, 2018*).

### ➤ **Le néodyme :**

## Chapitre II : Recyclage les déchets électroniques avec l'eau supercritique

---

Métal de la famille des lanthanides, il est utilisé principalement dans les aimants Nd<sub>2</sub>Fe<sub>14</sub>B dans lesquels il est l'élément principal (30%). Bien que relativement peu cher, il tend à être de plus en plus important tant il est présent dans la plupart des nouvelles technologies (téléphones portables, disques durs...). Toutefois, les coûts de traitements peuvent être élevés (à cause du démantèlement manuel et démagnétisation) ( *Jonathan, 2018*).

### ➤ L'or :

L'or est un métal noble, ce qui signifie qu'il possède la propriété de résister à l'oxydation (peu d'agents chimiques peuvent l'attaquer) et à la corrosion (il ne rouille pas comme le fer). C'est précisément parce qu'il a des propriétés qui lui permet de rester plongé dans l'eau de mer, enseveli sous la terre ou exposé à l'air libre sans être altéré, et en conservant son apparence originelle (*24caratsfr*) .

## II.3 Etats de l'art

### II.3.1 Procédé de recyclage des déchets électroniques par pyrométallurgie

La pyrométallurgie regroupe l'ensemble des opérations thermiques d'extraction et de raffinage des métaux ( *Pierre & El-Aid, 1998*). Les opérations de séparation en pyrométallurgie ont lieu à hautes températures, et ce sont les équilibres thermochimiques d'oxydo-réduction qui contrôlent les degrés d'extractions. Les séparations sont aussi d'ordre physique et plus particulièrement d'ordre gravitationnel. Certaines espèces ayant, en effet, tendance à flotter ou à sédimenter au sein du métal fondu ( *Jonathan, 2018*).

Différentes techniques sont utilisées dans une procédure pyrométallurgique. Tout d'abord, la calcination permet la décomposition du minerai et l'élimination des espèces volatiles CO<sub>2</sub> et H<sub>2</sub>O. Ensuite, l'étape de grillage permet l'élimination d'espèces volatiles autres que le CO<sub>2</sub> et H<sub>2</sub>O. Un grillage sulfure permet par exemple l'élimination de SO<sub>2</sub> et le grillage volatilisant permet l'élimination d'espèces tels que ZnO, As<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ou Sb<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. L'étape suivante consiste en une séparation effective par fusion sous atmosphère réductrice ou oxydante (souvent alternée). Enfin, l'affinage du métal est réalisé par pyrométallurgie (distillation) ou par électrométallurgie (électro-raffinage) ( *Jonathan, 2018*).

La pyrométallurgie est une méthode très répandue à l'échelle industrielle. La production d'acier à partir de minerai de fer est basée sur plusieurs étapes pyrométallurgiques. Cette

## **Chapitre II : Recyclage les déchets électroniques avec l'eau supercritique**

---

méthode existe depuis l'antiquité mais son utilisation est diminuée au profit d'autres méthodes moins énergivores et moins polluantes. Les gaz et poussières générés par cette technique engendrent effectivement une pollution des sols, des eaux et de l'atmosphère ( *Pierre & El-Aid, 1998*).

### **II.3.2 Procédé de recyclage des déchets électroniques par hydrométallurgies**

L'hydrométallurgie est apparue à la fin du XIX<sup>ème</sup> siècle et employée depuis les années 1990 pour les traitements des déchets métalliques (Laurent & Pierre-Emmanuel , 2000). Cette technique consiste en une extraction et purification de métaux mis en solution. Les techniques utilisées en hydrométallurgie sont nombreuses et sont beaucoup moins consommatrices d'énergie que celles employées en pyrométallurgie ( *Jonathan, 2018*).

Une première étape de prétraitement (grillage, lessivage) permet de conditionner le métal à extraire sous une forme facilement lixiviable. L'étape suivante est la lixiviation, étape qui consiste à mettre en solution le métal à récupérer, sous forme ionique. Le lixiviat ou agent de lixiviation peut-être une solution acide, basique, complexant, oxydante... Ensuite, vient une étape de purification où l'on sépare les impuretés contenues dans le lixiviat (décantation, filtration, centrifugation...). Puis, le métal à extraire est transféré d'une phase aqueuse à une autre phase par différentes techniques (cimentation, précipitation, cristallisation, électrodéposition...). Enfin, le métal est raffiné afin d'éliminer les dernières traces d'impuretés contenues dans le métal ( *Jonathan, 2018*).

### **II.3.3 Procédé de recyclage des déchets électroniques par pyrolyse**

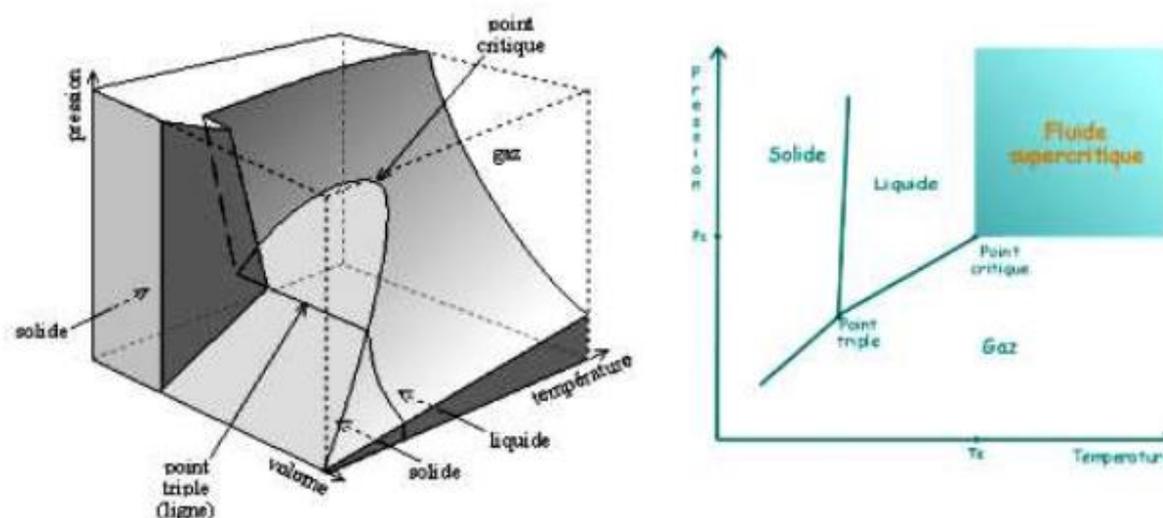
La pyrolyse consiste à détruire les plastiques et les résines par évaporation et cracking thermique des vapeurs produites. L'avantage est d'obtenir une matière brute polymétallique beaucoup plus facile à traiter dans les fonderies de cuivre, et ce sans perte de métaux ni production de déchets ultimes. Les gaz sont produits en petite quantité, ils sont de ce fait faciles à traiter. La pyrolyse est donc un moyen qui permet d'améliorer les performances des fonderies de cuivre ( *Thomas, 2016*).

### II.4 Procédés de recyclage en eau supercritique (oxydation hydrothermale)

#### II.4.1 Eau supercritique

##### II.4.1.1 Fluides supercritiques

Les corps purs peuvent se trouver soit à l'état solide, soit à l'état liquide, soit à l'état gazeux ; dans le diagramme température-pression, les régions correspondant à ces trois états sont séparées par les courbes de changement d'état concourantes au point triple. Il se trouve que la courbe de vaporisation présente un point d'arrêt dit point critique correspondant à un couple de pression-température (PC, TC) assez facile à atteindre pour la plupart des composés organiques simples. Au point critique, les densités des deux phases, gaz et liquide, deviennent identiques et la distinction entre ces deux états disparaît (Leybros, 2009).



**Figure II- 2:** Diagrammes Pression-Température-Volume de l'eau (Leybros, 2009)

Au-delà de ce point critique ( $P > P_C$  et  $T > T_C$ ), un seul état existe : le fluide est dit supercritique et présente des propriétés très particulières. En général, les fluides supercritiques sont utilisés dans un domaine de température allant de  $0,9$  à  $1,2T_C$  où ils ont une masse volumique voisine de celle des liquides, une viscosité à peine supérieure à celle des gaz et une diffusivité comprise entre celle des liquides et des gaz (Tableau II- 2) (Leybros, 2009).

**Tableau II- 3:** Quelques propriétés des fluides supercritiques (Leybros, 2009)

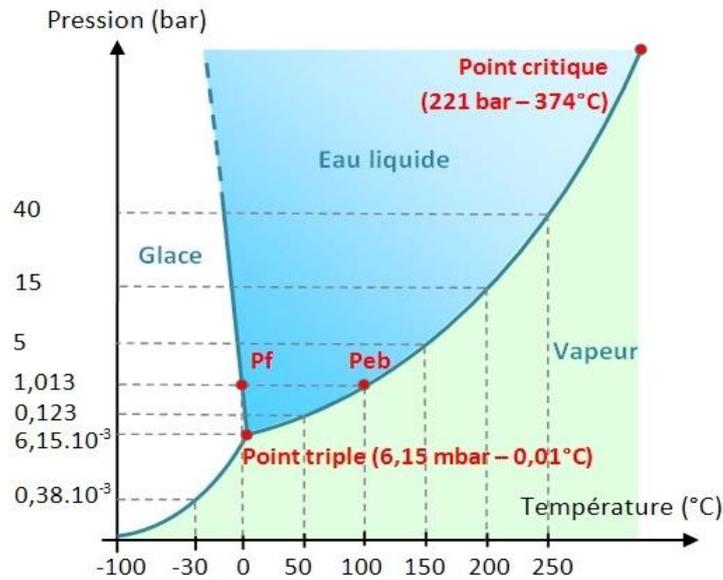
## Chapitre II : Recyclage les déchets électroniques avec l'eau supercritique

	Masse volumique ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )	Viscosité (cP)	Coefficient de diffusivité ( $\text{cm}^2/\text{s}$ )
Gaz 1 atm, 15 à 30°C	0,6 à 2		$10^{-1}$ à $9.10^{-1}$
Fluide supercritique Tc, Pc	$2.10^2$ à $5.10^2$	$10^{-2}$ à $3.10^{-2}$	$7.10^{-4}$ à
Tc, 4Pc	$4.10^2$ à $9.10^2$	$3.10^{-2}$ à $9.10^{-2}$	$2.10^{-4}$
Liquide 1 atm, 15 à 30°C	$6.10^2$ à $1,6.10^2$	0,2 à 3	$2.10^{-6}$ à $2.10^{-5}$

Les fluides supercritiques les plus utilisés dans le développement de procédés sont le dioxyde de carbone et l'eau. Les propriétés physiques remarquables des fluides supercritiques font par exemple du  $\text{CO}_2$  un solvant d'extraction intéressant et de l'eau un milieu propice à l'oxydation (Leybros, 2009).

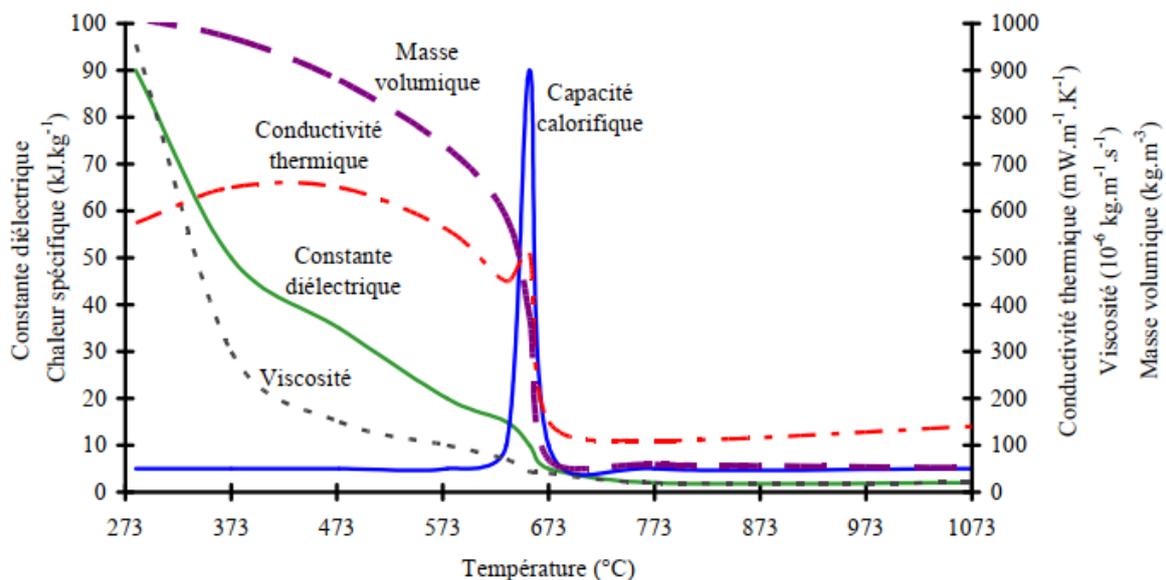
### II.4.1.2 Eau supercritique

La glace, l'eau liquide ou la vapeur d'eau sont trois états de la molécule  $\text{H}_2\text{O}$  plutôt bien connus. En revanche, il existe un quatrième état, l'eau supercritique. Le point supercritique de l'eau s'obtient lorsque la pression est portée à 221 bars, et la température atteint  $370^\circ \text{C}$ . À partir de ce point (et dans un domaine où ce couple de grandeurs l'autorise), l'eau passe dans un état entre le liquide et le gaz, avec des propriétés particulières, notamment en termes de pouvoir ionisant (Frédéric, 2016)



**Figure II- 3:** Point critique de l'eau a température de 370° C et a pression de 221bar (Frédéric , 2016)

L'eau est dite supercritique lorsque sa température est supérieure à 647K et sa pression est supérieure à 22,1MPa. Les propriétés de l'eau dans le domaine supercritique changent par rapport à celles des conditions ambiantes (Figure 3) (Leybros, 2009).



**Figure II- 4 :** Propriétés de l'eau supercritique à 24,5 MPa (Leybros, 2009)

- **Masse volumique :**

## **Chapitre II : Recyclage les déchets électroniques avec l'eau supercritique**

---

Cette variable thermodynamique change rapidement dans le domaine supercritique en diminuant jusqu'à des valeurs proches de celles de l'eau vapeur ( $0,05 \text{ g.cm}^{-3}$  pour des températures supérieures à  $773 \text{ K}$ ). La densité de l'eau influe sur la solubilité des composants organiques et des gaz. On peut observer que plus on se rapproche du point critique et plus la masse volumique décroît en fonction de la température, ce qui conduit dans un réacteur de diamètre constant à une augmentation importante de la vitesse du fluide lorsque celui-ci passe le point critique (*Leybros, 2009*).

- **Constante diélectrique statique et constante de dissociation :**

Lors du passage dans le domaine supercritique, l'eau subit une modification de structure. En effet, sa constante diélectrique chute d'une valeur de 80 (à  $25 \text{ MPa}$  et température ambiante) à 2 (à  $450^\circ\text{C}$  et  $25 \text{ MPa}$ ). Le long de la même isobare, la constante de dissociation ionique de l'eau diminue de  $10^{-14}$  à la température ambiante à  $10^{-23} \text{ (mol.kg}^{-1}\text{)}$  à  $450^\circ\text{C}$  (*Leybros, 2009*).

L'évolution de cette grandeur macroscopique se traduit au niveau microscopique par une réduction du nombre de liaisons hydrogène. Ainsi, l'eau supercritique se comporte comme un gaz dense non polaire et ses propriétés de solvation ressemblent à celles d'un solvant organique de faible polarité. Plus la constante diélectrique, qui permet de rendre compte de la dissociabilité du solvant, est faible, plus la force électrostatique entre les ions est forte. Par conséquent, la solubilité des composés inorganiques diminue très fortement, ce qui conduit à leur précipitation (*Leybros, 2009*).

- **Viscosité dynamique :**

La viscosité dynamique de l'eau supercritique est faible et proche de celle des gaz (de l'ordre de  $30 \text{ }\mu\text{Pa.s}$ ). Ceci favorise l'homogénéisation du milieu réactionnel et par suite augmente la réactivité (*Leybros, 2009*).

- **Capacité calorifique :**

Au point critique, la capacité calorifique tend vers l'infini. Cela veut dire qu'à ce point, le fluide aura des caractéristiques particulièrement intéressantes dans le domaine du stockage d'énergie. En revanche, la régulation de la température du fluide dans cette zone sera délicate et difficile. Aussi, il est très difficile d'augmenter la température d'un fluide à proximité du point critique, car il est alors nécessaire d'apporter une grande quantité d'énergie au système (*Leybros, 2009*).

- **Conductivité thermique :**

## **Chapitre II : Recyclage des déchets électroniques avec l'eau supercritique**

---

La conductivité thermique subit une variation importante au passage du point critique. La valeur de la conductivité thermique de l'eau supercritique décroît fortement après le passage de la température critique, ce qui indique que les échanges de chaleur sont moins efficaces que pour l'eau en condition ambiante (*Leybros, 2009*).

### **II.4.2 Procédés de recyclage en eau supercritique (oxydation hydrothermale)**

#### **II.4.2.1 Principe de l'oxydation hydrothermale**

Globalement, le procédé d'oxydation hydrothermale se déroule en plusieurs étapes successives : pressurisation et préchauffage des réactifs, réaction, refroidissement, solubilisation partielle des sels puis dépressurisation du système. Etant données les propriétés énoncées précédemment, l'eau supercritique va se comporter comme un solvant homogène, non polaire, de forte diffusivité, capable de dissoudre les composés organiques apolaires et les gaz. Le mélange eau-composés organiques-oxydant est ainsi obtenu sans limitation de transfert aux interfaces (*Leybros, 2009*).

L'oxydation hydrothermale est une oxydation homogène de composants chimiques dans un milieu aqueux en utilisant comme agent oxydant l'oxygène, l'air ou le peroxyde d'hydrogène à des conditions de pression et de température au-delà du point critique. Cette réaction peut également être hétérogène quand le composé organique est un solide ou dans le cas où l'oxydation est catalysée (*Ding, Frisch, Li, & Gloyna, 1996*).

Dans un contexte de développement durable, l'oxydation en milieu eau supercritique est un procédé qui permet l'élimination totale du composé à oxyder. Avec des conditions opératoires appropriées, un certain nombre de polluants organiques peuvent être complètement convertis en CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O et N<sub>2</sub> avec des temps de séjour inférieurs à 1 minute. Les produits d'oxydation partielle tels que les dioxines, les NO<sub>x</sub> ou le CO ne sont pas détectés (*Leybros, 2009*).

L'oxydation hydrothermale a l'avantage de proposer des vitesses de réaction rapides et d'être une réaction homogène sans limitation de transfert de masse. Cependant, ce procédé présente des inconvénients relatifs aux conditions opératoires hostiles et leurs effets sur les matériaux de construction des réacteurs. Les deux principaux défis, la corrosion et le dépôt de sels, sont en passe de résolution à l'aide de solutions techniques telles que l'utilisation de matériaux de construction spéciaux et le développement de nouveaux concepts de réacteur pour atténuer les contraintes que les matériaux doivent supporter (*Bermejo, Vazquez, Martin, & Cocero, 2006*).

### II.5 Réacteur chimique

#### II.5.1 Définition

Le réacteur chimique est défini comme le lieu où se passe la réaction chimique sous certaines conditions opératoires.

Tout équipement qui étudie les transformations chimiques ou les utilise pour produire de nouvelles substances. Le choix du type de réacteur est lié à la nature de la réaction que l'on souhaite y produire. Les réacteurs peuvent être divisés en deux catégories :

- Réacteurs fermés : un réacteur sans échange de matière avec l'environnement extérieur.
- Réacteurs continus : le réacteur dans lequel le mélange réactionnel entre et sort en continu.

#### II.5.2 Réacteur utilisé pour le traitement en eau supercritique

##### II.5.2.1 Réacteur à eau supercritique (SCWR)

Le réacteur à eau supercritique (SCWR) C'est le concept du réacteur de quatrième génération fonctionnant sous pression supercritique (supérieure à 22,1 MPa). Dans ce contexte, le terme supercritique fait référence au point critique thermodynamique de l'eau ( $T_{CR} = 374 \text{ }^\circ\text{C}$  ;  $p_{CR} = 22,1 \text{ MPa}$ ) et ne doit pas être confondu avec l'état critique du cœur du réacteur, qui décrit les modifications de la population de neutrons dans le cœur du réacteur (Connor, 2019).

Selon la conception du cœur, le réacteur à eau supercritique peut être utilisé comme réacteur thermique ou comme réacteur à neutrons rapides. Le concept de réacteur à eau supercritique peut être basé sur des récipients sous pression conventionnels ( par exemple des récipients sous pression dans les réacteurs industriels à eau sous pression ) ou sur des tubes à pression, comme dans les réacteurs CANDU, La conception des réservoirs sous pression des réacteurs à eau supercritique est principalement développée dans l'UE, les États-Unis, le Japon, la Corée et la Chine, tandis que la conception du canal sous pression est développée principalement au Canada et en Russie. La conception de l'enceinte sous pression permet d'utiliser un circuit à haute pression traditionnel. La conception du canal de pression permet l'élimination passive de la chaleur due aux accidents et à la désintégration par rayonnement et par convection à partir des canaux répartis, même en l'absence de refroidissement actif et de fusion du combustible, ainsi que l'utilisation de flux de réacteurs à passes multiples permettant le réchauffage et la surchauffe (Connor, 2019).

## Chapitre II : Recyclage les déchets électroniques avec l'eau supercritique

Pour la conception de la cuve sous pression et de tube sous pression, un cycle de vapeur à passage unique a été envisagé, en supprimant toute recirculation du fluide de refroidissement à l'intérieur du réacteur. C'est comme dans les réacteurs à eau bouillante, la vapeur sera fournie directement à la turbine à vapeur, et l'eau d'alimentation du cycle de vapeur sera renvoyée au cœur (Connor, 2019).

De même, les réacteurs à eau supercritique peuvent utiliser de l'eau légère ou de l'eau lourde comme modérateur de neutrons. On peut voir qu'il existe de nombreuses conceptions de SCWR, mais toutes les solutions ont une fonction clé, à savoir l'utilisation d'eau au-delà du point critique thermodynamique en tant que liquide de refroidissement primaire. Cette caractéristique permet d'augmenter le pic de température, les réacteurs à eau supercritique sont considérés comme une avancée prometteuse pour les centrales nucléaires en raison de leur rendement thermique élevé (environ 45% contre environ 33% du REO actuel) (Connor, 2019).

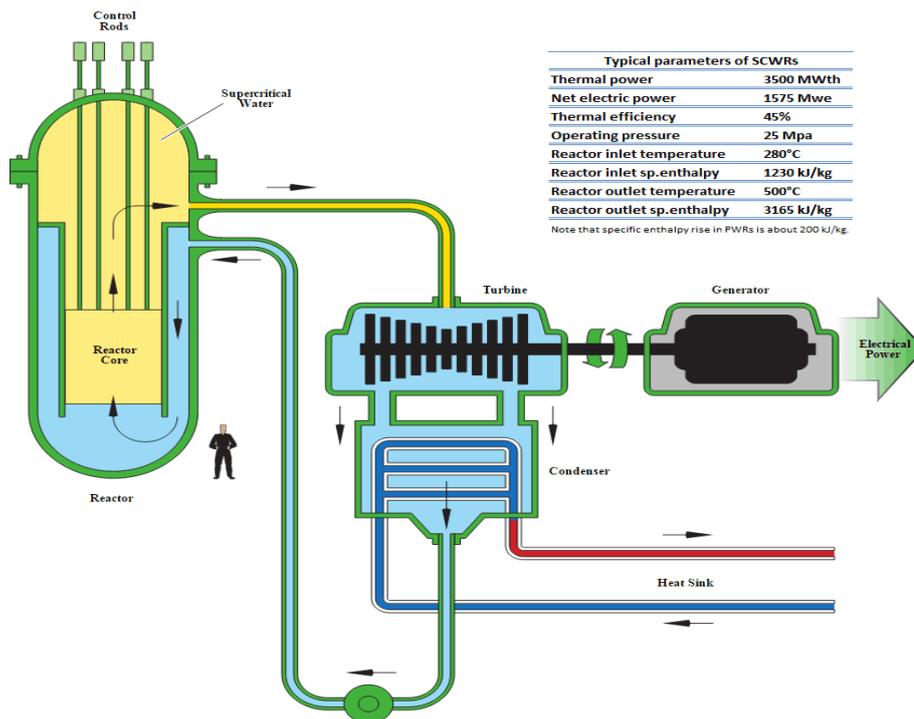
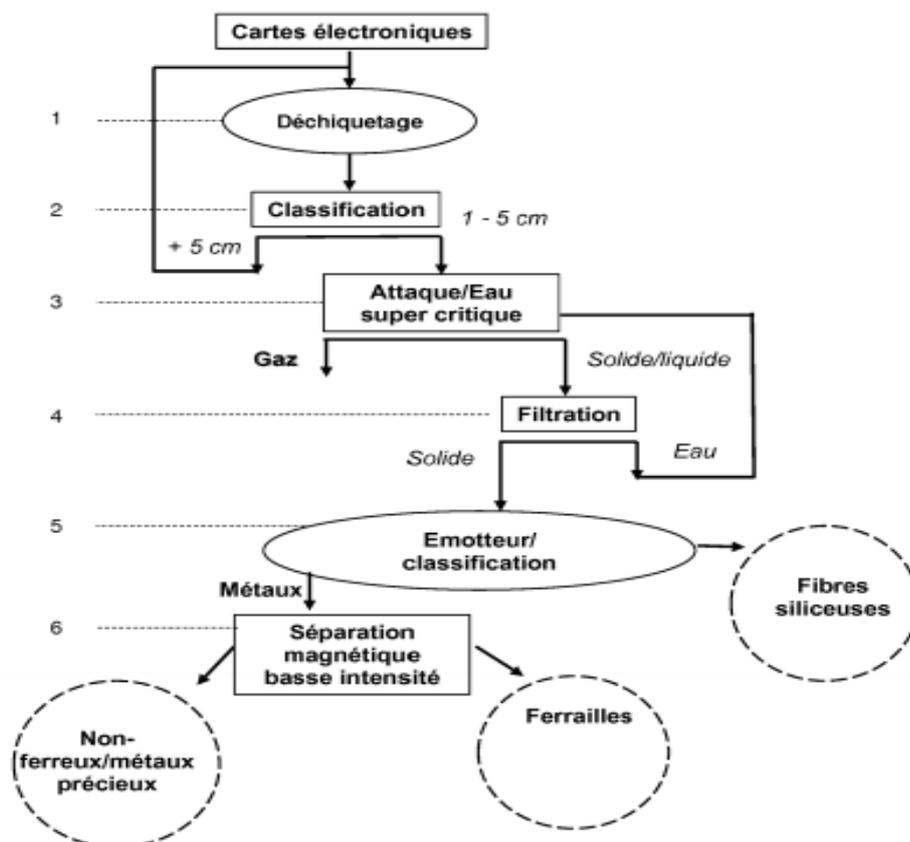


Figure II- 5: réacteur à eau supercritique (SCWR) (Connor, 2019)

### II.6 Procédé de recyclage des déchets électroniques avec l'eau supercritique

#### II.6.1 Description de procédé

Selon le groupe des chercheurs de l'université d'Orléans qui ont mis au point un procédé permettant de récupérer les métaux précieux contenus dans nos appareils électroniques grâce à l'eau supercritique qui comprend les étapes suivantes (Figure II- 6) :



**Figure II- 7:** les étapes du procédé de recyclage des cartes électroniques selon l'invention des chercheurs de l'université d'Orléans (Menad, Guignot, Gokalp, Bostyn, Graz, & Poirier, 2016)

L'objectif de cette eau supercritique est de couper en petits morceaux le polymère grâce à l'acidité de l'eau à des températures et des pressions supercritiques.

Le traitement en conditions supercritiques, c'est-à-dire dans des conditions où la température est supérieure à 374°C tandis que la pression est supérieure à 22MPa, la matière organique est détruite et éliminée dans les effluents. La résine des cartes électroniques est attaquée ce qui libère les fibres siliceuses, ainsi que les métaux. Les produits obtenus à l'issue de cette étape sont constitués majoritairement des métaux présents initialement dans les cartes. A l'inverse ;

## Chapitre II : Recyclage les déchets électroniques avec l'eau supercritique

La résine constituant le matériau est composée de plastiques et de fibres, est en grande partie éliminée par l'attaque en conditions supercritiques. Cependant, des fibres et de la résine peuvent rester accrochées à la partie solide des cartes électroniques. Cette étape du procédé génère très peu de pertes en métaux. En effet, la phase liquide contient très peu d'éléments métalliques et la quasi-totalité des métaux sont récupérés dans la phase solide du traitement par eau supercritique. De façon avantageuse, la température dans le milieu va de 374°C à 600°C pour une pression de 22,1 MPa à 30 MPa. De façon préférentielle, la température est supérieure à 500 °C et préférentiellement égale à  $600 \pm 20$  °C. En effet, aux conditions de température inférieure à 500 °C, il peut y avoir rejet de traces de monoxyde de carbone. Les conditions supercritiques du milieu aqueux sont maintenues pendant une durée supérieure ou égale à 30 minutes et préférentiellement allant de 60 minutes à 180 minutes. De façon optionnelle, le milieu dans lequel est effectué le traitement en conditions supercritiques, contient de l'oxygène (par exemple de l'air) ou une ou des espèces générant de l'oxygène, et notamment de l'eau oxygénée. L'ajout d'un oxydant améliore la réaction. De plus l'ajout d'un catalyseur tel qu'un métal alcalin (par exemple  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{KHCO}_3$ ,  $\text{K}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{KOH}$ , et/ou  $\text{NaOH}$ ) et/ou du charbon actif peut également améliorer la réaction le traitement est réalisé dans un autoclave et les conditions supercritiques sont atteintes par augmentation de la température, et de préférence exclusivement par augmentation de la température (Menad, Guignot, Gokalp, Bostyn, Graz, & Poirier, 2016).

### II.6.1.1 Déchiquetage

Des cartes électroniques d'ordinateurs portables ont été soumises à une fragmentation au moyen d'un broyeur à couteaux muni d'une grille d'une maille de 5 cm. Il s'agit de l'étape 1 (« déchiquetage ») du procédé schématisé en Figure II- 8, la fragmentation avait pour objectif l'obtention de fragments de taille généralement supérieure à 1 cm et inférieure à 5 cm (Menad, Guignot, Gokalp, Bostyn, Graz, & Poirier, 2016).



**Figure II- 9:** broyeur à couteaux industriel (*techni-contact*)

## Chapitre II : Recyclage les déchets électroniques avec l'eau supercritique

### II.6.1.2 Classification

L'objectif de la fragmentation est notamment d'obtenir des fragments de taille suffisamment réduite pour qu'ils puissent être introduits dans le réacteur dans lequel a lieu le traitement en conditions supercritiques. Ainsi, pour un traitement dans un réacteur d'une relativement grande contenance, il peut ne pas être nécessaire de broyer les cartes électroniques. Le procédé peut donc être utilisé sur des cartes complètes. Les fragments de taille supérieure à 5 cm sont à nouveau soumis à l'étape 1 de déchiquetage. Les fragments de taille inférieure sont soumis à l'étape 3 (attaque par l'eau supercritique) du procédé Schématisé en figure 2 (Menad, Guignot, Gokalp, Bostyn, Graz, & Poirier, 2016).

### II.6.1.3 Attaque par l'eau supercritique

30 g de fragments ainsi obtenus ont ensuite été introduits dans un autoclave de 300 ml de volume dans lequel ils ont été mis en contact avec 30 g d'une solution aqueuse d'eau oxygénée de concentration de 33 % en masse. La température dans l'autoclave a été montée à 600 °C ce qui a permis d'atteindre une pression de 250 bars. Ces conditions de pression et de température ont été atteintes en environ 30 minutes. Les fragments ont ensuite été maintenus dans ces conditions pendant 30 minutes, puis l'autoclave a été dépressurisé (Menad, Guignot, Gokalp, Bostyn, Graz, & Poirier, 2016).



**Figure II- 10:** autoclave 300 ml (*alibaba.com*)

## Chapitre II : Recyclage les déchets électroniques avec l'eau supercritique

### II.6.1.4 Filtration

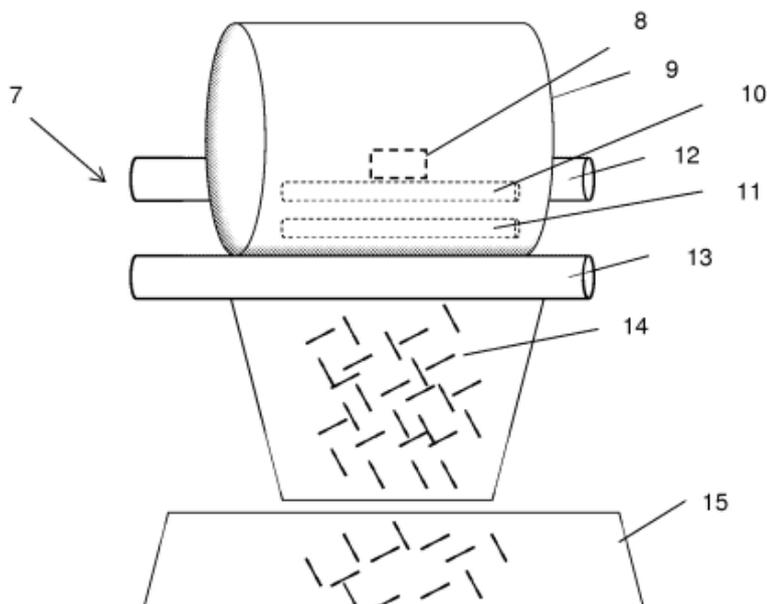
La phase solide a ensuite été séparée de la phase liquide par filtration sur papier filtre de porosité de 2,5  $\mu\text{m}$ , de façon à récupérer la totalité de la phase solide (schématisé en Figure II- 11:)  
(Menad, Guignot, Gokalp, Bostyn, Graz, & Poirier, 2016).

**Tableau II- 4 :** la composition chimique de la phase liquide en sortie de l'étape d'attaque par eau supercritique, à l'issue de la filtration (Menad, Guignot, Gokalp, Bostyn, Graz, & Poirier, 2016)

Eléments	Ag	Al	As	Ba	Be	Cd	Co	Cr
Teneur ppm	0,44	0,22	0,07	420,95	0,00	0,22	0,01	0,00
Eléments	Cu	Li	Mn	Ni	Pb	Sn	Sr	Zn
Teneur ppm	8 1,55	1,49	1,40	2,34	0,32	0,00	13,69	0,27

### II.6.1.5 Classification par émotteur

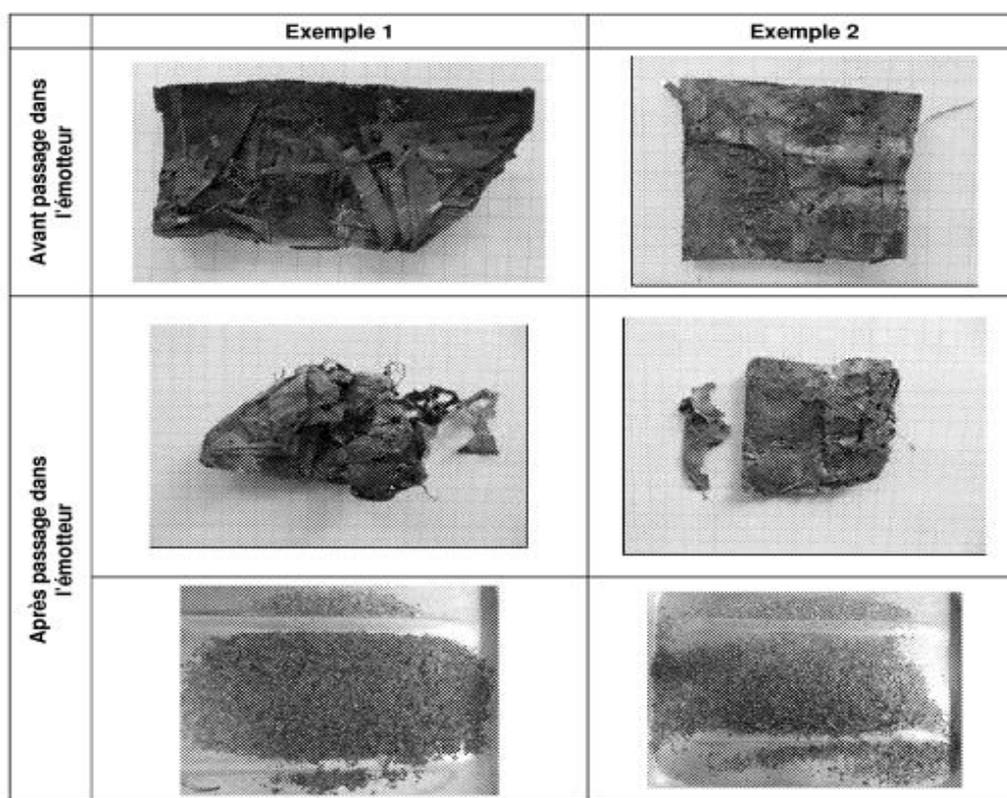
La phase solide a alors été passée dans un émotteur représenté en figure 9, qui est un exemple de l'émotteur indiqué à l'étape 5 du procédé schématisé en Figure 6.



**Figure II- 12:** l'émotteur utilisé pour écraser les cartes électroniques (Menad, Guignot, Gokalp, Bostyn, Graz, & Poirier, 2016)

## Chapitre II : Recyclage les déchets électroniques avec l'eau supercritique

La Figure II- 13 représente un émotteur (7) qui est un tamis rotatif à éléments pesants, également utilisé en tant que classificateur. Des résidus solides (8) issus de l'attaque en conditions supercritiques (étape 3 du procédé) sont placés dans un tamis cylindrique (9) qui présente une maille de 2 mm et contient deux barres pesantes (10) et (11). Les barres pesantes (10) et (11) sont des cylindres chacune de 15 cm de longueur, de 4 cm de diamètre et de 1,9 kg de masse. Le dispositif est fermé et positionné sur deux barres (12) et (13) positionnées à l'extérieur du tamis (9). Ces barres sont mises en rotation ce qui entraîne la rotation du tamis, assurant ainsi la mise en mouvement des barres pesantes (10) et (11) et l'écrasement des résidus solides (8). Cet écrasement libère les parties effritables (14) de la résine initiale qui collent encore sur les résidus solides (8). Ces parties effritées (14), appelées « fines », passent les ouvertures du tamis et sont récupérées en bas, à une granulométrie moyenne inférieure à 2 mm, dans des plateaux dédiés (15). Le temps d'écrasement a été environ de 3 minutes, temps au bout duquel il n'y avait plus, visuellement, de particules fines sortant du tamis. La matière restant dans le tamis est appelée « solides » et est récupérée. Les « fines » et les « solides » sont alors pesés (Menad, Guignot, Gokalp, Bostyn, Graz, & Poirier, 2016).



**Figure II- 14:** regroupe les clichés des produits obtenus après l'attaque à l'eau supercritique en présence d'eau oxygénée (Menad, Guignot, Gokalp, Bostyn, Graz, & Poirier, 2016)

## **Chapitre II : Recyclage les déchets électroniques avec l'eau supercritique**

---

### **II.6.1.6 Séparation magnétique**

Les métaux ainsi séparés de la résine peuvent ensuite être soumis à une séparation magnétique à basse intensité, sous un champ magnétique de 400 Gauss. Les métaux non ferreux, dont les métaux précieux, ont ainsi été séparés des ferrailles (*Menad, Guignot, Gokalp, Bostyn, Graz, & Poirier, 2016*).

### **II.7 Pourquoi cette eau supercritique**

Les cartes électroniques issues pour la plupart des déchets de production sont traitées par hydrométallurgie afin de recycler l'or qu'elles contiennent. D'autres cartes électroniques sont traitées par pyrolyse pour éliminer la résine et concentrer les métaux précieux. Les métaux précieux sont ensuite récupérés par voies pyrométallurgique et hydrométallurgique. Ces procédés sont nocifs pour l'environnement car ils nécessitent l'utilisation de solvants organiques. En effet en ce qui concerne le traitement par pyrolyse, les métaux obtenus à partir de ce procédé sont encrassés et doivent ensuite être soumis à un traitement hydro métallurgique. De plus, le traitement par pyrométallurgie nécessite un broyage préalable à une granulométrie fine qui est associé à une consommation énergétique importante. Ce broyage fin est responsable de la majorité des pertes de métaux dans les poussières.

Mais dans ce procédé de l'eau supercritique il ne résulte pas des produits toxiques (*Menad, Guignot, Gokalp, Bostyn, Graz, & Poirier, 2016*).

### **II.8 Conclusion**

Par rapport à d'autres méthodes, le procédé de recyclage des déchets électroniques avec de l'eau supercritique est une méthode améliorée. Le traitement des déchets à l'eau supercritique peut constituer une alternative écologique intéressante, notamment une alternative à l'incinération industrielle, qui rejette les polluants et ne les élimine pas tous les déchets. Ce procédé peut constituer une nouvelle source d'approvisionnement en métaux précieux.

**Chapitre III : Création d'une  
entreprise de recyclage des déchets  
électroniques avec l'eau  
supercritique**

# Chapitre III : Création d'une entreprise de recyclage des déchets électroniques avec l'eau supercritique

---

## III.1 Introduction

Le recyclage est le processus de réduction des déchets et de préservation des ressources naturelles en réutilisant les matières premières extraites. C'est le concept d'économie circulaire, les déchets sont une mine d'or pour les jeunes entrepreneurs. Or, nous sommes bien conscients des problèmes causés par la croissance continue de la société de consommation.

La sécurité environnementale est un autre enjeu majeur. Les appareils électroniques contiennent des substances toxiques qui peuvent empoisonner le sol, l'air et les eaux souterraines en cas de contact.

Le recyclage des déchets électroniques est devenu une question urgente dans les temps modernes partout dans le monde, des entreprises débarrassent chaque année un grand nombre d'appareils électroniques. Nous aidons ce tas de déchets électroniques à jeter les objets endommagés ou anciens. Il est du devoir des entreprises et des sociétés de recyclage spécialisées de traiter ces matériaux.

## III.2 Généralités sur l'entreprise

### III.2.1 Définition de l'entreprise

Une entreprise peut être définie comme une unité de production juridiquement autonome dont l'objectif est de produire des biens et/ou des services à destination de personnes physiques ou morales afin d'en tirer un bénéfice (*Clément, 2019*).

### III.2.2 Classification des entreprises

#### III.2.2.1 Classification selon la taille

Chaque entreprise se place dans une certaine catégorie en fonction de l'envergure de ses activités (*Clément, 2019*) :

- **La TPE (Très Petite Entreprise) :** Les principaux critères d'un TPE sont le nombre de salariés qui doit être inférieur à 10.
- **La PME (Petite et Moyenne Entreprise) :** Son nombre de salariés ne doit pas excéder 250 personnes.
- **L'ETI (Entreprise de Taille Intermédiaire) :** Pour les entreprises de cette taille, leur effectif se situe entre 250 et 5000 personnes.

## Chapitre III : Création d'une entreprise de recyclage des déchets électroniques avec l'eau supercritique

---

- **La GE (Grande Entreprise)** : emploi plus de 5000 personnes.

### III.2.2.2 Classification selon leur secteur d'activité

On peut répartir l'ensemble des entreprises à l'intérieur de 3 grands secteurs économiques qui définissent de manière large le domaine sur lequel / lesquels elles évoluent et prodiguent leur expertise (*Clément, 2019*) :

- **Le secteur primaire** : qui concerne tout ce qui a attrait à l'exploitation et à la collecte de ressources naturelles : pêche, agriculture, exploitation minière, élevage...
- **Le secteur secondaire** : englobe quant à lui les activités de transformation de matière première : BTP, agroalimentaire, industrie textile, électronique, industrie chimique, pharmaceutique...
- **Le secteur tertiaire** : rassemble de son côté les activités marchandes et de services : banque, assurance, marketing & communication, éducation, santé, tourisme...

### III.2.2.3 Classification selon Le statut juridique

Avant le lancement d'une entreprise, le ou les futurs dirigeants doivent décider du statut juridique de leur création. Il existe plusieurs formes bien distinctes que voici (*Clément, 2019*) :

- **L'entreprise individuelle** : C'est une entreprise en nom propre ne disposant donc pas d'une entité morale. Attention, ce statut n'empêche pas le gérant d'employer du personnel. En revanche, le dirigeant est responsable de ses biens propres.
- **L'entreprise individuelle à responsabilité limitée (EIRL)** : Similaire au statut précédent, il permet au dirigeant de séparer son patrimoine personnel de celui professionnel.
- **L'entreprise unipersonnelle à responsabilité limitée (EURL)** : Elle comporte un seul associé qui n'est responsable des dettes de la société qu'à la hauteur du montant de son apport personnel.
- **La société à responsabilité limitée (SARL)** : Même principe que l'EURL mais avec plusieurs associés.
- **La société en nom collectif (SNC)** : Ce statut requiert au moins deux associés qui sont responsables solidairement des dettes de l'entreprise (c'est à dire qu'ils ont les mêmes obligations).

## Chapitre III : Création d'une entreprise de recyclage des déchets électroniques avec l'eau supercritique

---

- **La société en commandite simple (SCS) :** Elle se compose de deux types d'associés. Les commandités s'impliquent dans le développement de l'entreprise et la gèrent ensemble. Ils sont prêts à mettre en jeu leur patrimoine personnel. Les commanditaires se contentent de financer et d'investir dans l'entreprise afin de toucher des dividendes. Ils ne s'occupent pas de gérer l'entreprise et ont une responsabilité limitée à leurs apports personnels.
- **La société en commandite par actions (SCA) :** Variante très rare de la SCS, les changements se font au niveau de son capital, qui est divisé en actions, et du nombre d'associés : une SCA doit comporter au moins 1 commandité et 3 commanditaires.
- **La société anonyme (SA) :** Elle est fondée sur les capitaux que chaque associé (au moins deux) a investi dans l'entreprise. Elle peut soit être dirigée par un conseil d'administration avec un PDG soit par un conseil de surveillance doté d'un directoire.
- **La société civile professionnelle (SCP) :** Elle permet à plusieurs associés de gérer en commun une activité libérale. Elle ne requiert aucun capital minimum. Les associés sont responsables solidairement de dettes de l'entreprise et chacun peut disposer à sa guise de son portefeuille de parts.
- **La société par actions simplifiées (SAS) :** Avec ce statut juridique, chaque associé (le minimum est de deux) est responsable des dettes à la hauteur de son apport personnel. Aucun capital minimum n'est requis.
- **La société civile immobilière (SCI) :** C'est une forme d'entreprise qui permet à des personnes d'acheter, de gérer et éventuellement de vendre des biens immobiliers. Elles se partagent les charges et bénéfices de l'activité.

### III.2.3 Objectifs d'une entreprise

Le premier objectif de l'entreprise est de produire des biens et services destinés à la distribution dans un marché. Cet objectif est le seul objectif économique. Aucune entreprise ne peut survivre sans cet objectif.

Le deuxième objectif est de gagner de l'argent et de profiter des biens et services vendus. Cet objectif a également incité des investisseurs et des actionnaires à investir dans l'entreprise.

## **Chapitre III : Création d'une entreprise de recyclage des déchets électroniques avec l'eau supercritique**

---

### **III.3 Étapes de la création de l'entreprise**

La création d'une entreprise est un projet qui demande de la préparation, des décisions importantes doivent être prises. Pour mettre en place un projet de création d'entreprise, il est nécessaire de procéder par étapes mais il n'est pas toujours évident de savoir comment s'y prendre et par où commencer (*le coin des entrepreneurs, 2021*).

Cette partie du projet consiste à étudier la faisabilité de création d'une entreprise de recyclage des déchets électroniques avec l'eau supercritique, les déchets électroniques sont les ordinateurs fixe ou mobile, les téléphones portables, appareil photo, imprimantes, télévisions, etc.

Généralement, pour faire commercialiser les produits, il existe plusieurs facteurs de succès qui peuvent être utilisés ; pour cela il est important de suivre les étapes suivantes pour une entreprise durable.

#### **III.3.1 Etude de marché**

##### **III.3.1.1 Introduction**

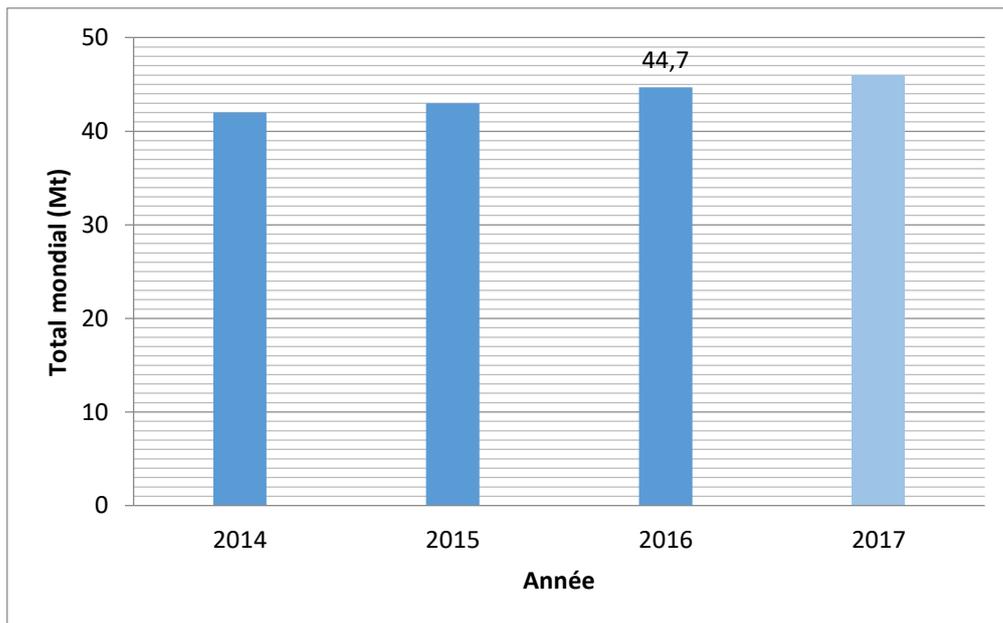
L'étude de marché est un élément essentiel de tout projet entrepreneurial, L'étude de marché revient à étudier différents acteurs de marché. Il comprend d'abord un ensemble d'informations diverses le secteur d'activité de l'entreprise. La prochaine étape sera de les trier, de les analyser et de tirer des conclusions pertinentes. L'étude de marché mesure, subdivise et confirme la nécessité de l'origine du projet. C'est donc un outil d'aide à la décision.

##### **III.3.1.2 Quantité des déchets électroniques dans le monde**

En 2016 Selon un rapport de l'université des Nations Unies (*Baldé, Forti, Gray, Kuehr, & Stegmann, 2017*) plus de 44,7 millions de tonnes de déchets électriques et électroniques (DEEE) ont été produits dans le monde. C'est le poids record avec une hausse de près de 10% par rapport à 2014, car ce chiffre est de 41 millions de tonnes. Dans ces 44 millions Des tonnes de déchets, seulement 20 % sont recyclés par des filières adaptées.

### Chapitre III : Création d'une entreprise de recyclage des déchets électroniques avec l'eau supercritique

---

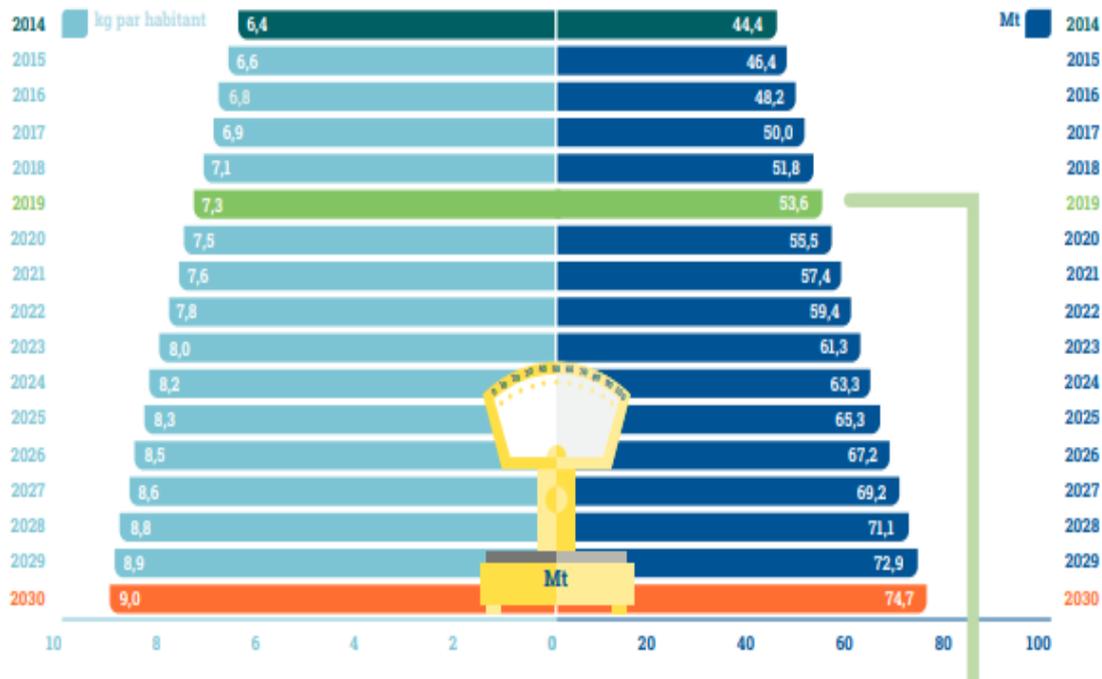


**Figure III- 1** : déchets électroniques et électriques générés dans le monde en 2016

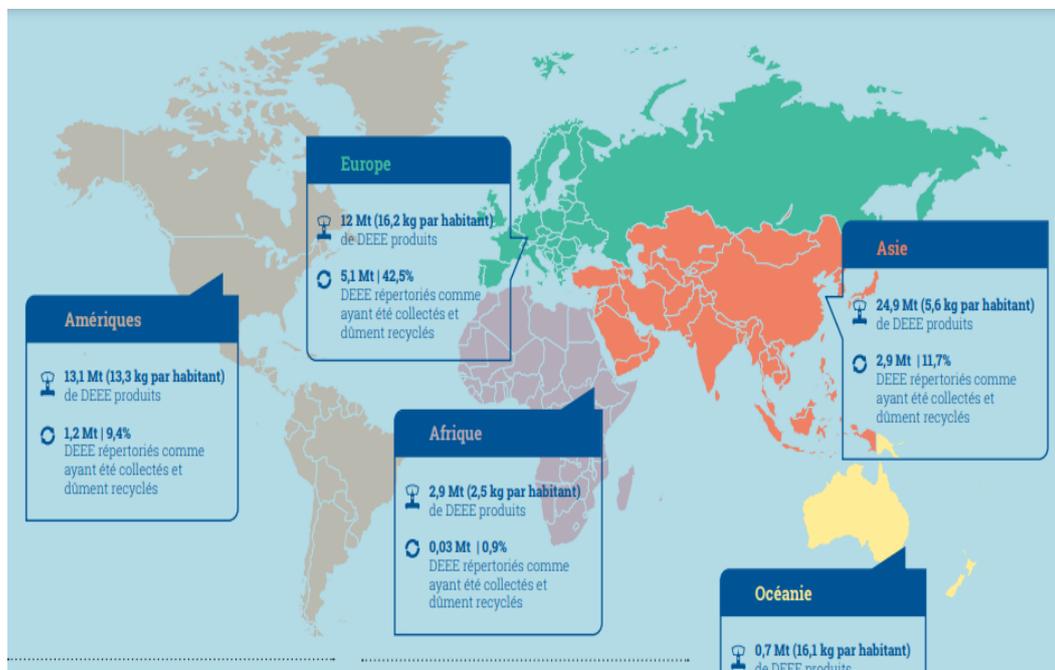
En 2019 selon un rapport de suivi des déchets d'équipements électriques et électroniques à l'échelle mondiale qui est publié en 2020 (Forti, Baldé, Kuehr, & Bel, 2020) le monde en ont généré 53,6 millions de tonnes. Ce qui représente 7,3 kilogrammes par personne. Cela signifie que la quantité de DEEE générés est trois fois supérieure à celui de la population mondiale. Le rapport attribue cette croissance est dû au manque d'encadrement et à la courte durée de vie des produits difficile ou impossible à réparer. L'Asie a produit 24,9 millions de tonnes, suivie des Amériques (13,1 Mt) et de l'Europe (12 Mt), tandis que l'Afrique et l'Océanie ont produit respectivement 2,9 et 0,7 millions de tonnes. Il a été estimé que la quantité de déchets électroniques générés dépassera 74 Mt en 2030.

## Chapitre III : Création d'une entreprise de recyclage des déchets électroniques avec l'eau supercritique

### Volume de DEEE produits chaque année au niveau mondial



**Figure III- 2:** déchets électronique mondiaux générés par an ( Forti, Baldé, Kuehr, & Bel, 2020)



**Figure III- 3:** les quantités de DEEE générées et collectées dans chaque continent en 2019 ( Forti, Baldé, Kuehr, & Bel, 2020)

## Chapitre III : Création d'une entreprise de recyclage des déchets électroniques avec l'eau supercritique

### III.3.1.3 Fournisseurs de matière premier

Face au manque de données concernant le nombre généré des déchets électroniques en Algérie, pour cela on a fait des contacts avec fournisseurs de matière première de notre entreprise qui sont :

- ✚ Les réparateurs des produits électroniques dans la wilaya de Tlemcen (poste radios, jouets électroniques, ordinateurs bureautique ou portable, imprimant, téléviseurs, des démos tv)
- ✚ Les établissements d'enseignement supérieur Tlemcen (les facultés, les écoles supérieures)
- ✚ Les entreprises électroménagères (Condor, Eniem, Iris)

**Tableau III- 1** : Adresses et quantité des déchets électroniques collecté par an du Les établissements d'enseignement supérieure Tlemcen.

Fournisseurs		Adresse	Quantité Déchets électroniques collecté	Quantité Déchets électroniques en kg
<b>Les établissements d'enseignement supérieure Tlemcen</b>	Faculté de Technologie	Chetouane	162 Unités	486 Kg
	Faculté de Médecine	12 b p 123, Rue Hamri Ahmed, Tlemcen	170 Unités	510 kg
	École Supérieure en Sciences Appliquées de Tlemcen - ESSAT	BP 165 RP Bel horizon ,13000 Tlemcen	120 Unités	360 kg
	École Supérieure de management	01 Rue Barka Ahmed imama, Mansourah	95 Unités	285 kg
	Nouveau Pôle	La rocade	174 Unités	522 kg
<b>Total des déchets électroniques en tonne</b>				2,163 tonnes

### Chapitre III : Création d'une entreprise de recyclage des déchets électroniques avec l'eau supercritique

**Tableau III- 2:** Adresses et quantité des déchets électroniques collecté par an du Les réparateurs des produits électroniques dans la wilaya de Tlemcen.

Les Fournisseurs		Adresse	Quantité Déchets électroniques collecté par an	Quantité Déchets électroniques en kg
<b>Réparateurs des produit électroniques</b>	Mobile AIN EL TURK	Boulevard De Lala Sitti, Tlemcen	30 Unités	90 kg
	Benyahia reparation	9 Rue Des Frères Abdeldjebbar , Tlemcen	40 Unités	120 kg
	Service de réparations toutes marques	Résidence el hadj larabi, Boulevard Derrar Abderahmane , Tlemcen	45 Unités	135 kg
	Atelier de réparation et d'entretien de téléphone	Cité 1060 Logts, Mansourah, Tlemcen	30 Unités	90 kg
<b>Total des déchets électroniques en tonnes</b>				0,435 tonnes

### Chapitre III : Création d'une entreprise de recyclage des déchets électroniques avec l'eau supercritique

**Tableau III- 3:** Adresses et quantité des déchets électroniques collecté par an du Les entreprises électroménager hors wilaya de Tlemcen

Les Fournisseurs		Adresse	Quantité Déchets électroniques collecté	Quantité Déchets électroniques en kg
<b>Les entreprises électroménager</b>	Eniem	3 Rue du 20 Aout Oran Wilaya d'Oran	360 Unités	1440kg
	Condor	Zone d'Activité lot 70 n°4 sections 161, route de M'sila BP 10834000 Bordj Bou Arreridj	240 Unités	960kg
	Iris	Zone d'activité tranche n°4 lots n°9 19000 - Sétif, Sétif 19000	300 Unités	1200kg
<b>Total des déchets électroniques en tonnes</b>				3,6 tonnes

Nous avons cité dans le tableau dessus nos fournisseurs et ses localisations dont nous avons motionné les quantités des déchets électroniques approximatifs par unités et par kilogramme, et à la fin nous avons calculé la somme de la quantité totale des déchets électroniques collectée en tonnage qui égale à 6 tonnes par an.

La collecte des déchets électroniques est ce fait par des camions de nôtres entreprises de fournisseurs à l'usine de recyclage.

## Chapitre III : Création d'une entreprise de recyclage des déchets électroniques avec l'eau supercritique

### III.3.1.4 Concurrents dans notre secteur

Les concurrents de notre entreprise dans le secteur de recyclage des déchets électroniques en Algérie sont : voir (Tableau III- 4) :

**Tableau III- 5** : Recycleurs des déchets électroniques (*Belaid Recuperation, 2018*) , (*KOMPASS, 2021*)

L'entreprise	L'activité	Types de produits générés	Le prix	L'adresse
<b>BELAID RECUPERATION</b>	La gestion, récupération et recyclage des Déchets d'Equipements Electriques et Electroniques (DEEE)	Le cuivre	800da/kg	Haouch Hafiz G47 S01, Larbaa, Blida Algérie
		Le plastiques	60da/kg	
		Le Caoutchouc	60da/kg	
		Le verre	10da/kg	
		Aluminium	120da/kg	
<b>RECIBAT, SARL</b>	Collecte et recyclage des déchets électriques et électroniques (DEEE, D3E)	Batterie	/	Zone d'Activité Oued Soudane BP 1259 47003 Berriane, (w) Ghardaïa, Algérie
<b>CUISITECH, SARL</b>	Collecte et recyclage des déchets électriques et électroniques (DEEE, D3E)	Le cuivre	800da/kg	49, Rue Abri arisky 16016 Hydra, (w) Alger, Algérie
		Le plastiques et Caoutchouc	50da/kg	
		Le verre	12da/kg	
		Acier	60da/kg	

Dans cette étape on a cité nos concurrents dans le même secteur avec leurs activités et leurs types de produits générés et son prix.

## Chapitre III : Création d'une entreprise de recyclage des déchets électroniques avec l'eau supercritique

- Pour les types des produits gènèrent nous lui ressemblons dans certains produits et pour le prix nous vendons à un prix moins para port à nos concurrents et pour valoriser les déchets électroniques nous utilise le même procédé para port à ses concurrents.

### III.3.1.5 Clients ciblés pour nos produits

Les clients ciblés sont l'ensemble des consommateurs à laquelle notre produit est destiné  
Donc on est choisie ces clients pour notre entreprise réussisse :

**Tableau III- 6 : Clients ciblés pour le cuivre (KOMPASS, 2021)**

L'entreprise	L'activité	L'adresse
<b>Entreprise Nationale des Produits de l'Electrochimie, SPA. ENPEC</b>	-Collecte recyclage de cuivre -Semi-produits en cuivre	4ème Km route de Constantine El Hassi BP 8819000 Sétif, Algérie
<b>Entreprise de Récupération Ouest, SPA.ERO</b>	-Recyclage de cuivre	1, rue Latrèche Mohamed BP 61 (31024-Oran RP) 31000 Oran Algérie
<b>RASKALA TOUT</b>	-récupération/recyclage de métaux ferreux et non ferreux -Récupération de matériaux métalliques (cuivre)	Cité Chréa 09450 Bouinan, (w) Blida Algérie

**Tableau III- 7 : Clients ciblés pour les métaux précieux (KOMPASS, 2021)**

L'entreprise	L'activité	L'adresse
<b>Oramel, SARL</b>	-Bijoux par matériaux -Affinage des métaux précieux	5, rue Bouteldja Houadef BP 516306 Ben Aknoun, Algérie
<b>Arab Metals, SPA</b>	-Collecte et recyclage des métaux	153, rue Ali Khodja 16003 El Biar, Algérie

### Chapitre III : Création d'une entreprise de recyclage des déchets électroniques avec l'eau supercritique

	-Usinage des pièces métalliques	
<b>Alpaprec (ALPAPREC)</b>	-Recyclage des métaux	R. de l'Huilerie BP 34. Oran

**Tableau III- 8:** Clients ciblés pour l'acier (*KOMPASS, 2021*)

L'entreprise	L'activité	L'adresse
<b>Entreprise de Récupérations Ouest, SPA</b>	Recyclage des métaux ferreux	Siège Social 14, rue sidi ferruch plateaux 31000 Oran, Algérie
<b>Alfec Branche, SARL</b>	Recyclage des métaux ferreux	Siège Social:38, rue El Moudjahid Kacha Lahouari, coopérative Tekkouk Adda Canastel 31000 Oran, Algérie

**Tableau III- 9:** Clients ciblés pour le plastique et le caoutchouc (*KOMPASS, 2021*)

L'entreprise	L'activité	L'adresse
<b>Entreprise Maf</b>	Recyclage du plastique	Zone Industrielle n°5 a Ain Defla, Tlemcen, Algérie
<b>Toprecycl</b>	Collecte et recyclage des plastiques et du caoutchouc	Route de Misserghin 31000 Oran, Algérie
<b>Nouvelle Présentation Industrielle, Sarl, Npi</b>	Collecte et recyclage des plastiques et du caoutchouc	Zone Industrielle n°2 31100 Es Senia Oran, Algérie
<b>Melouka Travaux Des Terrassements &amp; Routiers</b>	Collecte et recyclage des plastiques et du caoutchouc	Cité Oum Salma BP 5639000 El Oued, Algérie

## **Chapitre III : Création d'une entreprise de recyclage des déchets électroniques avec l'eau supercritique**

---

<b>Recupack</b>	Collecte et recyclage des plastiques et du caoutchouc	Zone Industrielle 1, lotissement n°3931100 Es Senia Oran, Algérie
<b>Recyclage &amp; Conception Algérienne, Sarl</b>	Collecte et recyclage des plastiques et du caoutchouc	44, rue Alariche Kada 22000 Sidi Bel Abbès, Algérie

D'après notre étude du marché nous pouvons conclure qu'il y a une croissance annuelle de la quantité de déchets électroniques générés dans le monde, vu qu'il y a un manque de données concernant le nombre de déchets électroniques générés en Algérie, nous avons fait des efforts pour entamer de contacter avec nos fournisseurs des déchets électroniques dont nous avons les mentionnés dessus, aussi nous avons clarifié nos concurrents et nos clients ciblés, pour cela notre étape suivante intitulée l'étude technique pour notre entreprise .

### **III.3.2 Etude technique**

Afin d'atteindre nos objectifs de vente, nous devons réunir tous les moyens nécessaires. Donc avant de commencer cette recherche, nous devons d'abord localiser l'entreprise.

#### **III.3.2.1 Choix du local**

Pour une entreprise durable, nous devons choisir un emplacement pour notre entreprise afin de mener à bien nos activités futures. Selon les caractéristiques du projet, la localisation du site aura un impact significatif sur nos futures opportunités de réussite commerciale. Donc nous avons utilisé méthode MCDM pour fournir le meilleur local pour de notre entreprise.

#### **III.3.2.2 Présentation du problème de localisation selon MCDM**

Les méthodes d'aide à la décision multicritères ou L'analyse multicritères, couramment appelées MCDM désignent généralement un ensemble de méthodes permettant d'agrégier plusieurs critères avec l'objectif de sélectionner une ou plusieurs actions, alternatives, options, solutions. Ils fournissent des outils qui permettent de progresser dans la résolution d'un problème de décision où plusieurs objectifs souvent contradictoires doivent être pris en compte la divergence des objectifs nécessite la recherche d'une solution des meilleurs compromis possibles (*Les Méthodes de Décision Multicritères, 2009*).

Pour appliquer ces méthodes, on doit nécessairement suivre les étapes suivantes (*Les Méthodes de Décision Multicritères, 2009*) :

## **Chapitre III : Création d'une entreprise de recyclage des déchets électroniques avec l'eau supercritique**

---

- Identifier l'objectif global de la démarche et le type de décision
- Dresser la liste des actions ou solutions potentielles
- Identifier les critères ou standards qui orienteront les décideurs
- Juger chacune des solutions par rapport à chacun des critères
- Agréger ces jugements pour choisir la solution la plus satisfaisante

Il existe deux types de MCDM, ce sont : la méthode de prise de décision multi-objectif (MODM) et Méthode de prise de décision multi-attributs (MADM). Il y a beaucoup de Autres méthodes utilisées sous MADM :

- Processus de hiérarchie analytique (AHP)
- Technique de préférence de l'ordre par similarité avec la solution idéale (TOPSIS)
- Pondération additive simple (SAW)
- Moyennes pondérées ordonnées (OWA)
- La côte multi-attributs simple d'évaluation multi-attributs (SMART)
- Elimination et choix traduisant la réalité (ELECTRE)
- Laboratoire d'essais décisionnels et d'évaluation (DEMATEL)

### **III.3.2.2.1 Méthode AHP**

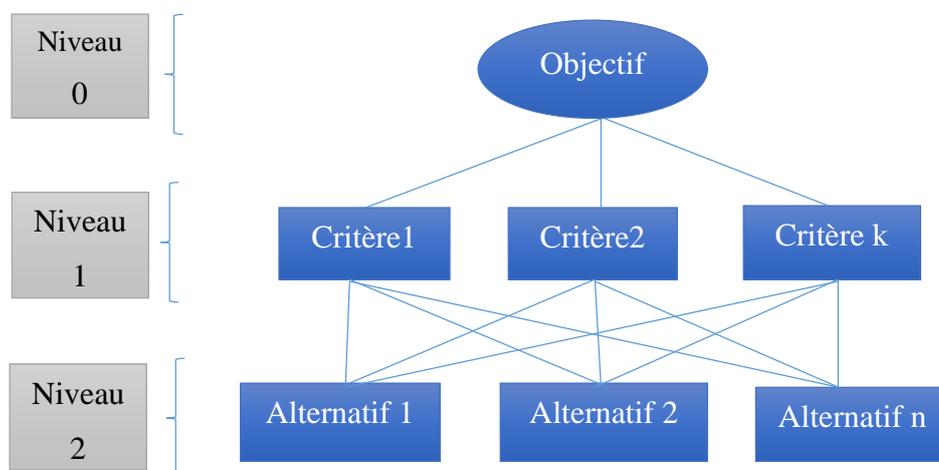
Proposée par Saaty en 1980 (Saaty, 1980), le principe de la méthode AHP est simple, dans son application. Cette simplicité explique un grand nombre de travaux scientifiques où la méthode AHP a été utilisée avec succès. Par rapport aux éléments de niveau supérieur, elle est réalisée par une combinaison deux par deux d'éléments à chaque niveau hiérarchique. La méthode AHP a été appliquée avec succès dans de nombreux domaines, notamment Prise de décision multicritères. La méthode commence par définir l'objectif principal à atteindre ou la décision à prendre, puis décompose cet objectif en une hiérarchie de critères et de sous-critères d'évaluation. Sur le dernier niveau hiérarchique nous retrouvons les candidats à évaluer (les alternatifs). Un des avantages de cette méthode AHP, sa capacité à structurer des problèmes complexes ; multicritère ; permet la comparaison d'éléments (alternatifs, critères et sous critères) et est facile à mettre en œuvre (ZOUGGARI, 2011).

La procédure de la méthode AHP est comme suit

- **Etape 1** : Décomposer le problème complexe en une structure hiérarchique

## Chapitre III : Création d'une entreprise de recyclage des déchets électroniques avec l'eau supercritique

Dans cette étape il s'agit de définir le problème dans une arborescence hiérarchique en identifiant : l'objectif (niveau 0), les critères de décision (niveau 1), les caractéristiques des critères, les différentes alternatives (niveau 2) (voir l'exemple de Figure III- 4) :



**Figure III- 5:** Structure hiérarchique de la méthode AHP

➤ **Etape 2 :** Effectuer les combinaisons binaires niveau par niveau

Il s'agit de Comparer l'importance relative de tous les éléments appartenant à un même niveau de la hiérarchie pris deux par deux, par rapport à l'élément du niveau supérieur.

Configurer une matrice carrée ( $K \times K$ ), formée par les évaluations des rapports des poids,  $K$  étant le nombre d'éléments comparés

➤ **Etape 3 :** Déterminer les priorités

Il s'agit à calculer l'importance relative de chacun des éléments de la hiérarchie à partir des évaluations obtenues dans l'étape 2.

La détermination des priorités des éléments de chaque matrice se fait par la résolution du problème de vecteurs propres.

## **Chapitre III : Création d'une entreprise de recyclage des déchets électroniques avec l'eau supercritique**

---

L'importance relative des différents critères est exprimée par les valeurs du vecteur propre normalisé à 1.0. Plus cette valeur est grande, plus le critère correspondant est important.

➤ **Etape 4 : Synthétiser les priorités**

Une fois que les priorités locales pour tous les critères figurant dans la hiérarchie ont été déterminées, l'AHP calcule un score d'évaluation global attaché à chacune des solutions alternatives identifiées

➤ **Etape 5 : Cohérence des jugements**

Nous appuyons sur les principes de la méthode AHP pour localiser notre entreprise on suivre les étapes suivantes :

**Etape 1 : Choisir le nombre des sites .**

**Etape 2 : Choisir le nombre de critères**

Selon notre cas on est choisie quatre critères essentiels :

- ✓ Cout d'ouverture de l'usine (localisation)
- ✓ Coût de transport des fournisseurs vers l'usine
- ✓ Coût de transport des sites vers les clients
- ✓ Tournées des petits camions dans la ville (tournée des petits camions pour collecter les déchets électroniques du citoyen)

**Etape 3 : Choisir le nombre de hiérarchie**

Définir l'objectif (niveau 0) est de Choisir parmi plusieurs sites un site potentiel, dans notre cas on a choisi la wilaya de Tlemcen dans laquelle on a sélectionné 3 sites :

- **Site 1** —————> Saf.
- **Site 2** —————> Ain Defla à Chetouane.
- **Site 3** —————> Remchi.

Définir les critères de décision (niveau 1) qu'on a déjà indiqués.

Définir les alternatives (niveau 2) ce sont les sites.

## Chapitre III : Création d'une entreprise de recyclage des déchets électroniques avec l'eau supercritique

---

### Etape 4 : Construire la matrice originale

	Coût d'ouverture de l'usine	Coût de Transport des fournisseurs vers l'usine	Coût de transport des sites vers les clients	Tournées des petits camions dans la ville
<b>Coût d'ouverture de l'usine</b>	1	2	3	1/4
<b>Coût de Transport des fournisseurs vers l'usine</b>	1/2	1	1/3	4
<b>Coût de transport des sites vers les clients</b>	1/3	3	1	1/4
<b>Tournées des petits camions dans la ville</b>	4	1/4	1/3	1
<b>Somme des colonnes</b>	35/6	25/4	14/3	22/4

## Chapitre III : Création d'une entreprise de recyclage des déchets électroniques avec l'eau supercritique

---

Les valeurs de cette matrice originale représentent l'importance d'un critère par rapport à un autre sur une échelle de 1 et 9.

### Etape 5: Ajustement de la matrice originale

	<b>A</b> <b>Cout d'ouverture de l'usine</b>	<b>B</b> <b>Coût de Transport des fournisseurs vers l'usine</b>	<b>C</b> <b>Coût de transport des sites ver les clients</b>	<b>D</b> <b>Tournées des petits camions dans la ville</b>	<b>Poids (A+B+C+D)/4</b>
<b>Cout d'ouverture de l'usine</b>	$6/35*1$	$4/25*2$	$3/14*3$	$4/22*1/4$	$1,178/4 = 0,294$
<b>Coût de Transport des fournisseurs vers l'usine</b>	$6/35*1/2$	$4/25*1$	$3/14*1/3$	$4/22*4$	$1,043/4 = 0,260$
<b>Coût de transport des sites ver les clients</b>	$6/35*1/3$	$4/25*3$	$3/14*1$	$4/22*1/4$	$0,796/4 = 0,199$
<b>Tournées des petits camions dans la ville</b>	$6/35*4$	$4/25*1/4$	$3/14*1/3$	$4/22*1$	$0,97/4 = 0,244$
<b>Total</b>	/	/	/	/	1

## Chapitre III : Création d'une entreprise de recyclage des déchets électroniques avec l'eau supercritique

---

Dans cette étape on a divisé chaque nombre de la colonne de la matrice originale par la somme de la même colonne de cette matrice pour normaliser la matrice originale, après on calcule la moyenne arithmétique des nombres sur chaque ligne, dont chaque ligne représente un critère.

### Etape 6 : Comparaison entre les sites par rapport aux critères sur une échelle de 1 à 9.

Dans cette étape on fait la comparaison entre le choix des sites les plus candidats par rapport aux critères sur une échelle de 1 à 9.

- **Comparaison entre les sites par rapport au coût d'ouverture de l'usine :**

	Site 1(Saf)	Site 2(Ain Defla à Chetouane)	Site 3(Remchi).
<b>A- coût d'ouverture de l'usine</b>	/	/	/
<b>Site 1(Saf)</b>	1	2	4
<b>Site 2 (Ain Defla à Chetouane)</b>	1/2	1	3
<b>Site 3(Remchi).</b>	1/4	1/3	1
<b>La somme</b>	7/4	10/3	8

	a-Site1 (Saf)	b-Site 2 Ain Defla à Chetouane	c-Site3 (Remchi).	Poids (a +b +c)/3

- **Comparaison entre les sites par rapport à Coût de transport des fournisseurs vers l'usine**

### Chapitre III : Création d'une entreprise de recyclage des déchets électroniques avec l'eau supercritique

<b>A- -Coût d'ouverture de</b>	Site 1(Saf)	/	Site 2 (Ain Defla à Chetouane)	Site 3 (Remchi).
<b>B-Coût de transport des fournisseurs vers l'usine</b>	/	/	/	/
Site 1(Saf) Site 3 (Remchi).	$\frac{1}{4/7 * 1/4}$	$\frac{3}{10} * \frac{2}{1/3}$	$\frac{1}{8} * 1$	$\frac{5}{0,122}$
Site 2 Ain Defla à Chetouane	$\frac{1}{2}$	$1$	$5$	
Site 3 Remchi.	$\frac{1}{5}$	$\frac{1}{5}$	$1$	
La somme	$\frac{17}{10}$	$\frac{16}{5}$	$11$	

	A-Site1 (Saf)	B-Site 2 Ain Defla à Chetouane	C-Site3 (Remchi)	Poids (a +b +c)/3
<b>B-Coût de transport des fournisseurs vers l'usine</b>	/	/	/	
Site 1(Saf)	$\frac{10}{17} * 1$	$\frac{5}{16} * 2$	$\frac{1}{11} * 5$	0,555
Site 2 Ain Defla à Chetouane	$\frac{10}{17} * \frac{1}{2}$	$\frac{5}{16} * 1$	$\frac{1}{11} * 5$	0,353
Site 3 Remchi.	$\frac{10}{17} * \frac{1}{5}$	$\frac{5}{16} * \frac{1}{5}$	$\frac{1}{11} * 1$	0,090

- Comparaison entre les sites par rapport au Coût de transport des sites ver les clients.

### Chapitre III : Création d'une entreprise de recyclage des déchets électroniques avec l'eau supercritique

---

	<b>a-Site1 (Saf)</b>	<b>b-Site 2 Ain Defla à Chetouane</b>	<b>c-Site3 (Remchi).</b>
<b>C- Coût de transport des sites ver les clients</b>			
<b>Site 1(Saf)</b>	1	3	1/4
<b>Site 2 (Ain Defla à Chetouane).</b>	1/3	1	1/4
<b>Site 3 (Remchi).</b>	4	4	1
<b>Somme</b>	16/3	8	3/2

	<b>a-Site1 (Saf)</b>	<b>b-Site 2 Ain Defla à Chetouane</b>	<b>c-Site3 (Remchi).</b>	<b>Poids (a +b +c)/3</b>
<b>C- Coût de transport des sites ver les clients</b>				
<b>Site 1(Saf)</b>	$3/16*1$	$1/8*3$	$2/3*1/4$	0,24
<b>Site 2 (Ain Defla à Chetouane).</b>	$3/16*1/3$	$1/8*1$	$2/3*1/4$	0,117
<b>Site 3(Remchi).</b>	$3/16*4$	$1/8*4$	$2/3*1$	0,638

### Chapitre III : Création d'une entreprise de recyclage des déchets électroniques avec l'eau supercritique

---

- Comparaison entre les sites par rapport au Tournées des petits camions dans la ville.

	a-Site1 (Saf)	b-Site 2 Ain Defla à Chetouane	c-Site3 (Remchi).
<b>D- Tournées des petits camions dans la ville</b>			
Site 1(Saf)	1	2	3
Site 2 (Ain Defla à Chetouane).	1/2	1	3
Site 3 (Remchi).	1/3	1/3	1
<b>La somme</b>	11/6	10/3	7

	a-Site1 (Saf)	b-Site 2 Ain Defla à Chetouane	c-Site3 (Remchi).	Poids (a +b +c)/3
<b>D- Tournées des petits camions dans la ville</b>				
Site 1(Saf)	$6/11*1$	$3/10*2$	$1/7*3$	0,52
Site 2 (Ain Defla à Chetouane).	$6/11*1/2$	$3/10*1$	$1/7*3$	0,33
Site 3 (Remchi).	$6/11*1/3$	$3/10*1/3$	$1/7*1$	0,14

## Chapitre III : Création d'une entreprise de recyclage des déchets électroniques avec l'eau supercritique

### Etape 7: Choisir les meilleurs sites

Dans cette étape on multiplie les poids obtenus de chaque site par rapport à chaque critère par le poids correspondant à ce critère dans la matrice normalisée. Ensuite, on calcule la somme des nombres de chaque ligne. Chaque ligne correspond à un site.

	<b>A</b> Coût d'ouverture de l'usine	<b>B</b> Coût de transport des fournisseurs vers l'usine	<b>C</b> Coût de transport des sites ver les clients	<b>D</b> Tournées des petits camions dans la ville	<b>Poids</b> (A+B+C+ D)/4
<b>Site 1(Saf)</b>	0,294*0,557	0,260*0,555	0,199*0,24	0,244*0,52	0,482698
<b>Site 2 (Ain Defla à Chetouane)</b>	0,294*0,32	0,260*0,353	0,199*0,117	0,244*0,33	0,301603
<b>Site 3 (Remchi).</b>	0,294*0,122	0,260*0,090	0,199*0,638	0,244*0,14	0,22039
					<b>1</b>

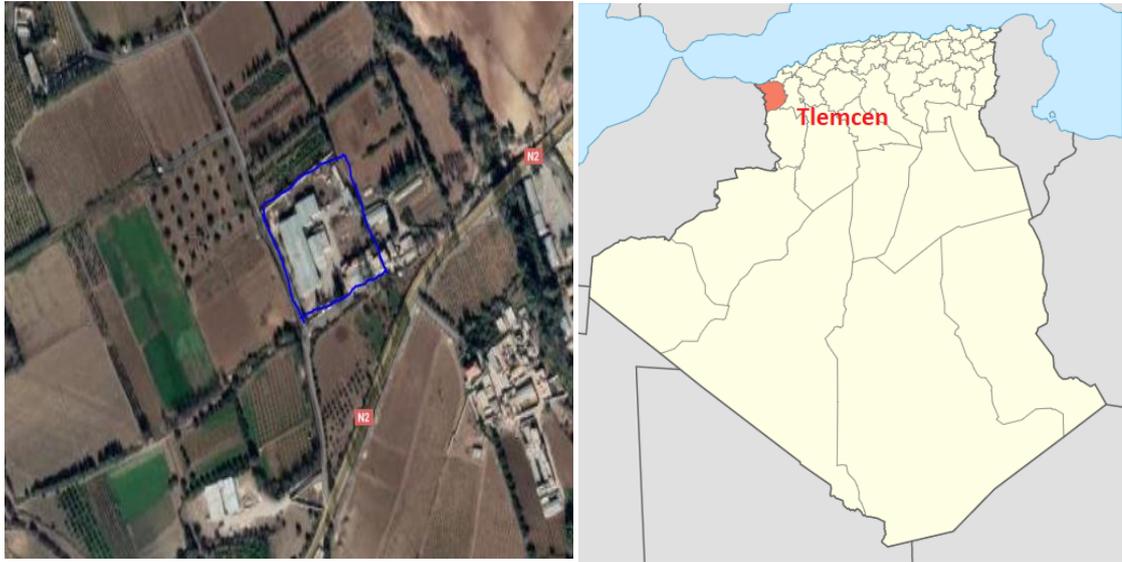
### Résultats

Chaque ligne correspond à un site et la sélection du meilleur site est basée sur le poids Obtenu, le classement du site est donc le suivant : Site 1(Saf), Site 2(Ain Defla à Chetouane), Site 3 (Remchi).

### ❖ Présentation de site :

### Chapitre III : Création d'une entreprise de recyclage des déchets électroniques avec l'eau supercritique

---



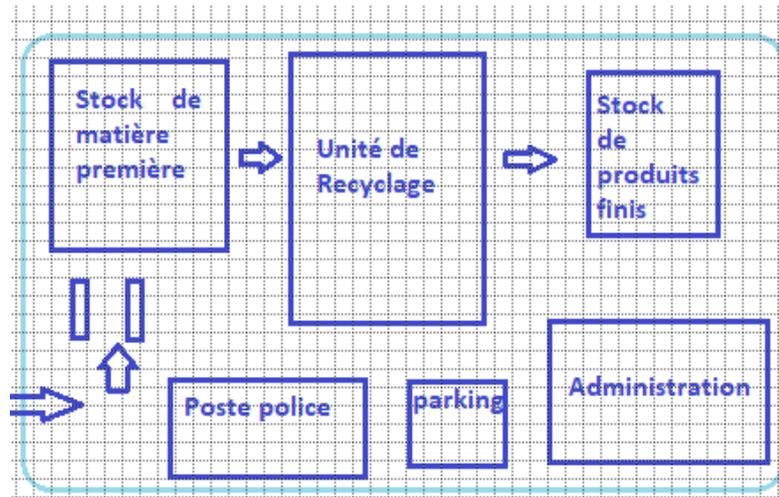
**Figure III- 6:** site de notre entreprise situé dans la région de Saf, Wilaya de Tlemcen

Notre site situé dans la région de Saf, Wilaya de Tlemcen. La wilaya de Tlemcen est une wilaya algérienne située à l'extrême ouest de l'Algérie, constitué de vingt daïras, chacune comprenant plusieurs communes pour un total de cinquante-trois communes.

La localisation de notre entreprise dans cette région basée principalement sur différents critères dont nous avons mentionné dessus dans la partie de la méthode AHP, notre implantation permet une meilleure interaction à la fois avec ses fournisseurs, ses clients mais aussi ses salariés.

## Chapitre III : Création d'une entreprise de recyclage des déchets électroniques avec l'eau supercritique

Notre site constituer de plusieurs zones dont sa superficie est de 3200 m<sup>2</sup>, dessous nous mettons plan de notre entreprise et ses zones.



**Figure III- 7:**les déférentes zones de notre entreprise

- Le stock matières premières : la taille de ce stock peut contenir une grande quantité des déchets électroniques dans laquelle ce dernier besoin un grand espace pour leur stockage.
- L'unité de recyclage : c'est une unité de recyclage des déchets électroniques par l'eau supercritique et quelle porte un grand espace dans notre entreprise, et ça para port au nombre des machines utilisé dans le recyclage et aux leurs taille
- Stock de produits finis : la taille de ce stock est petite car les produit finis né besoin pas d'un grand espace.
- L'administration : a une espace moyenne qui caractériser par ce déférent service dans notre entreprise.

# Chapitre III : Création d'une entreprise de recyclage des déchets électroniques avec l'eau supercritique

## III.3.2.3 Étape de traitement

Le processus de recyclage des déchets électronique avec l'eau supercritique est comme suit (fig7) :

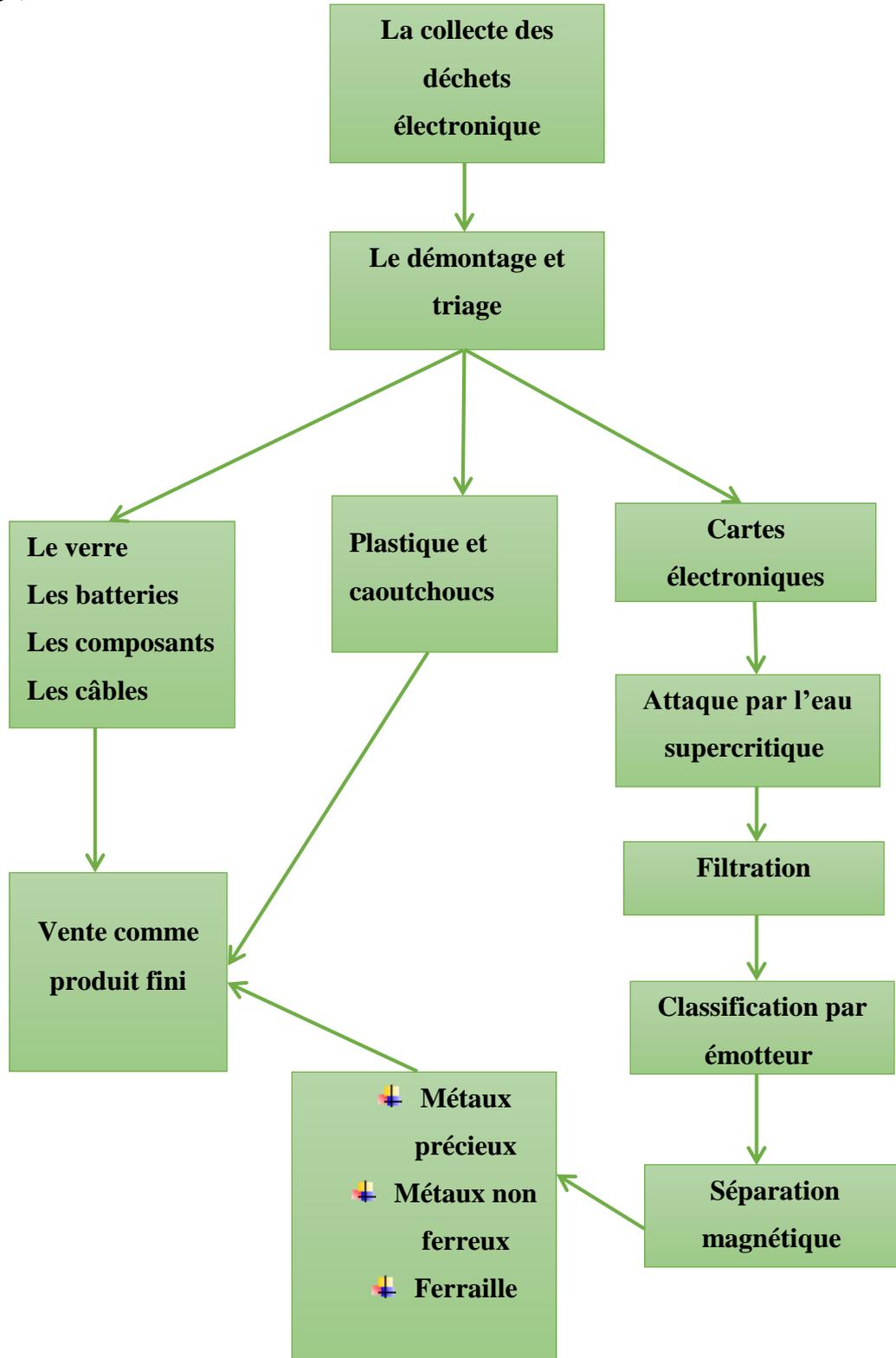


Figure III- 8: processus de recyclage par l'eau supercritique

## Chapitre III : Création d'une entreprise de recyclage des déchets électroniques avec l'eau supercritique

---

Une fois revenu des différents points de collecte des déchets électroniques, les camions entament le déchargement des déchets électroniques sur le sol de l'usine, sont ensuite acheminés vers des centres de traitement.



**Figure III- 9:** le stocke des déchets électroniques

### III.3.2.3.1 Le démantèlement et la dépollution

Le démontage est une étape très importante dans le processus de recyclage des appareils électroniques elle permet de récupérer les composants et les matériaux exploitables, et de retirer leurs composants dangereux. Cette opération s'effectue manuellement.

Des opérateurs se placent devant le tapis, ils contrôlent le flux, ils démontent les appareils électroniques et retirent les cartes électroniques et envoient vers l'attaque par l'eau supercritique et pour les autres éléments comme le plastique, les métaux, les substances polluantes (les batteries), les écrans, les câbles chaque élément est placé dans des boîtes spéciales et stocké et nous le vendons pour des entreprises spéciales.

### Chapitre III : Création d'une entreprise de recyclage des déchets électroniques avec l'eau supercritique

---



Figure III- 10: démontage et dépolluer les déchets électroniques



Figure III- 11 : récupérations des cartes électroniques

## Chapitre III : Création d'une entreprise de recyclage des déchets électroniques avec l'eau supercritique

### III.3.2.3.2 Attaque par l'eau supercritiques

Des opérateurs Mettre les cartes électroniques récupérées dans le réacteur autoclave a un volume relativement important de 50000L d'eau (Figure III-12), où la température dans l'autoclave a atteint 600°C, la pression est de 250 bars, et de l'oxygène est ajouté à la réaction (air). La durée de traitement des cartes électroniques dans ces conditions varie de 60 minutes à 180 minutes. En utilisant ce sur des cartes électroniques complètes.

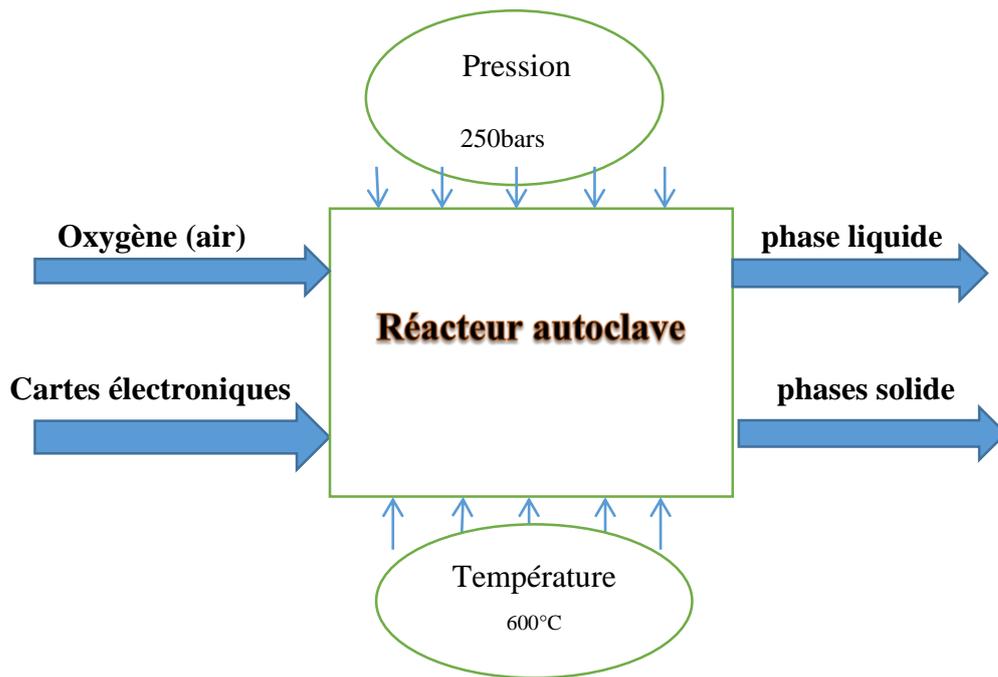


Figure III-13: schéma de traitement en eau supercritique



❖ Spécif Figure III-14: Réacteur en titane à Autoclave utilisé pour le traitement en eau supercritique

### Chapitre III : Création d'une entreprise de recyclage des déchets électroniques avec l'eau supercritique

Le tableau suivant montre les caractéristiques de cette machine, réacteur à autoclave en titane qui résiste à la chaleur, comme la capacité de réacteur, est de 50000 L, et la température maximale est de 800 °C et la pression de 50 Mpa.

**Tableau III-10:** spécification sur la machine

Nom	Paramètre
Capacité	50L - 50000L
Matériel	En acier inoxydable SUS304, SS316L, le Titane, le Nickel, Zirconium, Hastelloy C-276, C22, B2, b3, Inconel 600, Inconel 625, Monel, Tantale, plaque de revêtement... etc.
La Pression	-0.01MPa ~ 50MPa
La Température	-200 °C - 800 °C
Agitateur vitesse de rotation	0-750 tr/min
Puissance du moteur	500w ~ 125 kW
Méthode de cachetage	Joint magnétique, joint mécanique
Méthode de chauffage	Chauffage électrique, Veste de circulation D'huile Thermo ou vapeur, chauffage infrarouge lointain
Options d'agitateur	Ancre, Turbine, Peddle, Hélice, disperseur à grande vitesse... et

## Chapitre III : Création d'une entreprise de recyclage des déchets électroniques avec l'eau supercritique

### III.3.2.3.3 La filtration

Dans cette étape des opérateurs récupérons les cartes électroniques de la phase liquide par filtration sur papier-filtre de 2  $\mu\text{m}$ . En fait la filtration pour réutiliser l'eau à nouveau.

### III.3.2.3.4 Ecrasé les cartes électroniques

Des cartes électroniques passent par l'émotteur pour l'encrassement sous forme des petits grains.



**Figure III- 15:** Émotteur à un cylindre denté RGM séries

#### ❖ Description sur l'émotteur

L'émotteur a équipé d'un joint élastique avec flexibilité en torsion pour garantir une plus grande fiabilité et protéger toute la mécanique contre les chocs et les vibrations qui se créent pendant le concassage. Les pales sont conçues pour être remplacées une par une en cas d'usure.

### III.3.2.3.5 Séparations magnétiques

On utilise la séparation magnétique pour la séparer les métaux non ferreux, dont les métaux précieux par les métaux ferreux sous un champ magnétiques à 400 Gauss.

## Chapitre III : Création d'une entreprise de recyclage des déchets électroniques avec l'eau supercritique

---



### ❖ Description Figure III- 16: séparateur magnétiques MSR

Le processus de séparation avec le convoyeur de sortie magnétique vise à séparer les pièces ferromagnétiques des abrasifs. Contrairement aux tambours magnétiques classiques, le système MSR utilise une zone d'action beaucoup plus grande, d'où une séparation beaucoup plus efficace y compris des très petites pièces.

#### • Notre Produit finis après la séparation magnétique

Après la séparation magnétique Les métaux ferreux, et les métaux non ferreux dont les métaux précieux, sont séparés entre eux, les types de notre produit fini sont :

- Les métaux précieux (l'or, l'argent, Palladium).
- Le cuivre
- Le fer

## Chapitre III : Création d'une entreprise de recyclage des déchets électroniques avec l'eau supercritique

---



**Figure III- 17:** les métaux précieux

### III.3.3 Etude organisationnelle et institutionnelle

Les aspects organisationnels et institutionnels jouent un rôle très important dans l'étude de la conception interne de l'entreprise, car l'administration et la gestion semblent être des conditions nécessaires à la réussite ou à l'échec du projet.

#### III.3.3.1 Etude organisationnelle

Il s'agit d'une étude avancée qui comprend tous les éléments de l'organisation d'une entreprise. Il s'agit également d'une première étape pour une évaluation plus complète du système de gestion d'entreprise

Les objectifs d'une étude organisationnelle sont entre autres, de définir la meilleure forme d'organisation qui optimisera les probabilités de succès du projet et d'assurer que le personnel adéquat est disponible et qualifié.

## Chapitre III : Création d'une entreprise de recyclage des déchets électroniques avec l'eau supercritique

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

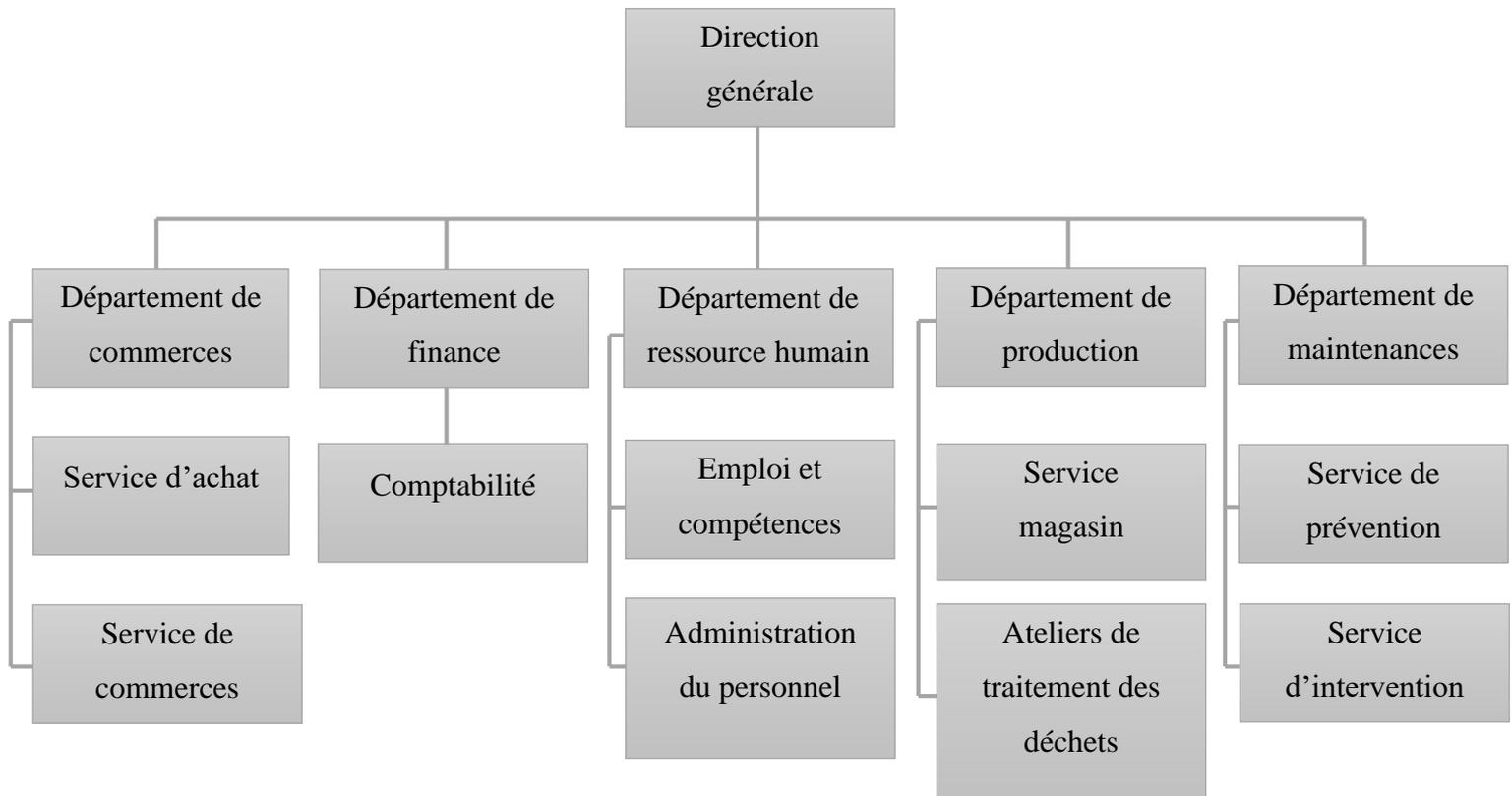


Figure III-18: Organigramme de l'entreprise

❖ **Département de finance** : le département financier est a pour mission d'assurer le bon fonctionnement des activités financières et comptables et de notre entreprise.

Il est notamment chargé de :

- Coordonner les activités des comptables pour les opérations d'achat, les opérations financières et le suivi des opérations de la clientèle ;
- Vérifier toutes les pièces justificatives de dépenses et de recettes pour s'assurer de la régularité et l'exactitude de l'entreprise.
- Gérer les impôts
- Assurer une comptabilité correcte ; Avant de comptabiliser,
- La rentabilité de l'entreprise, c'est-à-dire sa capacité à générer un chiffre d'affaires suffisant pour s'autofinancer

## **Chapitre III : Création d'une entreprise de recyclage des déchets électroniques avec l'eau supercritique**

---

- ❖ **Département de production** : Il est responsable du bon fonctionnement et de l'organisation générale de l'atelier de recyclage et de contrôle de notre entreprise.

Il sert à préparer et planifier les tâches nécessaires pour le recyclage et de faire des plans de production en définissant le contenu de chaque poste de travail, l'exécution des tâches selon le plan et contrôler les machines et les produits séparés après recyclage .

**-Service magasin** : la mission de ce service dans notre entreprise est d'assurer la réception et la coordination des produits et sert également à Préparer et distribuer les marchandises. Dans la gestion des stocks, le département contrôle la quantité et la qualité de l'approvisionnement. En logistique, il est utilisé pour gérer le transport des produits sélectionné. Et aussi de gérer le budget de son secteur.

**-Atelier de traitement** : dans l'atelier de production, nous effectuons les tâches de recyclage commence par le démantèlement manuel des déchets électroniques passent par le traitement en eau supercritique jusqu'à la dernière étape de séparation magnétique des métaux.

- ❖ **Le département du commerce** : le département du commerce est responsable de l'achat de matières recyclables et vente de matières recyclées.

Sa mission est d'étudier les besoins des clients afin de les satisfaire au mieux, de vendre les produits et services des entreprises dont elle dépend, et de gérer son portefeuille clients tout en prenant soin de ses clients potentiels.

- ❖ **Département de finance** : le département financier est a pour mission d'assurer le bon fonctionnement des activités financières et comptables et de notre entreprise.

Il est notamment chargé de :

- Coordonner les activités des comptables pour les opérations d'achat, les opérations financières et le suivi des opérations de la clientèle ;
- vérifier toutes les pièces justificatives de dépenses et de recettes pour s'assurer de la régularité et l'exactitude de l'entreprise.
- Gérer les impôts
- Assurer une comptabilité correcte ; Avant de comptabiliser,
- La rentabilité de l'entreprise, c'est-à-dire sa capacité à générer un chiffre d'affaires suffisant pour s'autofinancer

- ❖ **Département de production** : Il est responsable du bon fonctionnement et de l'organisation générale de l'atelier de recyclage et de contrôle de notre entreprise.

### Chapitre III : Création d'une entreprise de recyclage des déchets électroniques avec l'eau supercritique

---

Il sert à préparer et planifier les tâches nécessaires pour le recyclage et de faire des plans de production en définissant le contenu de chaque poste de travail, l'exécution des tâches selon le plan et contrôler les machines et les produits séparés après recyclage.

**-Service magasin** : la mission de ce service dans notre entreprise est d'assurer la réception et la coordination des produits et sert également à Préparer et distribuer les marchandises. Dans la gestion des stocks, le département contrôle la quantité et la qualité de l'approvisionnement. En logistique, il est utilisé pour gérer le transport des produits sélectionnés. Et aussi de gérer le budget de son secteur.

**-Atelier de traitement** : dans l'atelier de production, nous effectuons les tâches de recyclage commence par le démantèlement manuel des déchets électroniques passent par le traitement en eau supercritique jusqu'à la dernière étape de séparation magnétique des métaux.

❖ **Le département du commerce** : le département du commerce est responsable de l'achat de matières recyclables et vente de matières recyclées.

Sa mission est d'étudier les besoins des clients afin de les satisfaire au mieux, de vendre les produits et services des entreprises dont elle dépend, et de gérer son portefeuille clients tout en prenant soin de ses clients potentiels.

**Service achat** : la fonction achats est chargée de procurer les composants nécessaires au traitement des déchets, les déchets eux-mêmes et divers éléments et méthodes de gestion. Ceux-ci les composants doivent être livrés à temps, dans le respect de la qualité et la quantité qui soumise aux spécifications de l'entreprise.

L'importance de la fonction achats peut être comprise à plusieurs niveaux.

- Sur le plan financier : les politiques d'achats peuvent améliorer la rentabilité de la structure en optimisant les coûts et les délais.

-Sur le plan commercial : il s'assure également un avantage concurrentiel en fournissant des produits de qualité et en évitant les ruptures de stocks.

-Sur le plan stratégique : la fonction achats contribuera à améliorer la compétitivité de l'entreprise est en matière de coûts et de délais.

**-Service commercial** : dans notre entreprise ce service englobe l'ensemble des activités qui permettent à :

- Comprendre les attentes des consommateurs et les conditions du marché en fonction de notre produit.

- Tenter d'influencer le comportement des consommateurs pour atteindre nos objectifs.

### Chapitre III : Création d'une entreprise de recyclage des déchets électroniques avec l'eau supercritique

---

- ❖ **Le département de la maintenance** : la fonction de maintenance joue un rôle de plus en plus important dans la productivité de l'entreprise.

La fonction de maintenance est d'assurer le fonctionnement normal des outils de production et aussi d'anticiper les dysfonctionnements.

Dans notre entreprise la maintenance présente une place importante : il permet de conserver le potentiel du matériel, et prenant en considération des nouveaux paramètres la qualité, la sécurité, le coût, l'environnement pour assurer la continuité de la production.

- ❖ **Le département des ressources humaines** : la fonction des ressources humaines est chargée de la gestion administrative et sociale des salariés de l'entreprise et de prendre en charge la masse salariale de leur embauche jusqu'à leur fin de contrat.

La fonction des ressources humaines est chargée de gérer de multiples tâches qui peuvent être combinées comme suit :

- Le recrutement des salariés
- La rémunération du personnel
- La gestion prévisionnelle de l'emploi et des compétences
- L'amélioration des conditions de travail

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

- Sur le plan de la production : la fonction ressources humaines permettra à l'entreprise de disposer d'employés compétents pouvant augmenter la productivité de l'entreprise

- Sur le plan commercial : la gestion des ressources humaines permettra de recruter des commerciaux efficaces et motivés (commerciaux, directeurs de magasin). Grâce à eux, les ventes peuvent être améliorées.

- Sur le plan financier : une bonne gestion du personnel permettra de limiter les dépenses salariales. Le salaire ne sera plus seulement un coût pour l'entreprise, mais un investissement

- Sur le plan stratégique : la fonction ressources humaines permet à l'entreprise de se démarquer de la concurrence avec ses collaborateurs exceptionnels. Ses collaborateurs permettront à l'entreprise de créer de la valeur ajoutée pour ses clients

Le tableau suivant (tableau) indique les besoins en personnel et les fonctions et rôles de chaque personne dans l'entreprise

## Chapitre III : Création d'une entreprise de recyclage des déchets électroniques avec l'eau supercritique

**Tableau III- 11:** Le rôle de chaque fonctionnaire dans notre entreprise

<b>Fonction</b>	<b>Rôle</b>	<b>Effectif</b>
<b>Direction générale</b>	- définit les stratégies globales du fonctionnement de l'entreprise -gère toutes les activités commerciales et financières de l'entreprise	1
<b>Administration</b>	Secrétariat	1
<b>Comptable</b>	Chargé des opérations financières	1
<b>Responsable de la GRH</b>	Gestion du personnel	1
<b>Responsable de la Production</b>	Organise, planifie et suit la production Amélioré la productivité et assurer la Conformité	1
<b>Magasinier</b>	Gestion des flux du stock	1
<b>Technicien en maintenances</b>	Effectuer la maintenance préventive et curative des équipements de production	2
<b>Opérateurs pour le démantèlement</b>	Démantèlement des déchets et dépollution des éléments dangereux	2
<b>Opérateurs pour le traitement par l'eau supercritique</b>	Traiter les cartes électroniques dans le réacteur	2
<b>Opérateurs 1</b>	Séparer les cartes électroniques de l'eau	1
<b>Opérateurs 2</b>	Pilotage du l'émetteur	1
<b>Opérateurs 3</b>	Pilotage du séparateur magnétique	1
<b>Agent d'hygiène</b>	Exécuter des activités de nettoyage et d'entretien	2
<b>Agents de sécurité</b>	Assurer la sécurité de l'entreprise durant toute la journée	2
<b>Chauffeurs</b>	La conduite des camions de collecte	2

## **Chapitre III : Création d'une entreprise de recyclage des déchets électroniques avec l'eau supercritique**

---

### **III.3.3.2 Etude institutionnelle**

Elle repose sur le choix du statut juridique de notre entreprise afin de réussir dans le secteur commercial, et évitez de tomber dans la fosse à risques. C'est pourquoi le choix de statut juridique est un problème pour tous les créateurs d'entreprises et les acheteurs. Il n'y a pas de statut juridique idéal, seulement un statut juridique adapté à la situation. Chaque entrepreneur, selon ses envies, sa nature et son importance projet.

#### **III.3.3.2.1 Critères de choix du statut juridique de notre entreprise**

##### **III.3.3.2.1.1 Volonté de s'associer**

Le choix du statut juridique d'une entreprise dépend, en premier lieu, du nombre de personnes contribuant au projet de création d'entreprise (ou de reprise d'entreprise). Lorsque le porteur de projet souhaite travailler seul, il pourra opter pour les statuts juridiques suivants (*Thibaut, 2021*) :

- 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 (outre le fait qu'elle permet de protéger le patrimoine des associés) réside dans le fait qu'il sera possible de faire entrer ultérieurement d'autres associés sans envisager une transformation de la société (et subir les conséquences fiscales induites) (*Thibaut, 2021*).

A l'inverse, l'auto-entreprise est un statut ultra-simplifié qui permet de « tester une activité » sans surcoût à la création et à la fermeture dans l'hypothèse où elle ne démarre jamais.

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 (*Thibaut, 2021*) :

- Société à Responsabilité Limitée (SARL)
- Société par Actions Simplifiée (SAS)
- Société Anonyme (SA)
- Société en Nom Collectif (SNC)
- Société d'Exercice Libéral (SEL)

## **Chapitre III : Création d'une entreprise de recyclage des déchets électroniques avec l'eau supercritique**

---

### **III.3.3.2.1.2 Protection du patrimoine**

Lorsque l'entrepreneur dispose d'un patrimoine privé qu'il souhaite mettre à l'abri des aléas de son activité professionnelle, il peut s'orienter vers (Thibaut, 2021) :

- Une structure en nom propre :
  - L'EIRL en composant soigneusement son patrimoine affecté,
  - L'Auto-Entreprise avec option pour l'EIRL,
- Une forme sociétale dans laquelle la responsabilité est limitée au montant des apports :
  - La SARL ou l'EURL,
  - La SAS ou la SASU,
  - La SA...

Dans ce cas, il conviendra de veiller à ne pas opter pour une structure dans laquelle les associés sont responsables indéfiniment et solidairement des dettes sociales (dispositions prévues pour la Société en Nom Collectif – SNC – par exemple) (Thibaut, 2021).

### **III.3.3.2.1.3 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) (Thibaut, 2021).

### **III.3.3.2.1.4 Régime social du dirigeant**

Chaque statut juridique correspond au régime social du dirigeant. Ce dernier peut, Considéré comme salarié ou non salarié (Thibaut, 2021) :

- Le dirigeant d'une SA, d'une SAS, d'une SASU ou le gérant non associé, minoritaire ou égalitaire d'une SARL est assimilée à un salarié. Il cotise aux mêmes caisses que ce dernier (à l'exception, dans la plupart des cas, de l'assurance chômage) et bénéficie de la même protection sociale ;
- Le gérant majoritaire d'une SARL/EURL, le chef d'entreprise d'une entreprise individuelle, d'un EIRL ou encore tous les associés d'une SNC sont considérés comme « travailleurs non-salariés (TNS) » et cotisent à des caisses spéciales (le RSI pour les

## Chapitre III : Création d'une entreprise de recyclage des déchets électroniques avec l'eau supercritique

---

commerçants/artisans, la MSA pour les agriculteurs et l'URSSAF, la maladie et la vieillesse pour les professionnels libéraux).

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. Cet écart de protection s'en trouve de plus en plus réduit grâce à faculté, pour les non-salariés, de souscrire auprès de compagnies privées des contrats déductibles des bénéfices de l'entreprise (contrats Madelin par exemple) et couvrant une multitude de risques (mutuelle, prévoyance, etc.) (Thibaut, 2021).

### III.3.3.2.1.5 Régime fiscal de l'entreprise

Au même titre qu'en matière sociale, chaque statut juridique possède son propre régime fiscal de base, avec parfois la possibilité d'opter pour un autre mode d'imposition des bénéfices (Thibaut, 2021).

Il existe deux modes d'imposition des bénéfices que sont :

- **L'impôt sur le revenu** : lorsque l'entreprise est soumise à l'impôt sur le revenu, ce sont ses associés qui vont acquitter l'impôt en leur nom et pour leur compte. Selon la nature de la profession (commerçant, artisan, agriculteur ou professionnel libéral) (Thibaut, 2021).

Les structures soumises à l'impôt sur le revenu (Thibaut, 2021) :

- l'EURL lorsque son associé est une personne physique (possibilité d'option à l'impôt sur les sociétés de manière irrévocable) ;
- l'entreprise individuelle ;
- l'EIRL (possibilité d'option à l'impôt sur les sociétés de manière irrévocable) ;
- la SNC (possibilité d'option à l'impôt sur les sociétés de manière irrévocable).

- **L'impôt sur les sociétés** : dans ce cas, la société paie des impôts. Les associés qui souhaitent percevoir le fruit de leur investissement devront procéder à une distribution de dividendes et seront imposés à l'impôt sur le revenu ainsi qu'aux prélèvements sociaux (Thibaut, 2021).

Les structures qui soumises à l'impôt sur les sociétés (Thibaut, 2021) :

- l'EURL lorsque l'associé est une personne morale ;

## **Chapitre III : Création d'une entreprise de recyclage des déchets électroniques avec l'eau supercritique**

---

– la SARL (possibilité d'option à l'impôt sur le revenu pour les SARL de famille ou option temporaire pour le régime fiscal des sociétés de personnes sous conditions) ;

– la SAS ou la SASU (option temporaire pour le régime fiscal des sociétés de personnes sous conditions) ;

La SA (option temporaire pour le régime fiscal des sociétés de personnes sous conditions).

### **III.3.3.2.1.6 Autres critères**

- ✓ **Activités réglementées :** L'exercice de certaines activités suppose le recours à un statut juridique imposé par la loi. Les débits de tabac doivent obligatoirement être exploités au sein d'une SNC ou d'une entreprise individuelle.
- ✓ **Crédibilité vis-à-vis des partenaires (clients, fournisseurs, banque...) :** L'accession à certains marchés requiert parfois la constitution d'une société avec un capital conséquent, ne serait-ce que pour bénéficier d'une certaine crédibilité envers les partenaires de celle-ci. Les entreprises d'exercice en nom propre (AE, EI, etc.) manquent, malheureusement, parfois de crédibilité sur le marché.

D'après l'étude des critères de choix du statut juridique pour notre entreprise il n'y a pas de statut juridique idéal et parfait, mais un statut juridique Caractéristiques adaptées au projet donc on a choisi l'Entreprise Unipersonnelle à Responsabilité Limitée (EURL) car L'EURL Il s'agit d'une SARL dotée d'un seul associé qui nous permet de sécuriser notre patrimoine personnel, la responsabilité limitée au montant de nos apports. Les créanciers professionnels ne pourront donc pas nous poursuivre, sauf si nous commis à des fautes de gestion, Le capital social de notre société est librement fixé. Nous pouvant assurer la gérance ou bien la confier à un tiers non associé et nous apports peuvent être en numéraire ou en nature.

### **III.3.4 Etude financière**

La gestion financière est le concept central de la stratégie de l'entreprise. La maîtrise des flux financiers permet de protéger de difficultés qui pourraient à terme fragiliser la structure. La gestion financière nous permet d'avoir une vision de la santé de notre entreprise à un moment précis et de Mettre en place une organisation appropriée pour protéger les ressources. La gestion financière s'appuie sur des outils financiers, des analyses de comptes et des procédures budgétaires.

## **Chapitre III : Création d'une entreprise de recyclage des déchets électroniques avec l'eau supercritique**

L'étude financière se définit comme un outil permettant d'assurer une évaluation logique de la situation financière de l'entreprise, elle n'est rien d'autre qu'une estimation préalable du chiffre d'affaires du projet et des dépenses qui seront engagés. L'objectif principal de cette étude financière est de clarifier la situation financière de notre entreprise afin de faciliter la prise de décision, et nous aurons une idée des revenus et des bénéfices que vous tirerez de cette entreprise.

Afin d'estimer le coût final du projet de recyclage des déchets électroniques par l'eau supercritique nous avons utilisé la méthode d'estimation du coût des ressources en évaluant le coût détaillé des ressources utilisées dans le projet.

**Tableau III- 12:** Estimation mensuelle des charges salariales des employés

<b>Personne</b>	<b>Prix (DA)</b>	<b>Effectif</b>	<b>Prix total (DA)</b>
<b>Directeur général</b>	100 000	1	100 000
<b>Administration</b>	40000	1	40000
<b>Comptable</b>	45 000	1	45 000
<b>Responsable de la GRH</b>	50 000	1	50 000
<b>Responsable de la production</b>	80000	1	80000
<b>Magasinier</b>	40000	1	40000
<b>Technicien en maintenances</b>	40000	2	80000
<b>Opérateurs pour le démantèlement</b>	35 000	2	70 000
<b>Opérateurs pour le traitement par l'eau supercritique</b>	35 000	2	70 000
<b>Opérateurs 1</b>	35 000	1	35 000
<b>Opérateurs 2</b>	35 000	1	35 000
<b>Opérateurs 3</b>	35 000	1	35 000
<b>Agent d'hygiène</b>	25000	2	50000
<b>Agents de sécurité</b>	35000	2	70000
<b>Chauffeurs</b>	40000	2	80000
<b>Total</b>	670 000	21	880 000

## Chapitre III : Création d'une entreprise de recyclage des déchets électroniques avec l'eau supercritique

---

**Tableau III- 13:** estimation des couts de matériel

Matériel	Prix unitaire (DA)	Quantités	Prix total (DA)
<b>Matériel informatique</b>	63500	5 ordinateurs	396700
	26400	3 imprimant	
<b>Matériel bureautique</b>	25000	5bureaux	162500
	7500	5 chaises	
<b>Chariot élévateur</b>	1350000	2	2700000
<b>Convoyeur à band</b>	680000	3	2040000
<b>Réacteur autoclave (50000L)</b>	4500000	1	4500000
<b>Emetteur</b>	670000	1	670000
<b>Séparateur magnétique</b>	680000	1	680000
<b>Transformateur (Moyenne Tension)</b>	5000000	1	5000000
<b>Camion</b>	6000000	2	12000000
<b>Total</b>	19002400	28	28149200

**Tableau III- 14:** estimation des couts d'installations

Installation	Cout (DA)
<b>Installation informatique</b>	150000
<b>Installation électricité</b>	200000
<b>Installation eau</b>	100000
<b>Installations chaine de recyclage</b>	250000
<b>Prix total</b>	700000

## **Chapitre III : Création d'une entreprise de recyclage des déchets électroniques avec l'eau supercritique**

---

Après avoir estimé de tous les ressources soient humaines, matérielles et même le prix de l'installation le projet estimé totalement de : 29729200 DA plus le cout de location de l'usine Qui est de 80000 DA par mois donc 960000 DA par année, finalement le cout total de création de cette entreprise est de 30689200 DA.

### **III.3.4.1 Source de financement**

Apport personnel : 6 000 000 DA.

L'agence Nationale de Soutien à l'Emploi des jeunes (ANSEJ) : 25 000 000 DA.

### **III.3.4.2 Etude de la rentabilité du projet**

#### **III.3.4.2.1 Chiffre d'affaire prévisionnel**

Dans notre usine la capacité de production est de 50 t/an mais dans notre cas la quantité des déchets électroniques collecté est de 6 t /ans, donc le calcule de chiffre d'affaires est para porte aux 6t/an.

D'après l'estimation de prix d'achat des déchets électroniques dans le marché Algérien, nous tentons de construire notre estimation sur la règle de 10%, c'est-à-dire, notre prix d'achat de n'importe qu'elle produit électronique indésirable dépend de son prix original, par exemple, un prix d'un PC portable est de 50000 DA, alors nous l'achetons avec un prix de 5000DA.

#### **III.3.4.2.2 Calcule le chiffre d'affaire**

**Tableau III- 15:** calcule de chiffre d'affaire

Les matériaux	Quantité (KG)	P. U	CA Prévisionnelle
<b>Cuivre</b>	780KG	600 DA / KG	468000 DA
<b>Fer</b>	30KG	30 DA / KG	900 DA
<b>Plastique</b>	1980KG	40 DA / KG	7920 DA
<b>Or</b>	2,04kG	7200 000 DA / KG	14688000DA
<b>Argent</b>	21KG	114414,22 DA /KG	2402698,62DA
<b>Verre</b>	1320KG	8,4DA /KG	11088DA
<b>Palladium</b>	0,84KG	12061085,72DA/KG	10131312DA
<b>TOTAL</b>			<b>27709918,62DA</b>

## Chapitre III : Création d'une entreprise de recyclage des déchets électroniques avec l'eau supercritique

### III.3.4.3 Plan d'affaires

#### III.3.4.3.1 Présentation de projet

**Tableau III- 16:**Fiche synthétique de projet

Entreprise	<b>Recyclage de des Déchets Electroniques avec de l'Eau Supercritique</b>
Nom de l'entreprise	EURL ELECTO
Forme juridique	EURL
Type de projet	Création Secteur d'activité : recyclage des Déchets Electroniques avec de l'Eau Supercritique
Secteur de l'entreprise	Industrielle
Clientèle	Particuliers
Chiffre d'affaires	27709918,62 DA
Sources de financement	Propre moyen et L'agence Nationale de Soutien à l'Emploi des jeunes (ANSEJ)
Vos besoins de financement	Investissement matériel (véhicule, machines, ...) :
Localisation	Tlemcen
Année du plan d'affaires	2021
Date prévue de réalisation	2023

#### III.3.4.3.2 Besoins en matières premières

**Tableau III- 17:** Besoins en matières premières

	2023	2024	2025	2026	2027
Déchets électroniques	6 t/ans				
P.U	1800 DA /KG				
CA Prévisionnelle	10 800 000	10 800 000	10 800 000	10 800 000	10 800 000

## Chapitre III : Création d'une entreprise de recyclage des déchets électroniques avec l'eau supercritique

---

**Tableau III- 18:** cout d'énergie

No.	Description	Besoin annuel	Coûts annuels totaux	Maintenance
1	Electricité		700 000	/
2	Eau	/	30 000	/
3	Autres	/	/	/
<b>Total :</b>			<b>730 000</b>	

### III.3.4.3Fond de roulement

**Tableau III- 19:** Fond de roulement

-frais d'établissement	
•Frais notaire	<b>500 000DA</b>
•Frais d'étude architecture	/
•Permis d'aménagement	<b>12 000DA</b>
-investissement hors taxe	<b>27709918,62 DA</b>
•Immobilisation corporelle	<b>8594042,55 DA</b>
<b>Total</b>	<b>36 815 961 ,17 DA</b>

## Chapitre III : Création d'une entreprise de recyclage des déchets électroniques avec l'eau supercritique

### III.3.4.4 Comptes de résultat annuel

Tableau III- 20: Comptes de résultat annuel

	1 <sup>ère</sup> Année	2 <sup>ème</sup> Année	3 <sup>ème</sup> Année
<b>Activités Poursuivies</b>			
<b>Chiffres affaires</b>	27709918,62	27709918,62	27709918,62
<b>Coût des biens vendus</b>	10 800 000	10 800 000	10 800 000
<b>Marge Brute</b>	<b>16 909 918,62</b>	<b>16 909 918,62</b>	<b>16 909 918,62</b>
<b>Frais Généraux:</b>			
-Coût des salaires des employés	10 560 000	10 560 000	10 560 000
-Assurances des employés	12600	12600	12600
-Electricité	700 000	700 000	700 000
- Nom de domaine & Site Web	0	0	0
- Publicité	0	0	0
- Amortissement	/	/	/
<b>Total des Coûts Fixes</b>	<b>11 272 600</b>	<b>11 272 600</b>	<b>11 272 600</b>
<b>Bénéfice Operationnel</b>	<b>5637 318 ,62</b>	<b>5637 318 ,62</b>	<b>5637 318 ,62</b>
<b>L'intérêt sur le prêt</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
<b>Provision pour impôts (23%)</b>	<b>1296583,28</b>	<b>1296583,28</b>	<b>1296583,28</b>
<b>Résultat opérationnel net d'impôt</b>	<b>4340 735,34</b>	<b>4340 735,34</b>	<b>4340 735,34</b>
<b>Bénéfice Retenu</b>	<b>4340 735,34</b>	<b>4340 735,34</b>	<b>4340 735,34</b>

## Chapitre III : Création d'une entreprise de recyclage des déchets électroniques avec l'eau supercritique

---

### III.3.4.5 Remboursement de l'argent à la banque

En premier temps, l'argent que nous voulons prêter est **25 000 000 DA** qui est subventionnée par l'ENSEJ 29%, la banque choisie 70% avec un taux d'intérêt de 4%, et par moi-même 1% et le remboursement se fait en 10 ans.

Quel l'est annuités constantes A si on connaît la valeur de présent sur des périodes de remboursement ?

Donc :

- $i$ =Taux d'intérêt (01 ans par défaut)  $i = 0.04$
- $N$ =Nombre d'années ou de période  $N = 10$  ans
- $P$ =Principal ou valeur présente ou valeur initiale. On appelle présent la date de référence à  $t=0$   $P = 25\,000\,000$  DA
- $F$ =Valeur future. Valeur dans un temps de  $N$  période  $F = 25\,000\,000$  DA

$$A = F \left( \frac{i(1+i)^N}{(1+i)^N - 1} \right) = 25\,000\,000 \frac{0.04*(1+0.04)^{10}}{(1+0.04)^{10}-1} = \mathbf{3\,082\,274,15\ DA}$$

Alors il faut rembourser **3082274,15 DA** chaque année afin de terminer un emprunt de 25 000 000 sur 10 années.

- **Résultats :**

D'après l'estimation de bénéfice retenu pour nôtres usines\_ qui est **4340 735,34 DA** par année selon la quantité collectée des déchets électroniques le bénéfice retenu est supérieurs à l'argents qu'on va rembourser chaque année qui est : **3082274,15DA** donc notre étude de faisabilité de création d'une entreprise de recyclage avec l'eau supercritiques est faisable.

### III.4 Conclusion

Dans ce chapitre, on a présenté une étude de faisabilité de création d'une entreprise de recyclage des déchets électroniques avec l'eau supercritique et les Différentes étapes de sa réalisation en intégrant tous les aspects techniques de l'entreprise et environnementaux et d'après les méthodes des estimations on n'a trouvé que l'étude est faisable.

**Conclusion générale**

## Conclusion générale

---

### Conclusion générale

Le recyclage des déchets électroniques offre d'importants avantages et joue un grand rôle dans le domaine de protection de l'environnement. Le recyclage des déchets électroniques est aussi une source de différents matériaux importants tels que le plastique, les métaux...

Notre projet sur l'étude de faisabilité de création d'une entreprise de recyclage des déchets électroniques avec l'eau supercritique. Des déchets en fin de vie comme les ordinateurs, les téléphones portables, les photocopieurs et les produits électroménagers.

Au cours des cinq dernières années, nous avons appris plusieurs informations dans le domaine industriel, comment maximiser les profits et réduire les risques en améliorant le côté gestion (planification, ordonnancement et gestion) et le côté technique (Electrotechnique, informatique et automates programmables...). A travers cette étude, nous nous sommes arrivés à connaître l'ajustement exact de tous les équipements (matériel et humain) d'une entreprise industrielle.

Nous avons choisi le site pour installer notre entreprise par la méthode d'analyse hiérarchique des processus (AHP). Cette méthode nous a permis de constater que le meilleur site est sur Tlemcen.

Malgré le manque de données concernant la quantité générée de déchets électroniques en Algérie, nous avons pu réaliser une étude approximative en faisant quelques contacts avec des fournisseurs possibles de la matière première pour notre entreprise, donc notre étude de faisabilité de création d'une entreprise de recyclage avec l'eau supercritiques est faisable.

La création de cette entreprise pour recycler ces types de déchets aura un impact positif direct sur la croissance économique de notre pays.

L'importance de ce projet réside non seulement dans la production de métaux précieux, mais aussi dans l'élimination des substances toxiques présentes dans ces appareils électroniques.

Comme perspective, nous pensons à la possibilité de pouvoir réaliser des réacteurs de grandes capacités qui peuvent être utilisés pour ce type de traitement et de recyclage.

### Références bibliographiques

#### A

Algérie presse service. (2017, novembre 01). Consulté le 04 20, 2021, sur Algérie presse service: <http://www.aps.dz>

Agence de transition écologique «ADEME». (2020, décembre 11). Consulté le Avril 06, 2021, sur entreprises et monde agricole: <https://www.ademe.fr/>

Actu environnement. (2021, janvier 05). Consulté le Avril 21, 2021, sur Déchets électroniques : les éco-organismes sont réagréés pour un an: <https://www.actu-environnement.com/ae/news/agrement-eco-organisme-filiere-rep-deee-ecosystem-ecologic-pvcycle-ocad3e-36822.php4>

Agence nationale des déchets. (2021). Consulté le avril 07, 2021, sur base-des-connaissances: <https://and.dz/base-des-connaissances/definitions/>

Actu environnement. (s.d.). Consulté le avril 12, 2021, sur Dictionnaire environnement: [https://www.actu-environnement.com/ae/dictionnaire\\_environnement/definition/php4](https://www.actu-environnement.com/ae/dictionnaire_environnement/definition/php4)

Aïn El Kheir. (2017). Gestion des déchets ménagers en Algérie. Bastion Tower – Etage 21, Place du Champs de Mars 5, 1050 Bruxelles, Belgique.

Ambassade des Déchets. (s.d.). Consulté le Avril 22, 2021, sur pourquoi faire du compost: <http://ambassadedechets.canalblog.com/pages/pourquoi-faire-du-compost-----/36542020.html>

Anderson, R. (2005, septembre 23). flickr. Consulté le Avril 21, 2021, sur Today's commentary on technology.: <https://www.flickr.com/photos/memestate/45939043/in/photostream/>

Apprendre en ligne. (s.d.). Consulté le 04 15, 2021, sur Ressources pour les enseignants et les élèves du secondaire II: <https://owl-ge.ch/travaux-d-eleves/2011-2012/article/impact-de-la-production-de-dechets-sur-la-sante>

alibaba.com. (s.d.). Consulté le Mai 25, 2021, sur 300ml hydrothermal autoclave reactor stainless steel hydrothermal: <https://french.alibaba.com/product-detail/300ml-hydrothermal-autoclave-reactor-stainless-steel-hydrothermal-reactor-price-60743840614.html>

## Références bibliographiques

---

### B

- Baudelet environnement. (s.d.). Consulté le avril 10, 2021, sur Baudelet environnement: <https://www.baudelet-environnement.fr/vos-dechets/dechets-non-dangereux/>
- Bennama, T. (Janvier 2016). Les bases de traitement des déchets solides, Polycopié de Cours à l'usage des étudiants de Master & Licence en Génie des Procédés, Chimie de l'Environnement.
- Bujumbura. (2016). Rapport sur l'élaboration d'un projet de décret portant réglementation de la gestion des déchets d'équipements électrique et électronique (DEEE) au burundi.
- Bureau International du travail ,Genève. (2019). Le travail décent dans la gestion des déchets électriques et électroniques
- Bermejo, M., Vazquez, V., Martin, A., & Cocero, M. (2006). Modeling a Transpiring Wall Reactor for SCWO process with CFD. 8th International Symposium on Supercritical Fluids, Kyoto, article .
- Baldé, C., Forti, V., Gray, V., Kuehr, R., & Stegmann, P. ( 2017). The Global E-waste Monitor 2017 Quantities, Flows, and Resources.
- Belaid Recuperation. (2018). Consulté le Juin 03, 2021, sur Belaid Recuperation/information: <https://www.belaidrecuperation.com/presentation/>

### C

- Cédre recyclons solidaire. (s.d.). Consulté le avril 20, 2021, sur les logos et sigles de tri et recyclage : comment s'y retrouver ? : <https://www.cedre.info/jungle-sigles-de-tri-recyclage-sy-retrouver/>
- Connor, N. (2019, octobre 22). thermal engineering. Consulté le Mai 29, 2021, sur Qu'est-ce qu'un réacteur à eau supercritique: <https://www.thermal-engineering.org/fr/quest-ce-quun-reacteur-a-eau-supercritique-swr-definition/>
- 24caratsfr. (s.d.). Consulté le Mai 28, 2021, sur Qu'est-ce que l'or ? : <http://www.24-carats.fr/or.html>
- Clément , M. (2019, Mai 21). Agicap. Consulté le Mai 31, 2021, sur Qu'est ce qu'une entreprise : définition: <https://agicap.com/fr/article/definition-entreprise>

## Références bibliographiques

---

### D

Ding, Z., Frisch, M., Li, L., & Gloyna, E. (1996). Catalytic oxidation in supercritical water. *Industrial and Engineering Chemistry Research*. article .

### F

France bleu. (2021, Avril 06). Consulté le Avril 22, 2021, sur Le b.a.-ba du tri des déchets: <https://www.francebleu.fr/emissions/ca-va-dans-le-bon-sens-en-poitou/poitou/le-b-a-ba-du-tri-des-dechets>

Forti, V., Baldé, C., Kuehr, R., & Bel, G. (2020). Suivi des déchets d'équipements électriques et électroniques à l'échelle mondiale pour 2020.

### G

Gap tallard durance. (s.d.). Consulté le Avril 2021, sur DASRI: <https://www.gap-tallard-durance.fr/fr/lagglo-au-quotidien/dechets/dasri/>

Groupe BOUFFARD. (2015, JUIN 3). Consulté le Avril 16, 2021, sur l'effet des déchets dans la nature: <http://www.groupebouffard.com/fr/effet-des-dechets-dans-la-nature/#top>

### J

Journale officiel de la république algérienne N77. (2001).

Jean-Noël Salomon. (2003). danger pollutions!, Chapitre VI. Les déchets ménagers et industriels (éd. pessac). (P. U. Bordeaux, Éd.)

Jonathan, C. (2018). Etude d'un procédé plasma thermique pour l'extraction, la récupération et la valorisation d'éléments stratégiques contenus dans des matériaux types DEEE. Thèse de doctorat.

### K

KOMPASS. (s.d.). Consulté le juin 01, 2021, sur kompass Annuaire des entreprises: [dz.kompass.com](http://dz.kompass.com)

## Références bibliographiques

---

### L

- Larousse. (2021). Consulté le avril 04, 2021, sur Dictionnaires Larousse: <https://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/d%C3%A9chet/22142>
- Location bennes. (s.d.). Consulté le Avril 10, 2021, sur quels sont les types de déchets industriels à évacuer sur un chantier?: <http://les.cahiers-developpement-durable.be/vivre/09-dechets-aspects-environnementaux/>
- Le journal Armand-Corbeil. (2019, juin 03). Consulté le avril 02, 2021, sur un journal en évolution pour une école en quarantaine : <https://blogues.csaffluents.qc.ca/>
- Laujarguette. (2014, mars 26 ). Consulté le Avril 14, 2021, sur Durée de vie des déchets: <http://laujarguette.fr/duree-de-vie-des-dechets/>
- LAROUSSE. (2021). Consulté le Mai 01, 2021, sur définir le mot supercritique: <https://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/supercritique/75427>
- Leybros, A. (2009). Etude de la destruction de systèmes polyphasiques en milieu eau supercritique. universite paul cezanne aix-marseille iii.
- Laurent , R., & Pierre-Emmanuel , C. (2000). “Métallurgie extractive Hydrométallurgie,” de l'ingénieur Métallurgie extractive et recyclage des métaux de transition. Article de référence .
- Le journal Armand-Corbeil. (2019, juin 03). Consulté le avril 02, 2021, sur un journal en évolution pour une école en quarantaine: <https://blogues.csaffluents.qc.ca/>
- La pollution électronique menace-t-elle notre futur . (s.d.). un journal en évolution pour une école en quarantaine.
- Le coin des entrepreneurs. (2021, mai 25). Consulté le Juin 1, 2021, sur Les étapes clés d'une création d'entreprise: <https://www.lecoindesentrepreneurs.fr/etapes-cles-de-la-creation-d-entreprise/>
- Les Méthodes de Décision Multicritères. (2009). Université 7 Novembre à Tunis Carthage Institut Supérieur de Commerce et de Comptabilité de bizerte.

### M

## Références bibliographiques

---

Maxime , L. (2011). La fin de vie du matériel informatique : comparatif des modes de gestion en France et au Québec et détermination des facteurs de succès,. Sous la direction de François Roberge , ing., M. Sc. A.

Maël , A., Xavier , G., Christian, M., & Doris , N. (2012). Lexique à l’usage des acteurs de la gestion des déchets.

Myclimate. (s.d.). Consulté le Avril 22, 2021, sur De l'électricité à partir des déchets agricoles: <https://www.myclimate.org/fr/sinformer/education/detail-des-projets-deduction/indebiossile-7107/>

Menad, N.-E., Guignot, S., Gokalp, I., Bostyn, S., Graz, Y., & Poirier, J. (2016, juin 30). Brevet n° WO 2016/102849 AI. Université d'Orléans.

### P

Poubelle direct.fr. (2021, mars 4). Consulté le avril 17, 2021, sur Infos,l’impact Des Déchets Sur Notre Environnement: <https://www.poubelldirect.fr/blogs/infos/l-impact-des-dechets-sur-notre-environnement>

Pierre , B., & El-Aid, J. (1998). Métallurgie extractive Pyrométallurgie,” Techniques de l’ingénieur Métallurgie extractive et recyclage des métaux de transition. Article de référence.

### T

Torregrossa , E., Timmermans, M., & Pico, J. (2006). la valorisation des déchets.

Thomas, C. (2016). Recyclage des cartes électroniques : un aperçu de l’état de l’art. Article .

(2016). Réacteurs chimiques idéaux. cours en Génie agroalimentaire.

Techni-contact. (s.d.). Consulté le Mai 07, 2021, sur Broyeur à couteaux industriel: <https://www.techni-contact.com/produits/8340-3541308-broyeur-a-couteaux-industriel.html>

Thibaut , C. (2021, avril 25). entreprises et droit. Consulté le juin 10, 2021, sur comment choisir le statut juridique de son entreprise: <https://www.entreprises-et-droit.fr/choisir-le-statut-juridique-de-son-entreprise/>

### V

## Références bibliographiques

---

Vanessa , F., Cornelis , P., Ruediger, K., & Garam , B. (2020). Suivi des déchets d'équipements électriques et électroniques à l'échelle mondiale pour 2020.

### W

Welslau, G., & Kraus, H. (1998). Dechets électroniques(WEEE). Rue Wiertz 60,B-1047 Bruxelles.

### Z

Zouggari, A. (2011). Une approche couplant logique floue et capitalisation des connaissances pour la résolution du problème de choix des fournisseurs. Thèse de doctorat, L'Université Paul Verlaine – METZ UFR Mathématiques, Informatique, Mécanique.

## ملخص

كان هذا العمل دراسة جدوى لإنشاء شركة إعادة تدوير للنفايات الإلكترونية بالمياه فوق الحرجة في الجزائر، في مواجهة الاستهلاك المرتفع للأجهزة الإلكترونية، لكون النفايات الإلكترونية تحتوي على مواد سامة لها تأثير سلبي على البيئة وصحة الإنسان. بهدف القضاء على النفايات الإلكترونية واستخراج المعادن الثمينة الموجودة في هذه المنتجات الإلكترونية

## Résumé

Ce travail consiste à faire une étude sur la faisabilité de création d'une entreprise de recyclage de déchets électroniques avec de l'eau supercritique en Algérie, Face à la forte consommation des appareils électroniques. Ces derniers considérés comme déchets contiennent des substances toxiques qui ont un impact négatif sur l'environnement et sur la santé humaine. Notre but est de créer une entreprise qui sert à éliminer ces déchets et extraire les métaux précieux contenus dans ces produits avec la technique de l'eau supercritique.

Mot clés : déchets électroniques, eau supercritique, métaux précieux, économie circulaire

## Abstract

This work was to carry out a feasibility study for the creation of a company for recycling electronic waste with supercritical water in Algeria, faced with the high consumption of electronic devices, due to the fact that electronic waste contains toxic substances that have a negative impact on the environment and on human health. the goal of eliminating electronic waste and extracting the precious metals contained in these electronic products