



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
République Algérienne Démocratique et Populaire

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

جامعة العربي التبسي - تبسة

Université Larbi Tebessi – Tébessa

معهد المناجم

Institut des Mines

قسم الالكتروميكانيك

Département d'électromécanique



**Mémoire de fin d'étude**

**Présenté en vue de l'obtention d'un diplôme de Master**

**Filière : Génie minier**

**Option : Electromécanique minière**

**Thème :**

**Conception d'une chaine technologique de tri des déchets ménagers  
dans le processus de recyclage « étude expérimentale originale »**

**Par :**

 **Mohamed El Boukhary Abdel Aziz El Mamoun**

**Devant le jury :**

<b>Mr. Aoulmi Zoubir</b>	<b>MCA</b>	<b>Université Larbi Tebessi- Tébessa</b>	<b>Président</b>
<b>Mr. Khaled Rais</b>	<b>MCB</b>	<b>Université Larbi Tebessi- Tébessa</b>	<b>Encadreur</b>
<b>Mr. Louafi Messaoud</b>	<b>Pr</b>	<b>Université Larbi Tebessi- Tébessa</b>	<b>Examineur</b>

**Promotion : 2019/2020**

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur  
et de la Recherche Scientifique  
Université Larbi Tebessi – Tébessa  
Institut des Mines  
Département d'électromécanique



وزارة التعليم العالي و البحث العلمي  
جامعة العربي التبسي – تبسة  
معهد المناجم  
قسم الالكتروميكانيك

Année universitaire : 2019/2020

Tébessa, Le : 24/09/2020

## Lettre de soutenabilité

**Noms et prénoms d'étudiant :**

- Mohamed El Boukhary Abdel Aziz El Mamoun

**Niveau :** 2ème Année master

**Option :** Electromécanique minière

**Thème : conception d'une chaine technologique de tri des déchets ménagers  
dans le processus de recyclage « étude expérimentale originale »**

**Nom et prénom du promoteur :** Dr. Khaled Rais

Chapitres réalisés	Signature de l'encadreur
Chapitre I : Généralités sur les déchets	
Chapitre II : Les différents modes de traitement et de la gestion des déchets ménagers	
Chapitre III : Etudes statistiques des données relatives mondiales et locales	
Chapitre IV : Modélisations de la chaine de tri des déchets ménagers	
Chapitre V : Système automatisé de la chaine de tri	

## Remerciements

*Nous remercions en premier lieu ALLAH le tout puissant de nous avoir donné le courage, la santé et la patience pour accomplir ce travail.*

*Nous tenons à exprimer notre profonde éternelle gratitude à notre encadreur Dr : **Khaled Rais** qui s'est toujours montré très disponible malgré ses occupations en nous donnant des sages directifs, des pertinents conseils, merci de ses précieux temps.*

*De la même manière nous remercions également monsieur le directeur de l'institut des mines Dr : **Aoulmi Zoubir**.*

*Nos remerciements vont également à tous les honorables membres du jury d'avoir accepté de juger ce mémoire .*

*Nous tenons à témoigner notre gratitude envers tous nos enseignants de l'institut des mines affilié à l'université de cheikh Larbi Tebessi, ensuite nous adressons nos remerciements aux responsables du CET de la wilaya de Tébessa ( Mr. **Larbi**, Mr. **Mouhcen** et Mr. **Ez'dine**) ainsi que les propriétaires d'ateliers locaux Mr. **Zein Belghith** et Mr. **Nourdine Ayadi** qui nous ont aidés à réaliser le prototype expérimentale de la machine de piquetage.*

*Et enfin nous remercions également toute personne qui a contribué de près ou de loin à l'accomplissement de ce projet de fin de cycle.*

## Dédicace

*Je dédie ce travail a :*

*Ma mère qui a œuvré pour ma réussite son soutien, ses précieux conseils, tous ces sacrifices, merci infiniment à ALLAH de sa présence dans ma vie qui vaut pour moi la plus meilleure motivation inconcevable conduisant à la réussite, je tiens à adresser à travers ce travail l'expression de mes sentiments et de ma gratitude éternelle.*

*Mon père de ses aides inachevées permettant d'avancer dans la vie sans tenir compte les obstacles, qui peut être fier certainement de ce résultat suite de longues années de sacrifices.*

*Merci pour les valeurs nobles fondées sur notre religion l'islam, l'éducation et le soutien permanent venu des membres de ma familles.*

*Mohamed El Boukhary Abdel Aziz El Mamoun*

## Sommaire

Introduction générale .....	01
-----------------------------	----

### CHAPITRE I : GENERALITES SUR LES DECHETS

I. Introduction .....	02
II. Définition et notion de base des déchets .....	02
II.1 Définition des déchets .....	02
II.2 Classification des déchets .....	02
II.2.1 Classification basées sur l'état physique .....	02
II.2.2 Classification basée sur la source de production .....	03
II.2.3 Autres façons de classification .....	05
II.3 Les différents types de déchets urbains .....	06
II.4 Différents modes d'élimination et de traitement des déchets solides .....	06
II.4.1 La collecte .....	06
II.4.2 Traitement .....	07
II.5 Impacts des déchets sur l'environnement .....	07
III. Les déchets ménagers .....	07
III.1 Définitions .....	07
III.2 Définition des déchets ménagers et assimilés .....	08
III.3 Production et évolution des déchets ménagers .....	08
III.3.1 Quantités générées et leur variabilité .....	08
III.3.2 Mesure de la production des déchets ménagers .....	08
III.4 Intérêt des déchets ménagers .....	09
III.5 Législations et le contexte réglementaire Algérienne .....	09
III.6 Programme national de gestion des déchets selon AND .....	10
III.7 Impacts des déchets solides sur la santé et l'environnement .....	10
III.7.1 Impacts sur la santé humaine .....	10
III.7.2 Impacts sur l'environnement .....	11
IV. Compositions et Caractérisations DMA .....	13
IV.1 Mesure de la production des DMA .....	13
IV.1 Mesure de la production des DMA .....	13
IV.1.1 Calcul du ratio journalier (R) .....	13
IV.2 Composition des déchets ménagers et assimilés .....	13
IV.2.1 Composition physique des déchets ménagers et assimilés .....	13
IV.2.1.1 Variabilité de la composition physique des déchets ménagers et assimilés .....	14
IV.2.2 Composition chimique des déchets ménagers et assimilés .....	14
IV.3 Caractéristiques physico-chimique des DMA .....	15
IV.3.1. Granulométrie .....	15
IV.3.2 Poids volumique ou Densité .....	16
IV.3.3 Taux d'humidité ou teneur en eau (Hu) .....	16
IV.3.4 Pouvoir calorifique inférieur (PCI) .....	16
IV.3.5 Rapport carbone/azote (C/N) .....	17
IV.3.6 Teneur en volatils et en cendres .....	18
IV.3.7 Teneur en métaux lourds .....	18
V. Conclusion .....	19

### CHAPITRE II : LES DIFFERENTS MODES DE TRAITEMENT ET DE LA GESTION DES DECHETS MENAGERS

I. Introduction .....	20
-----------------------	----

II.	Les techniques couramment utilisées .....	20
II.1	L'enfouissement .....	20
II.1.1	Classification des CET.....	21
II.1.1.1	CET de classe I.....	21
II.1.1.2	CET de classe II.....	21
II.1.1.3	CET de classe III.....	21
II.1.2	L'objectif d'un CET.....	22
II.1.3	Les avantages et les inconvénients d'un CET.....	22
II.4	Les lixiviats .....	23
II.4.1	Définition .....	23
II.4.2	Composition .....	23
II.1.5	Les biogaz .....	23
II.1.5.1	Définition .....	23
II.1.5.2	Composition .....	23
II.1.5.3	Captage des biogaz .....	24
II.1.5.3.1	Techniques d'extraction et destruction du biogaz.....	24
II.1.5.3.2	Technique de récupération des biogaz et des lixiviats.....	25
II.1.6	Le rôle de CET sur la santé humaine et l'environnement .....	25
II.1.7	Les impacts et les risques d'un CET.....	26
II.1.8	Les problèmes d'exploitation d'un CET .....	27
II.1.9	Les différents types des décharges .....	28
II.1.9.1	Les décharges contrôlées (CET) .....	28
II.1.9.1.1	La décharge contrôlée traditionnelle (classique) .....	28
II.1.9.1.2	La décharge contrôlée de type compact .....	28
II.1.9.1.3	La décharge des déchets broyés .....	28
II.1.9.1.4	La décharge des déchets mise en balles ou en cubes .....	28
II.1.9.2	Les décharges sauvages .....	28
II.2	L'incinération .....	29
II.2.1	Réactions chimiques intervenant au cours de la combustion .....	30
II.2.2	La température .....	30
II.2.3	Les différentes phases du processus d'incinération .....	30
II.2.4	Structure d'une installation d'incinération des ordures ménagères .....	30
II.2.5	L'incinération avec la récupération de l'énergie .....	31
II.2.6	Centrale thermique .....	31
II.2.7	Types de fours d'incinération des ordures ménagères .....	33
II.2.8	Traitement des gaz de combustion et des fumées .....	34
II.2.9	Dispositifs de dépoussiérage .....	34
II.2.10	Dispositifs de neutralisation des fumées .....	34
II.2.11	Résidus solides de l'incinération des ordures ménagères .....	35
II.2.12	Mâchefers (MIOM) .....	35
II.2.13	Résidus d'épuration des fumées d'incinération (REFIOM) .....	35
II.2.14	Les avantages et les inconvénients de l'incinération .....	35
II.3	Tri et Recyclage .....	36
II.3.1	Généralité .....	36
II.3.2	C'est quoi le tri .....	36
II.3.3	Le centre de tri .....	37
II.3.4	Type de tri .....	37
II.3.4.1	Tri manuel .....	37
II.3.4.2	Le tri sélective .....	38
II.3.4.3	Tri Automatique et Mécanismes .....	39
II.3.4.4	Tri automatique selon la taille .....	40

II.3.4.5 Tri automatique selon la densité .....	41
II.3.4.6 Tri mécanique .....	42
II.3.4.7 Tri Aéraulique des déchets (air classification) .....	45
II.3.4.8 Tri Hydraulique /Pneumatique .....	46
II.3.4.9 Tri par séparation balistique .....	48
II.3.4.10 Tri magnétique .....	48
II.3.4.11 Tri des déchets par courants de Foucault .....	51
II.3.4.12 Tri Optique des déchets .....	53
II.3.5 Instrumentations .....	55
II.3.5.1 Généralités sur le convoyeur .....	55
II.3.5.1.1 Convoyeur à bande .....	55
II.3.5.1.2 Convoyeur magnétique .....	56
II.3.5.2 généralités sur les captures .....	57
II.3.5.2.1 Introduction .....	57
II.3.5.2.2 Définition .....	57
II.3.5.2.3 Principales caractéristiques des capteurs .....	58
II.3.5.2.4 Classification des capteurs .....	58
II.3.5.2.5 Les détecteurs de position .....	59
II.3.5.2.6 Les interrupteurs de proximité inductifs.....	60
II.3.5.2.7 Les interrupteurs de proximité capacitifs .....	61
II.3.5.2.8 Les interrupteurs de proximité photoélectriques .....	61
II.3.5.2.9 Choix des capteurs .....	62
II.3.6 Recyclage .....	65
II.3.6.1 Définition du recyclage .....	65
II.3.6.1 Définition juridique .....	65
II.3.2 Histoire (depuis l'âge bronze) .....	66
II.3.6.3 Les type de recyclage .....	66
II.3.6.4 Chaîne de recyclage .....	66
II.3.6.5 Quelques exemples .....	68
II.3.6.6 Impact du recyclage dans l'industrie .....	68
II.3.6.7 Impact du recyclage sur l'environnement .....	70
II.4 Compostage et Méthanisation .....	71
II.4.1 Biométhanisation .....	71
II.4.1.1 Définition.....	71
II.4.1.2 Principaux déchets concernés par la biométhanisation .....	73
II.4.1.3 Intérêt technologique de la biométhanisation .....	73
II.4.1.4 Avantages et inconvénients de la biométhanisation .....	73
II.4.1.5 Paramètres à contrôler dans une installation de biométhanisation .....	74
II.4.1.6 Exemple de réalisation industrielle : Procédé Valorga .....	74
II.4.2 Le compostage (matière organique) .....	75
II.4.2.1 Définitions .....	76
II.4.2.2 Différentes étapes du compostage .....	77
II.4.2.3 Qualité du compost .....	77
II.4.2.4 Paramètres à contrôler lors du compostage .....	77
II.4.2.5 Les quatre phases du compostage .....	78
II.4.2.6 Les matières dégradables et non dégradables .....	78
II.4.7 Procédés de compostage .....	79
II.4.7.1 Compostage en andains à l'air libre (lent) .....	79
II.4.7.2 Matériels utilisés .....	80
II.4.7.3 Compostage en bioréacteur (accéléré) .....	80
II.4.7.4 Tri mécano biologique .....	81

II.4.7.4.1 Principe .....	81
II.4.7.4.2 Technologie .....	82
II.4.7.5 Les avantages et les inconvénients du compostage .....	83
II.5 Méthodes combinées .....	83
Conclusion .....	86
<b>CHAPITRE III : ETUDES STATISTIQUES DES DONNEES RELATIVES MONDIALES ET LOCALES</b>	
I. Le cas mondial .....	87
I.1 Introduction .....	87
I.1.2 Production et gestion mondiales des DM .....	87
I.1.3 Récupération mondiale des DM .....	89
II. Le cas local (Wilaya d'Alger) .....	90
II.1 Introduction .....	90
II.1.1 Présentation de la wilaya .....	90
II.1.2 Situation graphique .....	90
II.1.3 Situation démographique .....	90
II.1.4 Gestion des déchets ménagers et assimilés dans l'agglomération algéroise ...	91
II.1.5 Opérateurs chargées de la collecte et du transport des DMA .....	91
II.1.5.1 EPIC NETCOM .....	91
II.1.5.2 EPIC EXTRANET .....	91
II.1.6 Répartition des communes .....	92
II.1.7 Taux de collecte .....	92
II.1.8 Evolution de la quantité générée (T/AN) .....	92
II.1.9 Potentiel par catégorie de déchets à l'horizon 2030 .....	93
II.1.10 Recyclage et récupération .....	93
II.1.10.1 Par commune .....	93
II.1.10.2 Par wilaya .....	94
II.2 Présentation du centre d'enfouissement technique Hamici (GECETAL) .....	95
II.2.1 Pont bascule .....	96
II.2.2 Bâtiment administratif .....	96
II.2.3 Hangar de tri .....	98
II.2.4 Les étapes de tri .....	98
II.2.5 Station de transformation des sachets plastiques .....	100
II.2.6 Les casiers .....	101
II.2.7 Bassin de lixiviation .....	102
II.2.8 Station du compostage des déchets verts .....	103
II.3 Situation des déchets GECETAL .....	104
II.3.1 Statut des équipements .....	104
II.3.2 Statut des déchets .....	106
III. Cas de la wilaya de Tébessa .....	109
III.1 Situation géographique .....	109
III.2 Condition climatique .....	109
III.3 Population .....	110
III.4 Autre information .....	110
III.5.1 introduction .....	110
III.5.2 L'organigramme de l'établissement .....	111
III.5.3 Information relative à l'établissement .....	112
III.5.4 Fiche technique .....	112
III.5.5 Equipement d'exploitation .....	112



III.5.6 Situation des déchets EPWC TEBESSA .....	116
III.5.6.1 Composition des déchets ménagers .....	116
III.5.6.2 Quantités des déchets enfouis .....	117
III.5.6.3 Quantités des déchets récupérés .....	117
IV. Conclusion .....	118
<b>CHAPITRE IV : MODELISATION DE LA CHAINE DE TRI DES DM</b>	
I. Introduction .....	119
II. Qu'est-ce qu'une conception ? .....	119
III. L'outil Solidworks .....	120
IV. Quelques propriétés physiques et mécaniques des DM .....	120
<b>Partie I : conception mécanique des machines en Solidworks</b>	
I. Machine ouvreuse des sacs .....	121
I.1 L'utilisation .....	121
I.2 Les composants .....	122
I.2.1 Les parties mobiles .....	122
I.2.2. Les parties fixes .....	124
I.3 Conception finale du notre machine ouvre-sac RB .....	125
II. Machine de compression .....	127
II.1. Description et utilisation .....	127
II.2. Les composants .....	127
II.3 Conception final du notre machine de compression RB (compactage) .....	130
III. Trommel (criblage rotatif) .....	131
III.1 L'utilisation .....	132
III.2. Les composants .....	133
III.3. Conception finale du notre trommel-RB .....	135
IV. Machine de séchage et séparation pneumatique .....	137
IV.1. Description et utilisation .....	137
IV.2. Les composants et la conception finale de la machine .....	138
V. Machine de piquetage .....	139
V.1. Les composants .....	140
IV.2 Conception finale du notre machine de piquetage RB .....	143
VI. Les convoyeurs .....	144
VI.1. Conception des convoyeurs à bande .....	144
VI.1.1. Convoyeur à bande transporteur .....	144
VI.1.2. Convoyeur magnétique (over band) .....	145
VI.1.3. Convoyeur du courant Foucault .....	146
VI.1.4. Convoyeur de séparation par force centrifuge .....	147
VII. Crible vibrant et la table densimétrique .....	151
VII.1 le crible vibrant .....	152
VII.2 La table densimétrique .....	152
VII.3. Les composants .....	153
<b>Partie II : conception de la chaine de triage des DM</b>	
I. Introduction .....	158
II. Détermination de l'organigramme des étapes de triage .....	159

Conclusion .....	164
<b>CHAPITRE V : SYSTEME AUTOMATISE DE LA CHAINE DE TRI</b>	
<b>Partie I : simulation du système</b>	
I. Introduction .....	165
II. Définition d'un système automatisé .....	165
III. Les différentes parties du système automatisé .....	165
III.1. Partie opérative .....	165
III.2. La partie commande (P.C) .....	171
III.3. La partie relation (P.R) .....	171
IV. L'objectif de l'automatisation .....	171
V. Vue générale sur le système de SCADA .....	171
VI. Description du logiciel TIA PORTAL .....	172
VI.1. Vues de TIA Portal .....	172
VI.2. Avantages du logiciel TIA portal .....	172
VI.3. Bloc de programme (Main OB1) .....	173
VI.4. Configuration HMI .....	181
IV.5. Variables HMI.....	182
IV.6. S7-PLCSIM .....	182
VII. Fonctionnement du système .....	183
<b>Partie II : calcul du système</b>	
I. Introduction .....	189
II. Détermination des paramètres des convoyeurs .....	189
III. Calcul des distances (parcours) des chaînes de tri .....	189
IV. Calcul des temps des cycles .....	190
V. Détermination des temps nécessaires pour les temporisateurs .....	190
VI. Paramètres de fonctionnement de la chaîne de tri .....	191
Conclusion .....	193
Conclusion générale .....	194
Bibliographique	

## Liste des tableaux

N°	Nom	Page
<b><u>Chapitre I :</u></b>		
<b>Tableau I.1 :</b>	Différents types de déchets prévenants des agglomérations.	<b>5</b>
<b>Tableau I.2 :</b>	Quelques exemples de production de déchets par pays et par habitant.	<b>7</b>
<b>Tableau I.3 :</b>	Compositions physiques des DMA dans des différents pays.	<b>13</b>
<b>Tableau I.4 :</b>	Composition chimique d'un déchet ménager et assimilé.	<b>14</b>
<b>Tableau I.5 :</b>	Fourchettes de densités des DMA des villes Algériennes.	<b>15</b>
<b>Tableau I.6 :</b>	Rapport C/N de quelques matières organiques compostables.	<b>16</b>
<b><u>Chapitre II :</u></b>		
<b>Tableau II.1 :</b>	Avantages et inconvénients d'une décharge contrôlée	<b>22</b>
<b>Tableau II.2 :</b>	Tableau récapitulatif des Risques et Impacts	<b>24</b>
<b>Tableau II.3 :</b>	Les problèmes d'exploitation des CET et leurs causes	<b>25</b>
<b>Tableau II.4 :</b>	Production d'énergie par l'incinération des DMA, France, 2000.	<b>30</b>
<b>Tableau II.5 :</b>	Valorisation énergétique d'un tonne des ordures ménagères	<b>30</b>
<b>Tableau II.6 :</b>	Emissions de gaz toxiques, Pounds par GWh	<b>31</b>
<b>Tableau II.7 :</b>	Les avantages et les inconvénients de l'incinération	<b>34</b>
<b>Tableau II.8 :</b>	Longueurs d'onde des principales couleurs.	<b>53</b>
<b>Tableau II.9 :</b>	Tableau des capteurs actifs.	<b>57</b>
<b>Tableau II.10 :</b>	Les procédures de recyclage des DMA	<b>66</b>
<b>Tableau II.11 :</b>	les avantages et les inconvénients de la biométhanisation	<b>72</b>
<b>Tableau II.12 :</b>	Les avantages et les inconvénients du compostage.	<b>82</b>
<b>Tableau II.13 :</b>	Les pourcentages des méthodes de traitement des DMA en Algérie	<b>83</b>
<b>Tableau II.14 :</b>	Les pourcentages des méthodes de traitement DMA dans quelques pays européens (2016).	<b>83</b>
<b><u>Chapitre III :</u></b>		
<b>Tableau III.1 :</b>	Fiabilité et défaillance des équipements en heure (Gecetal)	<b>102</b>
<b>Tableau III.2 :</b>	Les données relatives des déchets ménagers GECETAL 2019	<b>104</b>
<b>Tableau III.3 :</b>	Compositions des déchets ménagers selon leurs poids (AND 2018).	<b>114</b>
<b>Tableau III.4 :</b>	Données relatives des quantités des déchets (EPWC TBS).	<b>115</b>
<b>Tableau III.5 :</b>	Les quantités en tonnes des déchets récupérés (EPWC TBS).	<b>115</b>
<b>Tableau III.6 :</b>	Les analyses des lixiviats (EPWC TBS)	<b>116</b>
<b><u>Chapitre IV :</u></b>		
<b>Tableau IV.1 :</b>	Propriétés physiques et mécaniques des quelques déchets ménagers	<b>118</b>
<b><u>Chapitre V:</u></b>		
<b>Tableau V.1 :</b>	Les dimensionnements des convoyeurs à bande sur notre conception.	<b>187</b>

**Liste des figures**

<b>N°</b>	<b>Nom</b>	<b>Page</b>
<b><u>Chapitre I :</u></b>		
<b>Figure I.1 :</b>	Les déchets biodégradables.	<b>2</b>
<b>Figure I.2 :</b>	Les déchets recyclables.	<b>2</b>
<b>Figure I.3 :</b>	Les déchets toxiques.	<b>3</b>
<b>Figure I.4 :</b>	Les déchets industriels banals.	<b>3</b>
<b>Figure I.5 :</b>	Les déchets industriels inertes.	<b>3</b>
<b>Figure I.6 :</b>	Les différentes catégories des déchets	<b>4</b>
<b>Figure I.7 :</b>	Impacts d'une décharge incontrôlée sur l'environnement.	<b>10</b>
<b>Figure I.8 :</b>	Types de pollution générée par les déchets solides.	<b>10</b>
<b>Figure I.9 :</b>	Fiche d'identification des déchets.	<b>11</b>
<b><u>Chapitre II :</u></b>		
<b>Figure II.1 :</b>	Casier d'un centre d'enfouissement des déchets (classe II).	<b>20</b>
<b>Figure II.2 :</b>	Schéma d'évolution de la production gazeuse dans une décharge.	<b>23</b>
<b>Figure II.3 :</b>	Installation type de collecte, transport et élimination du biogaz.	<b>23</b>
<b>Figure II.4 :</b>	coupe schématique de la technique de récupération des biogaz et des lixiviats dans un casier normalisé.	<b>24</b>
<b>Figure II.5 :</b>	(1) l'accumulation des lixiviats, (2) les fuites des digues.	<b>25</b>
<b>Figure II.6 :</b>	décharge sauvage en ALGERIE.	<b>26</b>
<b>Figure II.7 :</b>	Impact d'une décharge non contrôlée sur l'environnement.	<b>27</b>
<b>Figure II.8 :</b>	vue générale d'une UIOM (saint Ouen/Ile de France)	<b>28</b>
<b>Figure II.9 :</b>	Schéma descriptif d'une usine d'incinération des ordures ménagères (UIOM).	<b>29</b>
<b>Figure II.10 :</b>	La technicité d'une centrale thermique.	<b>30</b>
<b>Figure II.11 :</b>	(1) Four à grilles mobiles, (2) Four à grilles mobiles.	<b>31</b>
<b>Figure II.12 :</b>	Fours à lit fluidisé : (a) dense (LFC), (b) rotatif (LFR), (c) circulant (LFC).	<b>31</b>
<b>Figure II.13 :</b>	Schémas de principe du procédé d'épuration des fumées.	<b>32</b>
<b>Figure II.14 :</b>	Destinations des résidus de l'incinération des OMA	<b>33</b>
<b>Figure II.15 :</b>	Schéma du centre de tri	<b>36</b>
<b>Figure II.16 :</b>	Bornes de tri sélectif des déchets, en Suisse	<b>37</b>
<b>Figure II.17 :</b>	Crible vibrant	<b>39</b>
<b>Figure II.18 :</b>	Crible étoile	<b>39</b>
<b>Figure II.19 :</b>	Séparateur lourd/léger LA1400 Green pro	<b>40</b>
<b>Figure II.20 :</b>	Schéma de principe Tri aéraulique	<b>40</b>
<b>Figure II.21 :</b>	Schéma de la table densimétrique	<b>40</b>
<b>Figure II.22 :</b>	Trommel à deux mailles	<b>42</b>
<b>Figure II.23 :</b>	Coupe d'un hammermil horizontal	<b>43</b>
<b>Figure II.24 :</b>	(1) Hammermil vertical, (2) shear shredding.	<b>44</b>
<b>Figure II.25 :</b>	Unités de séparation aéraulique.	<b>45</b>
<b>Figure II.26 :</b>	Principe d'un hydrocyclonne.	<b>46</b>
<b>Figure II.27 :</b>	Schéma de principe du séparateur à Air-Kniffe.	<b>46</b>
<b>Figure II.28 :</b>	Schéma de principe du séparateur balistique.	<b>47</b>
<b>Figure II.29 :</b>	Mécanisme over band.	<b>49</b>
<b>Figure II.30 :</b>	Principe de base d'un séparateur magnétique par poulie magnétique	<b>49</b>
<b>Figure II.31 :</b>	Principe de base des séparateurs magnétiques à tambour	<b>49</b>

<b>Figure II.32 :</b>	Schéma d'un séparateur magnétique à Tambour.	<b>50</b>
<b>Figure II.33 :</b>	Démonstration pratique des courants de Foucault.	<b>50</b>
<b>Figure II.34 :</b>	Principe de base d'un séparateur de déchet par courants de Foucault.	<b>51</b>
<b>Figure II.35 :</b>	Plage de longueur d'onde.	<b>52</b>
<b>Figure II.36 :</b>	Plage de longueur d'onde.	<b>54</b>
<b>Figure II.37 :</b>	Principe de base d'un séparateur de déchet par tri optique.	<b>54</b>
<b>Figure II.38 :</b>	convoyeur à bande chevron en auge des déchets (moto réducteur)	<b>55</b>
<b>Figure II.39 :</b>	Convoyeur magnétique	<b>55</b>
<b>Figure II.40 :</b>	Capteur dans la chaîne de mesure.	<b>56</b>
<b>Figure II.41 :</b>	Détecteur de position	<b>59</b>
<b>Figure II.42 :</b>	Principe de détecteur de position.	<b>59</b>
<b>Figure II.43 :</b>	Principe d'interrupteur de proximité inductif.	<b>60</b>
<b>Figure II.44 :</b>	Automate programmable	<b>62</b>
<b>Figure II.45 :</b>	logo universelle des matériaux recyclable (ruban de möbius)	<b>64</b>
<b>Figure II.46 :</b>	les pays plus égalitaires recyclent mieux (rang de classement/inégalité de revenus)	<b>70</b>
<b>Figure II.47 :</b>	Etapas biochimiques de la dégradation anaérobie de la matière organique.	<b>71</b>
<b>Figure II.48 :</b>	Diagramme synoptique du procédé Valorga de méthanisation des ordures Ménagères.	<b>73</b>
<b>Figure II.49 :</b>	Compost affiné	<b>74</b>
<b>Figure II.50 :</b>	Schéma descriptif du principe de compostage.	<b>75</b>
<b>Figure II.51 :</b>	<i>Aspergillus fumigatus</i> . Capable de dégrader la cellulose, ce champignon est un habitant normal du compost.	<b>75</b>
<b>Figure II.52 :</b>	Les étapes du compostage.	<b>76</b>
<b>Figure II.53 :</b>	Courbe théorique de l'évolution de la température au cours du compostage.	<b>77</b>
<b>Figure II.54 :</b>	Les matières compostables et non compostables	<b>78</b>
<b>Figure II.55 :</b>	(a) Opération de compostage en andains, (b) Engin utilisé pour aérer le compost mis en andains.	<b>79</b>
<b>Figure II.56 :</b>	(a) Broyeur, (b) Retourneur d'andain, (c) Crible (trommel rotatif, tamis à disques, tamis vibrants).	<b>79</b>
<b>Figure II.57 :</b>	Schéma d'une installation industrielle de compostage avec incinération des rejets.	<b>80</b>
<b>Figure II.58 :</b>	Destination des déchets ménagers.	<b>80</b>
<b>Figure II.59 :</b>	Schéma d'une installation industrielle de compostage avec enfouissement technique des rejets.	<b>81</b>
<b>Figure II.60 :</b>	Schéma d'une installation industrielle de compostage par le tri mécano biologique CTR	<b>82</b>
<b>Figure II.61 :</b>	Traitement des déchets par la méthode combinée en France	<b>85</b>
<b><u>Chapitre III :</u></b>		
<b>Figure III.1 :</b>	Production et répartition des déchets ménagers au niveau mondiale.	<b>86</b>
<b>Figure III.2 :</b>	Situation des déchets dans les pauvres.	<b>86</b>
<b>Figure III.3 :</b>	Recyclage des matières primaires secondaires.	<b>87</b>
<b>Figure III.4 :</b>	Evolution de la population algérienne à l'horizon du 2030.	<b>89</b>
<b>Figure III.5 :</b>	Répartition des communes dans la wilaya d'ALGER.	<b>90</b>
<b>Figure III.6 :</b>	Taux de collecte des DM par EPIC (ALGER).	<b>90</b>
<b>Figure III.7 :</b>	Evolution des quantités DM au bout du 2030.	<b>90</b>
<b>Figure III.8 :</b>	Evolution des quantités des DM par catégorie.	<b>91</b>
<b>Figure III.9 :</b>	Récupération et recyclages des DM par commune (ALGER)	<b>92</b>

## LISTE DES FIGURES

<b>Figure III.10 :</b>	Récupération et recyclages des DM par wilaya (ALGERIE)	92
<b>Figure III.11 :</b>	Répartition des recycleurs et récupérateurs des DM (ALGER)	92
<b>Figure III.12 :</b>	Répartition des récupérateurs par sous-catégorie des DM (ALGER)	93
<b>Figure III.13 :</b>	Centre d'enfouissement technique El Hamici GECETAL-ALGER	93
<b>Figure III.14 :</b>	Localisation du CET Hamici GECETAL-ALGER.	94
<b>Figure III.15 :</b>	Pont bascule municipale et celui de réserve.	94
<b>Figure III.16 :</b>	Les bâtiments administratifs du GECETAL	95
<b>Figure III.17 :</b>	Les hangars de tri	96
<b>Figure III.18 :</b>	L'une des chaines de tri	96
<b>Figure III.19 :</b>	L'alimentation de la chaine de tri par un chargeur	97
<b>Figure III.20 :</b>	Chaine de triage manuel	97
<b>Figure III.21 :</b>	Convoyeur magnétique ( séparation des métaux fereux )	97
<b>Figure III.22 :</b>	Evacuation des déchets non valorisables par les camions vers le casier	98
<b>Figure III.23 :</b>	L'armoire électrique de la chaine de tri	98
<b>Figure III.24 :</b>	Station de transformation des sachets plastiques	98
<b>Figure III.25 :</b>	casier N°1 en dôme (GECETAL)	100
<b>Figure III.26 :</b>	casier N°2 en exploitation (GECETAL)	100
<b>Figure III.27 :</b>	casier N°3 en construction (GECETAL)	100
<b>Figure III.28 :</b>	bassin des lixiviats (GECETAL)	100
<b>Figure III.29 :</b>	La station membrane de traitement et la station de traitement osmose inverse	100
<b>Figure III.30 :</b>	Station du compostage des déchets verts	101
<b>Figure III.31 :</b>	Station de concassage des déchets inertes	102
<b>Figure III.32 :</b>	Taux des défaillances des équipements (heures/mois)	103
<b>Figure III.33 :</b>	Chaine de tri défaillante	103
<b>Figure III.34 :</b>	Presse à balle horizontale défaillante	103
<b>Figure III.35 :</b>	Pourcentage des déchets ménagers triés /enfouis	105
<b>Figure III.36 :</b>	Pourcentage des déchets ménagers récupérés /enfouis	105
<b>Figure III.37 :</b>	Potentielle de la valorisation des DMA (AND 2014)	105
<b>Figure III.38 :</b>	Localisation de la wilaya de Tébessa	107
<b>Figure III.39 :</b>	Centre d'enfouissement technique de la wilaya de Tébessa (EPWG CET)	108
<b>Figure III.40 :</b>	L'organigramme de l'EPWG CET Tébessa	109
<b>Figure III.41 :</b>	Bâtiment administratif EPWC TBS.	111
<b>Figure III.42 :</b>	Pont bascule et cabine de pesage des camions EPWC TBS.	111
<b>Figure III.43 :</b>	Point de déchargement des camions pour le triage	111
<b>Figure III.44 :</b>	Hangar de tri.	112
<b>Figure III.45 :</b>	Les trois chaines de triage manuel des déchets EPWC TBS.	112
<b>Figure III.46 :</b>	Echenillions des déchets récupérés.	112
<b>Figure III.47 :</b>	Casier N°1 fermé après l'exploitation EPWC TBS	112
<b>Figure III.48 :</b>	Casier N°2 en exploitation EPWC TBS	113
<b>Figure III.49 :</b>	Casier N°3 en construction EPWC TBS	113
<b>Figure III.50 :</b>	Les trois bassins des lixiviats EPWC TBS	113
<b>Figure III.51 :</b>	Incinérateur des déchets médicaux	113
<b>Figure III.52 :</b>	Composition des déchets ménagers (AND 2018) TBS	114
<b>Figure III.53 :</b>	progression des quantités des déchets par mois du CET (EPWCTBS)	115
<b>Figure III.54 :</b>	progression des quantités des déchets en Tonnes/An du CET (EPWC TBS)	115

### Chapitre IV :

<b>Figure IV.1 :</b>	Les étapes d'une conception.	<b>117</b>
<b>Figure IV.2</b>	L'outil Solidworks	<b>118</b>
<b>Figure IV.3 :</b>	Machine ouvert-sac (COPARM Aprisacchi AS 8)	<b>122</b>
<b>Figure IV.4 :</b>	Machine ouvert-sac (shear shredding COPARM APR 200)	<b>122</b>
<b>Figure IV.5 :</b>	Les bras de raclages (alimentation) de la machine ouvre-sac RB	<b>123</b>
<b>Figure IV.6 :</b>	Tambour denté de la machine (ouvre-sac RB)	<b>124</b>
<b>Figure IV.7 :</b>	Porte lames de la machine (ouvre-sac RB)	<b>124</b>
<b>Figure IV.8 :</b>	Ressort de la porte lames	<b>124</b>
<b>Figure IV.9 :</b>	La vis sans fin de la machine (ouvre-sac RB)	<b>125</b>
<b>Figure IV.10 :</b>	Châssis de la machine (ouvre-sac RB)	<b>125</b>
<b>Figure IV.11 :</b>	Dispositif de nettoyage	<b>125</b>
<b>Figure IV.12 :</b>	Trémie de réception	<b>126</b>
<b>Figure IV.13 :</b>	Vue en 3D des faces de la machine ouvre-sac RB	<b>126</b>
<b>Figure IV.14 :</b>	La coupe transversale de la machine ouvre-sac RB	<b>127</b>
<b>Figure IV.15 :</b>	Vue du plan 2D de la machine ouvre-sac RB	<b>127</b>
<b>Figure IV.16 :</b>	Machine de compression (presse à balle verticale)	<b>128</b>
<b>Figure IV.17 :</b>	Tambour motrice de la machine de compression-RB	<b>129</b>
<b>Figure IV.18 :</b>	Tambour d'adhérence de la machine de compression-RB	<b>129</b>
<b>Figure IV.19 :</b>	Chaine d'entraînement de la machine de compression-RB	<b>130</b>
<b>Figure IV.20 :</b>	Les supports du tambour d'adhérence de la machine de compression-RB	<b>130</b>
<b>Figure IV.21 :</b>	Le châssis de la machine de compression-RB	<b>130</b>
<b>Figure IV.22 :</b>	Les dispositifs de nettoyage des tambours de la machine de compression-RB	<b>131</b>
<b>Figure IV.23 :</b>	La Couverture de la machine de compression-RB	<b>131</b>
<b>Figure IV.24 :</b>	La coupe transversale du notre machine de compression-RB	<b>131</b>
<b>Figure IV.25 :</b>	Vue en 3D des faces de la machine de compression-RB	<b>132</b>
<b>Figure IV.26 :</b>	Vue du plan 2D de la machine de compression-RB	<b>132</b>
<b>Figure IV.27 :</b>	Trommel de type HENAN	<b>133</b>
<b>Figure IV.28 :</b>	Schématisation du notre crible rotatif	<b>133</b>
<b>Figure IV.29 :</b>	Vue du plan 2D du dimensionnement du tambour cylindrique du trommel-RB	<b>134</b>
<b>Figure IV.30 :</b>	Vue en 3D de la vis sans fin du trommel-RB	<b>134</b>
<b>Figure IV.31 :</b>	Vue en 3D de la ceinture dentée du trommel-RB.	<b>135</b>
<b>Figure IV.32 :</b>	Vue en 3D des roues supportables du tambour rotatif du trommel-RB	<b>135</b>
<b>Figure IV.33 :</b>	Plan 2D du châssis supérieur du trommel-RB	<b>135</b>
<b>Figure IV.34 :</b>	Plan 2D du châssis inférieur du trommel-RB	<b>136</b>
<b>Figure IV.35 :</b>	Vue en 3D de la trémie de chargement du trommel-RB	<b>136</b>
<b>Figure IV.36 :</b>	Vue en 3D de la trémie de déchargement du trommel-RB	<b>136</b>
<b>Figure IV.37 :</b>	Vue en 3D du notre crible rotatif (TROMMEL-RB)	<b>137</b>
<b>Figure IV.38 :</b>	Vue du plan 2D du trommel-RB.	<b>137</b>
<b>Figure IV.39 :</b>	Sécheur kit bactérien des déchets organiques.	<b>138</b>
<b>Figure IV.40 :</b>	Sécheur kit bactérien des déchets organiques.	<b>138</b>
<b>Figure IV.41 :</b>	Vue en 3D de la machine de séchage et séparation pneumatique-RB	<b>139</b>
<b>Figure IV.42 :</b>	Plan 2D de la machine de séchage et séparation pneumatique-RB	<b>140</b>
<b>Figure IV.43 :</b>	Le prototype de piquetage-RB inventé en 2020	<b>141</b>
<b>Figure IV.44 :</b>	Le tambour rotatif de la machine de piquetage RB	<b>141</b>
<b>Figure IV.45 :</b>	Les piqueurs de la machine de piquetage RB	<b>142</b>
<b>Figure IV.46 :</b>	Système bielle manuelle de la trémie de déchargement (crible vibrant).	<b>142</b>
<b>Figure IV.47 :</b>	Châssis de la machine de piquetage RB	<b>143</b>

<b>Figure IV.48 :</b>	Plate porteuse de la machine de piquetage RB	<b>143</b>
<b>Figure IV.49 :</b>	Dispositif de nettoyage de la machine de piquetage RB	<b>143</b>
<b>Figure IV.50 :</b>	Couvre de protection de la machine de piquetage RB.	<b>144</b>
<b>Figure IV.51 :</b>	Les composantes de la machine de piquetage RB.	<b>144</b>
<b>Figure IV.52 :</b>	Vue en 3D de la machine de piquetage RB sans couverture.	<b>144</b>
<b>Figure IV.53 :</b>	Plan en 2D de la machine de piquetage RB sans couverture.	<b>145</b>
<b>Figure IV.54 :</b>	Plan en 2D de la machine de piquetage RB avec la couverture.	<b>145</b>
<b>Figure IV.55 :</b>	Vue en 3D du convoyeur à bande avec tasseaux (transporteur)	<b>146</b>
<b>Figure IV.56 :</b>	Convoyeurs à bande avec tasseaux (transporteur et over band)	<b>146</b>
<b>Figure IV.57 :</b>	Les composants des convoyeurs à bande (transporteur et over band)	<b>147</b>
<b>Figure IV.58 :</b>	Vue en 3D des convoyeurs (séparation magnétique).	<b>147</b>
<b>Figure IV.59 :</b>	Le principe et les composants du convoyeur du courant Foucault.	<b>148</b>
<b>Figure IV.60 :</b>	Vue en 3D du convoyeur courant Foucault.	<b>148</b>
<b>Figure IV.61 :</b>	Plan en 2D du convoyeur du champ magnétique.	<b>148</b>
<b>Figure IV.62 :</b>	Plan en 2D du convoyeur du courant Foucault.	<b>149</b>
<b>Figure IV.63 :</b>	Trémie de réception du convoyeur centrifuge.	<b>150</b>
<b>Figure IV.64 :</b>	La couvre des bras racleurs du convoyeur centrifuge.	<b>150</b>
<b>Figure IV.65 :</b>	Châssis du convoyeur centrifuge.	<b>150</b>
<b>Figure IV.66 :</b>	Les bras racleurs du convoyeur centrifuge.	<b>151</b>
<b>Figure IV.67 :</b>	Coupe transversale des composants du convoyeur centrifuge et les sens de projection des particules.	<b>151</b>
<b>Figure IV.68 :</b>	Vue en 3D du convoyeur centrifuge.	<b>152</b>
<b>Figure IV.69 :</b>	Plan en 2D du convoyeur (séparation par la force du centrifuge).	<b>152</b>
<b>Figure IV.70 :</b>	Crible vibrant plan type BEZNER	<b>153</b>
<b>Figure IV.71 :</b>	Principe de la table densimétrique type ALLGAIER	<b>154</b>
<b>Figure IV.72 :</b>	Châssis du notre crible vibrant et sa table densimétrique, fixé sur quatre ressorts	<b>154</b>
<b>Figure IV.73 :</b>	Trémie d'alimentation N°1 pour le crible vibrant.	<b>155</b>
<b>Figure IV.74 :</b>	Tamis N°1 du crible vibrant et sa sortie (1).	<b>155</b>
<b>Figure IV.75 :</b>	Tamis N°2 du crible vibrant et sa sortie (2).	<b>155</b>
<b>Figure IV.76 :</b>	Trémie d'alimentation N°2 pour la table densimétrique	<b>156</b>
<b>Figure IV.77 :</b>	Ventilateur de la table densimétrique	<b>156</b>
<b>Figure IV.78 :</b>	La couverture du ventilateur et les sorties (3) et (4)	<b>156</b>
<b>Figure IV.79 :</b>	Le bras du système bielle manivelle de la table densimétrique	<b>156</b>
<b>Figure IV.80 :</b>	La table densimétrique	<b>157</b>
<b>Figure IV.81 :</b>	Coupe transversale du notre crible vibrant et sa table densimétrique	<b>157</b>
<b>Figure IV.82 :</b>	Vue en 3D de la conception du notre crible vibrant et sa table densimétrique	<b>158</b>
<b>Figure IV.83 :</b>	Plan en 2D du notre crible vibrant et sa table densimétrique.	<b>158</b>
<b>Figure IV.84 :</b>	Schéma de processus de la chaine technologique de tri des DM (1 <sup>o</sup> édition).	<b>161</b>
<b>Figure IV.85 :</b>	Schéma de processus de la chaine technologique de tri des DM (produits lourds).	<b>162</b>
<b>Figure IV.86 :</b>	Schéma de processus de la chaine technologique de tri des DM (produits légers).	<b>163</b>
<b>Figure IV.87 :</b>	Vues des plans en 2D de la conception des deux chaines de tri.	<b>164</b>

**Chapitre V :**



<b>Figure V.1 :</b>	Structure d'un système automatisé	<b>165</b>
<b>Figure V.2 :</b>	Structure de la partie opérative	<b>166</b>
<b>Figure V.3 :</b>	Distribution et conversion par Préactionneurs.	<b>166</b>
<b>Figure V.4:</b>	Image d'un contacteur	<b>166</b>
<b>Figure V.5 :</b>	Image d'un relais	<b>167</b>
<b>Figure V.6 :</b>	Schémas de fonctionnement d'un actionneur	<b>167</b>
<b>Figure V.7 :</b>	Moteur électrique triphasés	<b>168</b>
<b>Figure V.8 :</b>	Image d'un vérin tige rentrée/sortie au repos.	<b>168</b>
<b>Figure V.9 :</b>	Image d'un vérin double effet	<b>168</b>
<b>Figure V.10 :</b>	Vérin manuel vis-écrou.	<b>169</b>
<b>Figure V.11 :</b>	Schémas de fonctionnement d'un capteur	<b>169</b>
<b>Figure V.12 :</b>	Illustration de la composition logicielle de TIA PORTAL.	<b>172</b>
<b>Figure V.13 :</b>	Vue des réseaux des blocs d'organisation et l'aperçu sur la fenêtre du TIA PORTAL.	<b>172</b>
<b>Figure V.14 :</b>	Le réseau N°1 du bloc de programme (Main OB1)	<b>173</b>
<b>Figure V.15 :</b>	Le réseau N°2 du bloc de programme (Main OB1)	<b>173</b>
<b>Figure V.16:</b>	Le réseau N°3 du bloc de programme (Main OB1)	<b>174</b>
<b>Figure V.17 :</b>	Le réseau N°4 du bloc de programme (Main OB1)	<b>174</b>
<b>Figure V.18 :</b>	Le réseau N°5 du bloc de programme (Main OB1)	<b>174</b>
<b>Figure V.19 :</b>	Le réseau N°6 du bloc de programme (Main OB1)	<b>175</b>
<b>Figure V.20 :</b>	Le réseau N°7 du bloc de programme (Main OB1)	<b>175</b>
<b>Figure V.21 :</b>	Le réseau N°8 du bloc de programme (Main OB1)	<b>175</b>
<b>Figure V.22 :</b>	Le réseau N°9 du bloc de programme (Main OB1)	<b>176</b>
<b>Figure V.23 :</b>	Le réseau N°10 du bloc de programme (Main OB1)	<b>176</b>
<b>Figure V.24 :</b>	Le réseau N°11 du bloc de programme (Main OB1)	<b>176</b>
<b>Figure V.25 :</b>	Le réseau N°12 du bloc de programme (Main OB1)	<b>176</b>
<b>Figure V.26:</b>	Le réseau N°13 du bloc de programme (Main OB1)	<b>177</b>
<b>Figure V.27 :</b>	Le réseau N°14 du bloc de programme (Main OB1)	<b>177</b>
<b>Figure V.28 :</b>	Le réseau N°15 du bloc de programme (Main OB1)	<b>177</b>
<b>Figure V.29 :</b>	Le réseau N°16 du bloc de programme (Main OB1)	<b>178</b>
<b>Figure V.30 :</b>	Le réseau N°17 du bloc de programme (Main OB1)	<b>178</b>
<b>Figure V.31 :</b>	Le réseau N°18 du bloc de programme (Main OB1)	<b>178</b>
<b>Figure V.32 :</b>	Le réseau N°19 du bloc de programme (Main OB1)	<b>179</b>
<b>Figure V.33 :</b>	Le réseau N°20 du bloc de programme (Main OB1)	<b>179</b>
<b>Figure V.34 :</b>	Le réseau N°21 du bloc de programme (Main OB1)	<b>179</b>
<b>Figure V.35 :</b>	Le réseau N°22 du bloc de programme (Main OB1)	<b>179</b>
<b>Figure V.36:</b>	Le réseau N°23 du bloc de programme (Main OB1)	<b>180</b>
<b>Figure V.37 :</b>	Le réseau N°24 du bloc de programme (Main OB1)	<b>180</b>
<b>Figure V.38 :</b>	Le réseau N°25 du bloc de programme (Main OB1)	<b>180</b>
<b>Figure V.39 :</b>	Le réseau N°26 du bloc de programme (Main OB1)	<b>181</b>
<b>Figure V.40 :</b>	Le réseau N°27 du bloc de programme (Main OB1)	<b>181</b>
<b>Figure V.41 :</b>	Le réseau N°28 du bloc de programme (Main OB1)	<b>181</b>
<b>Figure V.42 :</b>	vue racine du HMI du système automatisé de la chaîne de triage	<b>182</b>
<b>Figure V.43 :</b>	Exemple des quelques variables de l'HMI	<b>182</b>
<b>Figure V.44 :</b>	Vue générale du logiciel S7-PLCSIM.	<b>182</b>
<b>Figure V.45 :</b>	Vue du système automatisé de la chaîne en état d'arrêt (automatique)	<b>185</b>
<b>Figure V.46:</b>	Vue du système automatisé de la chaîne en état de marche et les modes de démarrages (manuel « S7-PLCSIM» / auto « HMI»)	<b>185</b>
<b>Figure V.47 :</b>	Vue du système (Processus et les nomenclatures de ces composants)	<b>188</b>
<b>Figure V.48 :</b>	Vue des données statistiques sur IHM et S7-PLCSIM.	<b>188</b>

**Liste des abréviations**

<b>AC</b>	Tension alternative
<b>ADEME</b>	Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie française
<b>AGV</b>	Acides gras volatils
<b>AI</b>	Analog Input (Entrée Analogique)
<b>AND</b>	Agence national des déchets
<b>AO</b>	Analog Output (Sortie Analogique)
<b>API</b>	Automate programmable industriel
<b>APS</b>	Automate programmable de sécurité
<b>C.T.P</b>	Chaîne de tri des produits légers/lourds
<b>C/N</b>	Rapport carbone azote
<b>C/V</b>	Teneur en volatils et en cendres
<b>CET</b>	Centre d'enfouissement technique
<b>CPT</b>	Capteur de présence
<b>CPU</b>	Central Processing Unit,
<b>CSDU</b>	Centre de Stockage des Déchets Ultimes
<b>CV</b>	Convoyeur
<b>DC</b>	Tension continue
<b>DI</b>	Déchets inertes
<b>DI</b>	Digital Input (Entrée TOR)
<b>DIB</b>	Déchets industriels banals
<b>DM</b>	Déchets ménagers
<b>DMA</b>	Déchets ménagers assimilés
<b>DMS</b>	Déchets ménagers solides
<b>DO</b>	Digital Input (Sortie TOR)
<b>DS</b>	Déchets spéciaux
<b>EPIC</b>	Etablissement publique industrielle commerciale
<b>EPWG-CET</b>	Etablissement public de wilaya de gestion des centres d'enfouissement technique de Tébessa
<b>FBD</b>	Boîtes fonctionnelles des diagrammes
<b>FFOM</b>	Fraction fermentescible des ordures ménagères
<b>GECETAL</b>	Gestion des Centres d'Enfouissement Techniques
<b>Hu</b>	Taux d'humidité ou teneur en eau
<b>I/O</b>	Input - Output
<b>IHM</b>	Interfaces homme-machine
<b>IL</b>	Instruction List
<b>IM</b>	Interface Module (Coupleur)
<b>IR</b>	Infrarouge
<b>LD</b>	Ladder Diagram
<b>LED</b>	Light emitting diode
<b>MH</b>	Matière humide
<b>MIOM</b>	Mâchefers d'incinération des ordures ménagères
<b>MO</b>	Matière organique
<b>MS</b>	Matière sèche
<b>NETCOM</b>	Etablissement de Nettoyement et de Collecte des Ordures Ménagères
<b>OB</b>	Bloc d'organisation (programme Main OB1)
<b>OM</b>	Ordures ménagers
<b>P. N°1/2</b>	Capteur de poids peseur N°1/2
<b>PC</b>	Partie commande

## LISTE DES ABREVIATIONS

---

<b>PCI</b>	Pouvoir calorifique inférieur
<b>PCS</b>	Pouvoir calorifique supérieur
<b>PEHD</b>	polyéthylène haute densité
<b>PET</b>	polyéthylène téréphtalate
<b>PLC</b>	Programmable Logic Controller
<b>PNAE-DD</b>	Plan nationale d'actions environnementales et du développement durable
<b>PO</b>	Partie opérative
<b>PROGDEM</b>	Programme National de Gestion des Déchets Ménagers et Assimilés
<b>PS</b>	Power Supply (Alimentation)
<b>PVC</b>	polychlorure de vinyle
<b>REFIOM</b>	Résidus d'épuration des fumées d'incinération des ordures ménagères
<b>SCADA</b>	Système de contrôle ou d'acquisition des données
<b>SM</b>	Signal Module
<b>SNE</b>	Stratégie nationale environnementale
<b>ST</b>	Structured Text
<b>TOR</b>	Capteur logique tout ou rien
<b>UIOM</b>	Usine d'incinération des ordures ménagères
<b>UV</b>	Ultraviolet

<b>%</b>	Pourcentages
<b>Dp</b>	Distance de parcours
<b>GW</b>	Gigawatts
<b>hab</b>	Habitants
<b>Hp</b>	Potentiel hydrogène
<b>kg</b>	Kilogramme
<b>km<sup>2</sup></b>	Kilomètre carrée
<b>kWh</b>	kilowattheure
<b>MW</b>	Mégawatts
<b>t</b>	Tonnes
<b>Tc</b>	Temps du cycle

## ملخص

تعد مشكلة المخلفات المنزلية أحد أهم مشاكل العصر التي تؤرق حياة البشرية و شركائها في الحياة على كوكبنا البديع.

حيث تعد الحاجة الى وجود تقنيات لفرز المخلفات المنزلية أمر لا مفر منه في ظل التأثيرات السيئة على صحة الإنسان و البيئة من ناحية ، و من ناحية أخرى الإستفادة من تقنيات التدوير والإسترجاع التي تثمن المواد الأولية التي تعد في طريقها الى النفاذ.

تتناول مذكرة نهاية الدراسة هذه مدى خطورة التراكم المفرط للنفايات المنزلية على المستوى الحضري والريفي , إقليميا و عالميا وطرق معالجتها ، وتسييرها أخذين بعين الإعتبار التجارب الدولية و المحلية في هذا الميدان.

وبناء على ذلك قد قمنا بتصميم وإبتكار سلسلة تكنولوجية لفرز النفايات المنزلية وفق الظروف التي تفرضها طبيعة السلوكيات الإستهلاكية للمجتمع الجزائري والخصائص هذه النفايات.

حيث تمثلت هذه السلسلة في تسعة أليات للفرز خاصة بكل مرحلة حسب مكونات هذه المخلفات . وفي الدراسة التجريبية قمنا بإنجاز نموذج مصغر لألة فرز المواد البلاستيكية اللينة.

وفي نفس الإطار قمنا بتزويد هذه السلسلة بنظام تحكم اتوماتيكي في نواتج عملية الفرز وفق خصائص المواد المكونة لهذه النفايات.

### الكلمات المفتاحية :

النفايات المنزلية , الفرز , إعادة التدوير,السلسلة التكنولوجية.

## Résumé

Le problème des déchets ménagers est l'un des problèmes les plus importants de l'époque qui tourmente la vie de l'humanité et de ses partenaires dans la vie sur notre merveilleuse planète.

Le besoin de techniques de tri des déchets ménagers est inévitable au regard des impacts négatifs sur la santé humaine et l'environnement d'une part, et d'autre part, pour bénéficier de techniques de recyclage et de valorisation, en valorisant les matières premières qui sont en voie d'épuisement.

Dans Ce mémoire de fin d'étude on a traité la gravité de l'accumulation excessive de déchets ménagers au niveau urbain et rural, régional et mondial, Ainsi que les méthodes de traitement et de gestion, en tenant compte des expériences internationales et locales dans ce domaine

Sur cette base, nous avons conçu et innové une chaîne technologique de tri des déchets ménagers selon les conditions imposées par la nature des comportements de consommation de la société algérienne et les caractéristiques de ces déchets.

Cette Chaîne technologique se composait de neuf lignes de tri pour chaque étape en fonction des composants de ces déchets.

Dans notre étude expérimentale, nous avons créé un prototype de la machine de tri des matières en plastiques souples.

Dans le même contexte, nous avons équipé cette chaîne d'un système de contrôle automatique et d'Acquisition des données du processus de tri qui permet le bon fonctionnement de la chaîne de tri et à travers lequel nous déduisons les données statistiques et technologiques.

**Mots clés :**

Déchets ménagers, tri, recyclage, chaîne technologique.

**Abstract**

The problem of household waste is one of the most important problems of the times that plague the lives of humanity and its partners in life on our wonderful planet.

The need for techniques for sorting household waste is unavoidable in light of the negative impacts on human health and the environment on the one hand, and on the other hand, to benefit from recycling and recovery techniques that value raw materials that are on their way to depletion.

This thesis of the end of the study deals with the seriousness of the excessive accumulation of household waste at the urban and rural level regionally and methods of treating it and managing it, taking into account the international and local experiences in this field.

Based on that, we have designed and created a technological chain of sorting household waste according to the conditions imposed by the nature of the consuming behaviors of the Algerian society and the characteristics of this waste.

Where this technological chain consisted of nine mechanisms according to each stage based on properties of the components of these wastes.

In our experimental study, we created a prototype of the soft plastic material sorting machine.

In the same context, we have equipped this chain with an automatic control system for the products of the sorting process according to the properties of the materials that make up these wastes.

**Key words:**

Household waste, sorting, recycling, technological chain.

# **INTRODUCTION GENERALE**

## INTRODUCTION GENERALE

L'évolution des modes de vie a conjuguée la croissance démographique en raison de l'urbanisation accélérée, qui contribue effectivement sur la progression des quantités des déchets ménagers. Ce phénomène est plus critique dans les pays en développement qui n'ont pas toujours les moyens nécessaires pour les gérer convenablement.

Parallèlement, la composition de ces déchets est passée d'un profil organique (déchets alimentaires) à des matériaux complexes (produits en fin de vie, plastiques et emballages) qui présentent des risques majeurs pour la santé et l'environnement.

Il en résulte que la gestion des déchets ménagers se situe au confluent des activités économiques de production et des impératifs de protection du cadre de vie des populations.

Ce travail consiste à proposer une solution pour ce dernier par la conception d'une chaîne technologique de tri non seulement pour minimiser les taux d'enfouissement mais aussi pour soutenir le processus de recyclage par les déchets récupérés et celui du compostage par la récupération de la matière organique qui a été dans la plus part négligé, tandis que les valorisations de ces derniers contribuent à la manque des financements .

En premier lieu, à comprendre la portée de ces instruments et les objectifs qui leurs sont attribués à travers une lecture critique. En deuxième lieu, il vise à évaluer la prise en charge des CET par ces instruments dans le cas de l'agglomération Algéroise.

Cette étude est divisée en deux grandes parties, une partie bibliographique et une partie expérimentale.

La partie bibliographique est composée de trois chapitres :

- Le premier chapitre comprend des généralités sur les déchets.
- Le deuxième chapitre présente les techniques de traitement et la gestion des DMA.
- Le troisième chapitre analyse des cas mondial et locaux (ALGER et Tébessa)

La partie expérimentale composée de deux chapitres, seront consacrées aux matériels et méthodes d'analyses qu'on a les effectuées pour proposer la conception d'une chaîne technologique de tri des déchets ménagers dans le processus de recyclage.

En fin, les résultats, discussion et recommandation feront l'objet de la deuxième partie de ce manuscrit suivie d'une conclusion générale.

# **CHAPITRE I : GENERALITES SUR LES DECHETS**



## GENERALITES SUR LES DECHETS

### I- Introduction

Devant la croissance démographique qui est en proportion avec celui des déchets, l'amélioration de la qualité de vie et la grande densité des zones urbaines, de nouvelles formes de pollution sont générées et représente des menaces sur les différentes axes que ça soit environnemental, économique, sanitaire...etc. Il est devenu donc nécessaire de trouver une solution convenable qui prend en considération les dégâts de ce dernier, non seulement par l'enfouissement et le stockage des déchets solides doit permettre une gestion efficace des déchets mais aussi le traitement après drainage et récupération des deux effluents qui sont les biogaz et les lixiviats.

Dans ce chapitre nous allons donner des généralités, notion de base et la classification des déchets ainsi que les caractéristiques physiques et chimiques des DMA qui sont les bases pour le principe de fonctionnement des machines de triage que nous allons les proposer sous forme d'une chaine technologie de tri des déchets ménagers dans les chapitres suivants.

### II- Définition et notion de base des déchets

#### II.1 Définition des déchets

Selon l'article 3 de la loi algérienne N°01-19 du 12 décembre 2001 relative à la gestion, au contrôle et à l'élimination des déchets (arrête officiel) définit les déchets comme suit :

**Déchets** : tout résidu d'un processus de production, de transformation ou d'utilisation et plus généralement toute substance, ou produit et tout bien meuble dont le propriétaire ou le détenteur se défait, projette de se défaire, ou dont il a l'obligation de se défaire ou de l'éliminer [1].

Selon la Directive Européenne du 11 novembre 2004 « Est un déchet, toute substance ou tout objet dont le détenteur se défait ou dont il a l'intention ou l'obligation de se défaire ». Un déchet est donc 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 son détenteur destiné à l'abandon [2].

#### II.2 Classification des déchets

La classification des déchets peut être faite de différentes façons, selon que l'on se base sur certaines caractéristiques, ou sur les différents secteurs d'activité ou de production, il est difficile de proposer une classification idéale.

##### II.2.1 Classification basée sur l'état physique

- **Déchets solides** : ordures ménagères, déchets de métaux, de bois, de plastique,...
- **Boues** : boues de stations d'épuration des eaux usées urbaines ou industrielles, boues de traitement de surface, d'hydrocarbures,...
- **Déchets liquides ou pâteux** : goudrons, huiles usagées,....

Les inconvénients de cette classification sont la possibilité de changement d'état physique au cours du temps et l'existence de déchets polyphasés.

##### II.2.2 Classification basée sur la source de production

- **Les déchets de l'agriculture** : il s'agit essentiellement des déchets organiques tels que les déjections d'élevage, les déchets des forêts, les cadavres d'animaux ainsi que les résidus chimiques (engrais, pesticides).
- **Les déchets ménagers et assimilés** : ils comprennent les ordures ménagères, les déchets de jardins, les déchets municipaux et les déchets industriels banals parmi lesquels nous pouvons citer :

#### A- Les déchets biodégradables :

Ils correspondent aux :

- Déchets de maison qui sont produits par les particuliers
- Déchets alimentaires qui sont issus essentiellement des métiers de la restauration et de l'industrie agro-alimentaire...



**Figure I.1:** les déchets biodégradables.

#### B- Les déchets recyclables :

Un déchet recyclable est un matériau que l'on peut techniquement recycler. Pour qu'un déchet soit recyclé, il faut qu'il soit récupéré dans le cadre d'une collecte de tri sélectif ou par le triage automatique et/ou celui manuel

Il existe plusieurs catégories d'objets recyclables pouvant servir à fabriquer de nouveaux produits :

Les déchets ménagers et assimilés sont surtout produits par les ménages, les commerçants, les artisans, les entreprises, les industries, etc... Il s'agit de produits non dangereux ni polluants tels que : le verre, les métaux, les papiers, les plastiques.



**Figure I.2 :** les déchets recyclables.

➤ **Les déchets industriels** : ils comprennent :

**A- Les déchets industriels spéciaux** : sont composés des déchets toxiques industriels (explosif, comburant, inflammable, irritant, nocif, cancérigène, infectieux, corrosif...) et les déchets hospitaliers.



**Figure I.3** : les déchets toxiques.

**B- Les déchets industriels banals** : comprenant bois, textiles, caoutchouc et constitués de déchets non dangereux et non inertes.



**Figure I.4** : les déchets industriels banals.

**C- Les déchets industriels inertes** : ce sont des déchets non susceptibles d'évolution physique, chimique ou biologique importante. Ils sont essentiellement constitués de déblais et gravats et ne doivent pas être mélangés avec d'autres déchets.

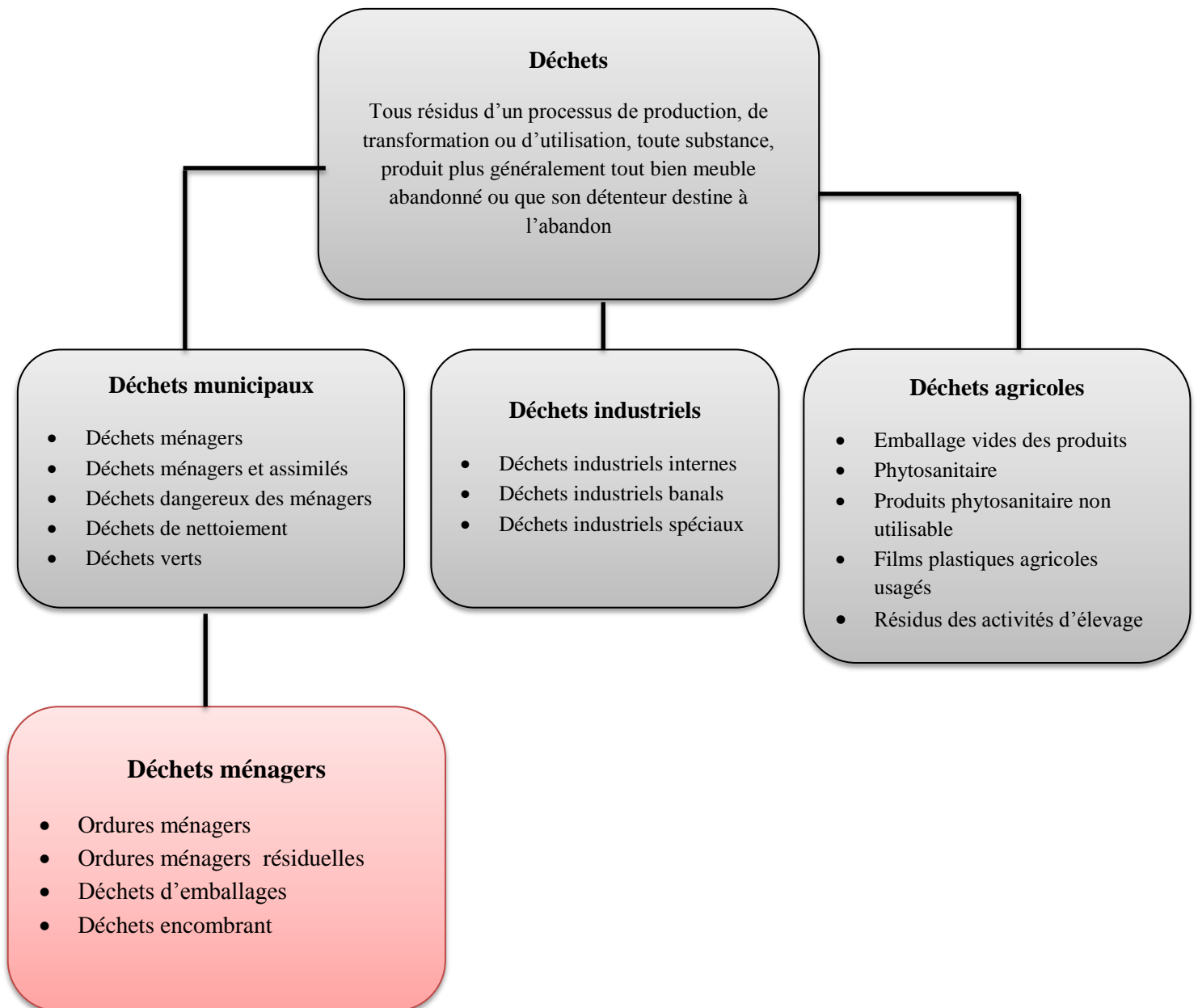


**Figure I.5** : les déchets industriels inertes.

### II.2.3 Autres façons de classification

Les déchets peuvent aussi être classés selon leur position dans le processus de traitement :

- Les déchets primaires : déchets avant traitement.
- Les déchets secondaires : déchets issus du traitement d'un déchet ou d'un effluent.
- Les déchets ultimes : dernier maillon de la chaîne de traitement [3].



**Figure I.6** : les différentes catégories des déchets

Source : tiré de l'ouvrage Guillard et Legendre, 2003, P. 27.

### II.3 Les différents types de déchets urbains

Les déchets solides urbains s'étendent aux déchets domestiques à ceux qui leurs sont assimilables par la nature et le volume. Le tableau I.1 résume les différents types de déchet [3].

**Tableau I.1:** Différents types de déchets prévenants des agglomérations [3].

Types	Définitions	Compositions	
		organiques	Minéraux
Déchets ménagers	Déchets provenant des ménages et de l'industrie qui peuvent être collectés dans les poubelles	Déchets de cuisine, Papiers, restes des aliments, etc....	Cendres, porcelaines, aciers,
Déchets Industriels	Déchets issus de la production de matières et d'industries de transformations	Déchets de la production de l'industrie alimentaire, déchet de bois.	Cendres, matériaux d'emballages
Balayure des Rues	Déchets qui encombrant les et les marchés.	Déchets des marchés, feuilles d'arbre	Matériaux de sables, poussières.
Déchets d'abattoirs	Déchets provenant des abattoirs et les ateliers d'équarrissages	Excréments d'animaux, corne, os, sabots.	
Déchets encombrants	Ordures ménagères et industrielles qui doivent être collectées à part à la raison de leurs volumes.	Objets encombrants des habitations, gros déchets des jardins, pneus.	
Déchets dangereux	Déchet ménagers contenant des substances nuisibles	Batteries, restes de peintures, désinfectants.	
Déchets des hôpitaux	Déchets hygiéniques contre l'infection, préparation, pharmaceutiques, déchets issus des chambres des malades, des salles des soins et des laboratoires.		

### II.4 Différents modes d'élimination et de traitement des déchets solides

La notion d'élimination des déchets englobe toutes les techniques de la collecte, du transport et du traitement.

#### II.4.1 La collecte

C'est la manipulation des ordures depuis le producteur (population) jusqu'au traitement, on distingue deux étapes :

- Le ramassage des résidus à partir des différents points (vois publiques, trottoirs, proximité des maisons et immeubles) où les ordures ménagères sont stockées avant enlèvement.
- Le transport de ces ordures vers une destination appropriée (décharge, usine de traitement) [4].

## II.4.2 Traitement

### A- L'incinération

Elle consiste à porter une matière organique à haute température en présence d'oxygène pendant un temps suffisant. Elle est appliquée à des ordures ayant un PCI élevé ( $PCI > 7200 \text{Kg}$ ) due à la présence d'une forte proportion de papiers cartons, plastiques, etc....et une teneur en eau relativement faible ( $Hu < 50\%$ ). [4]

### B- Le stockage

La solution technique retenue par notre pays pour le traitement des déchets ménagers et assimilés est l'enfouissement. Aucune station d'incinération des déchets ménagers n'existe pour l'instant en Algérie. L'option pour la mise en décharge ou enfouissement est motivée par :

- La qualité des déchets ménagers algériens qui défavorise l'incinération (grande humidité, faible rapport carbone /azote, faible PCI...etc.).
- Le coût élevé d'un centre d'incinération par rapport à un centre d'enfouissement

### C- Le compostage : on distingue deux types :

- **Le lombric compostage** : qui consiste simplement à faire manger et rejeter sous forme digérée la partie organique des déchets ménagers par des vers de « fumier » qu'on appelle aussi lombrics rouges ;
- **Le compostage des déchets verts** : avec utilisation des déchets verts (feuille d'arbre, bois...) du compost comme engrais ;

### D- Le recyclage : recyclé, réutilisé ou réduire

## II.5 Impacts des déchets sur l'environnement

Les déchets peuvent engendrer l'émission de certains polluants dans le milieu naturel (air, eau, sol) et de ce fait, créer un impact sur la santé humaine. La législation des pays industrialisés tend à réduire au minimum les risques sanitaires des installations de traitement et d'élimination des déchets [5].

## III- Les déchets ménagers

### III.1 Définitions

La grande majorité des services chargés de la gestion des déchets des différents pays définissent les ordures ménagères comme un ensemble de résidus hétérogènes dans lesquelles on trouve :

- Les détritiques, de toute nature, générés par les ménages (déchets de nourriture, de préparation de repas, balayures, textile, journaux ... etc.). Les déchets de bureaux, commerces, industries et administrations, déchets des cours et jardins dans la mesure où ces déchets peuvent prendre place dans une limite à fixer, dans les récipients individuels ou collectifs aux fins d'enlèvement par les services municipaux ;
- Les crottins, fumier, feuilles mortes, bois résidu du nettoyage et du balayage de la voirie, jardins, cimetières, parcs, etc., rassemblés aux fins d'évacuation.
- Les détritiques de foires et marchés, etc....
- Tout objet abandonné sur la voie publique, ainsi que les cadavres des petits animaux.

Cette énumération exclue formellement :

- Les déblais, gravats, décombres et débris des chantiers de travaux publics et constructions.

Tous les objets qui, en raison de leur encombrement, poids ou nature, ne pourraient être chargés dans les véhicules de collectes [6].

**Remarque :**

*Il existe d'autre type des déchets qui ne sont pas pris en considération dans notre étude telle que :*

- *Les résidus des collectivités (cantines, écoles, casernes, hospices, prisons ...etc.), ainsi que les résidus des hôpitaux ayant un caractère ménager que l'on rassemble dans des récipients appropriés.*
- *Les déchets anatomiques et infectieux des hôpitaux et abattoirs ainsi que les pansements, les médicaments, seringues et autres objets pouvant véhiculer des pollutions bactériologiques ou médicamenteuses.*
- *Les déchets industriels et commerciaux.*

**III.2 Définition des déchets ménagers et assimilés**

Ils comprennent les déchets des ménages et les déchets industriels banals(DIB) des entreprises. Non toxiques eux aussi, ils représentent certaines caractéristiques de fermentescibles (papier, verre, et textile), non souillés par des produits toxiques ou polluants [2].

**III.3 Production et évolution des déchets ménagers****III.3.1 Quantités générées et leur variabilité**

Les quantités de déchets ménagers générées dans une ville dépendent essentiellement de :

- L'habitat (milieu rural ou urbain avec un taux généralement plus faible en milieu rural).
- Le niveau de vie, les habitudes et les mœurs de la population (la production tend à s'accroître avec le niveau de vie ; ex. Zones résidentielles par rapport aux autres zones.).
- Les conditions climatiques, ainsi que les variations annuelles et saisonnières.
- Les mouvements plus ou moins importants de la population au cours de l'année : foires, pèlerinage, vacances annuelle, etc.
- Des modes de conditionnement des denrées et des marchandises.

**III.3.2 Mesure de la production des déchets ménagers**

Les quantités de déchets ménagers produites peuvent s'exprimer en poids ou en volume. Cependant, en raison de la compressibilité des déchets ménagers, seul le poids constitue une donnée fiable et mesurable sur un pont-basculé.

On mesure alors les quantités de déchets ménagers en kg/habitant/jour ou par année. Par contre pour définir la taille des récipients, l'estimation des volumes est nécessaire.

En pratique et en particulier dans les pays en voie de développement comme le cas de notre pays, on devra toujours faire la distinction entre les quantités de déchets ménagers générées et les quantités de ces ordures collectées, ces dernières étant souvent inférieures aux premières.

**Tableau I.2 :** Quelques exemples de production de déchets par pays et par habitant [5].

Zones de production	Production (kg/hab./j)
Pays hautement industrialisés	1,1 - 1,2
Pays moins avancés	0,35
France (moyenne nationale)	1
Zone urbaine de France	0,8 – 1
Zone rurale de France	0,6 - 0,8
Algérie	0,9

### III.4 Intérêt des déchets ménagers

Depuis le milieu des années 70 et plus précisément le début des augmentations des prix pétroliers en 1974, on assiste à un changement important dans la façon de considérer les déchets urbains en général et les déchets ménagers en particulier. Cela se traduit par le fait qu'il ne faut plus les regarder comme des matériaux à éliminer par tous les moyens, mais plutôt comme matière première.

Ceci dit, il existe plusieurs modes de récupération des déchets ménagers dont les plus connues sont :

- **L'incinération ou l'enfouissement** : avec la récupération d'énergie ;
- **Le recyclage** : Consiste à diminuer les déchets ménagers, En amont on doit disposer pour ceci un système de tri manuel ou technologique pour séparer les composants des déchets ménagers enfin pour recyclé, réutilisé ou réduire parmi les eux qui sont recyclables, on distingue alors :

- **Le recyclage organique (compostage)** :

Le compostage est l'ensemble des opérations dégradables par lesquelles on prépare à partir de la matière organique (lombric rouge) ou les déchets verts un composé appelé compost qui présente l'aspect d'un terreau utilisable en agriculture comme amendement organique.

- **La méthanisation** : processus spontané de fermentation anaérobie des déchets ménagers avec production de biogaz méthane.

- **Le recyclage chimique** : par des réactions chimiques pour séparer les déchets à des autres composants, il est destiné également pour les résidus (lixiviats).
- **Le recyclage mécanique** : la transformation des déchets par des machines destinées pour les métaux, verre, carton, plastique, enfin pour les réutiliser une autre fois.

### III.5 Législations et le contexte réglementaire Algérienne :

*La réglementation algérienne concernant la problématique des déchets urbains a connu une nette évolution. Ces dernières années, plusieurs lois ont été promulguées:*

- *Loi n° 01 -19 du 12 décembre 2001, relative à la gestion, au contrôle et à l'élimination des déchets;*
- *Loi n° 02 - 02 du 05 février 2002 relative à la protection et la valorisation du littoral;*
- *Loi n° 03 - 10 du 19 juillet 2003, relative à la protection de l'environnement dans le cadre du développement durable; Entrée en application de la fiscalité écologique en janvier 2005.*
- *La législation fiscale en matière d'environnement et de développement durable a vu son départ par la loi des finances (1992), avec l'introduction de la taxe relative aux activités polluantes ou dangereuses (TAPD). Les diverses dispositions fiscales ont été introduites par les lois des finances pour les années 2000, 2002 et 2003.*

*Ces dispositions sont relatives aux déchets solides (exemple : taxe d'enlèvement des ordures ménagères), aux effluents liquides industriels, aux émissions atmosphériques aux activités polluantes ou dangereuses pour l'environnement.*



*La loi relative à la gestion des déchets, est venue combler un vide juridique, mais les textes d'application de cette dernière sont insuffisants.*

*D'autres textes d'application des lois ont été promulgués et publiés au journal officiel:*

- *Décret exécutif n°02-372 du 11 novembre 2002, relatif aux déchets d'emballage;*
- *Décret exécutif n°04-210 du 28 juillet 2004, définissant les modalités de détermination de caractéristiques des emballages destinés à contenir directement des produits alimentaires ou des objets destinés à être manipulés;*
- *Décret exécutif n°04-410 du 14 décembre 2004, faisant les règles générales d'aménagement et d'exploitations des installations de traitement des déchets et les conditions d'admission de ces déchets au niveau des installations.*

### **III.6 Programme national de gestion des déchets selon AND :**

*Statut de l'agence : EPIC*

*La politique de gestion des déchets s'inscrit dans la Stratégie nationale environnementale (SNE), ainsi que dans le Plan national d'actions environnementales et du développement durable (PNAE-DD) qui s'est concrétisée par la promulgation de la loi 01-19 du 12 décembre 2001 relative à la gestion, au contrôle et à l'élimination des déchets, traitant des aspects inhérents à la prise en charge des déchets, et dont les principes sont :*

- *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 et leur recyclage ;*
- *le traitement écologiquement rationnel des déchets ;*
- *l'information et la sensibilisation des citoyens sur les risques présentés par les déchets et leurs impacts sur la santé et l'environnement ;*

### **III.7 Impacts des déchets solides sur la santé et l'environnement**

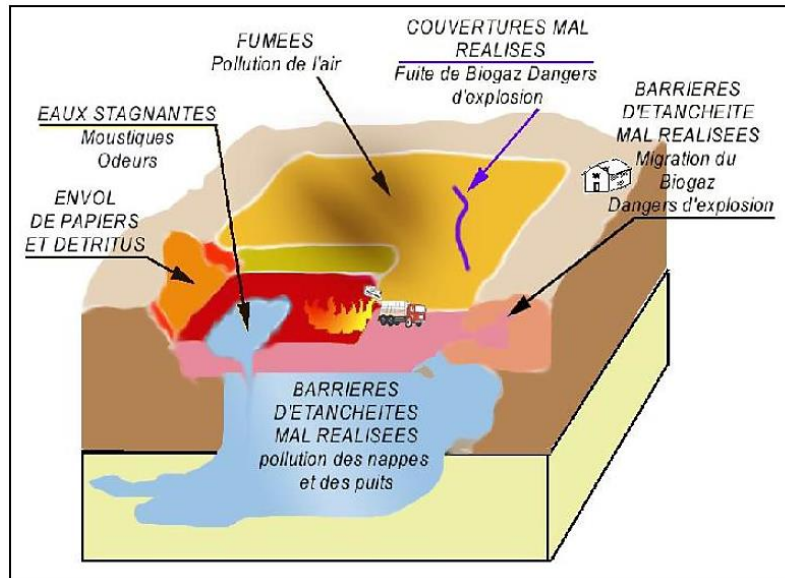
#### **III.7.1 Impacts sur la santé humaine**

##### **A- Pathologies liées à des conditions environnementales favorables et maladies spécifiques de la manipulation des déchets (agents de nettoyage, chiffonniers...)**

- 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.

**B- Impacts sanitaires des décharges non contrôlées (Figure I.7)**

- Multiplication des maladies infectieuses et parasitaires (MTH virales par altération des ressources en eau, hépatites infectieuses, maladies parasitaires de la peau et autres).
- Multiplication des rongeurs qui sont à l'origine de la peste.
- Prolifération des chiens errants (zoonoses (la rage) et parasitoses (maladies liées à la tique des chiens)).
- Prolifération des vecteurs nuisibles (mouches, moustiques,...).



**Figure I.7 :** Impacts d'une décharge incontrôlée sur l'environnement [6].

**III.7.2 Impacts sur l'environnement (Figure I.8)**

Les déchets solides ont un impact environnemental sévère qui se manifeste par une :

- ❖ 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.



**Figure I.8 :** Types de pollution générée par les déchets solides.


	FICHE D'IDENTIFICATION DE DECHET															
Société : _____ Agence : _____ Affaire suivie par : _____																
<b>IDENTIFICATION DU PRODUCTEUR / DETENTEUR</b> <span style="float: right;">N° Client : _____ (référence interne)</span> Raison Sociale : _____ Adresse : _____ Code postal : _____ Ville : _____ N° de SIRET : _____ Code NAF (APE) : _____ Téléphone : _____ Télécopie : _____ e.mail : _____ Nom du Responsable du déchet : _____ Agence de l'Eau : _____ Subventionnable : Oui <input type="checkbox"/> Non <input type="checkbox"/>																
<b>CLIENT A FACTURER (si différent du producteur)</b> Raison Sociale : _____ Adresse : _____ Code postal : _____ Ville : _____ N° de SIRET : _____ Code NAF (APE) : _____ Téléphone : _____ Télécopie : _____ e.mail : _____ Nom du Responsable du déchet : _____																
<b>IDENTIFICATION DU DECHET</b> Désignation du déchet : _____ Code Déchet : _____ Processus générateur du déchet / Motif de destruction : _____ Centre de traitement actuel (coordonnées) : _____ Filière : _____ N°CAP : _____ (réf. interne)																
<b>1 Aspect physique</b> Liquide <input type="checkbox"/> Pâteux <input type="checkbox"/> Boueux <input type="checkbox"/> Solide <input type="checkbox"/> Pulvérulent <input type="checkbox"/> Polyphasique (nombres / type) : _____ Odeur : Non perceptible <input type="checkbox"/> Perceptible <input type="checkbox"/> Forte <input type="checkbox"/> Produit de référence : _____																
<b>2 Conditionnement</b> Non conditionné (vrac) : Citerne (liquide ; boue) <input type="checkbox"/> Benne (solide ; boue ; pulvérulent) <input type="checkbox"/> Conditionné type : Conteneur ___ m3 <input type="checkbox"/> Fûts 200 litres <input type="checkbox"/> Bidons ___ L <input type="checkbox"/> Autre <input type="checkbox"/> (préciser) _____ Métal <input type="checkbox"/> Plastique <input type="checkbox"/> Emballage consigné : Non <input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Client / Collecteur (payer la mention inutile)																
<b>3 Quantité à éliminer</b> Régulière <input type="checkbox"/> Fréquence : _____ Quantité par enlèvement : _____ / Ponctuelle <input type="checkbox"/> Quantité : _____																
<b>4 Constituants principaux</b> <table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse; margin-top: 5px;"> <thead> <tr> <th style="width: 60%;">Dénomination des constituants (*) (**)</th> <th style="width: 20%;">Concentration connue en %</th> <th style="width: 20%;">Phrase(s) R</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td></tr> </tbody> </table>		Dénomination des constituants (*) (**)	Concentration connue en %	Phrase(s) R												
Dénomination des constituants (*) (**)	Concentration connue en %	Phrase(s) R														
(*) : Aérosols (indiquer gaz propulseur, solvants et produits actifs) (**) : PCL et DTQD (joindre obligatoirement une liste inventaire) Position fiscale * A <input type="checkbox"/> D <input type="checkbox"/> E <input type="checkbox"/> * A = acquitté D = sous douane / en régime suspensif E = exonéré (A compléter pour les déchets contenant des hydrocarbures liquides)																
<b>5 Présence de substances CMR</b> <table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse; margin-top: 5px;"> <thead> <tr> <th style="width: 30%;">Désignation substance</th> <th style="width: 40%;">Phrase(s) R</th> <th style="width: 30%;">Concentration %</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Cancérogène (H7)</td> <td>R45 R49 R40/.....</td> <td> </td> </tr> <tr> <td>Mutagène (H11)</td> <td>R46 R40/.....</td> <td> </td> </tr> <tr> <td>Toxique pour la reproduction (H10)</td> <td>R60 R61 R62 R63</td> <td> </td> </tr> </tbody> </table>		Désignation substance	Phrase(s) R	Concentration %	Cancérogène (H7)	R45 R49 R40/.....		Mutagène (H11)	R46 R40/.....		Toxique pour la reproduction (H10)	R60 R61 R62 R63				
Désignation substance	Phrase(s) R	Concentration %														
Cancérogène (H7)	R45 R49 R40/.....															
Mutagène (H11)	R46 R40/.....															
Toxique pour la reproduction (H10)	R60 R61 R62 R63															
<b>6 Risques pour la manipulation (joindre les fiches de données de sécurité des composants du déchet)</b> Comburant <input type="checkbox"/> Inflammable <input type="checkbox"/> Nocif <input type="checkbox"/> Corrosif <input type="checkbox"/> Irritant <input type="checkbox"/> Lacrymogène <input type="checkbox"/> Toxique par contact <input type="checkbox"/> Par inhalation <input type="checkbox"/> Par ingestion <input type="checkbox"/> Autres particularité : _____ Réaction dangereuse ou toxique : _____ avec : Air <input type="checkbox"/> Eau <input type="checkbox"/> Acide <input type="checkbox"/> Base <input type="checkbox"/> Aucune <input type="checkbox"/> type de réaction : Emission de vapeurs nocives <input type="checkbox"/> Inflammation <input type="checkbox"/> Explosion <input type="checkbox"/> Prise en masse <input type="checkbox"/>																
<b>7 Protection des intervenants (sans être en contradiction avec le protocole de sécurité et / ou le plan de prévention établi) :</b> Combinaison anti-acide <input type="checkbox"/> Lunette ou visière <input type="checkbox"/> Gants <input type="checkbox"/> Masque <input type="checkbox"/> Autre : _____																
<b>8 Transport ADR</b> Classé ADR : Non <input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Le cas échéant, exemption : Totale <input type="checkbox"/> Partielle <input type="checkbox"/> Si Oui : Code UN : _____ Désignation : _____ Classe : ___ Code danger : ___ GE : ___																

Figure I.9 : fiche d'identification des déchets.

## IV- Compositions et caractérisations des DMA

Cette catégorie de déchets solides recouvre les **déchets ménagers** (DM), Le terme «**assimilés**» désigne les déchets des entreprises industrielles, des artisans, des commerçants, des écoles, des services publics, et des hôpitaux qui présentent des caractéristiques physico-chimiques ou de toxicités équivalentes à celles des ordures ménagères.

Selon la législation algérienne relative à la gestion, au contrôle et à l'élimination des déchets, article 03 de la loi 01/19 du 12 décembre 2001 (JORADP), les déchets ménagers sont définis comme suit :

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

❖ **Déchets encombrants** : tous déchets issus de ménages qui en raison de leur caractère volumineux, ne peuvent être collectés dans les mêmes conditions que les déchets ménagers et assimilés. [7]

### IV.1 Mesure de la production des DMA

Selon le Ministère de l'environnement et de l'aménagement du territoire (MATE, 2011), chaque Algérien en produit en moyenne 0,65 kg de déchets par jour. Mais dans les grandes villes comme Alger, un citoyen génère environ 1,7 kg de déchets par jour.

#### IV.1.1 Calcul du ratio journalier (R)

Il suffit de diviser le poids total des déchets ménagers collectés en une journée par le nombre d'habitants selon la méthode qui suit :

$$R = \frac{P}{H} \quad (I.1)$$

R : ratio journalier (kg/habitant/jour).

P : poids de déchets collectés en une journée (tonnes, kg).

H : nombre d'habitants de la commune ou l'agglomération traitée.

Prenons l'exemple d'une agglomération de 100000 habitants ou on collecte 90 tonnes de déchets par jour : **R = 90.000 kg / 100.000 habitants = 0,90 kg/habitant/jour.**

### IV.2 Composition des déchets ménagers et assimilés

La connaissance de la composition des DMA est un préalable indispensable pour une bonne gestion et ce pour plusieurs raisons à savoir :

- estimer la quantité des matériaux produits ;
- identifier leur source de génération ;
- faciliter le design des équipements des procédés de traitement ;
- définir les propriétés physiques, chimiques et thermiques des déchets ;
- et veillé sur la conformité avec les lois et règlements en vigueur.

#### IV.2.1 Composition physique des déchets ménagers et assimilés

Les principales composantes d'une poubelle ménagère restent celles répertoriées par la norme française **AFNOR** (1996). Les principales familles de déchet rencontrées sont les suivantes :

- Fines (< 20 mm).
- Putrescibles.

- Papiers-cartons.
- Verre,
- Métaux,
- Plastiques.
- Complexes (Tétra brick).
- Textiles (emballages textiles).
- Textiles sanitaires (couches, coton hygiénique...).
- Combustibles non classes (CNC : bois, caoutchouc...).
- Incombustibles non classes (INC : pierres, gravats...).
- Déchets ménagers spéciaux (batteries, piles, aérosols...).

#### IV.2.1.1 Variabilité de la composition physique des déchets ménagers et assimilés

Le gisement de déchets ménagers et assimilés a une composition assez diverse et varie en fonction de nombreux facteurs :

- Le **type d'habitat** (urbain ou rural; avec un taux généralement plus faible en milieu rural).
- La **saison** (tonte de gazon au printemps, feuilles mortes à l'automne, papiers d'emballage) et les jours de la semaine (déchets de jardin après le week-end, etc.).
- La **géographie** : à l'échelle d'une région et d'un pays (alimentation et habitudes différentes).
- La **réglementation** locale et/ou nationale par rapport aux types de déchets admis : déchets ménagers, boues, déchets industriels banals.
- Les **méthodes de gestion des déchets** (collectes sélectives, tri préalable des déchets ménagers spéciaux, des déchets verts, admission de déchets industriels, etc.).

**Tableau I.3** : compositions physiques des DMA dans des différents pays. [8]

Fractions	Pays		
	France	Singapour	Algérie
Déchets putrescibles	28,8	2	70
Papiers/cartons	25,3	28,3	8
Textiles	2,6	3	0
Plastiques	11,1	11,8	10
Complexes	1,4	0	0
Verre	13,1	5,7	3
Métaux	4,1	4,8	4
Incombustibles divers	6,8	0	0
Déchets spéciaux	0,5	0	0
Autres	0	0	5

Source : obtenu en incluant les résultats d'ADEME, Wei al, 2000.

#### IV.2.2 Composition chimique des déchets ménagers et assimilés

Cette caractérisation a pour principal objectif l'évaluation du potentiel polluant de ces déchets ou la mise en évidence de l'existence des effets néfastes sur la santé humaine et l'environnement.

Le tableau I.4 suivant donne la composition chimique élémentaire des déchets ménagers et assimilés en France (Agence ADEME, 1998).

**Tableau I.4** : Composition chimique d'un déchet ménager et assimilable. [8]

Paramètre analysé	Teneur moyenne
Taux d'humidité	35% MH
Matière Organique Totale (COT)	59,2% MS
Carbone	33,4 % MS
Chlore	14 g/kg (MS)
Soufre	2,8 g/kg (MS)
Azote organique	7,3 g/kg (MS)
Fluor	0.058 g/kg (MS)
Bore	0.014 g/kg (MS)
Cadmium	0.04 g/kg (MS)
Cobalt	0.113 g/kg (MS)
Chrome	0.183 g/kg (MS)
Cuivre	1.048 g/kg (MS)
Manganèse	0.412 g/kg (MS)
Mercure	0.03 g/kg (MS)
Nickel	0.48 g/kg (MS)
Plomb	0.795 g/kg (MS)
Zinc	1 g/kg (MS)

MS : matière sèche ; MH : matière humide.

Il en ressort que la pollution contenue dans ces déchets est d'origine **organique**, **minérale** et **métallique**. La matière organique est apportée en grande partie par les déchets putrescibles et papiers-cartons (matière organique non synthétique) et par les plastiques (matière organique synthétique).

Bien que cette composition chimique des déchets ne soit pas exhaustive, elle montre néanmoins déjà le risque sur la santé et l'environnement que les déchets peuvent représenter et la nécessité de traiter ces refus.

### IV.3 caractéristiques physico-chimique des DMA

La connaissance des caractéristiques physico-chimiques des déchets est essentielle dans la gestion (valorisation, récupération, etc.) et le traitement des rejets, et pour prédire les risques potentiels de pollution pour l'environnement. Elle permet donc de mettre en place des procédures de contrôle et de réduction des émissions polluantes dans le milieu récepteur.

Ces caractéristiques physico-chimiques sont : la granulométrie, le poids volumique, le taux d'humidité, le pouvoir calorifique inférieur (PCI), le rapport C/N, les teneurs en volatils et en cendres et la teneur en métaux lourds.

#### IV.3.1. Granulométrie

Les déchets peuvent être caractérisés par leurs tailles granulométriques. On classe en général ces tailles en trois granulométries distinctes lors d'un tri :

- ✓ les  **fines**  (< 20 mm) ;
- ✓ les  **moyens**  (20 mm < taille < 100 mm) ;
- ✓ les  **gros**  (> 100 mm).

Les fines sont les plus étudiées, notamment pour leur caractère biodégradable.

### IV.3.2 Poids volumique ou Densité

Dans la littérature, il est question parfois de masse volumique qui fixe la relation entre le poids et le volume de déchets, certains auteurs utilisent préférentiellement le poids volumique, ou encore la densité. Cette caractéristique est d'une grande influence sur les capacités des moyens de collecte et de mise en décharge des ordures.

On détermine donc une "**densité en poubelle**", une "**densité en benne tasseuse**", une "**Densité en décharge avec ou sans tassement**" ... Il convient d'ailleurs de souligner qu'il s'agit de toute façon de **densités apparentes** étant donné l'extrême hétérogénéité des ordures ménagères.

**Expression de la densité des déchets ménagers :**

$$d = \frac{\rho_d}{\rho_e} \text{ Avec } \rho_e = 1000 \text{ kg/m}^3 \quad (\text{I.2})$$

$d$  : Densité des déchets ménagers.

$\rho_d$  : Poids volumique des déchets ( $\text{kg/m}^3$ ).

$\rho_e$  : Poids volumique de l'eau ( $\text{kg/m}^3$ )

Le tableau I.5 ci-après montre les plages de variation des densités des déchets ménagers et assimilés des villes Algériennes.

**Tableau I.5 : Fourchettes de densités des DMA des villes Algériennes [15].**

Densité en poubelle	Densité en benne Tasseuse	Densité en décharge après tassement
0,22 – 0,3	0,45 – 0,55	0,28 – 0,32

D'après une étude réalisée par les services du ministère de l'aménagement du territoire et de l'environnement, la densité apparente dans le cas des villes Algériennes se situe entre 0,2 et 0,6. [15]

### IV.3.3 Taux d'humidité ou teneur en eau (Hu)

La teneur en eau pondérale (Hu) d'un échantillon de déchets donne représente le rapport entre la masse d'eau présente dans un échantillon et la masse sèche de cet échantillon. Pour des ordures fraîches et stockées à l'abri des intempéries, l'humidité varie entre (% en masse):

- (35–40) % : Europe, avec un maximum en été et un minimum en hiver ;
- (60–62) % : pour une grande ville Algérienne ;
- (65–70) % et plus : pour les pays tropicaux.

On retiendra que le pourcentage d'eau dans les ordures est autant plus élevé qu'elles sont plus riches en matières organiques, dont l'humidité moyenne est aux alentours de 80% en masse.

### IV.3.4 Pouvoir calorifique inférieur (PCI)

Le PCI (exprimé en kcal/kg en masse sèche) des déchets solides est la quantité de chaleur dégagée par la combustion complète de l'unité de masse du combustible en supposant que toute l'eau, provenant de ce dernier ou formée au cours de la combustion, reste au stade final à l'état de vapeur dans les produits de combustion. Plusieurs méthodes sont utilisées pour déterminer le PCI :

A- Il peut être calculé à partir du **pouvoir calorifique supérieur** (PCS) mesure à l'aide d'une **bombe calorimétrique**. On a alors dans les conditions standards :

$$PCI = PCS \left(1 - \frac{Hu}{100}\right) - Cv(Hu + 9H) \quad (I.3)$$

Où,

**PCI** et **PCS** sont en **kJ/kg**.

**Hu** : % en masse de la teneur en eau des déchets.

**Cv** : chaleur latente de vaporisation de l'eau égale à 583 kcal/kg.

**H** : % en masse de la teneur d'hydrogène des déchets.

B- D'autres méthodes le déterminent à partir de la **composition élémentaire** des déchets; elles utilisent des formules de calcul simplifiées en fonction des teneurs des déchets en catégories et de l'humidité.

C'est ainsi, que pour le calcul du PCI, le modèle suivant a été choisi et qui prend en compte toutes les fractions susceptibles d'avoir un apport dans le PCI :

$$PCI = 40. (P + T + B + F) + 90.R - 46.Hu \quad (I.4)$$

Avec,

**Hu** : humidité moyenne des déchets (% poids sec).

**P, T, B, F et R** : teneurs respectivement des fractions papier, textile, déchets verts, Fermentescibles et plastique (% poids sec).

Le PCI est un paramètre essentiel pour définir l'habilitation des déchets au traitement par incinération. Sans apport extérieur d'énergie, les déchets peuvent être incinérés lorsqu'ils ont un PCI supérieur à 1200 kcal/kg. En règle générale, le PCI est inversement proportionnel à l'humidité :

- Si **Hu > 50%**, alors l'incinération des ordures est non recommandable.
- Si **45% < Hu < 70%**, alors le compostage des ordures est recommandable (cas des ordures ménagères Algériennes).

Donc la connaissance des deux paramètres (PCI et Hu) sont étroitement liés et leur connaissance est essentielle pour le choix du mode de traitement (incinération ou compostage...).

### IV.3.5 Rapport carbone/azote (C/N)

Afin de pouvoir calculer le rapport carbone/azote (C/N), il est nécessaire de connaître les teneurs en azote et en carbone. Ce paramètre permet d'apprécier aussi bien l'aptitude des ordures au compostage que la quantité du compost obtenu (C/N < 12 en phase solide indique la maturité du compost). Un compost est valable à partir du rapport C/N < 35 au départ de la fermentation aérobie et contrôlée et en obtenant un rapport de  $18 \leq C/N \leq 20$  en fin de fermentation. Pour le cas de l'Algérie, le rapport C/N dépasse rarement 15.

Le tableau 5 suivant donne des ordres de grandeur de rapports C/N de quelques matières organiques. [16]



**Tableau I.6** : Rapport C/N de quelques matières organiques compostables.

Matières	Rapport C/N
Déchets ménagères	15 à 25
Boues activées	6
Gazon	10 à 20
Feuilles mortes	20 à 50
Fanes de pomme de terre	26
Papiers-cartons	120 à 170
Déchets de légumes	11 à 12
Paille des céréales	90 à 120

### IV.3.6 Teneur en volatils et en cendres

En outre la teneur en eau et la valeur calorifique des déchets ménagers, il existe un paramètre physico-chimique déterminant dans l'interprétation des propriétés de combustion de ces derniers : leur **teneur en volatils**, qui se transforment en gaz lors de la combustion (comme les COV). Ce phénomène est étroitement lié à la part minérale des déchets, désignée généralement sous le nom de **teneur en cendres**.

Puisqu'il s'agit ici de parts non combustibles des déchets, il en résulte la relation mathématique suivante entre la teneur en volatils (**V** : composants combustibles) et en cendres (**C** : composants non combustibles) :

$$C + V = 100\% \quad (I.5)$$

En considérant la part d'eau évaporée par séchage (**Hu**), alors la formule générale sera :

$$C + V + Hu = 100\% \quad (I.6)$$

### IV.3.7 Teneur en métaux lourds

Les 12 fractions principales des déchets ménagers contenant des métaux lourds sont sélectionnées comme suit : Matières plastiques, Piles et accumulateurs, Capsules de sur bouchage, Ferrailles, Papier, Cartons, Bois, Caoutchoucs, Cuirs, Verres, Textiles, Fines < 20 mm, Déchets spéciaux.

Les concentrations en métaux lourds dans les ordures ménagères sont mesurées au laboratoire à l'aide d'un **spectrophotomètre d'absorption atomique flamme**.

Les principales sources de métaux lourds dans les ordures ménagères standards sont les suivantes :

- les **piles** apparaissent comme des porteurs importants des métaux lourds : 90 % du Hg, 45 % du Zn, 20 % du Ni.
- les **ferrailles** contiennent environ 40 % du Pb, 30 % du Cu et 10 % du Cr présents dans les ordures ménagères.
- les **fines** (< 20 mm) sont des vecteurs de pollution en ce qui concerne le Cu, le Pb, le Ni et le Zn.
- le **papier** est une source notable de Pb et de Cr puisque des pourcentages respectifs de 20 % et de 10 % de ces 2 métaux peuvent être apportés par ce constituant.

**V- Conclusion :**

Dans ce chapitre nous avons défini les déchets comme des résidus provenant que ça soit par la production, transformation et/ou par l'utilisation, y comprennent les déchets ménagers, industriel ...etc. ensuite on les avait classées selon leurs propriétés de base physique ainsi que leurs sources de production, en plusieurs catégories.

Notre étude se concentre spécialement sur les déchets ménagers cas des wilayas d'Algérie et Tébessa, nous avons adaptés également des données des DMA par les autorités concernées.

Selon l'AND, Les résultats obtenus après la caractérisation physique et chimique des déchets, ont révélé que nos déchets sont plus organiques et humides que dans les pays développés et les conditions climatiques sont également différentes.

L'acquisition de ces données qui régissent les propriétés physiques spécifiques de nos déchets, Nous a permis de proposer des actions d'amélioration pour le choix technologique d'une chaîne de tri des déchets ménagers dans le processus de recyclage et même pour améliorer la gestion des CET en ALGERIE, nos machines vont se consacrer sur quelques principes en se basent essentiellement sur la granulométrie, la densité, le poids volumique et les répartitions des DM. Qu'on va le préciser en détail dans les chapitres IV et V.

**CHAPITRE II : LES DIFFERENTS  
MODES DE TRAITEMENT ET  
GESTION DES DECHETS  
MENAGERS**

## LES DIFFERENTS MODES DE TRAITEMENT ET DE LA GESTION DES DECHETS MENAGERS

### I. Introduction :

Le traitement et la gestion des déchets solides représentent l'un des défis les plus importants des sociétés urbaines et industrielles. Si l'enfouissement sanitaire des déchets solides produits par les centres urbains et par les industries est une pratique courante et technologiquement maîtrisée à côté d'autres pratiques de valorisation matière et énergie dans les pays industrialisés, elle est dans les pays en développement la solution par défaut pratiquée sans aucune considération pour l'environnement. De grandes quantités de déchets sont encore enfouies de façon inadéquate, dans des décharges incontrôlée. Malgré les efforts fournis et la création de centres de stockage des déchets calqués sur les modèles internationaux qui fonctionnent très mal, ces amas de déchets constituent encore des sources de pollution aggravée du fait de leur concentration : production de lixiviats mal drainé et non traité, production de biogaz non récupéré, impacts visuels et olfactifs, risques des populations avoisinantes etc.

Dans ce chapitre nous allons présenter les différents modes de traitement et de la gestion des déchets ménagers local et mondiale, les techniques disponibles, leurs processus, leurs avantages et leurs inconvénients ainsi que leurs impacts environnementaux.

### II. Les techniques couramment utilisées

Parmi les stratégies existantes de nos jours, utilisées comme des techniques de traitement et gestion des déchets ménagers nous pouvons également citer :

1. L'enfouissement ;
2. L'incinération (traitement thermique) ;
3. Le tri et recyclage ;
4. Compostage et biométhanisation (traitement biologique) ;
5. Méthode combiné.

#### II.1 L'enfouissement

La décharge contrôlée est l'une des filières préconisées pour le traitement des déchets, mais elle présente des risques de contamination pour les eaux de surface et la nappe souterraine susceptible d'être utilisée pour l'alimentation en eau potable. Progressivement, la décharge s'est transformée en Centre d'Enfouissement Technique ayant pour règles la récupération des effluents gazeux (biogaz) et aqueux (lixiviats), la sélection des déchets admis, le contrôle et la surveillance des exploitations pour la protection du sol et de sous-sol des barrières de sécurité en minimisant les effets sur l'environnement.

Les centres d'enfouissements techniques sont définis comme un site d'élimination des déchets par dépôt sur ou dans la terre (c'est à dire en sous-sol), c'est une parcelle de terre ou excavation dans laquelle sont enfouis des déchets ménagers, des déchets solides

commerciaux, des boues non toxiques et des déchets solides industriels. Ils sont soumis à un arrêté administratif officiel d'autorisation d'exploitation.

Le traitement des déchets pose des problèmes en ALGERIE du fait de l'absence de contrôle, d'aménagements fonctionnels inadaptés (collecte et traitement des DMA, des lixiviats, du biogaz...) ou inexistantes et de difficultés de financement.

La gestion des déchets rencontre de nombreuses difficultés du point de vue technique, méthodologique et organisationnel. Le choix est porté sur l'enfouissement des déchets comme mode de traitement, mais qui reste inadapté aux contraintes locales. Cela est dû à un manque de connaissance des paramètres spécifiques aux décharges.

En Algérie, la plupart des CET actuelles peuvent être classées comme décharge sauvage présentant de nombreux inconvénients soit sur la sante publique ou l'environnement car la mise en CET les déchets est en mesure de répondre aux exigences élémentaire en matières d'hygiène et de protection de l'environnement.

Néanmoins, la récupération des biogaz et des lixiviats respectivement peuvent être utilisé comme une source d'énergie ou des eaux traités employer dans l'arrosage, ces techniques sont presque non disponible dans les CET d'Algérie, par contradiction à la règle suivante :

« Un CET est conforme lorsque toutes les dispositions réalisables sont prises pour éviter ou, ou au moins minimiser, les nuisances ».



**Figure II.1** : casier d'un centre d'enfouissement des déchets (classe II). [33]

### II.1.1 Classification des CET:

Selon la nature des déchets admis et en fonction de leur perméabilité les centres de stockage de déchets sont répartis en trois classes :

- **les CET de classe 1** : pour les déchets inertes ;
- **les CET de classe 2** : pour les déchets ménagers ;
- **les CET de classe 3** : pour les déchets spéciaux. [33]

#### II.1.1.1 CET de Classe I :

En plus des déchets urbains et banals, ces décharges sont habilitées à recevoir certains déchets industriels spéciaux. Ainsi sont admis dans ces CET de classe I :

- Les déchets industriels spéciaux de catégories A qui sont : les résidus de l'incinération ; les résidus de la sidérurgie.
- Les déchets minéraux de traitement chimique : sels métalliques, sels minéraux, oxydes métalliques.
- Les déchets de catégories B qui sont : Les résidus de traitement d'effluents industriels et d'eaux industrielles, de déchets ou de sols pollués.
- Les résidus de peinture : déchets de peinture solide, de résine de vernis.

#### II.1.1.2 CET de Classe II :

Les déchets admissibles dans ces décharges sont :

- Ordures ménagères ;
- Déchets ménagers encombrants ;
- Déblais et gravats ;
- Déchets commerciaux, artisanaux et industriels banals assimilables aux ordures ménagères ;
- Déchets d'origine agricole ne présentant pas de danger pour la santé humaine et l'environnement ;
- Pneumatiques ;
- Cendres et produits d'épuration refroidis résultant de l'incinération des ordures ménagères
- Boues en provenance de l'assainissement urbain.

#### II.1.1.3 CET de Classe III :

Ce sont les installations de stockage recevant essentiellement des déchets inertes. Les décharges de classe III, reçoivent les déchets inertes d'origine domestique comme les déchets issus du bricolage familial et les déblais et gravats qui peuvent également être stockés dans les décharges de classe II. Ils reçoivent aussi les déchets de chantiers et les déchets de carrière.

#### II.1.2 L'objectif d'un CET :

L'implantation du CET a plusieurs objectifs parmi le quels :

- ✓ Maintenir la qualité des paysages ;
- ✓ Limiter les nuisances ;
- ✓ Eviter les risques de pollution ;
- ✓ Valoriser les déchets ;

#### II.1.3 Les avantages et les inconvénients d'un CET :

Les avantages et les inconvénients d'une décharge contrôlée sont résumés dans le tableau suivant :

**Tableau II.1 : Avantages et inconvénients d'une décharge contrôlée. [33]**

<b>Les avantages</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Procédé de traitement des déchets autonome</li> <li>✓ Grande souplesse d'adaptation aux quantités à traiter</li> <li>✓ Coûts faibles</li> <li>✓ Valorisation des terrains</li> </ul>
<b>Les inconvénients</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Choix d'un site convenable</li> <li>✓ Nécessité d'une exploitation rigoureuse</li> <li>✓ Solution temporaire (capacité du site).</li> </ul>

## II.1.4 Les lixiviats

### II.1.4.1 Définition

Le lixiviat, est le liquide qui provient de la percolation de l'eau à travers les déchets stockés en décharge en se chargeant de substances tant minérales qu'organiques, elle peut se mélanger aux eaux de surface comme aux eaux souterraines et donc constituer un élément polluant tant par leur aspect quantitatif que qualitatif (**Frigon et al., 1992**).

### II.1.4.2 Composition

Il est difficile de prévoir la composition du lixiviat car elle dépend de l'âge de la décharge, de la nature des déchets ainsi que du stade de dégradation atteint (**Millo, 1986**).

Le lixiviat est caractérisé par quatre groupes de polluants :

- ✓ La matière organique dissoute ou en suspension, issue de la biomasse, (les substances humiques et fulviques...).
- ✓ Les micropolluants organiques (hydrocarbures, composés aromatiques...).
- ✓ Les composés minéraux majeurs sous forme ionique ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^{2+}$ ,  $\text{K}^{+}$ ,  $\text{NH}_4^{+}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{HCO}_3^{-}$ ,  $\text{Cl}^{-}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  ...) ainsi que d'autres composés tels que les borates.
- ✓ Les cations de métaux lourds à l'état de traces sous forme majoritairement complexée par des ligands minéraux ( $\text{HCO}_3^{-}$ ,  $\text{Cl}^{-}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ) ou organiques (macromolécules de type humique et fulviques).

Les lixiviats peuvent aussi contenir certains microorganismes pathogènes (**Sillet et al. 2001**).

## II.1.5 Les biogaz

### II.1.5.1 Définition

Le biogaz est un sous-produit d'un lieu d'enfouissement et il provient de la décomposition anaérobie des matières organiques par divers microorganismes (compostage), (**Drouin et al., 1992**).

Les ordures ménagères brutes contiennent entre 50 à 70 % de matières organiques fermentescibles, dont les deux tiers sont facilement biodégradables avec une teneur en eau variant de 15 à 30 %. On distingue 3 catégories de déchets organiques selon leur biodégradabilité. Leurs proportions moyennes dans les ordures ménagères sont les suivantes :

- ✓ matières animales et végétales (très biodégradables) : de 30 à 50 % ;
- ✓ papiers et cartons (moyennement biodégradables) : de 8 à 20 % ;
- ✓ cuirs et bois (peu biodégradables) : de 1 à 10 %.

### II.1.5.2 Composition

La composition du biogaz peut varier dans des limites assez larges suivant la nature des déchets traités, (**Broz, 2006**).

Pour une composition moyenne du biogaz, on peut retenir les chiffres suivants :

- |  |   |
|--|---|
| • Méthane : <b>40 à 60%</b>                          | • Hydrogène sulfuré ( $\text{SH}_2$ ) : <b>0 à 1%</b> |
| • Gaz carbonique ( $\text{CO}_2$ ) : <b>35 à 45%</b> | • Hydrogène ( $\text{H}_2$ ) : <b>0 à 1%</b>          |
| • Azote ( $\text{N}_2$ ) : <b>0 à 3%</b>             | • Oxygène ( $\text{O}_2$ ) : <b>0 à 1%</b>            |

Ces émissions ou migrations peuvent occasionner diverses atteintes à l'environnement :

- ✓ risques d'explosion ;
- ✓ risques pour la santé humaine ;
- ✓ dommages à la végétation ou aux cultures ;
- ✓ nuisances olfactives.

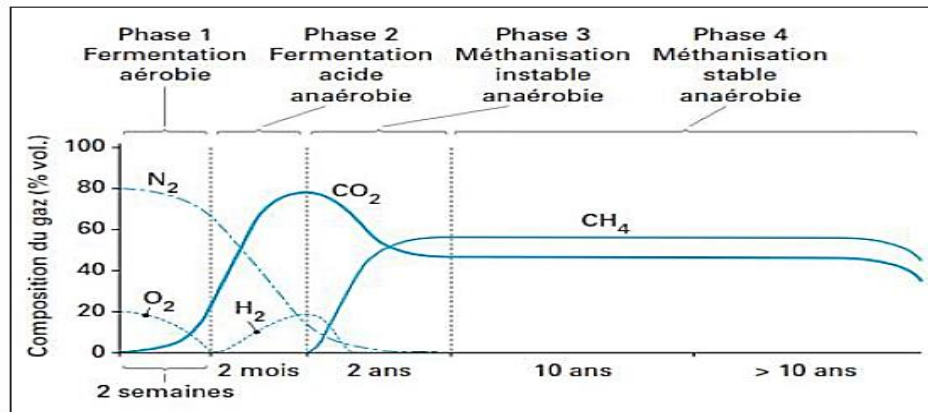


Figure II.2 : schéma d'évolution de la production gazeuse dans une décharge. [33]

### II.1.5.3 Captage des biogaz

Le biogaz est capté pour plusieurs raisons :

- ✓ pour réduire les émissions de gaz toxiques dans l'atmosphère ;
- ✓ pour réduire la migration de gaz dans le sous-sol ;
- ✓ pour diminuer les odeurs ;
- ✓ pour faciliter la valorisation de l'énergie à partir des gaz.

#### II.1.5.3.1 Techniques d'extraction et de destruction du biogaz

Le traitement et le conditionnement du biogaz comportent plusieurs étapes. Le biogaz est tout d'abord aspiré au moyen d'un système d'extraction dont le débit fait l'objet d'une régulation qui conditionne le taux de captage et la qualité du gaz. Les gaz sont ensuite injectés dans une unité d'incinération.

Cette unité d'incinération a pour fonction de convertir les composés inflammables ou toxiques du gaz en composés inertes. Il s'agit principalement d'un système constitué par une torchère dont les performances sont liées à la température de la flamme et à la qualité de combustion.

L'ensemble d'une installation type de collecte, transport et élimination du biogaz est représenté sur la figure suivante :

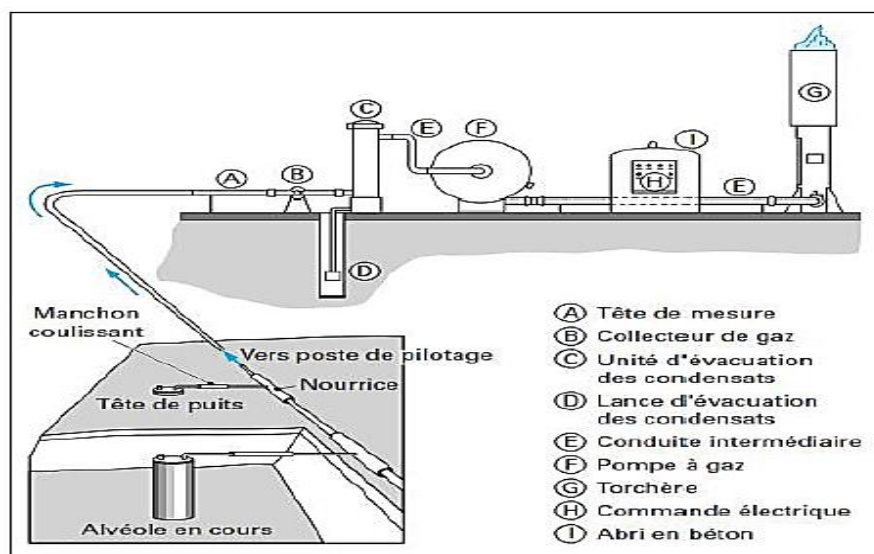


Figure II.3 : Installation type de collecte, transport et élimination du biogaz.



## II.1.5.3.2 Technique de récupération des biogaz et des lixiviats

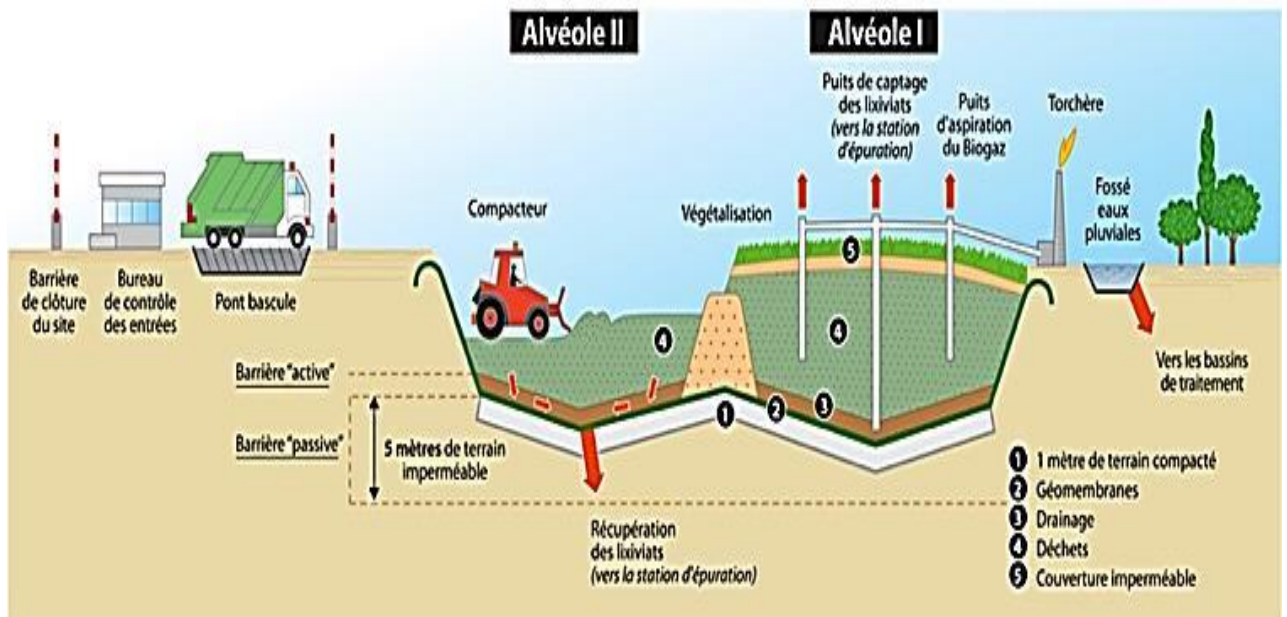


Figure II.4 : coupe schématique de la technique de récupération des biogaz et des lixiviats dans un casier normalisé. [28]

## II.1.6 Le rôle de CET sur la santé humaine et l'environnement

Le CET par ses composantes techniques a pour rôle de réduire les pollutions générées, celles affectant le sol (dépôt des déchets), les eaux (par infiltration et ruissellement et l'air par les biogaz et les poussières résultant des envols des déchets). En réduisant les risques de pollution, non seulement l'environnement est protégé mais aussi l'homme à cause des risques de contamination et de toxicité des polluants véhiculés par les milieux naturels. L'enfouissement de déchets ménagers et assimilés reste la méthode la plus privilégiée en Algérie à cause du taux excessif d'humidité qu'ils recèlent d'une part, et la non maîtrise d'autre filière comme l'incinération ou le compostage d'autre part. **Abanades S (2001)**.

Les sites d'enfouissement doivent être choisis de telle façon à éviter toute nuisance à l'environnement et l'être humain. Le sol sous-jacents doivent être nécessairement étanches et présentent une grande capacité de confinement des contaminants. Il s'agit en avant tout de la protection des eaux souterraines des molécules solubles issues des déchets appelées lixiviat, ceci a suscité l'émergence de nouveaux matériaux geosynthétique (géotextiles, géomembrane, et produit associés).

## II.1.7 Les impacts et les risques d'un CET

La mise en décharge de déchet, quel que soit leur nature, s'accompagne de phénomènes complexes relevant des interactions entre les constituants des déchets, les eaux de pluie qui s'infiltrent dans la masse des déchets et le substrat constitutif du site.

La décharge en elle-même doit être considérée comme un milieu en perpétuelle évolution, siège de réactions physico-chimiques et biologiques. Les conséquences directes de ces réactions sont entre autres la libération de gaz et la formation de lixiviats.

Le tableau ci-dessous résume les nuisances et impacts qui peuvent être provoqués par l'exploitation du CET :

Tableau II.2 : Tableau récapitulatif des Risques et Impacts. [28]

Nature de nuisances	Origines	Impacts
Envol	Papiers et plastiques, feuilles, Textiles	Pollution de milieu naturel, atteintes au paysage
Odeur	Déchets, fermentation, biogaz	Désagréments pour le personnel et les riverains
Poussières	Circulation des véhicules et Engins	Désagréments pour le personnel et les riverains
Animaux	Attrait nutritif des déchets	Transport des maladies et atteinte à la chaîne alimentaire
Incendies et exploitation	Imprudence, accumulation des biogaz	Danger pour le personnel, nuisances Olfactives
Bruit	Circulation des engins	Désagréments pour le personnel et riverains
Pollutions des sols et des eaux	Infiltration des lixiviats	Dégradation du milieu naturel
Effet de serre	Biogaz non capté	Modification du climat, pathologie des plantes.
Risques sanitaires	Toxicités des déchets, organismes pathogènes	Maladies graves

**Source:** ministère de l'aménagement du territoire et de l'environnement janvier 2000

### II.1.8 Les problèmes d'exploitation d'un CET

**Tableau II.3 :** les problèmes d'exploitation des CET et leurs causes [28].

Les problèmes ou les risques	Les causes
Le versement des déchets divers dans le casier (non respectable à la classe du CET)	L'absence du tri sélective (chaîne de triage)
Mauvaise exploitation du casier	Les personnels ne sont pas qualifiés dans le domaine de la gestion des déchets
Gonflement des déchets dans le casier	Mauvaise compactage des déchets
Difficulté de compacter les déchets dans le casier	Assemblage du lixiviats dans le casier
Fuites des digues	Accumulation des lixiviats dans le casier relativement rempli
Pollution des eaux de surface et/ou souterraines	Fuite des digues des bassins ou l'accumulation lors stockage des lixiviats entraînent des infiltrations des eaux
Inflammation des biogaz non récupérer ou l'émission des gaz toxiques (CO, NO, HCl...)	L'absence de l'installation des stations de pompes des biogaz produisant du casier



**Figure II.5 :** (1) l'accumulation des lixiviats, (2) les fuites des digues

## II.1.9 Les différents types des décharges

### II.1.9.1 Les décharges contrôlées (CET)

Il existe plusieurs types de décharges contrôlées.

**II.1.9.1.1 La décharge contrôlée traditionnelle (classique) :** dans ce type de décharge, les déchets sont déposés en couches régulières sur un terrain adéquat et couverts en suite par du sable argileux ; elle est recommandée en zone rurale à cause des espaces disponibles.

**II.1.9.1.2 La décharge contrôlée de type compact :** le développement des emballages en papier et en plastique, a rendu la méthode classique de décharge contrôlée moins efficace du fait de la diminution de la densité des déchets. Les déchets sont compactés par des engins lourds à roues spéciales (cousteaux) qui tassent les déchets en diminuant leur volume.

**II.1.9.1.3 La décharge des déchets broyés :** ce type d'exploitation consiste à broyer les déchets préalablement avant leur mise en décharge.

**II.1.9.1.4 La décharge des déchets mise en balles ou en cubes :** la mise en balles des ordures ménagères par compression est une technique simple de mise en décharge, les ordures à l'origine sont peu denses donc susceptibles d'une forte réduction du volume initiale avec injection d'une quantité d'eau importante.

Le principe de compression des déchets consiste à confectionner des blocs en forme de cubes de dimension standard qui sont faciles à transporter et les entasser les uns sur les autres dans la décharge [15].

### II.1.9.2 Les décharges sauvages

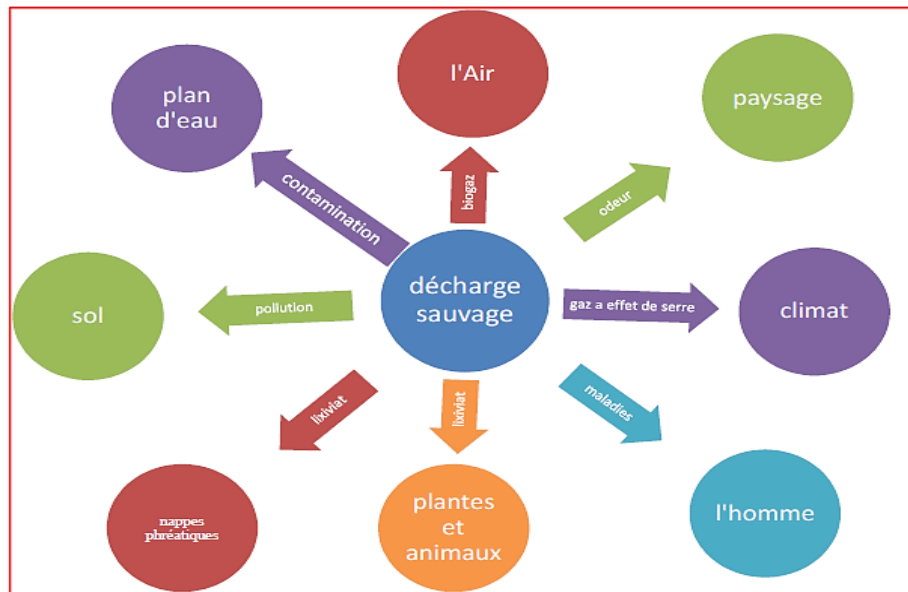
C'est ce qu'on appelle aussi décharge non conforme (décharge brute), elle consiste à déverser purement et directement les ordures et les déchets ménagers et assimilé, dans un trou probablement fait, ou sur le bord d'une falaise d'où elles tombent. Ces genres des décharges sont exploités par des communes, des établissements ou des entreprises, sans aucune autorisation d'exploitation au titre de la législation des installations pour la protection de l'environnement.

L'Algérie compte pas moins de 3000 décharges sauvages, de l'ordre d'une décharge par Commune implantées sur le territoire nationale, elles occupent une superficie de 150.000 Hectares. [15]



Figure II.6 : décharge sauvage en ALGERIE.

En général l'impact des décharges sauvages peut être résumé dans la figure suivante :



**Figure II.7** : Impact d'une décharge non contrôlée sur l'environnement (D.E.W.Bejaia 2017)

## II.2 L'incinération

L'incinération est une technique d'oxydation de la matière organique par voie thermique en présence d'oxygène. Elle permet de réduire fortement le volume (plus de 90%) et la masse (Plus de 70%) des déchets ménagers et assimilés entrant en les transformant en gaz, en chaleur et en matériaux stériles et inertes, les cendres et les mâchefers.

L'incinération des ordures ménagères consiste à brûler les ordures dans des fours avec un PCI suffisant pour qu'il ne soit pas nécessaire d'ajouter un combustible auxiliaire.

La température optimale d'incinération est de 1000°C. Le refroidissement des gaz de combustion se fait, par le transfert calorifique, dans une chaudière à vapeur.

Les gaz formes contiennent essentiellement l'air en excès, la vapeur d'eau, le CO<sub>2</sub>, les NOX, des cendres volantes et, en faibles quantités, des produits divers issus de la combustion : CO, H<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, SO<sub>2</sub>, etc. La chaleur dégagée est fonction du pouvoir calorifique des déchets. Le PCI moyen des déchets ménagers se situe entre 1200 et 2500 kcal/kg.

Les cendres et les mâchefers sont les solides et inertes provenant des matières minérales contenues dans les déchets ménagers (verre, métaux, terres...). Ils représentent 15 à 40% du poids des déchets. Les mâchefers sont constitués des scories essentiellement siliciques (80 à 90%), de métaux (10 à 15%) et d'imbrulés (1 à 5%). Les cendres ont une composition analogue à celle des mâchefers, elles sont toutefois plus riches en alumine et en magnésie, que ceux-ci. [15]

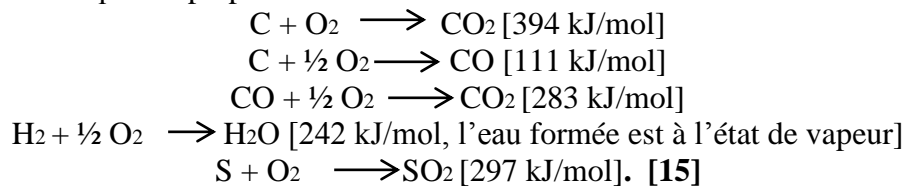


**Figure II.8** : vue générale d'une UIOM (saint Ouen/Île de France)

Source : Roland Bourguet / ADEME 1996

### II.2.1 Réactions chimiques intervenant au cours de la combustion

La combustion (l'incinération) désigne la réaction d'oxydation complète des déchets solides avec l'air préchauffé injecté dans le four. Les réactions de combustion des déchets ménagers sont multiples et extrêmement variées, nous ne citerons que les principales dont l'aspect exothermique est prépondérant dans la formation et l'entretien de la flamme :



### II.2.2 La température

Elle doit être suffisante pour réduire la majorité des molécules auto-combustibles. En général, la température doit être comprise entre 850 et 1000°C pour empêcher la formation de gaz toxiques polluants. Cette fourchette de température convient à l'incinération des déchets ménagers et assimilés avec une consommation minimale de combustible d'appoint. Toutefois, des températures élevées peuvent entraîner la formation de dioxyde d'azote, alors que les basses températures favorisent le dégagement de monoxyde de carbone et des dioxines. [26]

### II.2.3 Les différentes phases du processus d'incinération

En général, l'incinération des déchets se déroule en trois phases distinctes, à savoir :

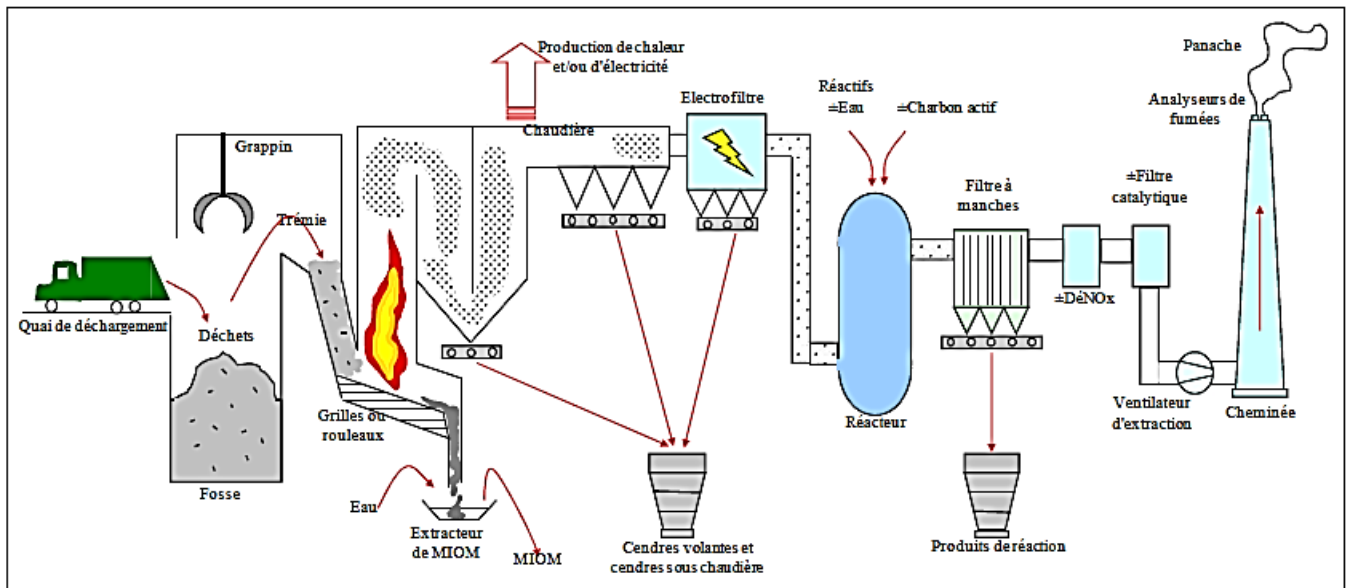
- ✓ une phase de séchage avec évaporation de l'eau, durant laquelle se dégagent les matières volatiles ;
- ✓ une phase de vaporisation des matières organiques à partir de 200°C ;
- ✓ une phase de gazéification et de combustion du résidu carboné : les matières volatiles émises brûlent à partir de 500°C, cette combustion est considérée complète à 1000°C, pour autant que le contact air/combustible soit satisfaisant et que le temps de séjour à ces hautes températures soit suffisant.

Les matières combustibles, constituées essentiellement des éléments C, H, Cl, S, et N, subissent une dégradation thermique conduisant à la génération de CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O et en quantité moindre de HCl, SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub> qui se trouvent dans les effluents gazeux. Les fumées produites sont donc riches en poussières et gaz polluants. [26]

### II.2.4 Structure d'une installation d'incinération des ordures ménagères

Une usine d'incinération des ordures ménagères (UIOM) comporte généralement les éléments suivants, comme représenté sur la figure II.9 :

- ✓ la fosse de stockage des ordures ;
- ✓ le grappin qui mélange les déchets et alimente les trémies situées au-dessus du four ;
- ✓ le four de combustion pourvu éventuellement d'une chambre de postcombustion ;
- ✓ la chaudière qui génère la vapeur en refroidissant les gaz de combustion ;
- ✓ le système d'extraction des mâchefers et des cendres volantes (résidus de combustion) ;
- ✓ le dispositif de traitement et d'évacuation des fumées tels que le dépoussiérage (centrifugation et/ou électro-filtre et/ou filtre à manche), lavage-neutralisation (voie sèche ou demi-sèche, humide ou semi-humide, voie par condensation) ;
- ✓ la cheminée d'évacuation des fumées.



**Figure II.9 :** Schéma descriptif d'une usine d'incinération des ordures ménagères (UIOM).  
Source : European Commission 2006.

### II.2.5 L'incinération avec la récupération de l'énergie

Cette valorisation énergétique permet la production de chaleur et/ou d'électricité tout en réduisant considérablement le volume des déchets, l'énergie peut être récupérée par les biogaz (méthane  $\text{CH}_4$ ) ou bien l'incinération des OMA comme combustible grâce à des centrales thermiques. L'énergie issue des ordures ménagères pourrait être des MW par an.

Cependant, l'épuration des fumées est obligatoire ainsi qu'un contrôle des pollutions de l'eau et de l'air. [26]

### II.2.6 Centrale thermique

Une centrale thermique à flamme utilise l'énergie fournie par la combustion d'un combustible (charbon, pétrole, gaz) cette combustion a lieu dans une chaudière. La combustion dégage une grande quantité de chaleur utilisée pour chauffer de l'eau dans la chaudière ou générateur de vapeur. On dispose alors de vapeur d'eau sous pression. La pression de cette vapeur fait tourner à grande vitesse une turbine qui entraîne elle-même un alternateur qui produit une tension sinusoïdale. A la sortie de la turbine la vapeur est refroidie pour se transformer en eau, puis renvoyée dans la chaudière. Le refroidissement de la vapeur issue de la turbine est confié à une réserve d'eau (cours d'eau).

Une centrale thermique à flamme peut fournir une puissance électrique de l'ordre de quelques centaines de mégawatts. [26]

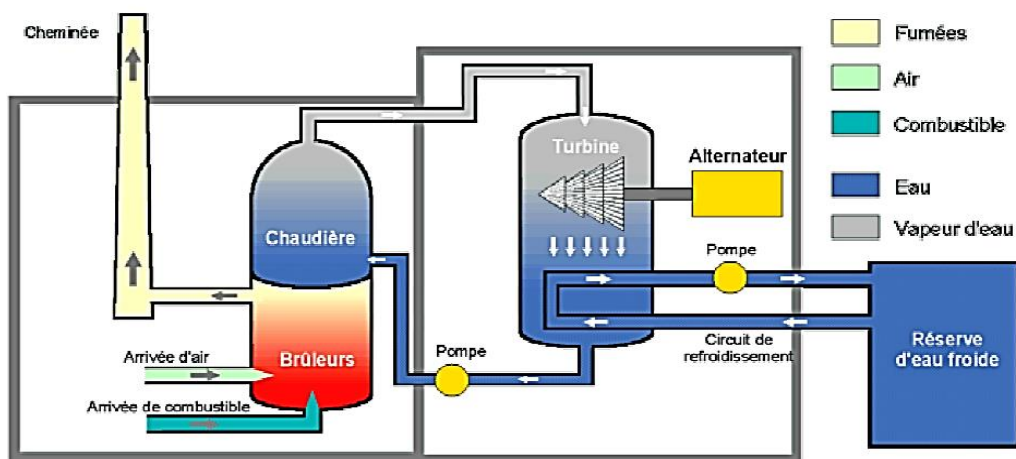


Figure II.10 : la technicité d'une centrale thermique. [25]

La combustion de 100 000 tonnes d'ordures ménagères (moyenne 2 000 Kcal par tonne) procure 15 000 tep de chaleur utilisable (170 GWh thermiques) transformable en 43 GWh d'électricité.

Toute la chaleur et l'électricité produite est utilisée, ce qui apparait peu probable. 15% à 20% de l'énergie est autoconsommée par l'installation et il n'y a parfois pas de débouchés : faibles besoins de chaleur en été, fluctuation de la demande d'électricité. [25]

Tableau II.4 : Production d'énergie par l'incinération des DMA, France, 2000.

		Electricité (GWh)	Chaleur (Mtep)
Ordures ménagères uniquement	Option électricité	11.2	0.5
	Option chaleur	1.5	3.8
Ordures ménagères, agriculture (méthanisation)	Option électricité	20.5	1.5
	Option chaleur	1.5	7.1

Source : Henri Prévot - La récupération d'énergie issue du traitement des déchets.

Tableau II.5 : Valorisation énergétique d'un tonne des ordures ménagères [27]

Quantité de déchets incinérés	Autoconsommation	Production électrique	Résidus			Combustion nécessaire d'air	Tonnes de vapeur	Quantité d'eau traitée	Quantité des ferrailles
			Mâchefer	REFIOM	Fumées				
1 Tonnes DMA	0.1 MW	0.35 MW	256 kg	22 kg	700 kg	6 t	2.7 t	165 L	22 kg

Tableau II.6 : Emissions de gaz toxiques, Pounds par GWh

Combustible	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>
Charbon	13	6
Gaz naturel	0.1	1.7
Fioul lourd	12	4
Incineration déchets	0.8	5.4

Source: J. K. O'Brien

Ces résultats indiquent que la valorisation énergétique des déchets n'est pas la solution miracle parfois annoncée. Si les exemples des industriels sont attrayants, il n'en demeure pas moins que rapportés aux besoins totaux en énergie l'incinération des déchets demeurera toujours une énergie d'appoint. La question est donc de savoir si nous avons le luxe de pouvoir nous passer de sources complémentaires d'énergie. Il semblerait que nos besoins croissants nous encouragent à développer les projets de valorisation énergétique des déchets. [26]

II.2.7 Types de fours d'incinération des ordures ménagères

- ✓ Fours à grilles mobiles ;
- ✓ Fours tournants et/ou oscillants ;
- ✓ Fours à lit fluidisé : rotatif (LFR), dense (LFD) ou circulant (LFC).

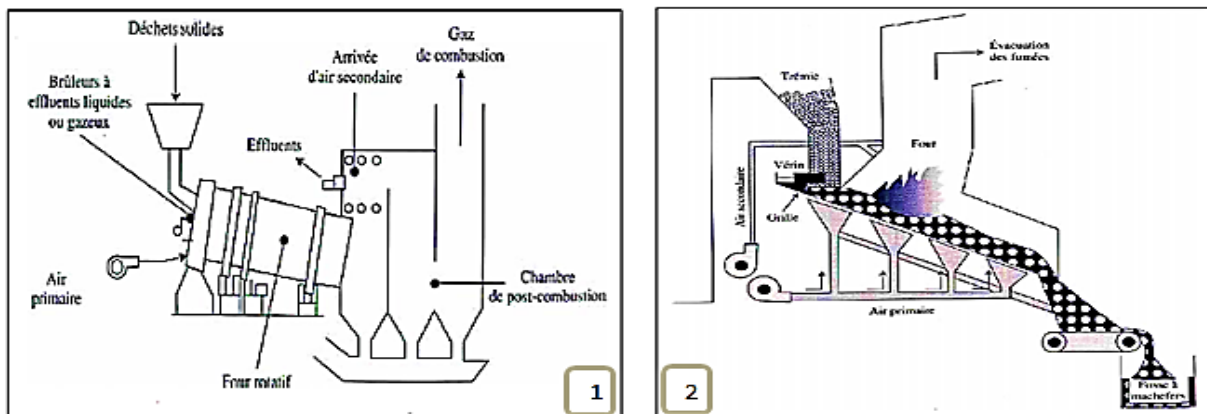


Figure II.11 : (1) Four à grilles mobiles, (2) Four à grilles mobiles.

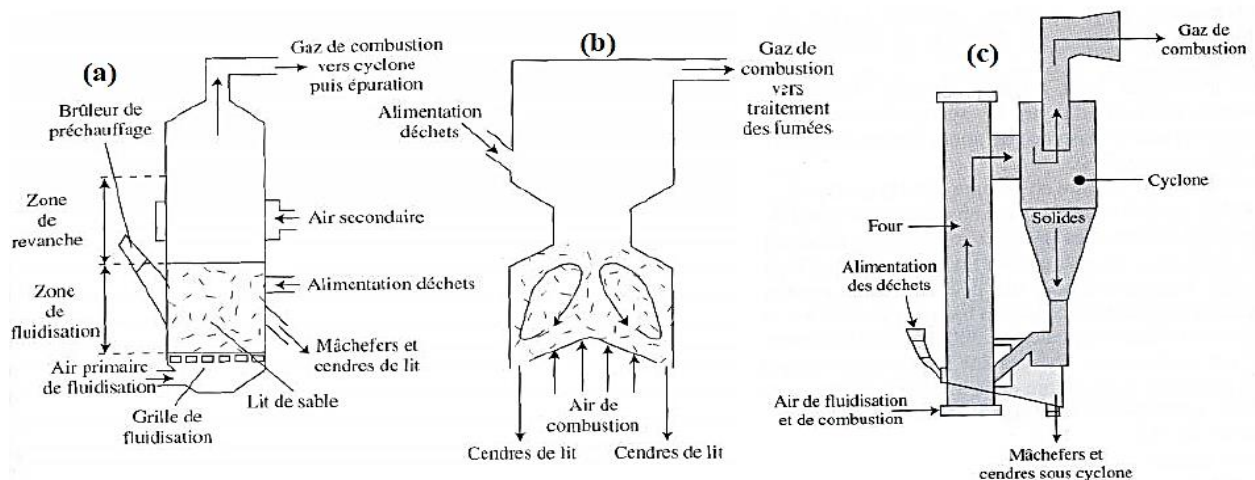


Figure II.12 : Fours à lit fluidisé : (a) dense (LFC), (b) rotatif (LFR), (c) circulant (LFC).

Source : [1, UBA, 2001]



### II.2.8 Traitement des gaz de combustion et des fumées

Les polluants contenus dans les fumées de combustion se présentent sous la forme de solides particulaires (poussières) ou sous forme gazeuse (HCl, SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>...). Il convient donc, après refroidissement, d'effectuer des opérations de dépoussiérage et de neutralisation des fumées, avant leur rejet à l'atmosphère. [31]

### II.2.9 Dispositifs de dépoussiérage

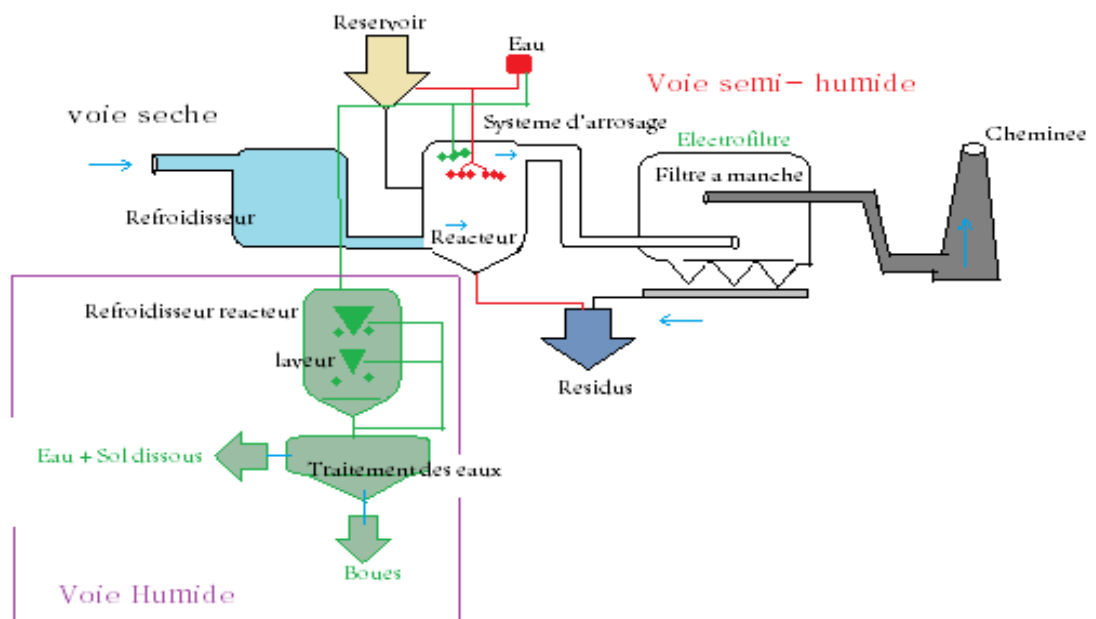
On distingue quatre types de dépoussiéreurs tel que :

- **Dépoussiéreurs mécaniques** : ces dispositifs utilisent les forces d'inertie et gravitaire pour la séparation gaz/solide. Ils regroupent les cyclones, les multi cyclones et les chambres de sédimentation (séparation par gravité pour les particules de plus de 50 microns).
- **Dépoussiéreurs humides** : (laveurs Venturi), utilisent une pulvérisation d'eau, à des fumées chargées, au col d'un conduit Venturi, les gouttelettes venant capter les poussières.
- **Dépoussiéreurs à couches filtrantes** : désignés par filtre à manches, utilisent un média filtrant (tissu ou fibres) en poche, pour effectuer la séparation solide/gaz. Ces filtres sont décompactables par injection séquentielle d'air comprimé.
- **Dépoussiéreurs électrostatiques sec ou humides** : désignés également par électro-filtres, ils permettent la séparation gaz/solides dans les fumées par attraction électrostatique des particules chargées par des électrodes émissives puis collectées par des électrodes réceptrices (plaques). [31]

### II.2.10 Dispositifs de neutralisation des fumées

Différents procédés d'abattage ou de neutralisation des fumées sont actuellement disponibles, on distingue alors :

- ✓ Épuration par voie sèche et réactif alcalin ;
- ✓ Épuration par voie semi-humide ;
- ✓ Épuration en voie humide.



**Figure II.13** : Schémas de principe du procédé d'épuration des fumées.

Source : ([http://rocles03.free.fr/sictom/page\\_energie.htm](http://rocles03.free.fr/sictom/page_energie.htm))

### II.2.11 Résidus solides de l'incinération des ordures ménagères

En plus des rejets gazeux, l'incinération des déchets ménagers produits des résidus solides qui sont principalement les mâchefers d'incinération d'ordures ménagères (MIOM) et les résidus d'épuration des fumées d'incinération des ordures ménagères (REFIOM). [31]

### II.2.12 Mâchefers (MIOM)

Ce sont les principaux résidus (scories) retirés des foyers après incinération des ordures ménagères et composés de matériaux plus au moins incombustibles et facilement identifiables comme le verre, les ferrailles et tous les composés non volatils contenus dans les ordures ménagères. Ils ont l'aspect d'un solide noirâtre, de granulométrie variée et sont composés à 90 % d'oxydes de silice et d'aluminium (en majorité) et d'oxydes de sodium, de potassium et de magnésium.

Les mâchefers sont classés en trois catégories :

- ✓ **Mâchefers de classe V** (directement valorisés) ;
- ✓ **Mâchefers de classe M** (valorisés après maturation de 1 à 4 mois) ;
- ✓ **Mâchefers de classe S** (stockés dans des CET de classe 2). [31]

### II.2.13 Résidus d'épuration des fumées d'incinération (REFIOM)

Ce sont des cendres volantes (poussières, fines particules, gâteau de filtration...), véhiculés par les gaz de combustion et captés par l'électro-filtre (1<sup>er</sup> dépoussiéreur) et des résidus de neutralisation et d'élimination des métaux lourds et des dioxines/furanes captés par une large majorité par le 2<sup>ème</sup> dépoussiéreur (filtre à manches).

Les REFIOM sont constitués de 90% en moyenne de composés minéraux sans danger (silice et calcaire), le reste de métaux lourds, de dioxines et furanes. Les cendres volantes renferment 100 fois plus de dioxines que l'air rejeté à la sortie de la chambre de combustion. Considérés comme déchets ultimes, ils sont évacués et stockés dans des CET de classe 1 après un traitement de stabilisation et solidification qui permet de réduire leur fraction lessivable (lixiviât) due surtout aux métaux lourds. [29]

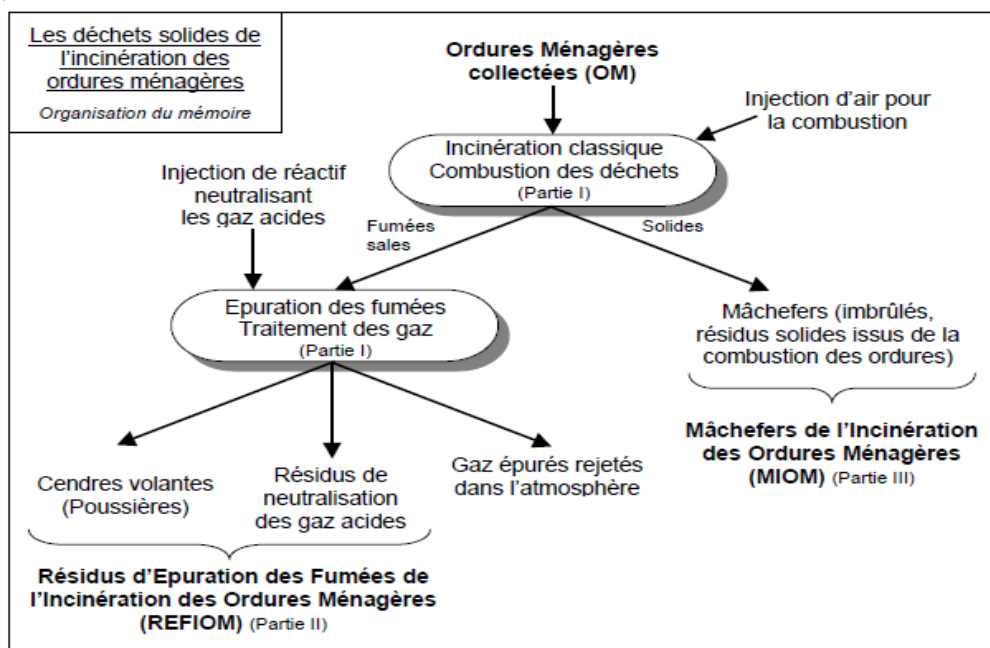


Figure II.14 : destinations des résidus de l'incinération des OMA. [29]

### II.2.14 Les avantages et les inconvénients de l'incinération

Nous pouvons résumer ces derniers dans ce tableau suivant :

**Tableau II.7** : Les avantages et les inconvénients de l'incinération [30]

Les avantages	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Réduction des déchets à mettre en stockage (décharge) : <ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 90% du volume des déchets ;</li> <li>➢ 70% de la masse des déchets ;</li> <li>➢ 20% de leur prix de traitement.</li> </ul> </li> <li>✓ Applicable à toutes les catégories de déchet.</li> <li>✓ La valorisation énergétique : (production de l'électricité) ainsi que la réduction d'utilisation des ressources fossiles.</li> <li>✓ Coût moyen.</li> </ul> <p><b><u>Contraintes :</u></b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Marche 24/24 avec tonnage constant ;</li> <li>• Combustible suffisant pour assurer la combustion totale des OM (fraction fermentescible).</li> </ul>
Les inconvénients	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Destruction des ressources naturelles</li> <li>✓ Polluante et nocive pour la santé humaine : <ul style="list-style-type: none"> <li>➢ Les polluants organiques persistant (POP) ;</li> <li>➢ Toxicité et bio-accumulation.</li> </ul> </li> <li>✓ Impacts environnementaux : <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ L'émission et le transport des gaz toxiques (CO<sub>2</sub>, dioxine, oxyde d'azote, oxyde de soufre, métaux lourds ... etc.)</li> </ul> </li> </ul>

## II.3 Tri et recyclage

### II.3.1 Généralité

Le tri est une étape clé de la valorisation des déchets. De ses performances dépendent la quantité et la qualité des matières qui seront préparées, commercialisées puis réutilisées dans les chaînes de fabrication.

Le tri des déchets a un impact positif sur l'environnement, puisque moins de déchets sont jetés et la matière réutilisée n'a pas besoin d'être extraite autre part.

### II.3.2 C'est quoi le tri :

**Le tri** : Opération visant à séparer des déchets mélangés en différentes catégories (cartons, plastiques, palettes en bois...) en vue d'en faciliter l'élimination dans des processus spécifiques à chaque catégorie. Le non-mélange évite le tri. Le triage consiste à séparer les différentes matières qui sont susceptibles d'être récupérées ou à démonter les produits complexes comme les ordinateurs. Si le triage est effectué à la source, ceci réduit la complexité et le coût de cette activité (**Jahre, 1995**).

Le tri a pour fonction principale de transformer un flux de déchets mélangés et non directement valorisables en plusieurs fractions, dont certaines se prêteront mieux au recyclage matière. De ce point de vue, le tri est une étape intermédiaire du traitement des déchets, les flux sortants étant pris en charge par d'autres filières (recyclage, incinération ...). Les opérations de tri sont au cœur de la chaîne de traitement des déchets et sont plus particulièrement une étape clé du processus de recyclage promu puis imposé par les instances Européennes. Le tri des déchets a toujours intégré des étapes de tri manuel mais certaines fonctions sont depuis longtemps confiées à des machines comme, par exemple, l'enlèvement des ferrailles par tri magnétique. Les techniques de traitement mécanique rencontrées sur les unités de traitement sont : les opérations unitaires de réduction granulométrique qui visent à

réduire les dimensions des déchets en vue de leur traitement. Les équipements sont les broyeurs, les déchiqueteurs (shredders), des trommels, les cribles, afin de séparer les flux et les diriger vers les techniques les plus appropriées, table densimétrique (aéraulique), tapis sélectionneur hydraulique, tapis balistique etc... [9]

### II.3.3 Le centre de tri

Un centre de tri est une installation dans laquelle les déchets collectés sont rassemblés pour subir un tri et/ou un conditionnement de la fraction valorisable. Les emballages arrivent en vrac. Pour pouvoir être acheminés vers les différentes usines de recyclage, ils doivent être préalablement séparés par familles de matériaux (acier, aluminium, carton, brique alimentaire, trois types de plastique et papier...etc.). Cette tâche est réalisée à la main par des agents spécialisés avec des machines automatisées qui effectuent le tri. La collecte sélective est déposée en centre de tri et va être soumise au tri rigoureux de trieurs après une «préparation» du flux à trier. Une fois triés, ces matériaux devront être conformes aux cahiers des charges demandés par le repreneur. Au centre de tri, tous les emballages ainsi récoltés sont « triés à la source ». Certaines matières indésirables seront refusées et d'autres seront éliminées lors de la chaîne de tri, ou alors devront emprunter une autre voie que celle du centre (elles seront par exemple envoyées dans une installation de stockage ou à l'incinération).

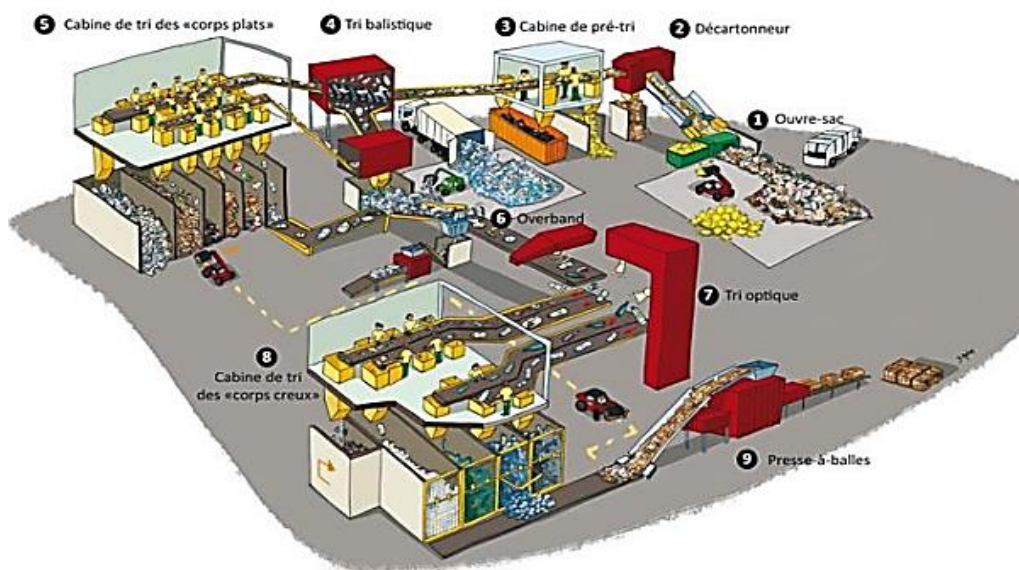


Figure II.15 : Schéma du centre de tri.

### II.3.4 Type de tri

#### II.3.4.1 Tri manuel

→ **Tri positif/tri négatif** : Le tri s'effectue en fonction du matériau le plus présent dans le flux qui n'est pas saisi et qui est donc trié négativement

Le nombre de gestes des trieurs est limité puisque les trieurs laissent sur le tapis le matériau majoritaire, ce qui est une bonne chose, la répétitivité élevée étant un facteur aggravant le risque de troubles musculo-squelettiques (TMS).

→ **Tri frontal (jeté latéral)** : Le trieur est installé face au tapis de tri, avec des goulottes latérales.

- Position favorable au niveau de l'ergonomie car l'amplitude des mouvements est moindre mais couvre une zone plus réduite de tapis, la productivité est donc plus faible. Ce type de tri est souvent limité au tri (ferreux ou autre) avec un seul opérateur.

→ **Tri latéral** : C'est la disposition la plus courante, les produits arrivent latéralement sur un tapis de tri. Respecter les préconisations en termes de dimensionnement en privilégiant le jeté latéral par rapport au jeté frontal.

→ **Tri séquentiel** : Le tri s'effectue sur un tapis à l'arrêt, la séquence d'arrêt étant programmée selon le type de fractions. Les trieurs jettent les produits dans des bacs frontaux ou latéraux.

- Bonne ergonomie du poste car il n'y a aucune torsion et moins de fatigue. Il est visuellement plus facile de repérer un produit immobile et l'efficacité est accrue. Le nombre de gestes de jet de produits par heure est à peu près équivalent au tri latéral mais avec une alternance de temps de repos (pendant le défilement du tapis) et temps de travail (lorsque la bande est arrêtée). En revanche, présence de stress important car l'opérateur est le dernier à pouvoir agir sur la qualité du produit valorisable et doit faire vite et bien.

→ **Tri mono produit** : Chaque opérateur ne trie qu'un seul produit (les refus, les tétras, les différents plastiques...).

- Risque de stress lorsque le flux n'est pas homogène en quantité ou composition, avec sous-charge du poste et perte de rendement, ou éviation de produits valorisables dans les refus. [10]

### II.3.4.2 Le tri sélectif

(L'un des types de tri utilisé couramment dans les pays développés)

Le tri des déchets et la collecte sélective sont des actions consistant à séparer et récupérer les déchets selon leur nature, à la source, pour éviter les contacts et les souillures. Ceci permet de leur donner une « seconde vie », le plus souvent par le réemploi et le recyclage, évitant ainsi leur simple destruction par incinération ou abandon en décharge et permettant par conséquent de réduire l'empreinte écologique des déchets. [11]

#### - L'histoire du tri sélectif

En 1884, Eugène Poubelle, préfet du département de la Seine, en France, invente la poubelle. Il prévoit déjà la collecte sélective : trois boîtes à déchets sont obligatoires, une pour les matières putrescibles ou organiques, une pour les papiers et les chiffons et une dernière pour le verre, la faïence et les coquilles d'huîtres, selon l'arrêté publié le 24 novembre. Mais ce règlement n'est que partiellement respecté et il faudra attendre près d'un siècle pour que le tri soit mis en place en 1974. [12]



Figure II.16 : Bornes de tri sélectif des déchets, en Suisse. [12]

### - Les avantages du tri sélectif

D'un point de vue économique, malgré les coûts supplémentaires dus à la complication des étapes de la collecte et du traitement, la valorisation des déchets recyclables et la diminution des coûts de traitement est en général un avantage financier pour les communes.

Le tri des déchets a également un impact positif sur l'environnement, puisque moins de déchets sont jetés, et la matière réutilisée n'a pas besoin d'être extraite autre part.

Il encourage aussi la responsabilisation du citoyen. Celui-ci a, par la pratique de ce tri, un moyen simple de contribuer à la bonne gestion de sa collectivité et à la préservation de son environnement.

Enfin, la mise en place de la sélection des déchets permet la création de nombreux emplois, aussi bien au niveau de la collecte, du traitement que du recyclage et de la valorisation. [13]

### - Les inconvénients du tri sélectif

Malgré la mise en œuvre progressive de la collecte sélective des déchets et de leur recyclage quand c'est possible, par la plupart des pays, les solutions appliquées jusqu'en 2010 sont très éloignées d'un tri optimal. Une étude de rentabilité des circuits de recyclage montre qu'en pratique, les déchets ménagers ne devraient pas être triés selon quatre catégories (verre, plastique et métal, papier, autres déchets), mais selon quinze catégories distinctes. [14]

1. Le verre coloré
2. Les emballages en plastique souple (polyuréthanes)
3. Les emballages en plastique dur (PVC)
4. Les cartons gris et marron
5. Les récipients et objets en aluminium
6. Les boîtes de conserve en fer blanc
7. Les emballages en plastique imprimé, les emballages en papier alimentaire
8. Les emballages en polystyrène
9. Le verre blanc (vitre, vaisselle)
10. Les piles
11. Les autres métaux (sauf fer et aluminium)
12. Les déchets organiques (restes alimentaires, cheveux, plumes, filtres à café) constituent la fraction fermentescible des ordures ménagères (FFOM)
13. Les journaux, magazines, catalogues, annuaires, prospectus
14. Les tissus, vêtements, fils, fibres
15. Les autres déchets (couche-culotte, lingettes, déchets mixtes inclassables)

#### II.3.4.3 Tri Automatique et Mécanismes

Le but principal de l'opération de tri est d'obtenir une ou plusieurs fractions de déchets qui pourront subir une ou plusieurs étapes de transformations afin de devenir de nouvelles matières premières et secondaires. Le recours à des technologies de tri automatique ne dépend pas que du tonnage et de la composition des déchets à trier mais aussi des objectifs technico-économiques de l'entreprise et du contexte concurrentiel dans lequel elle évolue. L'atteinte de taux de valorisation ambitieux ne peut en général se faire qu'à l'aide d'équipements de tri automatisés mais les investissements nécessaires impliquent l'amortissement sur des tonnages

importants. Le tri automatique revêt plusieurs formes. Il permet par exemple d'effectuer les mêmes tâches que l'homme mais avec une plus grande productivité. Il permet aussi d'effectuer les tâches que l'homme ne sait pas faire telle la ségrégation à partir de critères comme le magnétisme ou la densité. A l'heure actuelle d'autres techniques plus sophistiquées reposant sur des propriétés chimiques sont absentes dans le secteur des déchets urbains. Le tri automatique n'est pas à opposer systématiquement au tri simple ou manuel car il est très souvent complémentaire sur une plateforme de tri. L'ensemble de ces technologies peuvent être utilisées de manière séparée ou intégrée dans le schéma d'une chaîne de tri mécanisée. Cette dernière option permet d'obtenir en général plusieurs fractions de déchets à partir du mix de déchets d'entrée [15].

#### - Principales technologies de tri Automatique

Les technologies utilisées dans le tri des déchets sont en général issues de celles utilisées dans l'industrie minière. Elles reposent sur des propriétés physiques des matériaux comme :

- **la caractéristique magnétique** : les propriétés magnétiques des métaux ferreux sont utilisées pour les extraire du flux.
- **la taille** : le flux de déchets passe dans des équipements comme par exemple des cribles qui vont sélectionner les différentes fractions selon la taille par exemple à travers des grilles.
- **la densité** : cette propriété est utilisée pour séparer différentes fractions en les exposant soit à un flux d'air ou encore en les plongeant dans de l'eau. Le passage sur une table vibrante permet aussi d'effectuer cette séparation.
- **la couleur** : cette propriété optique n'est que très peu utilisée pour l'instant dans les déchets urbains hormis chez les préparateurs de calcin afin d'écarter les verres colorés, y compris les vitrocéramiques.

#### II.3.4.4 Tri automatique selon la taille

Les deux technologies les plus couramment rencontrées sont celles des cribles vibrants ou rotatifs à trommel et des cribles à étoiles. Les grilles des cribles sont percées de trous de différentes tailles qui permettent d'effectuer une coupe  $0/d_1$ , éventuellement suivie d'une seconde coupe  $d_1/d_2$ . Le principe du crible à étoiles est différent. Les particules au-dessus d'une certaine taille sont emmenées vers la partie supérieure du crible. Un enchaînement successif permet d'obtenir plusieurs coupes.

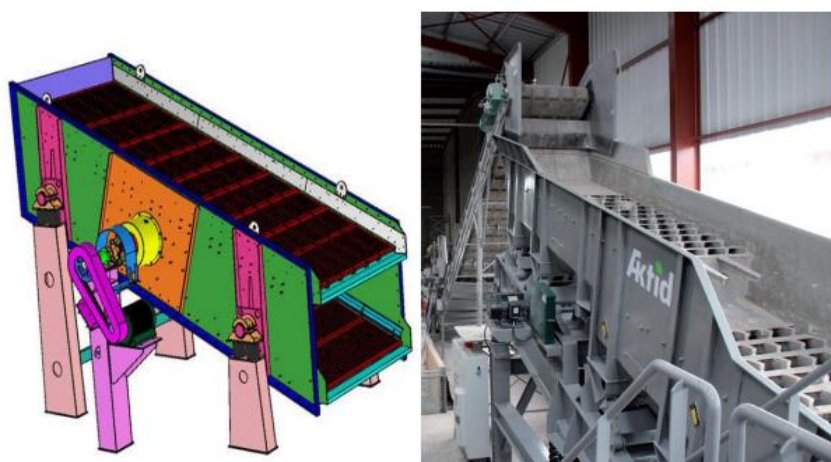


Figure II.17 : Crible vibrant. [15]



Figure II.18 : Crible étoile. [15]

### II.3.4.5 Tri automatique selon la densité

#### ➤ Tri mécanisé par séparation hydraulique

Dans ce cas, le liquide permettant la séparation des deux fractions, légère et lourde, est de l'eau. Par différence de densité, les éléments les plus légers (bois, plastiques, béton cellulaire, polystyrène, papiers, cartons...) restent à la surface de l'eau puis sont balayés par des brosses placées perpendiculairement ou dans le sens du flux de matériaux à recycler tandis que les éléments lourds (granulats) sont entraînés par une bande de convoyage. Les débits et les granulométries maximales des matériaux à évacuer varient en fonction des équipements. Il est à noter que contrairement à ce que l'on pourrait penser, la consommation d'eau du procédé reste faible. [16]

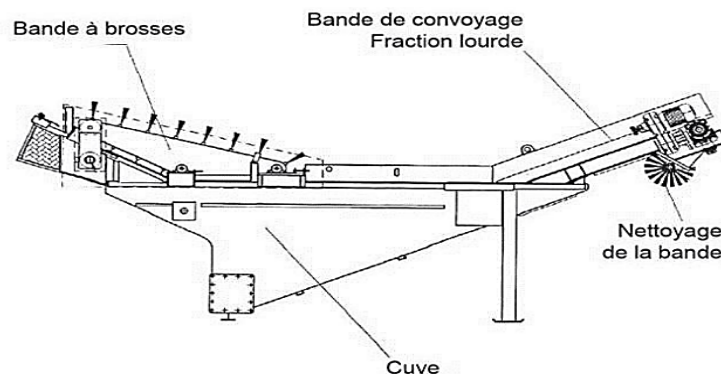


Figure II.19 : Séparateur lourd/léger LA1400 Green pro. [16]

#### ➤ Tri mécanisé par séparation aéraulique

Trois éléments de base constituent en général l'équipement de tri aéraulique : l'alimentation par convoyeur, la soufflerie et ses buses de diffusion d'air et un tambour rotatif. Placés dans le flux d'air, les éléments lourds passent au travers, tandis que les légers sont élevés et évacués. [16]

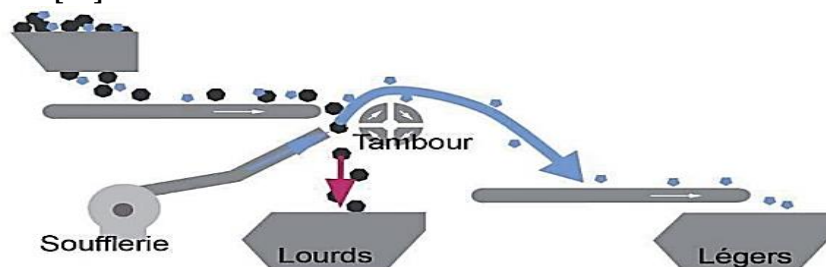


Figure II.20 : Schéma de principe Tri aéraulique. [16]

Les éléments lourds tombent par gravité devant le tambour également sur un convoyeur ou dans une benne et peuvent être traités en aval.



### ➤ Tri mécanisé par table densimétrique

Cette technologie est beaucoup moins répandue que les deux précédentes du fait du relativement faible débit de traitement. La table densimétrique permet la séparation par voie sèche de plusieurs composantes d'un flux de produits en fonction de la densité de chaque composante. La densité des éléments étant différente (éléments minéraux, plastiques, bois), la séparation est envisageable. Grâce au mouvement spécifique d'une grille vibrante, la phase légère est récupérée au point bas de la grille alors que la phase lourde reste en contact avec la grille et est entraînée vers le haut sous l'effet de vibrations. L'ajout de la soufflerie permet la séparation des éléments ultra légers. [16]

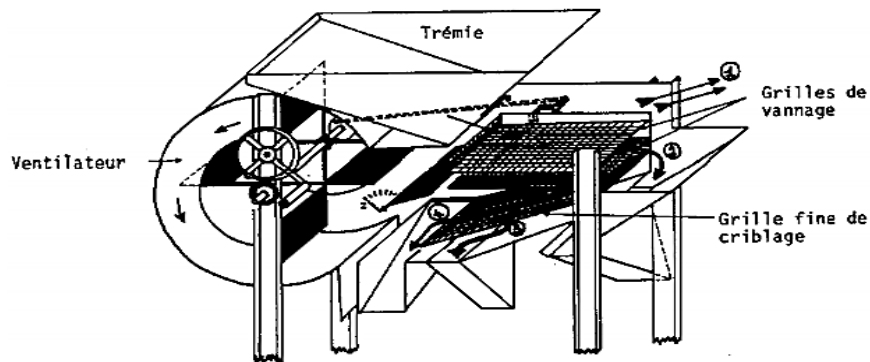


Figure II.21 : Schéma de la table densimétrique. [16]

### II.3.4.6 Tri mécanique

#### ➤ Tri par réduction de taille (fragmentation)

La réduction de la taille est généralement une étape essentielle dans le traitement mécanique des déchets mixtes, lors de ce procédé les déchets encombrants, dont la taille est compatible avec le traitement. Le broyage provoque également une certaine homogénéité au niveau de la réduction de la taille des diverses composantes. Cette uniformité est une exigence de certains systèmes de tri mécaniques. Le terme réduction de la taille a un certain nombre de synonymes dans la gestion des déchets solides, y compris le Déchiquetage (shredding) et le broyage (grinding). En effet Le terme déchiquetage a été largement adopté en référence à la réduction de la taille des déchets.

La fragmentation est l'opération par laquelle on cherche à réduire la taille et/ou à augmenter la surface développée de l'unité de masse (surface spécifique) de particules solides. Son efficacité est toujours évaluée par une mesure de l'accroissement de la finesse. Les sollicitations mécaniques accroissent l'énergie libre des matériaux, qui va se convertir sous différentes formes. L'énergie de contrainte élastique est ainsi convertie en énergie élastique des défauts de réseau ponctuels (à l'échelle atomique), linéaires (dislocations, macles), plans (défauts d'empilement, joints de grains) ou volumiques (désordres structuraux). La conversion de plus grandes quantités d'énergie libre en énergie de surface engendre la fracturation. [32]

La fragmentation peut avoir des finalités diverses :

- réduire les dimensions, soit pour faciliter la manutention, le conditionnement ou l'utilisation, soit pour libérer les constituants avant une opération séparative ;
- éliminer, avant une mise en œuvre, des zones de rupture potentielles (libération d'unités quasi monocristallines) ;
- augmenter la réactivité vis-à-vis de processus dont la cinétique dépend de la finesse ou du degré de désordre ;
- homogénéiser (mélanges, dilutions solides, dosages) ;
- conférer des spécifications de forme, de texture, de distribution granulaire ;

- modifier la fonctionnalité, soit sous l'effet de l'activation mécano chimique, soit en profitant de la création de nouvelles surfaces pour y implanter les groupes fonctionnels désirés.
- **Tri par criblage** : Le criblage était à l'origine une opération simple et modeste, mais il a évolué et est devenu, même pour le plus classique des cribles vibrants, une opération unitaire incluant beaucoup de fonctions, par exemple :
  - la fonction d'origine de coupure granulométrique, comme le scalpage, le criblage primaire, le criblage secondaire ou tertiaire dans une opération multi étage (avec séparation finale de plusieurs produits) ;
  - le lavage et l'égouttage ;
  - la séparation de populations de grains, en jouant sur les formes ou les tailles des particules ;
  - la récupération de liquide dense en gravimétrie.

Le produit que l'opérateur désire obtenir guide le choix de la fonction de coupure granulométrique du crible. Dans le cas de minerais métalliques, le crible fournit en général des produits qui seront traités (triés) dans d'autres circuits et une certaine tolérance est admise. En revanche, dans le cas de minéraux industriels ou de matériaux de construction, le criblage fournit souvent des produits directement commercialisés avec des spécifications de plus en plus strictes.

La caractérisation du matériau, en dehors de sa composition, doit permettre de donner, au moins partiellement, les indications essentielles suivantes :

- le pourcentage de passant contenu dans l'alimentation ;
- le pourcentage de particules dans l'alimentation de taille critique (de dimension supérieure à 75 % de la taille de l'ouverture) ;
- le taux d'humidité dans l'alimentation ;
- la répartition des particules selon les formes ;
- la rugosité des surfaces des particules ;
- la densité en vrac.

Les constructeurs possèdent des banques de données comprenant les caractéristiques de plus d'un millier de types de matériaux à traiter. Ils peuvent combiner ces connaissances de base avec la théorie du criblage de façon à développer rapidement et systématiquement un choix sûr de la conception du crible. Cette démarche prend en compte les paramètres identifiés du matériau qui s'ajoutent aux paramètres :

- le type de crible et de mouvement ;
- la pente, la vitesse et la longueur du crible ;
- le type de surface criblante, les dimensions des ouvertures et le taux de vide.

Deux types de criblage sont utilisés dans le procédé de séparation des déchets :

**A) Le criblage grossier** : Le criblage est réalisé par un crible à 1 ou 2 plateaux (trommels). Le double plateau trouve son emploi dans les circuits de broyage autogène intégral (*fully autogenous grinding*) qui utilise des galets extraits d'un premier broyeur comme moyen de broyage pour un deuxième broyeur. La dimension des mailles du crible est comprise entre 0,5 et 2 mm pour le plateau inférieur et de 6 à 40 mm pour le plateau supérieur. Il est fréquent que 90 % en masse de l'alimentation du crible passe à travers le plateau supérieur. L'épaisseur du lit doit permettre d'une part, un bon écoulement de l'eau, d'autre part, une bonne efficacité du criblage sur le plateau inférieur.

**B) Le criblage fin** : Les exemples d'utilisation du criblage fin sont aussi divers que son emploi comme classificateur, ou comme concentrateur, ou encore comme moyen d'augmenter la récupération d'opérations subséquentes de séparations par gravité, par flottation, etc...

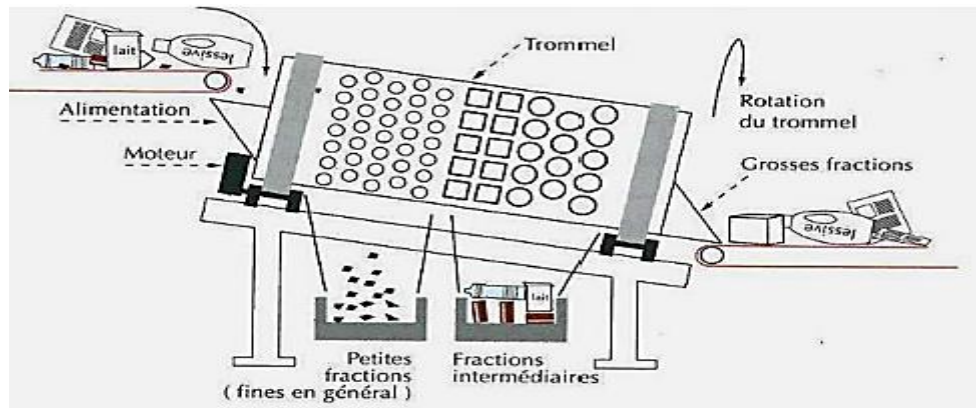


Figure II.22 : Trommel à deux mailles. [32]

L'insertion d'un criblage fin dans un circuit de broyage est avantageuse quand il existe un contraste entre les masses spécifiques des minéraux à récupérer et celles des éléments de la gangue (dans le cas d'une récupération d'un rejet minier). Les classificateurs habituels (à vis, hydrocyclonne, etc.) séparent les particules selon leurs vitesses de sédimentation. Quand il existe un fort contraste entre les masses spécifiques, on retrouve ensemble des particules grossières légères de gangue, des mixtes de constitution, et des fines particules lourdes.

On distingue plusieurs types de cribles :

- Le crible cylindrique (trommel) (voir figure II.22) ;
- Le crible à godet;
- Le crible à disque ou étoile;
- Le crible plan.

### ➤ Tri par déchiquetage (Shredding)

L'opération de déchiquetage primaire (ou le broyage grossier) est utilisée pour réduire la taille des déchets à une taille maximale de particules d'environ 10 cm, elle est une caractéristique de nombreuses installations de traitement des déchets mixtes. Le shredding secondaire et/ou tertiaire est utilisé pour des déchets ayant des tailles inférieures à 10 cm (cas de la production d'un combustible dérivé de déchets de faible granulométrie). On utilise un type de shredders appelé hammer mil.

Le hammer mil est un type de déchiqueteur à grande vitesse fréquemment utilisé pour la réduction de la taille des déchets solides. Les hammer mils à basse vitesse; à couple élevé ; shear shredders (figure II.24) sont d'autres types de shredders, ils sont utilisés dans certains cas pour la réduction de la taille les déchets solides. Cependant, l'utilisation est généralement pour le déchiquetage grossier. Les hammermils sont de deux types selon l'orientation du rotor à savoir : horizontal et vertical. Les deux types ont des marteaux qui tournent à l'intérieur de la déchiqueteuse et provoquent la réduction de la taille des particules par collision avec le matériau d'alimentation. Les marteaux peuvent être montés sur le rotor de broyage d'une manière fixe ou tournant librement. Le hammermil d'oscillation horizontale est couramment utilisé dans le traitement des déchets mixtes. Ses principaux éléments sont le rotor, des marteaux, des grilles, cadre, et le volant, sa vitesse de rotation est généralement dans la gamme de 1000 à 1500 tours par minute (Figure II.23). Dans le cas du hammermil vertical (figure II.24) l'axe de rotation est vertical. Le matériau d'alimentation descend parallèlement à l'axe de l'arbre et est exposée à l'action des marteaux rotatifs. Le matériau est alors déchiqueté en fonction du temps et est récupéré au bas de l'appareil. Dans le cas du shear shredding (figure II.24) le procédé est caractérisé par la réduction du temps de séjours du matériau dans l'appareil, la réduction de la vitesse de rotation. Ces deux derniers paramètres mènent à la

réduction élevée de la taille des déchets. L'appareil est constitué de deux arbres tournants, compte horizontal. Chaque arbre contient des couteaux pour déchirer et cisailier le matériau. Les éléments de coupe fonctionnent généralement dans une plage de 20 à 70 tours par minute. En raison de l'action de cisaillement et un couple de torsion élevé, les shear shredders (figure II.23) sont couramment utilisés pour réduire la taille des objets qui sont difficiles à broyer, comme les pneus. [32]

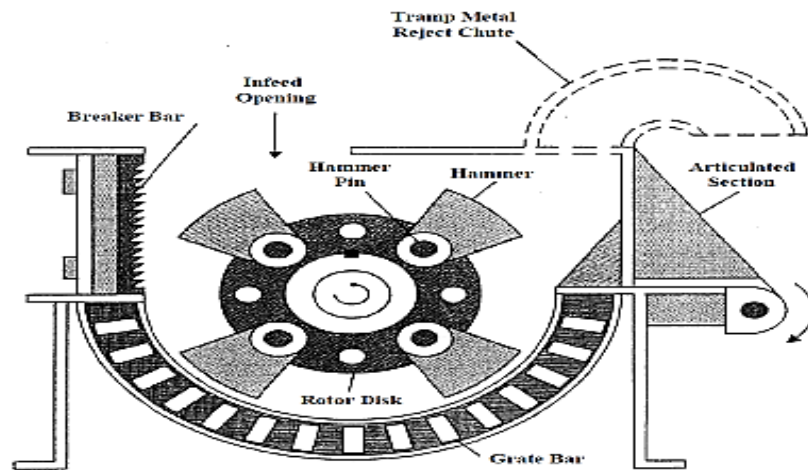


Figure II.23 : Coupe d'un hammermil horizontal. [32]

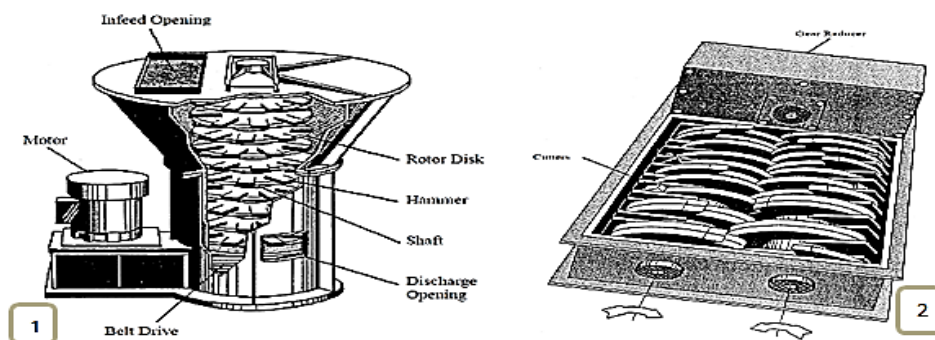


Figure II.24 : (1) Hammermil vertical, (2) shear shredding. [32]

#### II.3.4.7 Tri Aéraulique des déchets (air classification)

La classification par l'air ou aéraulique est un processus de séparation de catégories de matériaux à titre de différences dans leurs caractéristiques aérodynamiques. La caractéristique aérodynamique d'un matériau est essentiellement fonction de sa taille, sa géométrie et sa densité. Le procédé consiste à l'interaction d'un courant de déplacement d'air, la matière de déchets déchiquetés, et la force de gravitation à l'intérieur d'un volume confiné. Dans l'interaction, la force de traction et la force de gravitation est exercée dans les directions différentes sur les particules, il en résulte que les particules les plus lourdes tombent, tandis que les composants les plus légères tendent à se déposer sur le courant d'air.

Dans le traitement des déchets, l'air contrôlé est un moyen de séparation parfait, à la fois en termes de technologie de procédés de fabrication et de solutions commerciales. L'air contrôlé représente une des technologies de base de séparation. Il est polyvalent et offre une plus grande flexibilité que les technologies de séparation mécanique et garantit une grande efficacité dans le tri. En utilisant de l'air, le séparateur à tambour associe un ventilateur de recirculation, une section de séparation avec un tambour rotatif et une chambre d'expansion

connectée. C'est la meilleure solution de séparation fondée sur la densité des matériaux à des capacités d'entrée pouvant atteindre 100 t/h.

Il existe plusieurs types des séparateurs aérauliques (figure II .25) :

- l'unité de séparation est en diagonale.
- l'unité de séparation est à la verticale.
- L'unité de séparation est en zigzag.

La séparatrice aéraulique peut être aussi utilisée pour la séparation et/ou la valorisation des types de déchets suivants:

- Déchets solides municipaux.
- Déchets commerciaux et industriels.
- Section de raffinage du compost.
- Recyclages de la biomasse/du bois.
- Combustibles dérivé des déchets.
- Valorisation de la cendre résiduelle.

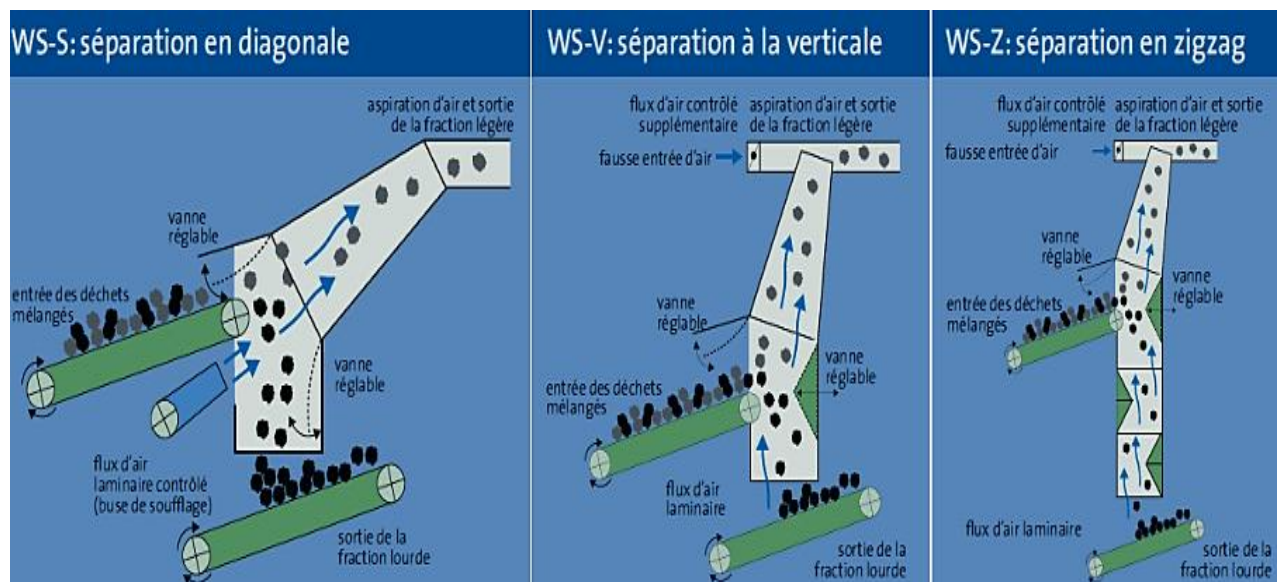


Figure II.25 : Unités de séparation aéraulique. [32]

#### II.3.4.8 Tri Hydraulique /Pneumatique

La classification hydraulique/pneumatique est basée sur les théories des mouvements des solides dans une phase liquide, et donc sur la résistance opposée par un fluide lors du déplacement d'un solide dans celui-ci. Elle utilise un liquide (le plus souvent de l'eau additionnée ou non d'un soluté destiné à augmenter et à ajuster sa densité à une valeur prédéfinie) dans lequel on va conjuguer les actions simultanées de la gravité (et parfois d'une force centrifuge) et les forces résultant de la résistance à la pénétration des particules dans le milieu plus ou moins fluide.

De manière simplifiée, cette technique met en jeu la densité du fluide, sa viscosité, la densité des matériaux, la forme des particules et, éventuellement, les mouvements du fluide. On distingue alors la séparation flotté/coulé pratiquée en bac de flottation/décantation, selon le principe de la poussée d'Archimède où les particules solides sont immergées dans un liquide de densité intermédiaire entre celles des solides à séparer (figure II.24).

Les particules de plus faible masse volumique flottent dans le bain et sont récupérées par écrémage, alors que les plus lourdes décantent et sont collectées en fond de cuve par des vis d'extraction (système à fluide stationnaire). Ce principe simple peut être amélioré en utilisant un fluide en mouvement dans une cuve conique (hydrocyclonne) (figure II.25). La classification pneumatique utilise un flux d'air et est basée sur les mouvements relatifs des particules, les unes par rapport aux autres, et par rapport au fluide. Divers paramètres influent fortement sur l'efficacité du procédé, tels que la siccité des particules à séparer, leur forme, le champ d'accélération du flux d'air. On trouve des classificateurs pneumatiques à courant ascendant de type zigzag, par centrifugation ou, encore, du type "air-kniffe" (Figure II.26).

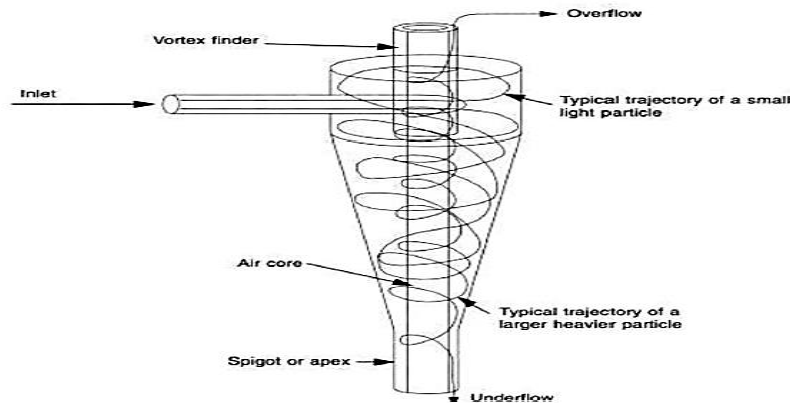


Figure II.26 : Principe d'un hydrocyclonne. [32]

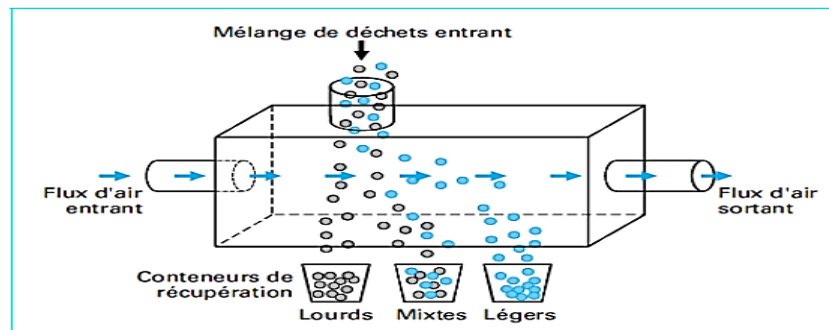


Figure II.27 : Schéma de principe du séparateur à Air-Kniffe. [32]

#### ➤ Principe de séparation par liqueur dense :

C'est une séparation utilisant le principe de rapport des densités des matériaux (déchets non creux en générale). En effet cette méthode de tri consiste à plonger dans un liquide dense, de densité préalablement ajustée, les objets à trier caractérisés par des densités différentes. Les plus lourds sont décantés et les plus légers plongent à la surface.

La liqueur dense est une suspension aqueuse de particules denses, utilisée souvent pour des déchets particulièrement précieux (l'or, le platine, etc...), elle est composée de particules magnétiques afin de pouvoir les récupérer facilement. On utilise le plus souvent, pour réaliser des liqueurs de masses volumiques variant de 1,5 à 3,2 t/m<sup>3</sup> :

- du Ferro silicium broyé ou atomisé ( $r = 6,8 \text{ t/m}^3$ ) ;
- de la magnétite ( $r = 5 \text{ t/m}^3$ ).

Les installations fonctionnent avec des valeurs médiums dont les masses volumiques sont comprises entre 1,7 et 3,2 t/m<sup>3</sup>.

### II.3.4.9 Tri par séparation balistique

Ce mode de tri est basé sur le mouvement de projectiles et fait intervenir l'action de la gravité sur ces derniers. Dans ces procédés, les différents objets sont projetés dans l'air et acquièrent une trajectoire qui leur est propre, permettant ainsi une séparation. Parfois les déchets sont projetés sur un obstacle sur lequel ils vont rebondir plus ou moins fortement. Ce type de tri est essentiellement réservé aux corps plats et volumineux (figure II.28).

Le principe de son fonctionnement se base sur de multiples secousses et projections :

- a) Les matériaux plats et lourds restent collés et remontent progressivement dans la partie supérieure de l'équipement,
  - b) les matériaux creux et légers rebondissent et chutent progressivement au fur et à mesure des secousses dans la partie inférieure de l'équipement, Les fines sont séparées par la suite du flux, Souvent deux cribles balistiques en série sont utilisés pour séparer :
    - Dans une première étape : les grands corps plats (cartons) ; les petits corps plats, et les corps creux (emballages plastiques (PEHD, PET) et emballages métalliques). Cette fraction rejoint le second séparateur balistique
    - Dans une seconde étape : les petits corps plats; les fines passant à travers les plaques perforées
- Principales caractéristiques
    - Captation de 80 à 90% des plats sur la chaîne des plats ;
    - Captation de 90 à 95% des creux sur la chaîne des creux ;
    - Pas d'effet sur les emballages liquides alimentaires qui se retrouvent indifféremment sur chacune des fractions.

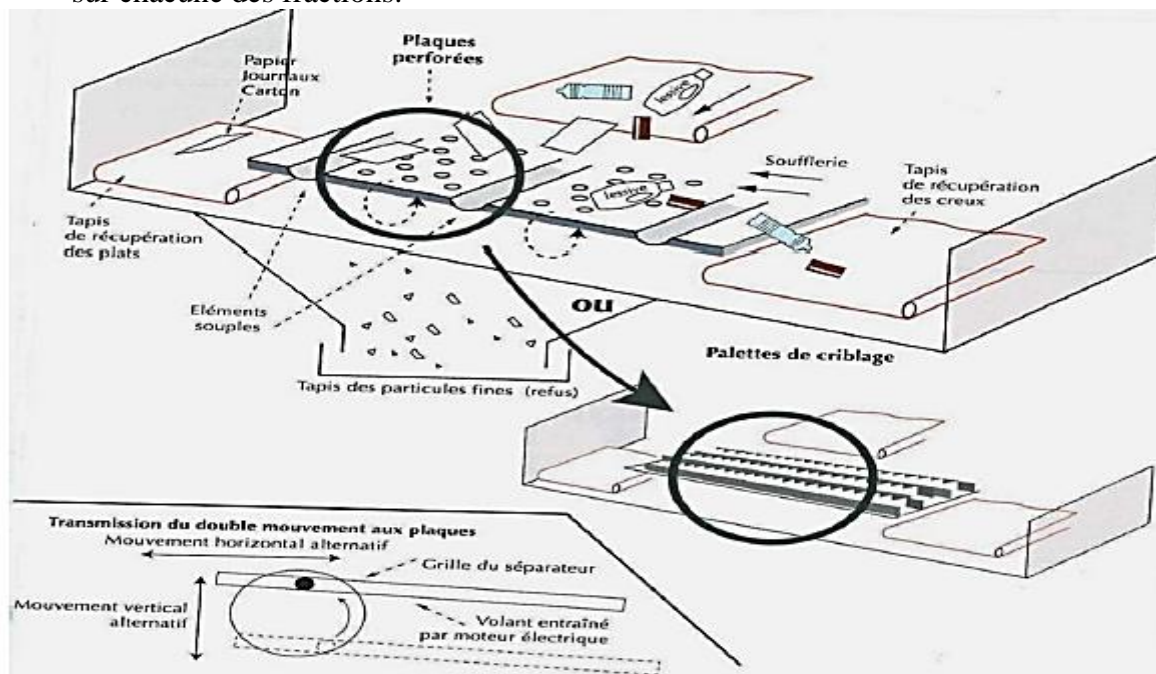


Figure II.28 : Schéma de principe du séparateur balistique. [32]

### II.3.4.10 Tri magnétique

C'est une méthode permettant d'extraire des particules métalliques aimantées d'un flux de déchets. Les dispositifs fonctionnant selon ce principe sont très souvent présents en

amont dans les installations de régénération. Ils sont efficaces pour ôter du flux, soit des objets métalliques, soit des pièces de matières plastiques assemblées avec des parties métalliques ou comportant des inserts.

Un champ magnétique consistant en une aimantation simple ou une électro aimantation permet de signaler la présence de métaux ferreux, parfois de retirer l'objet métallique par aimantation directe. Le plus souvent, ces systèmes sont couplés à des dispositifs d'éjection des corps indésirables (éjection manuelle, par jet d'air comprimé...).

Ils sont considérés comme des étapes de protection des installations de régénération ultérieure et de mise en œuvre par les procédés plasturgiques qui ne tolèrent pas la présence de pièces métalliques.

#### ➤ Sources de champ magnétique

L'organe essentiel d'un séparateur magnétique est la source de champ magnétique à l'origine de la force utilisée pour la séparation ; trois dispositifs peuvent être employés : des aimants permanents, des électroaimants ou des solénoïdes (bobines en cuivre ou supraconductrices).

Les matériaux à aimants permanents sont nombreux (Remalloy, vicalloy, ferrites, Alnico), les aimants les plus couramment utilisés actuellement sont constitués d'alliages céramiques de types Co5RE (ou RE est un élément de terre rares Sm, Sr, Ce, Nd, etc.) ou de fer-neodyme (Fe-Nd) dont les intensités de champ magnétique peuvent atteindre **1200 kA/m** et la valeur de grade (H2) est de **1,3x10<sup>17</sup> A/m**. Dans les séparateurs magnétiques les aimants permanents peuvent être montés avec pièces polaires (**H > 800 kA/m**). Sans pièces polaires, les lignes de champs magnétiques se propagent loin dans l'espace et les valeurs maximales du champ magnétique ne dépassent pas **200 kA/m**.

Les électroaimants ou circuit magnétique conventionnel sont composés d'une ou de deux bobines en cuivre résistif entourant un noyau de fer doux ( $\mu_r = B/\mu_0 H$  très élevé). Ces systèmes magnétiques conventionnels sont capables de créer un champ magnétique d'environ **1600 kA/m**.

Le solénoïde est une bobine d'induction constituée d'enroulements de fils conducteurs en cuivre résistif ou en alliage supraconducteurs (Nb-Ti). Le solénoïde présente l'avantage d'effectuer la séparation à l'intérieur même de la bobine d'induction et peut générer sans difficulté un champ magnétique de plus de **4000 kA/m**.

Les aimants permanents sont employés dans le domaine de la séparation à basse intensité mais aussi le plus souvent dans le domaine de haute intensité, car la consommation d'énergie est quasi nulle. Les électroaimants et les solénoïdes offrent une grande souplesse de réglage mais consomment une énergie importante nécessitant parfois l'installation de redresseurs et de stabilisateurs de courant.

Il existe trois types d'installation utilisable dans les centres de tri :

a) **L'over band** : C'est un système magnétique fixe placé au-dessus d'un convoyeur et autour duquel tourne une bande d'évacuation entraînée par un motoréducteur. Sous l'effet de l'attraction magnétique, les produits ferreux acheminés par le convoyeur sont entraînés en dehors de la ligne de transport du mélange. L'attraction cessant en bout de course, les produits retombent, soit dans une trémie, soit sur un convoyeur.

b) **La poulie magnétique** : Elle se présente sous la forme d'un cylindre monté sur un axe (figure II.29). Son corps contient un aimant permanent ou un électro aimant. Elle est généralement utilisée en remplacement de la poulie d'entraînement d'un convoyeur à bande. À



l'extrémité du convoyeur à bande, les corps ferreux sont retenus par la poule et entraînés en dessous du convoyeur. Ils tombent alors par gravité. L'avantage de cet équipement est d'être beaucoup moins onéreux qu'un over band mais il est également moins performant et implique un tri amont. [32]

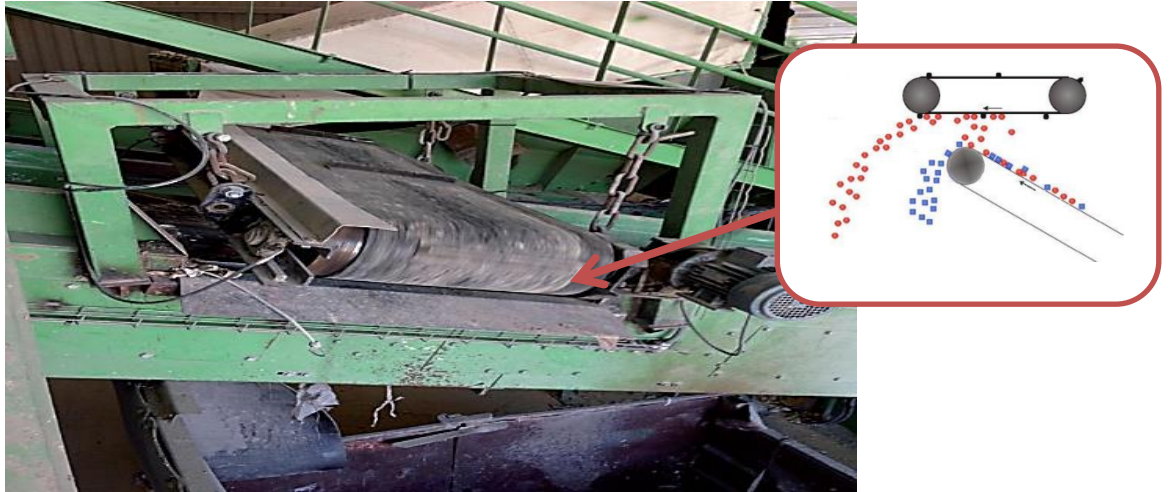


Figure II.29 : Mécanisme over band.

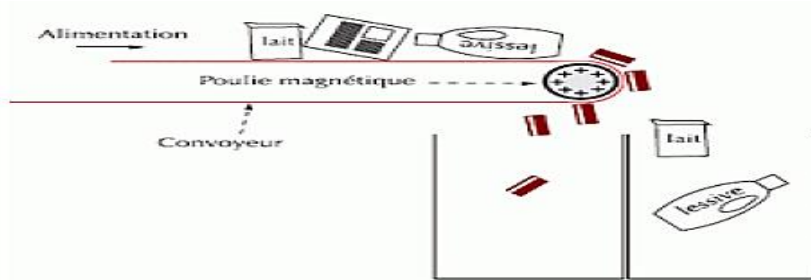
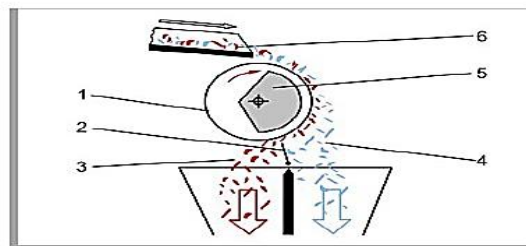


Figure II.30 : Principe de base d'un séparateur magnétique par poulie magnétique.

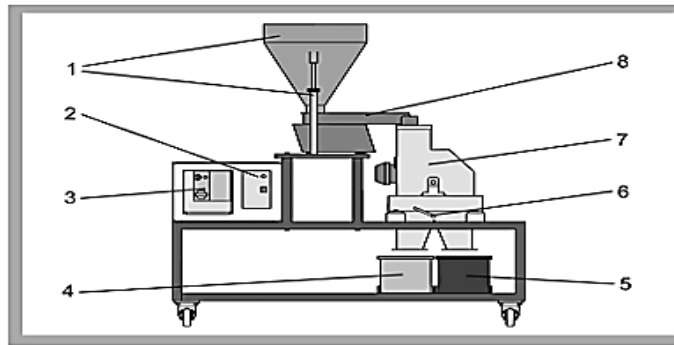
c) **Le tambour magnétique** : C'est un tambour rotatif à l'intérieur duquel un aimant forme une demi-circonférence (figures II.32 et II.31). Lorsque les matériaux tombent sur le tambour, les corps ferromagnétiques restent plaqués contre le tambour et tombent une fois atteinte la partie non magnétique. Les autres corps tombent par gravité directement dans une goulotte. Ce type de matériel peu onéreux peut convenir aux centres de tri de faible capacité, par exemple dans une trémie recevant un flux d'acier et d'aluminium : il sépare alors ce flux en deux fractions. [32]



1 Tambour rotatif (amagnétique),  
2 Tôle de séparation réglable,  
3 Composants magnétisables

4 Composants non magnétisables,  
5 Aimants permanents,  
6 Charges d'alimentation

Figure II.31 : Principe de base des séparateurs magnétiques à tambour. [32]



1 : Entonnoir d'alimentation réglable en hauteur,      5 : Réservoirs de matières amagnétiques,  
2 : Eléments de commande de l'auge vibrante,      6 : Leviers pour la tôle de séparation,  
3 : Eléments de commande du séparateur magnétique,      7 : Séparateur magnétique,  
4 : Réservoir de matières magnétiques,      8 : Auge vibrante

**Figure II.32** : Schéma d'un séparateur magnétique à Tambour. [32]

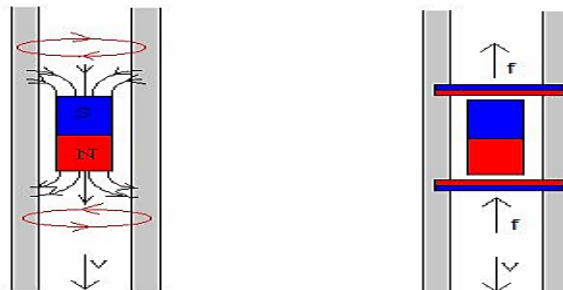
### II.3.4.11 Tri des déchets par courants de Foucault

#### A) Principe des courants de Foucault

Les courants de Foucault sont des phénomènes électriques se produisant lorsqu'un conducteur (métal) traverse un champ magnétique variable. Ce mouvement relatif provoque une circulation d'électrons, ou courant induit, à l'intérieur du conducteur. Ces courants circulaires de Foucault créent des électroaimants avec des champs magnétiques qui s'opposent à l'effet du champ magnétique appliqué. Les courants de Foucault et les champs contraires ainsi générés sont d'autant plus forts que

- Le champ magnétique appliqué est élevé, ou
- Que la conductivité du conducteur est élevée, ou
- Que la vitesse relative de mouvement est élevée.

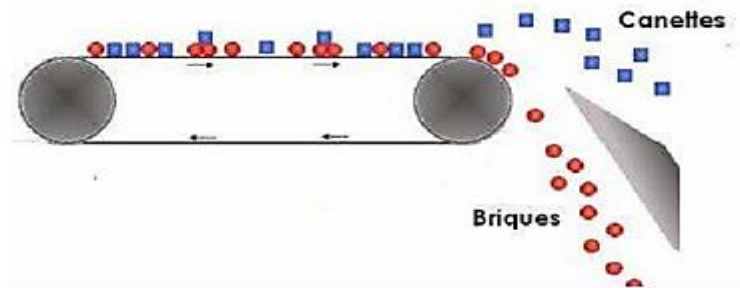
Pour une démonstration pratique des courants de Foucault (Figure II.33), on utilise des aimants cylindriques que l'on laisse tomber verticalement dans un tube de cuivre ou d'aluminium. On peut observer expérimentalement que la force qui s'oppose au poids est proportionnelle à la vitesse de l'aimant. L'expérience est illustrée sur le dessin ci-joint :



**Figure II.33** : Démonstration pratique des courants de Foucault. [17]

Supposons que l'aimant cylindrique descend avec son pôle Nord (couleur rouge) en avant et son pôle Sud (couleur bleue) en arrière. Dans un aimant, les lignes du champ magnétique vont du pôle Nord vers le pôle Sud. Au cours de la descente de l'aimant, le flux du champ

magnétique s'accroît dans la région proche du pôle Nord de l'aimant. Dans le tube, il apparaît alors un courant induit ou courant de Foucault, qui s'oppose à l'augmentation de flux, selon le sens indiqué sur la première la première partie de la figure II.33. Le principe des courants de Foucault est appliqué aux freins dynamiques des camions, un type de frein dont sont aujourd'hui équipés la plupart des poids lourds. Leur grand avantage est qu'ils fonctionnent sans contact, et donc sans usure. Sur ces dispositifs, des disques solidaires de l'arbre de transmission tournent entre des électroaimants alimentés par une batterie. Pour freiner, un courant traverse les électroaimants. Plus la vitesse du véhicule est élevée, plus les disques tournent rapidement entre les électroaimants, et plus le freinage est efficace. [17]



**Figure II.34** : Principe de base d'un séparateur de déchet par courants de Foucault. [17]

Les courants de Foucault sont générés par induction dans des pièces métalliques croisant le tambour inducteur d'un séparateur de métaux NON ferreux à courants de Foucault. Une force de répulsion opposée à l'effet du tambour inducteur apparaît ainsi, permettant un mouvement en avant et donc une séparation du reste des matériaux qui ne sont pas influencés et tombent suivant une trajectoire naturelle parabolique (figure II.34).

### **B) Domaines d'application de tri par courants de Foucault**

Les mâchefers composites placés sur le tapis, les métaux ferreux restent accrochés et tombent par gravité sous la roue, les inertes (cailloux, verre...) tombent par gravité devant la roue, les métaux non ferreux sont éjectés devant la roue. Cette machine a été mise au point pour les broyeurs de voiture. L'idée a donc été de miniaturiser l'installation pour récupérer l'aluminium collecté et/ou broyé dans les ordures ménagères. La miniaturisation a eu lieu, mais les premières applications, en centres de collecte, ont échoué. En éjectant l'aluminium, la machine isolait tous les emballages qui contenaient ce métal, y compris les emballages complexes n'incorporant qu'une micro-feuille d'aluminium. L'utilisation a été reportée sur le tri de mâchefer issu d'incinérateurs. Ce tri, par machine à courant de Foucault, peut s'effectuer soit en sortie d'incinérateur, soit en centre de traitement des mâchefers, soit en centre de tri des métaux non ferreux tels que:

- Aluminium (emballages, fils...);
- cuivre (tubes, câbles...);
- inox (équipements agroalimentaires, cuisines...);
- plomb (accumulateurs, batteries...);
- zinc (toitures, alliages...);
- chrome;
- nickel.

### II.3.4.12 Tri Optique des déchets

Cette technique repose sur l'examen, au moyen de caméras, de la surface d'un produit particulaire circulant, éclairé dans des conditions contrôlées. Les critères examinés sont la forme, la taille des particules, et la couleur au sens large : spectre de la lumière réfléchiée par l'objet dans le visible, l'infrarouge (IR) ou l'ultraviolet (UV). L'éclairage des produits est assuré par des lampes délivrant le spectre requis : néons à haute fréquence, lampes à incandescence (visible ou IR), diodes électroluminescentes (LED : light emitting diode) de puissance.

#### ➤ Quelques notions de base sur la couleur

La couleur d'un objet résulte de l'interaction de la lumière avec cet objet. La lumière est composée de rayonnements électromagnétiques dans une gamme relativement étroite de longueur d'onde sensiblement comprise entre 380 et 780 nm. La lumière blanche naturelle est composée de l'ensemble du spectre comme on le voit sur la figure II.35. S'il manque une ou plusieurs bandes de longueur d'onde, l'œil interprète les longueurs d'onde restant en termes de couleur (teinte). Lorsque la lumière pénètre dans un objet, plusieurs cas de figure peuvent se présenter :

A) La lumière est totalement absorbée, et l'objet est noir

B) La lumière est partiellement absorbée. Les longueurs d'onde non absorbées donnent la couleur de l'objet

C) La lumière n'est pas absorbée et l'objet est transparent

Le rayonnement par les molécules est une onde électromagnétique qui transporte de l'énergie  $E$  liée à sa fréquence  $\nu$  par la relation :

$$E = h\nu = h \cdot c / \lambda$$

$h$  : La constante de Planck ( $h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$ ),

$c$  : La vitesse de la lumière dans le milieu où se propage l'onde ( $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$  dans le vide),

$\lambda$  : La longueur d'onde du rayonnement, exprimée habituellement en nanomètres (nm).

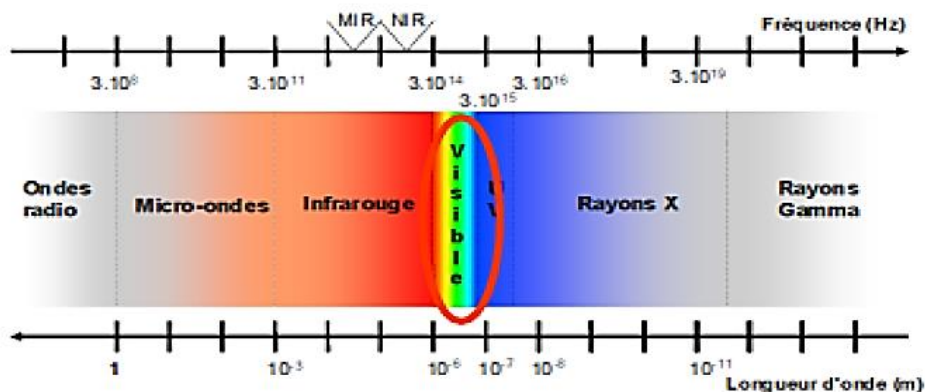


Figure II.35 : Plage de longueur d'onde. [17]

Ce rayonnement absorbe dans plusieurs domaines (figure II.35) à savoir :

- Le domaine du rayon X
- Le domaine des rayons gamma
- Les domaines allant de 190 à 800 nm, qui correspondent à l'ultra- violet (190 - 400 nm) et au visible (400 - 800 nm).
- Les domaines couvrant l'infrarouge et le proche infrarouge (2500 - 3000 nm)
- Le domaine du micro- ondes
- Le domaine des ondes radio

#### ➤ Sources artificielles de lumière

La source artificielle de lumière peut être de deux principes :

- Incandescence
- Luminescence

#### a) Incandescence

C'est la production de la lumière par élévation de la température d'un corps solide, liquide ou gazeux. Dans une lampe à incandescence, l'électricité porte à haute température un filament de tungstène enfermé dans une ampoule en verre vide d'air ou remplie de gaz inertes. Les radiations thermiques obtenues émettent alors un spectre continu de lumière visible.

#### b) Luminescence :

La luminescence est le rayonnement (non thermique...) émis par un gaz ou une vapeur métallique soumis à des décharges électriques. Ce rayonnement ne couvre pas forcément tout le spectre visible. Ces décharges sont intermittentes, la lumière émise également, à la fréquence des décharges (par exemple à la fréquence du courant alternatif). Ce principe a donné le jour à toutes les lampes à décharge basse et haute pression actuelles.

Les objets que nous voyons sont colorés parce qu'ils absorbent certaines longueurs d'ondes et en réfléchissent d'autres. Les objets blancs réfléchissent toutes les longueurs d'onde de la lumière, et les objets noirs les absorbent toutes. De même, une pomme rouge réfléchit principalement de la lumière rouge, et l'herbe réfléchit principalement de la lumière verte.

**Tableau II.8** : Longueurs d'onde des principales couleurs.

Couleurs	Longueur d'onde (nm)	Intervalle de longueur d'onde (nm)
Violet	400	380 - 450
Bleu	470	450 - 495
Vert	530	495 - 570
Jaune	580	570 - 590
Orange	600	590 - 620
Rouge	650	620 - 750
IR proche	880	750 - 3000

Principe de fonctionnement du tri optique La technologie de tri optique se base sur le principe de détection des couleurs dans le domaine du visible où la longueur d'onde  $\lambda$  est située entre 400 et 800 nm (figure II.35). L'objet est éclairé par des lampes halogènes et réfléchit une certaine quantité de lumière (figure II.36). Cette lumière réfléchi est relevée par un capteur (camera ou spectrocolorimètre) situé dans la tête de lecture. Ces informations sont ensuite envoyées à l'unité de traitement qui analyse l'information et commande les électrovannes. Ces dernières éjectent alors les objets qui se retrouvent en deux ou trois catégories, par familles de couleurs. On distingue deux technologies différentes de capteurs :

- 1) Le système de camera couleur couplée à un prisme, qui effectue des mesures sur les couleurs primaires (rouge, vert et bleu) en fonction de leur intensités ;
- 2) La spectrocolorimètre, qui analyse la totalité du spectre visible et permet d'obtenir des résultats plus sélectifs et plus précis que la caméra couleur.

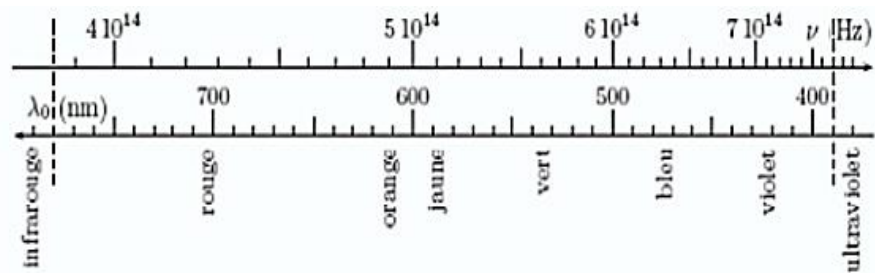


Figure II.36 : Plage de longueur d'onde. [17]

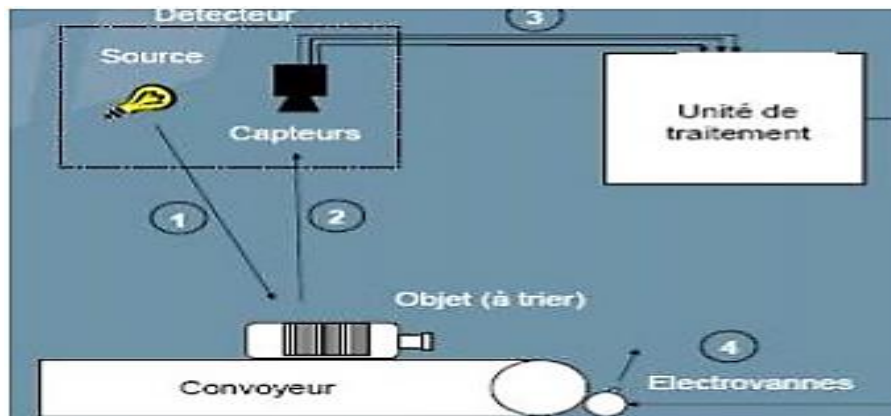


Figure II.37 : Principe de base d'un séparateur de déchet par tri optique. [17]

Déchets concernés par cette technologie La spectrométrie dans le visible est bien adaptée au tri des matières plastiques par couleur, par exemple le tri du PET clair/azuré et coloré, des papiers cartons (détection des couleurs brunes fortement présentes dans les emballages et des couleurs grises plutôt présentes dans les journaux) et des métaux.

## II.3.5 Instrumentations

### II.3.5.1 Généralités sur le convoyeur

Un convoyeur soit un mécanisme ou machine qui permet le transport d'une charge isolée (cartons, bacs, sacs, ...) ou de produit en vrac (terre, poudre, aliments...) d'un point A à un point B, soit une personne qui convoie.

#### II.3.5.1.1 Convoyeur à bande

Les convoyeurs à bande sont caractérisés par le type de bande transporteuse utilisée (matériaux, texture, épaisseur) et par la position du groupe de motorisation (central ou en extrémité). Dans tous les cas, un convoyeur à bande se compose:

- D'un tambour de commande et de son moto réducteur
- D'un rouleau d'extrémité
- D'un châssis porteur avec une sole de glissement qui assure le soutien de la bande
- D'une bande transporteuse



Figure II.38 : convoyeur à bande chevron en auge des déchets (moto réducteur)

### II.3.5.1.2 Convoyeur magnétique

Le convoyeur magnétique est une bande transporteuse dont la partie inférieure aimantée attire les éléments ferreux dispersés dans d'autres matières, ou un appareil muni d'une bande avec une partie magnétique placée en dessous de la bande, permet d'attirer les produits métalliques vers le bas leur donnant ainsi plus de stabilité.

Les convoyeurs à tambour magnétique permettent la séparation des particules ou déchets métalliques. Souvent employé en fonderie pour extraire les déchets métalliques d'un transporteur de sable après l'opération de décochage.

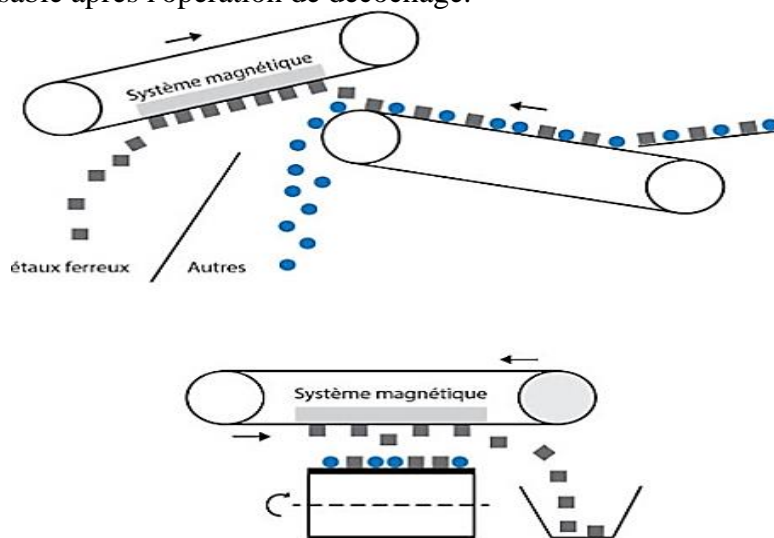


Figure II.39 : Convoyeur magnétique. [17]

#### ➤ Principe de fonctionnement

Le convoyeur est formé d'un châssis avec un rouleau à chaque extrémité sur lesquels une bande de caoutchouc est enroulée. Cette bande comporte généralement des rainures en relief chargées d'entraîner les matières à trier. Sur la partie inférieure du convoyeur, un aimant attire les métaux ferreux qui sont maintenus contre le tapis jusqu'à la limite de l'aimant ; les crans du tapis et la force centrifuge éjecte ces matières sur un autre convoyeur ou dans un conteneur.

#### ➤ Applications

Les matières transportées sur bandes ou goulottes de transfert doivent être débarrassées des particules ferreuses plus ou moins importantes. Ce procédé intéresse plusieurs secteurs :

- Fonderie : après le décochage des pièces coulées (acier, fonte), le sable transporté sur bande transporteuse doit être débarrassé des déchets métalliques avant régénération et réutilisation.
- Recyclage :

- Principalement des ordures ménagères qui contiennent une multitude de matières différentes dont des métaux qui peuvent être recyclés.
- Dans la métallurgie, récupération des déchets métalliques issus des divers traitements du minerai (coulée, laminage, filage, forgeage, etc.), le triage des copeaux après usinage.
- Sur les chantiers de récupération et de traitement des ferrailles (déchet industriel), le tri est réalisé pour séparer les métaux ferreux des non ferreux qui ont une valeur marchande non négligeable (acier, fonte, aluminium, cuivre).

### II.3.5.2 généralités sur les captures

#### II.3.5.2.1 Introduction :

Le capteur est un élément essentiel dans un système mécatronique, il est le premier élément d'une chaîne de commande, on fait toujours appel à des capteurs dans la conception des systèmes mécatroniques.

Dans ce chapitre on va définir les différents types des capteurs avec leurs principales caractéristiques, leurs avantages, domaine d'utilisation, et leurs principes de fonctionnement, puis on va expliquer les critères de choix des capteurs utilisés dans notre projet et enfin l'installation et la mise en fonctionnement des capteurs choisis pour ce projet. [20]

#### II.3.5.2.2 Définition :

Les capteurs sont des composants de la chaîne d'acquisition dans une chaîne fonctionnelle. Les capteurs prélèvent une information sur le comportement de la partie opérative et la transforment en une information exploitable par la partie commande.

Une information est une grandeur abstraite qui précise un événement particulier parmi un ensemble d'événements possibles. Pour pouvoir être traitée, cette information sera portée par un support physique (énergie), on parlera alors de signal. Les signaux sont généralement de nature électrique ou pneumatique.

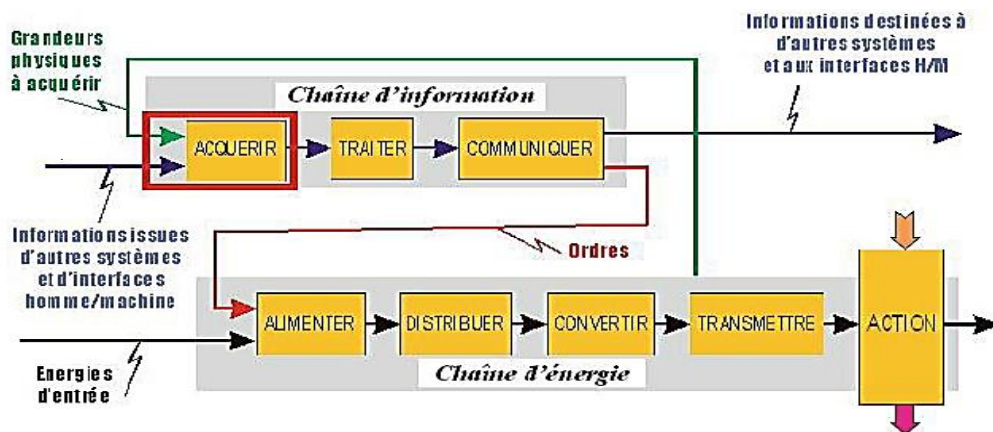


Figure II.40 : Capteur dans la chaîne de mesure. [17]

Dans les systèmes automatisés séquentiels la partie commande traite des variables logiques ou numériques. L'information délivrée par un capteur pourra être :

- Logique (2 états).
- Numérique (valeur discrète),
- Analogique (dans ce cas il faudra adjoindre à la partie commande un module de conversion analogique numérique).

On peut caractériser les capteurs selon deux critères:

- ✓ **En fonction de la grandeur mesurée:** on parle alors de capteur de position, de température, de vitesse, de force, de pression...etc.



- ✓ **En fonction du caractère de l'information délivrée** : on parle alors de capteurs logiques appelés aussi capteurs tout ou rien (TOR), de capteurs analogiques ou numériques.

On peut alors classer les capteurs en deux catégories, les capteurs à contact qui nécessitent un contact direct avec l'objet à détecter et les capteurs de proximité. Chaque catégorie peut être subdivisée en trois catégories de capteurs :

- Les capteurs mécaniques.
- Les capteurs électriques.
- Les capteurs pneumatiques.

### II.3.5.2.3 Principales caractéristiques des capteurs:

- **L'étendue de la mesure** : c'est la différence entre le plus petit signal détecté et le plus grand perceptible sans risque de destruction pour le capteur.
- **La sensibilité** : plus un capteur est sensible, plus la mesure pourra être précise, c'est une caractéristique importante pour l'exploitation et l'interprétation de la mesure, C'est la plus petite variation d'une grandeur physique que peut détecter un capteur.
- **La rapidité** : est une spécification d'un capteur qui permet d'apprécier de quelle façon la grandeur de sortie suit dans le temps les variations de la mesure.
- **La précision** : c'est la capacité de répétitivité d'une information : position, d'une vitesse,... etc.
- **Les erreurs** : le capteur et toute la chaîne de traitement de la mesure introduisent des erreurs : bruit, décalage, interférences, ...etc. L'erreur globale de mesure ne peut-être qu'estimée ; une conception rigoureuse de la chaîne de mesure permet de réduire les erreurs et donc l'incertitude sur le résultat ; on parle de : fidélité, justesse, précision, incertitude, linéarité.
- **Étalonnage** : l'étalonnage permet d'ajuster et de déterminer sous forme graphique ou algébrique, la relation entre la mesure et la grandeur électrique de sortie. Très souvent l'étalonnage n'est valable que pour une seule situation d'utilisation du capteur.
- **Limite d'utilisation** : les contraintes mécaniques, thermiques ou électriques aux quelle un capteur est soumis entraînent, lorsque leur niveau dépassent des seuils définies, une modification des caractéristiques du capteur. Au-dessus d'un certain seuil, l'étalonnage n'est plus valable, au-dessus d'un autre plus grand, le capteur risque d'être détruit.
- **Finesse** : c'est une spécification qui permet d'estimer l'influence de la présence du capteur et de ces liaisons sur la valeur de la mesure. La finesse doit être la plus grande possible.

### II.3.5.2.4 Classification des capteurs :

Les capteurs ont plusieurs modes de classification :

- **Capteurs passifs** : Ils ont besoin dans la plupart des cas d'apport d'énergie extérieure pour fonctionner (exemple : thermistance, photorésistance, potentiomètre, jauge d'extensomètre appelée aussi jauge de contrainte. Ce sont des capteurs modélisables par une impédance. Une variation du phénomène physique étudié (mesuré) engendre une variation de l'impédance. Il faut leur appliquer une tension pour obtenir un signal de sortie.

**Tableau II.9** : tableau des capteurs actifs.

Grandeur mesurer	physique	à Effet utilisé	Grandeur de sortie
Température		Thermoélectricité	Tension
Flux de rayonnement optique		Photo- émission	Charge

<b>Flux de rayonnement optique</b>	Effet photovoltaïque	Courant
<b>Flux de rayonnement optique</b>	Effet photo-électrique	Tension
<b>Force ou pression</b>	Piézo-électricité	Tension
<b>Accélération ou vitesse</b>	Induction électromagnétique	Charge
<b>Position (aimant) ou courant</b>	Effet hall	Tension

#### ➤ **Capteurs intelligents : (capteur de poids)**

Ces dernières années ont vu apparaître le concept de capteurs intelligents.

En plus de leur facilité de mesurer une grandeur physique, ils possèdent d'autres fonctionnalités dont voici une liste non-exhaustive :

- fonctions configurables de traitement du signal (filtres, gains...) ;
- fonctions d'autotest et d'autocontrôle ;
- étalonnage automatique.

### II.3.5.2.5 Les détecteurs de position

#### ➤ **Caractéristiques :**

Les capteurs mécaniques de position, appelés aussi interrupteurs de position, sont surtout employés dans les systèmes automatisés pour assurer la fonction détecter les positions. On parle aussi de détecteurs de présence.

Ils sont réalisés à base de microcontacts placés dans un corps de protection et muni d'un système de commande ou tête de commande.

On peut appeler aussi les interrupteurs fin de course servant souvent à limiter les déplacements des mécanismes du processus. Ils sont aussi destinés à protéger les mécanismes contre les ruptures de leurs éléments en cas de dépassement des limites admissibles.

#### ➤ **Avantage :**

- ✓ sécurité de fonctionnement élevée.
- ✓ fidélité sur les points d'enclenchement (jusqu'à 0,01 mm).
- ✓ épuration galvanique des circuits.
- ✓ bonne aptitude à commuter les courants faibles.
- ✓ tension d'emploi élevée.
- ✓ mise en œuvre simple, fonctionnement visualisé.
- ✓ grande résistance aux ambiances industrielles.

#### ➤ **Utilisations :**

Les plus significatives se rencontrent dans la mécanique et la machine-outil (usinage, manutention, levage), dans l'agro-alimentaire et la chimie (conditionnement, emballage), sur des types d'applications relevant de :

- la détection de pièces machines (comes, butées, pignons).
- la détection de balancelles, chariots, wagons.
- la détection directe d'objets.

#### ➤ **Principe**

C'est un commutateur, commandé par le déplacement d'un organe de commande (corps d'épreuve). Lorsque le corps d'épreuve est actionné, il ouvre ou ferme un contact électrique.

De nombreux modèles peuvent être associés au corps : tête à mouvement rectiligne, angulaire ou multi-direction associée à différents dispositifs d'attaque (à poussoir, à levier, à tige).

- La tête de commande et le dispositif d'attaque sont déterminés à partir de :
- la forme de l'objet : came 30°, face plane, forme quelconque.
- la trajectoire de l'objet : frontale, latérale, multidirectionnelle.

- la précision de guidage.

L'information donnée par ce type de capteur est de type tout ou rien et peut être électrique ou pneumatique



Figure II.41 : Détecteur de position

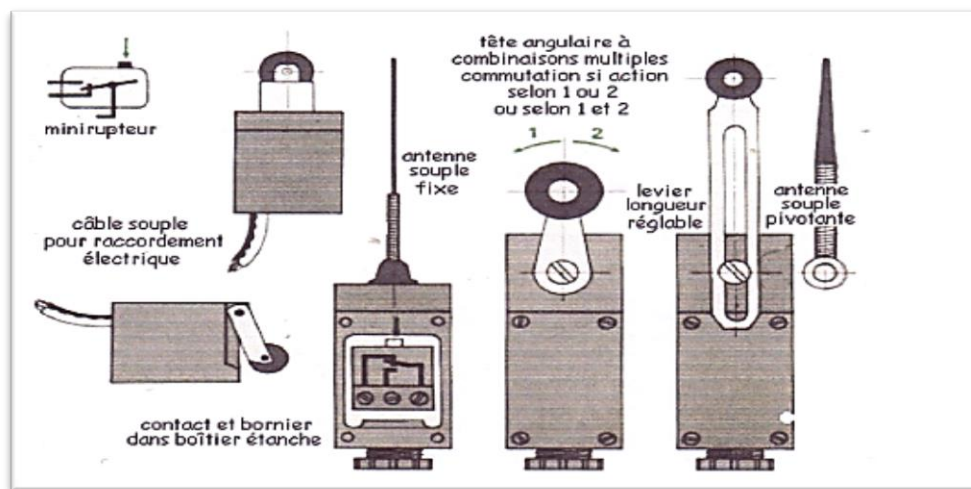


Figure II.42 : Principe de détecteur de position.

### II.3.5.2.6 Les interrupteurs de proximité inductifs

#### ➤ Caractéristiques

Ce type de capteur est réservé à la détection sans contact d'objets métalliques. L'objet est donc à proximité du capteur mais pas en contact contrairement à un détecteur de position.

#### ➤ Avantage

- ✓ pas de contact physique avec l'objet détecté : possibilité de détecter des objets fragiles, fraîchement peints.
- ✓ pas d'usure, durée de vie indépendante du nombre de manœuvres.
- ✓ détecteur statique, pas de pièces en mouvement.
- ✓ produit entièrement encapsulé dans la résine (étanche).
- ✓ très bonne tenue à l'environnement industriel (atmosphère polluante).

#### ➤ Utilisations

Machine-outil, robotique, chimie fine, agro-alimentaire, domaines d'applications de l'usinage, maintenance, assemblage, convoyage.

#### ➤ Principe

La technologie des détecteurs de proximité inductifs est basée sur la variation d'un champ magnétique à l'approche d'un objet conducteur du courant électrique. Il produit à l'extrémité de leur tête de détection un champ magnétique oscillant, ce champ est généré par une self et une capacité montée en parallèle.

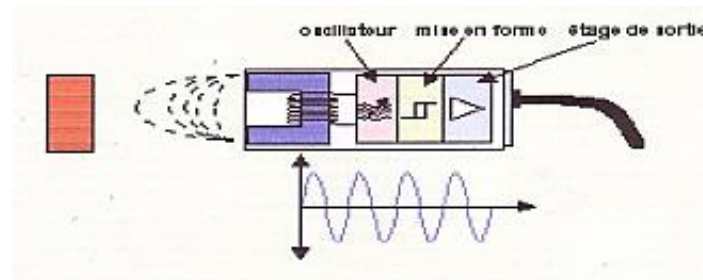


Figure II.43 : Principe d'interrupteur de proximité inductif.

### II.3.5.2.7 Les interrupteurs de proximité capacitifs :

#### ➤ Caractéristiques

Les interrupteurs capacitifs présentent l'avantage de pouvoir détecter à courte distance la présence de **tous types d'objets**. L'objet est donc à proximité du capteur mais pas en contact contrairement à un détecteur de position.

#### ➤ Avantage

- ✓ pas de contact physique avec l'objet détecté : possibilité de détecter des objets fragiles, fraîchement peints.
- ✓ pas d'usure, durée de vie indépendante du nombre de manœuvres.
- ✓ détecteur statique, pas de pièces en mouvement.
- ✓ produit entièrement encapsulé dans la résine (étanche).
- ✓ très bonne tenue à l'environnement industriel (atmosphère polluante).

#### ➤ Utilisations

- ✓ contrôle de remplissage de liquides dans des flacons ou des cuves.
- ✓ détection de la présence de matériaux pulvérulents dans des trémies.
- ✓ Les domaines d'utilisation les plus significatifs se rencontrent dans l'agroalimentaire, la chimie, la transformation des matières plastiques, le bois, les matériaux de construction.

#### ➤ Principe

La technologie des détecteurs de proximité capacitifs est basée sur la variation d'un champ électrique à l'approche d'un objet quelconque.

### II.3.5.2.8 Les interrupteurs de proximité photoélectriques

#### ➤ Caractéristiques

Un détecteur photoélectrique réalise la détection d'une cible, qui peut être un objet ou une personne, au moyen d'un faisceau lumineux. Les détecteurs photoélectriques se composent essentiellement d'un émetteur de lumière associé à un récepteur photosensible. La détection est effective quand l'objet pénètre dans le faisceau lumineux et modifie suffisamment la quantité de lumière reçue par le récepteur pour provoquer un changement d'état de la sortie.

Elle est réalisée selon deux procédés :

- blocage du faisceau par la cible.
- renvoi du faisceau sur le récepteur par la cible.

#### ➤ Avantage

- pas de contact physique avec l'objet détecté.
- détection d'objets de toutes formes et de matériaux de toutes natures.
- détection à très grande distance.
- sortie statique pour la rapidité de réponse ou sortie à relais pour la commutation de charges jusqu'à 2 A.
- généralement en lumière infrarouge invisible, indépendante des conditions d'environnement.

### ➤ Utilisations

- détection d'objets et de produits dans la manutention et le convoyage.
- détection de pièces dans les secteurs de la robotique.
- détection de personnes, de véhicules ou d'animaux dans les secteurs des ascenseurs et du bâtiment en général.

#### II.3.5.2.9 Choix des capteurs

### ➤ Critères de choix

Parmi les principaux et nombreux facteurs qui interviennent dans le choix d'un détecteur, citons :

- les conditions d'exploitation, caractérisées par la fréquence de manœuvres, la nature, la masse et la vitesse du mobile à contrôler, la précision et la fidélité exigées.
- l'effort nécessaire pour actionner le contact.
- la nature de l'ambiance, humide, poussiéreuse, corrosive, ainsi que la température.
- le niveau de protection recherché contre les chocs, les projections de liquides.
- le nombre de cycles de manœuvres.
- la nature du circuit électrique.
- le nombre et la nature des contacts.
- la place disponible pour loger, fixer et régler l'appareil.

La démarche d'aide au choix s'établit en deux temps :

Phase 1 : détermination de la famille de détecteurs adaptée à l'application

Phase 2 : détermination du type et de la référence du détecteur recherché

- l'environnement : température, humidité, poussières, projections diverses.
- la source d'alimentation : alternative ou continue.
- le signal de sortie : électromécanique, statique.
- le type de raccordement : câble, connecteur.

### ➤ Automates programmables

Un automate programmable industriel, ou API, est un dispositif électronique programmable destiné à la commande de processus industriels par un traitement séquentiel. Il envoie des ordres vers les pré actionneurs (partie opérative ou *PO* côté actionneur) à partir des données d'entrées (capteurs) (partie commande ou *PC* côté capteur), de consignes et d'un programme informatique.

Lorsqu'un automate programmable remplit une fonction de sécurité, il est alors appelé automate programmable de sécurité ou APS.

### ➤ Présentation

On nomme Automate Programmable Industriel, API (en anglais Programmable Logic Controller, PLC) un type particulier d'ordinateur, robuste et réactif, ayant des entrées et des sorties physiques, utilisé pour automatiser des processus comme la commande des machines sur une ligne de montage dans une usine, ou le pilotage de systèmes de manutention automatique. Là où les systèmes automatisés plus anciens employaient des centaines ou des milliers de relais et de cames, un simple automate suffit. On nomme automaticiens les programmeurs de ces Automates Programmables Industriels.

### ➤ Constitution

L'API est structurée autour d'une unité de calcul ou processeur (en anglais *Central Processing Unit*, CPU), d'une alimentation par des sources de tension alternative (AC) ou continue (DC), et de modules dépendant des besoins de l'application, tels que:

- Des cartes d'entrées - sorties (en anglais Input - Output, I/O) numériques (tout ou rien) pour des signaux à 2 états ou analogiques pour des signaux à évolution continue
- Cartes d'entrées pour brancher des capteurs, boutons poussoirs, etc.
- Cartes de sorties pour brancher des actionneurs, voyants, vannes, etc.

- Des modules de communication obéissant à divers protocoles Modbus, Modbus Plus, Profibus, InterBus, DeviceNet, LonWorks, Ethernet, FIPIO, FIPWAY, RS232, RS-485, AS-i, CANopen, pour dialoguer avec d'autres automates, des entrées/sorties déportées, des supervisions ou autres interfaces homme-machine (IHM, en anglais Human Machine Interface, HMI), etc.
- Des modules spécifiques aux métiers, tels que comptage rapide, pesage, etc.
- Des modules d'interface pour la commande de mouvement, dits modules Motion, tels que démarreurs progressifs, variateurs de vitesse, commande d'axes.
- Des modules locaux de dialogue homme-machine tels qu'un pupitre (tactile ou avec clavier), un terminal de maintenance, reliés à l'automate via un réseau industriel propriétaire ou non et affichant des messages ou une représentation du procédé.

D'autres automates, plus anciens, étaient constitués d'une simple mémoire dont l'adresse d'entrée était constituée d'une concaténation de données d'entrée (senseurs, horloge) et de l'état précédent. Beaucoup moins onéreux, ils se prêtaient en revanche mal à une augmentation rapide du nombre d'états. Ils sont restés très utilisés pour des automatisations simples du style Anti blockier system (ABS) ou feux de signalisation aux carrefours.

Les API se caractérisent par rapport aux ordinateurs

- par leur robustesse : conçus pour pouvoir travailler en milieu hostile, ils utilisent des circuits durcis et sont prévus pour résister aux vibrations, aux températures des ateliers etc.
- par leur réactivité aux indications fournies par les capteurs (dispositifs anticollision, alarmes diverses);
- par leur facilité de maintenance (bien que les ordinateurs industriels atteignent également un très bon degré de fiabilité). Les modules peuvent être changés très facilement et le redémarrage des API est très rapide.

L'absence d'Interface Homme-machine (IHM) permanent pour visualiser l'action et le fonctionnement du programme sur la partie opérative font que les automates sont souvent reliés à un pupitre opérateur, une interface graphique (écran d'affichage ou écran tactile) ou un PC. Dans ce dernier cas, on parle de supervision. Le PC peut d'ailleurs être utilisé seul en regroupant les fonctions de l'API et de la supervision, grâce à l'utilisation d'un soft Plc.

En automatisation industrielle, on parle aussi beaucoup d'automates de télégestion. Dans ce cas, on vient, via Internet, modifier ou visualiser à distance les données ou le programme des automates de gestion des installations commandées: chaudières collectives, stations d'épuration, etc. Cela se fait par le biais de modem-routeurs souvent associés à un logiciel assurant une liaison sécurisée (VPN). En général, si API et PC coexistent dans un atelier, les API fonctionnent au plus près des processus physiques et prennent en charge les questions de sécurité, les PC s'occupant plutôt de supervision et des rapports extérieurs. Les PC peuvent ainsi fixer au mieux les consignes aux API, qui donnent les ordres détaillés, traitent les urgences, et rendent compte de l'état des processus.

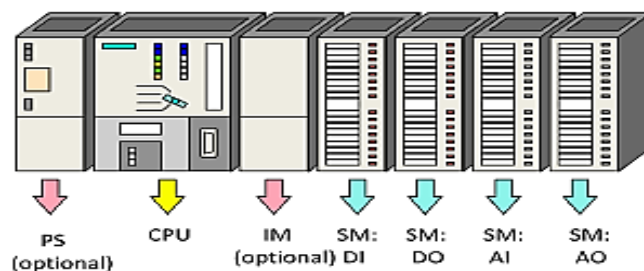


Figure II.44 : Automate programmable

PS : Power Supply (Alimentation), IM: Interface Module (Coupleur), SM: Signal Module, DI: Digital Input (Entrée TOR), DO: Digital output (Sortie TOR), AI: Analog Input (Entrée Analogique), AO: Analog Output (Sortie Analogique)

### ➤ Programme

Les programmes des API sont traités selon un cycle précis, le plus souvent :

1. diagnostic (auto-test)
2. acquisition de toutes les entrées (recopie dans une mémoire image)
3. traitement du programme
4. mise à jour des sorties. Le temps d'un cycle d'API varie selon la taille du programme, la complexité des calculs, le nombre d'entrées/sorties, la puissance de l'API, et les besoins du procédé piloté. Il varie de une à quelques dizaines de millisecondes et est protégé par un chien de garde, au cas par exemple où l'algorithme exécuterait indéfiniment une même boucle de programme.

Lecture des capteurs et commande des actionneurs sont réalisés par scrutation, la gestion d'interruptions pouvant être victime d'un effet d'avalanche en cas d'incident.

### ➤ Différentes langages de programmation

Il existe différents langages de programmation :

- IL (Instruction List), le langage List est très proche du langage assembleur on travaille au plus près du processeur en utilisant l'unité arithmétique et logique, ses registres et ses accumulateurs
- ST (Structured Text), Ce langage structuré ressemble aux langages de haut niveau utilisés pour les ordinateurs
- LD (Ladder Diagram), le langage Ladder (échelle en anglais) ressemble aux schémas électriques et permet de transformer rapidement une ancienne application faite de relais électromécaniques en un programme. Cette façon de programmer exploite une approche visuelle du problème longtemps appréciée en industrie, mais qui s'appuie sur une logique de moins en moins adaptée mais toujours utilisée (2013).

On parle également de langage à contacts ou de schéma à contacts pour désigner ce langage Ladder.

- Boîtes fonctionnelles (FBD), le FBD se présente sous forme diagramme : suite de blocs, connectables entre eux, réalisant des opérations, simples ou très sophistiquées.

Dans la programmation d'un automate, il est possible également de choisir de programmer en SFC, dérivé du grafcet. À chaque action élémentaire est associé un programme écrit en IL, ST, LD ou FBD. Le grafcet, très populaire en France, est un outil graphique de définition de l'automatisme séquentiel, en un nombre fini d'étapes, séparées par des conditions de transition. Il utilise une représentation graphique claire, permettant par exemple au réalisateur de montrer au donneur d'ordre comment il a compris le cahier des charges. Langage universel, indépendant (dans un premier temps) de la réalisation pratique, il peut se "câbler" par séquenceurs, être programmé sur automate voire sur ordinateur. De plus, il permet :

- de hiérarchiser les séquences ;
- de coordonné au sein d'un cycle des séquences interdépendantes se déroulant simultanément
- d'appliquer des conditions de validité sécurisant le cycle de pilotage ;
- enfin, d'exploiter la méthode GEMMA, méthode sécurisant la gestion des modes de marche et d'arrêt.

## II.3.6 Recyclage (matière hors organique)

### II.3.6.1 Définition du recyclage :

C'est la transformation d'un produit pour en faire une nouvelle utilisation. Recycler permet d'avoir à nouveau de la matière première. Ainsi, on peut fabriquer de nouveaux produits ou créer de l'énergie, sans puiser dans les ressources naturelles (arbres, minerais, pétrole). Il y a deux conséquences écologiques majeures :

- la réintroduction du volume des déchets, et donc de la pollution qu'ils causeraient (certains matériaux mettent des décennies, voire des siècles pour se dégrader) ;
- la préservation des ressources naturelles, puisque la matière recyclée est utilisée à la place de celle qu'on aurait dû extraire »

Il représente une des activités économiques de la société de consommation. Certains procédés sont simples et bon marché, tandis que d'autres sont complexes et peu rentables. Dans ce domaine, les objectifs de l'écologie et ceux du commerce peuvent ainsi se rejoindre ou diverger ; la législation peut alors imposer la prise en charge de cette externalité. Ainsi, en particulier depuis les années 1970, le recyclage est-il une activité importante de l'économie et des conditions de vie des pays développés. [18]



Figure II.45 : logo universelle des matériaux recyclable (ruban de möbius)

### II.3.6.1 Définition juridique :

Le terme recyclage fait l'objet d'une définition réglementaire dans le Code de l'Environnement : « Recyclage : 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 en combustible et les opérations de remblaiement ne peuvent pas être qualifiées d'opérations de recyclage. [18]

Quelle que soit la nature des déchets (verre, papier-carton, plastique, textile...) la récupération est envisagée. Elle se définit comme étant la séparation de certains matériaux ou produits des déchets à des fins de réemploi, de réutilisation et de recyclage. Elle peut donc revêtir différentes formes :

- **Le recyclage** : qui consiste à récupérer un matériau pour en fabriquer une autre identique, c'est le cas des verres, des papiers et des cartons ... ;
- **La réutilisation** qui consiste à récupérer un matériau pour en fabriquer un autre différent
- **Le réemploi** : comme son nom l'indique- qui est un nouvel emploi, dans le même état, d'un produit ou d'un matériau récupéré pour un usage donc analogue à sa destination première.

Les trois R constituent une stratégie de gestion des produits en fin de vie et des déchets qui en découlent, visant à :



- **Réduire** : regroupe les actions au niveau de la production pour réduire les tonnages d'objets (par exemple les emballages) susceptibles de finir en déchet.
- **Réutiliser** : regroupe les actions permettant de réemployer un produit usagé pour lui donner une deuxième vie, pour un usage identique ou différent.
- **Recycler** : désigne l'ensemble des opérations de collecte et traitement des déchets permettant de réintroduire dans un cycle de fabrication les matériaux qui constituaient le déchet.

Le recyclage contribue à diminuer les quantités de déchets stockés en décharge ou incinérés. Il est cependant contré par l'augmentation de la production des déchets. En France, le volume de déchets a doublé de 1980 à 2005, pour atteindre 360 kg/an/personne.

Le recyclage a tout de même permis d'économiser, en 2006, environ 2,3 % de la consommation française totale d'énergie non renouvelable.

Le taux de recyclage est encore jugé médiocre, en 2013, par l'Agence européenne pour l'environnement (AEE) et insuffisant pour atteindre les engagements au sein de l'UE (recycler 50 % de déchets ménagers et similaires d'ici à 2020). [18]

### II.3.2 Histoire (depuis l'âge bronze)

Le recyclage est utilisé dès l'âge du bronze. À cette époque, les objets usagés en métal sont fondus afin de récupérer leur métal pour la fabrication de nouveaux objets. Dans toutes les civilisations, l'art et la manière de « faire du neuf avec du vieux » existent. Par exemple, les vieux chiffons, puis les papiers et cartons, sont récupérés pour faire de la pâte à papier. La situation change avec le développement progressif puis massif de l'industrialisation et de la consommation. La gestion des matières premières et des déchets devient de plus en plus difficile, les premières devenant trop rares et les seconds trop envahissants. Le recyclage devient alors progressivement un enjeu dans la sauvegarde de l'environnement. [19]

#### II.3.6.3 Les type de recyclage

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

- Le recyclage dit « chimique » utilise une réaction chimique pour traiter les déchets, par exemple pour séparer certains composants ;
- Le recyclage dit « mécanique » est la transformation des déchets à l'aide d'une machine, par exemple pour broyer ou pour séparer par courants de Foucault ;
- Le recyclage dit « organique » consiste, après compostage ou fermentation, à produire des engrais ou du carburant tel que le biogaz. [19]

#### II.3.6.4 Chaîne de recyclage :

La chaîne du recyclage comporte différentes étapes :

##### Étape 1 : Collecte de déchets

Les opérations de recyclage des déchets commencent par la collecte des déchets. Dans les pays développés, les ordures ménagères sont généralement incinérées ou enfouies en centres d'enfouissement pour déchets non dangereux. Les déchets collectés pour le

recyclage ne sont pas destinés à l'enfouissement ni à l'incinération mais à la transformation. La collecte s'organise en conséquence. La collecte sélective, dite aussi « séparative » et souvent appelée à tort « tri sélectif »<sup>c</sup> est la forme la plus répandue pour les déchets à recycler. Le principe de la collecte sélective est le suivant : celui qui jette le déchet le trie lui-même. La taxe au sac est un bon moyen pour inciter les personnes au tri sélectif, car seuls les déchets non recyclables finissent en général dans ces sacs taxés, les déchets recyclables étant eux déposés dans des lieux où il n'y a pas de taxe.

À la suite de la collecte, les déchets, triés ou non, sont envoyés dans un centre de tri où différentes opérations mécanisées permettent de les trier de manière à optimiser les opérations de transformation. Un tri manuel, par des opérateurs devant un tapis roulant, complète souvent ces opérations automatiques. Avant ce stade, le verre brisé est systématiquement écarté pour éviter les risques de blessure.

### **Étape 2 : Transformation**

Une fois triés, les déchets sont pris en charge par les usines de transformation. Ils sont intégrés dans la chaîne de transformation qui leur est spécifique. Ils entrent dans la chaîne sous forme de déchets et en sortent sous forme de matière prête à l'emploi.

### **Étape 3 : Commercialisation et conservation**

Une fois transformées, les matières premières issues du recyclage sont utilisées pour la fabrication de produits neufs qui seront à leur tour proposés aux consommateurs.

En fin de vie, ces produits seront, peut-être, jetés même si certains d'entre eux pourraient être à récupérés et recyclés.

Les déchets usuels inertes sont produits par les ménages et les industries. Ils forment la part la plus large des déchets recyclables. Ils sont souvent simples à collecter et à transformer. Ils sont peu dangereux. En revanche, ils représentent des volumes importants à transporter et à stocker.

**Tableau II.10** : les procédures de recyclage des DMA. [19]

<b>Produit</b>	<b>Procédé</b> (Repris en l'état par des sociétés de récupération).
<b>Acier</b>	Fabrication des pièces de moteur, des outils, des boîtes de conserve, etc.
<b>Aluminium</b>	Fabrication des canettes, du « papier » d'emballage, des constituants d'automobile (culasses, jantes, boîtes de vitesses, etc.)
<b>Caoutchouc</b>	Les pneus hors d'usage sont utilisés pour produire de nouveaux pneus (rechapés), de la poudrette de caoutchouc (ou des pellets), des bacs à fleurs, des tréteaux, des panneaux d'insonorisation, des tuiles de revêtement de sol, de l'asphalte caoutchoutée pour routes, terrains de sports et de jeu pour enfant , etc.
<b>Carton</b>	Fabrication d'autres types de papier et de carton "recyclés".
<b>Gravats</b>	Broyés sous forme de granulats employés à nouveau dans le secteur de bâtiment ou le secteur industriel.
<b>Papier</b>	Fabrication d'autres types de papier et de carton, dalles pour faux-plafonds, isolants cellulosesiques.

<b>Plastique</b>	Fabrication de sacs, de récipients et couvercles pour produits non alimentaires, de meubles de jardin, de vêtements, de jouets, de mobilier urbain, de clôtures, de tuyaux, de pièces d'automobile (pare-chocs, batteries...), d'éléments de signalisation routière, de cônes de voirie, etc.  À noter que depuis avril 2008, la réglementation européenne autorise, en production de matériaux pour contact alimentaire, l'emploi de matériau recyclé qui a été au contact alimentaire. Une grande rigueur est alors imposée dans le tri et le procédé de régénération.
<b>Textile</b>	Fabrication de textile et de pâte à papier.
<b>Verre</b>	Refonte des articles en verre pour en faire des neufs.
<b>Brique alimentaire</b>	Les briques broyées (technique dite de pulpage), lavées, essorées et séchées, sont triées en papier / alu et PE. Le PE est transformé en bidon, bouteille, tuyau, etc.
<b>Equipement électrique et électronique</b>	Les appareils sont récupérés, démantelés, déchiquetés et broyés, au moyen d'une chaîne. Les fragments valorisables sont récupérés sous forme de métaux ferreux, non ferreux, câbles, plastiques, etc.

### II.3.6.5 Quelques exemples :

- ❖ Le recyclage du verre permet d'économiser 100 kg d'équivalent pétrole par tonne de verre recyclé ;
- ❖ Une tonne de papier/carton recyclée permet d'économiser 200 kg de pétrole de 100 m3 d'eau ;
- ❖ Une tonne de plastique recyclées et transformée en poudre, paillette ou granula permet d'économiser 700 à 800 kg de pétrole brut ;
  - 3 bouteilles en plastique recyclées = un bonnet et une écharpe ;
  - 11 bouteilles en plastique recyclées = 1 arrosoir ;
  - 200 bouteilles en plastique recyclées = 1 poubelle de 350 litres ;
- ❖ Le recyclage de l'aluminium a l'avantage de pouvoir être réutilisable à 100 % et à l'infinie et il consomme 95 % d'énergie en moins que sa fusion à l'état brut ;
  - 19 000 boîtes de conserve = 1 voiture ;
  - 670 canettes = 1 vélo.

(Source : GOUILLIARD & Legendre, 2003, p.70-72.)

### II.3.6.6 Impact du recyclage dans l'industrie

#### ➤ Source d'approvisionnement alternative :

Le recyclage des déchets offre une source d'approvisionnement en matières premières alternatives aux autres sources. Par exemple, le recyclage de fil de cuivre évite une coûteuse extraction.

Le recyclage en interne permet de mettre en place des filières de recyclage courtes. Ainsi, les fondeurs d'aluminium qui usinent les pièces génèrent un volume de copeaux conséquent (10 % du poids) de multiplicité des sources d'approvisionnements telles que la facilité de négociation des prix d'achat ou la sécurité des approvisionnements.

➤ **Création d'activité :**

Le recyclage est une activité économique à part entière. Elle est un moyen de création de richesses pour les entreprises de ce secteur. Par exemple, les 205 entreprises du recyclage en Île-de-France rassemblent près de 5 000 salariés en 2015.

En théorie, presque tous les matériaux sont recyclables. En pratique, l'absence de filière rentable fait qu'ils ne sont pas tous recyclés. Ainsi, le recyclage est plus coûteux pour des appareils électroniques comme les ordinateurs, car il faut séparer les nombreux composants avant de les recycler dans d'autres filières. De plus, la crainte de récupération de données confidentielles freine l'envie de recycler les anciens ordinateurs dans les foyers ou entreprises. Dans un sondage, sur 110 responsables informatiques, 42 % ont dit que leur principal sujet de préoccupation est la sécurité des données, contre 25 % pour l'environnement ; 15 % ont reconnu jeter leur vieux matériel à la poubelle.

➤ **Coût de main d'œuvre :**

Le recyclage suppose de trier les déchets en fonction du mode de recyclage auquel chacun d'eux sera soumis. Ceci exige une main-d'œuvre abondante, même lorsqu'un tri sélectif est effectué en amont par la population. En effet, il arrive qu'un second tri soit nécessaire dans un centre d'affinage pour éliminer les erreurs de tri et les impuretés qui pourraient compromettre le recyclage (c'est le cas du plastique et du verre).

La collecte sélective elle-même exige la mise à disposition des ménages de bacs spéciaux et emploie plus de personnes qu'une collecte simple.

La plupart de ces coûts supplémentaires sont à la charge de la collectivité (en France, par exemple, c'est au niveau de la commune ou de la communauté de communes que cela est géré). Les impôts locaux en tiennent compte, mais d'autres sources de financement existent : l'écotaxe et le point vert sur les emballages.

➤ **Altération :**

Pour certains types de produits, la qualité de la matière première est altérée par l'opération de récupération de celle-ci dans les produits recyclés. Par exemple :

- le recyclage du papier donne des fibres de papier plus courtes et un papier de moins bonne qualité (ce qui ne permet qu'une dizaine de recyclages successifs) ;
- le recyclage de certaines matières plastiques contaminées par des polluants ne permet plus de les utiliser pour en faire des emballages alimentaires ;
- un des problèmes du recyclage du verre est le dépôt, au fond des fours, des verres de type Pyrex qui ont un point de fusion différent du verre ordinaire. Ces dépôts abîment les fours.

Cependant, pour la plupart des matières premières contenues dans les déchets (métaux, verre, certains plastiques), les qualités sont conservées au travers du processus de recyclage, permettant un recyclage quasi illimité de celles-ci.

Néanmoins, la chimie intervient de plus en plus dans la fabrication de matériaux issus du recyclage. Les produits qui en résultent ont des caractéristiques de durabilité et de résistance qui peuvent même être supérieures à celles de certains matériaux naturels. Ainsi, on voit des maisons bâties avec des dérivés du recyclage du bois, mélangés ou recouverts par des résines polyuréthanes ou autres. Le résultat est surprenant, donnant une résistance aux intempéries et aux UV supérieure à celle du bois. Il en va de même pour le papier recyclé, dont la pâte désancrée et mélangée à certains produits chimiques donne un matériau très résistant, utilisé

par exemple dans la fabrication de mobilier urbain. Dans ce dernier domaine, de plus en plus de fabricants utilisent des matériaux issus du recyclage.

### II.3.6.7 Impact du recyclage sur l'environnement

#### ➤ Economies des ressources naturelles :

Les bénéfices socioéconomiques et environnementaux du recyclage sont considérables : moindre pression sur les ressources naturelles et paysagères, réduction des déchets, emplois dédiés, économies de matières premières. Ainsi :

- le recyclage des métaux ferreux (acier notamment) et des métaux non ferreux permet d'économiser du minerai et du carburant ; le recyclage de 1 kg d'aluminium peut économiser environ 8 kg de bauxite, 4 kg de produits chimiques et 14 kWh d'électricité ;
- le taux de recyclage de l'aluminium est estimé à 95 % ;
- chaque tonne de carton recyclé fait économiser 2,5 tonnes de bois ;
- chaque tonne de plastique recyclé économise 700 kg de pétrole brut ;
- chaque feuille de papier recyclée fait économiser 1 L d'eau et 2,5 Wh d'énergie en plus de 15 g de bois.

#### ➤ Ecobilan :

De nombreux critères sont à prendre en compte pour juger de la pertinence du recyclage, via un « écobilan ». C'est pour cela qu'en France, les pots de yaourt (non éco-conçus), par exemple, ne sont pas acceptés par la collecte sélective : il n'y a pas assez de matière à récupérer pour rentabiliser le recyclage, il faudrait trop d'eau ou de vapeur pour les débarrasser des résidus alimentaires, gras ou sucrés. Au Québec cependant, ils sont recyclés.

#### • **Papier**

Ses fibres ne sont pas éternellement recyclables. Son recyclage requiert parfois du chlore pour éliminer l'encre lors du recyclage, or cet agent blanchissant est très polluant pour les rivières et se dégrade difficilement. Le papier « gris » (peu désancré) nécessite moins de chlore mais n'est pas toujours apprécié ou adapté aux utilisations courantes.

#### • **Verre**

Il est parfois coloré ou chargé d'additif (le cristal contient 25 % d'oxyde de plomb). Son poids élevé implique beaucoup de carburant pour son transport et il faut ensuite le fondre à 1 550 °C pour le recycler. L'idéal serait de privilégier le système des consignes, mais les industriels rechignent à organiser des récupérations peu rentables commercialement et demandant également une logistique importante (transport des bouteilles de manière à ne pas les casser, tri par type de bouteille, nettoyage avant réemploi...). L'écobilan est donc peu aisé à établir. [20]

#### • **Déchets résiduels ultimes**

Ils sont voués à la mise en décharge ou à une valorisation énergétique. L'incinération est peu satisfaisante car elle résulte d'un échec du recyclage (voir approche zéro déchet) et, même avec installation de filtres, les incinérateurs produisent des volumes considérables de rejets gazeux et solides, en partie dispersés dans l'environnement. Ces rejets contiennent notamment des « métaux lourds », des dioxines, des composés organiques volatils (COV), du méthane et du CO<sub>2</sub>. Au lieu de rejeter dans l'air le méthane des décharges qui contribue fortement au réchauffement de la planète, on préfère généralement le brûler en torchère ou, mieux, le

valoriser en chaudière ou moteur pour produire de la chaleur ou de l'électricité. On ne rejette alors que le gaz de combustion contenant principalement du CO<sub>2</sub>, dont le potentiel de réchauffement global est moindre, au prix d'installations plus onéreuses. [20]

➤ **Recyclage au bénéfice d'associations humanitaires :**

En France, plusieurs associations sans rapport avec les déchets se sont diversifiées, ou ont été créées, pour participer à la collecte et au recyclage de matériaux ou d'objets, afin d'en tirer des sources de financement pour des actions d'intérêt général et pour leur fonctionnement courant. La première en date a été la Ligue nationale contre le cancer, avec le recyclage du verre après le choc pétrolier de 1973. Depuis les années 2000, d'autres associations ont pris en charge la collecte de bouchons, notamment en plastique (à l'époque ceux-ci n'étaient pas encore exploités par les filières des collectivités locales), mais aussi en liège. Des points de collecte sont installés dans des magasins de proximité et des enseignes de grande distribution, mais aussi dans des écoles, des entreprises... Les bouchons sont collectés puis triés par des bénévoles, ils sont ensuite revendus à un recycleur qui les incorpore à de la matière neuve pour fabriquer par exemple des palettes en plastique.

La plus grande partie des recettes est utilisée pour offrir des équipements sportifs à des personnes handicapées, ou versée à des instituts de recherche médicale. [20]

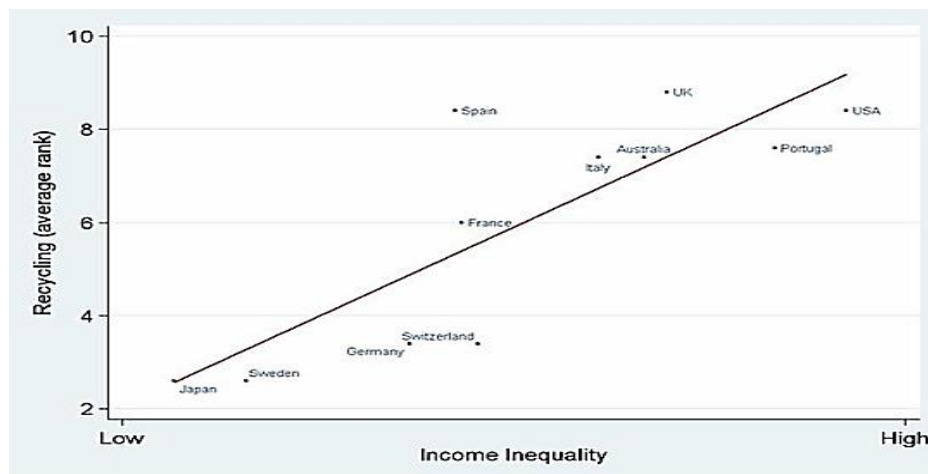


Figure II.46 : les pays plus égalitaires recyclent mieux (rang de classement/inégalité de revenus)

Source : Wilkinson & Pickett, the spirit level (2009)

## II.4 COMPOSTAGE ET METHANISATION

### II.4.1 BIOMETHANISATION

#### II.4.1.1 Définition

La bio méthanisation (ou digestion anaérobie) est un processus biologique de dégradation de la matière organique sous l'action de populations microbiennes appropriées qui, en l'absence d'oxygène, produit un mélange de méthane et de gaz carbonique (CH<sub>4</sub> + CO<sub>2</sub>) appelé biogaz. Elle s'applique à la plupart des déchets organiques, qu'ils soient d'origine municipale, industrielle ou agricole, solide ou liquide.

La matière biodégradable est transformée en un compost désodorisé et hygiéniste et en biogaz (bio méthane) énergétique, compose d'environ 60% de méthane, de 40% de CO<sub>2</sub> et de composés gazeux à l'état de traces (H<sub>2</sub>S, NH<sub>3</sub>...). [21]

- **Les grandes étapes de la biodégradation des déchets**

La bio méthanisation, qui s'effectue en cellule close (digesteur), à l'abri de l'air, se divise en quatre étapes principales : l'hydrolyse, l'acidogène, la cétogénèse et la méthanogènes.

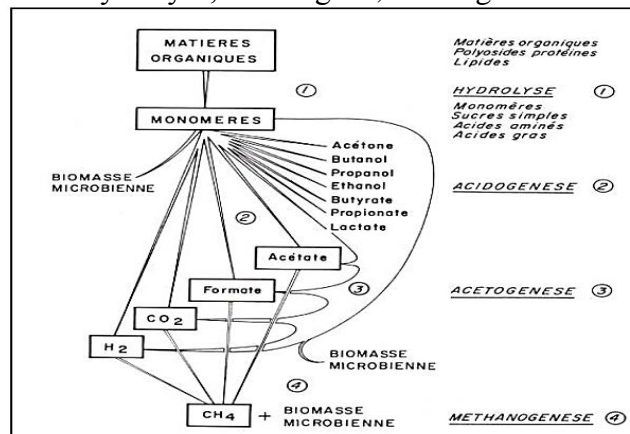


Figure II.47 : Etapes biochimiques de la dégradation anaérobie de la matière organique. [21]

Ce processus biologique nécessite une préparation mécanique des déchets par broyage grossier puis fin des classes fermentescibles, suivi d'un criblage et tamisage, puis d'une humidification.

#### A- L'hydrolyse :

Les macromolécules (protéines, lipides, polysaccharides) qui constituent la matière organique se décomposent en petites molécules solubles (acides gras, mono et disaccharides, peptides et acides aminés). C'est une étape importante avant le procédé de fermentation, car les bactéries fermentatives ne peuvent pas absorber les polymères organiques complexes directement dans leurs cellules. Cette étape est le plus souvent lente.

#### B- L'acidogène :

Au cours de cette étape, les composés obtenus lors de l'hydrolyse sont transformés en acides gras volatils (AGV) (acétiques, propénoïques), en alcools (éthanol), en acides organiques (lactiques) en hydrogène et en dioxyde de carbone.

#### C- L'acétogénèse :

L'étape d'acétogénèse permet la transformation des divers composés issus des phases précédentes en précurseurs directs du méthane : l'acétate, le dioxyde de carbone et l'hydrogène. Lors de cette étape, l'hydrogène produit doit être éliminé en continu pour éviter son accumulation, et par conséquent, l'arrêt de l'acétogénèse.

#### D- La méthanogènes :

Dernière phase au cours de laquelle les produits issus de l'acétogénèse (acétate, formate, hydrogène, dioxyde de carbone) sont minéralisés et transformés en méthane par des microorganismes méthanogènes (anaérobies stricts). Cette transformation est réalisée selon deux voies : l'une à partir de l'hydrogène et du dioxyde de carbone via les espèces dites **hydrogénotrophes**, et l'autre à partir de l'acétate en utilisant les espèces **azéotropes**, selon le mécanisme suivant :

- ❖ **Les méthanogènes acétotrophes** : acétate ( $\text{CH}_3\text{COO}^-$ ) +  $\text{H}_2 \rightarrow \text{CH}_4 + \text{CO}_2$
- ❖ **Les méthanogènes hydrogénotrophes** :  $\text{CO}_2 + 4 \text{H}_2 \rightarrow \text{CH}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$

Environ 60 à 70 % du méthane est produit par les méthanogènes acétotrophes et les méthanogènes hydrogénotrophes.

Il est à signaler que cette étape est fortement influencée par les conditions opératoires telles que : la composition du substrat, le débit de la charge d'alimentation, la température, le pH, la composition du milieu, etc. Par exemple, un surplus de la charge entrante dans le digesteur conduit à une variation brusque de la température ; aussi la présence d'un excès d'oxygène peut inhiber la production du biométhane. [21]

### II.4.1.2 Principaux déchets concernés par la biométhanisation

Les déchets susceptibles d'être traités par digestion anaérobie sont de trois types :

- A- Déchets ménagers et assimilés** : fraction fermentescible des déchets ménagers (déchets de plantes, gazon, déchets de fruits et légumes, restes de repas, etc.), sous-produits de l'assainissement urbain (boues d'épuration, refus de dégrillage) ;
- B- Déchets agricoles** : résidus de grandes cultures (paille, ensilage "conservation des fourrages verts dans des silos", refus...), déjections animales (excréments : fumier, lisier);
- C- Déchets industriels**, qui peuvent être classés en trois catégories distinctes :
  - Biodéchets industriels, notamment les déchets de restauration.
  - Fraction fermentescible des DIB résiduels (part restante après tri des emballages et divers recyclables).
  - Boues et effluents des industries agroalimentaires, déchets de processus des industries transformatrices de matières végétales et animales. [21]

### II.4.1.3 Intérêt technologique de la biométhanisation

La technologie du biogaz présente un triple intérêt à savoir : énergétique, environnemental et agricole. La valeur énergétique d'un mètre cube de biogaz correspond à : **0.94 m<sup>3</sup>** de gaz naturel, **1.15** litre d'essence, **1** litre de mazout, **2.1 kg** de bois sec, **1.7** litre d'alcool à brûler, **1.3 Kg** de charbon et **9.7 kWh** d'électricité.

Le traitement des déchets par la technologie de la biométhanisation peut offrir des éléments de réponse aux problèmes liés à l'environnement :

- ✓ La destruction de nombreux germes pathogènes.
- ✓ L'élimination des odeurs par une stabilisation de la matière organique.
- ✓ La protection des eaux de ruissellement et souterraines.

### II.4.1.4 Avantages et inconvénients de la biométhanisation

Parmi les avantages et les inconvénients de la technologie de biométhanisation, nous pouvons citer les plus importants en établissant ce tableau:

**Tableau II.11:** les avantages et les inconvénients de la biométhanisation. [21]

Les avantages	Les inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ mise en œuvre aisée du procédé ;</li> <li>✓ possibilité de traiter des charges organiques élevées allant de 2 à 40 kg de DCO/m<sup>3</sup> de réacteur et par jour avec des taux d'épuration pouvant atteindre 80 à 98% sur la DCO ;</li> <li>✓ production d'un biogaz propre et renouvelable ;</li> <li>✓ économie d'énergie par diminution de la consommation des énergies fossiles ;</li> <li>✓ dépollution des effluents ;</li> <li>✓ traitement des déchets et élimination des odeurs ;</li> <li>✓ réduction du nombre de micro-organismes pathogènes ;</li> <li>✓ protection de l'environnement par réduction des émissions de gaz à effet de serre ;</li> <li>✓ durabilité du procédé.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ forte sensibilité aux variations de la charge entrante et aux composés toxiques ;</li> <li>✓ dégradation plus lente que celle réalisée au moyen des procédés aérobies ;</li> <li>✓ coûts d'investissement assez élevés ;</li> <li>✓ faible vitesse de croissance des bactéries et par conséquent une cinétique d'épuration lente ;</li> <li>✓ les populations microbiennes sont sensibles à la présence dans le milieu de l'oxygène et de métaux lourds ;</li> <li>✓ le traitement par digestion anaérobie est souvent insuffisant pour rejeter directement les effluents dans le milieu naturel : un post-traitement aérobie est souvent indispensable pour éliminer certains éléments tels que : le carbone, l'azote et le phosphore.</li> </ul>

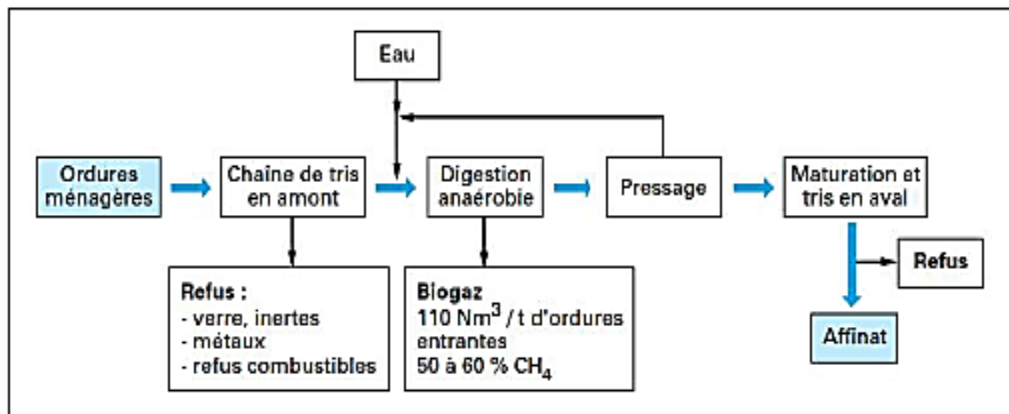


**II.4.1.5 Paramètres à contrôler dans une installation de biométhanisation**

- pH proche de la neutralité ;
- température mésophile, généralement de 35 +/- 2°C ;
- rapport optimal C/N entre 20 et 30 (au-delà duquel le % de méthane dans le biogaz chuterait) ;
- AGV, normalement inférieurs à 500 mg/l.
- l'agitation (15 min toutes les 2 h) améliore le contact substrat/biomasse active.
- Le brassage, l'homogénéisation et la recirculation active les zones mortes du milieu de culture.

**II.4.1.6 Exemple de réalisation industrielle : Procédé Valorga**

Le procédé Valorga de biométhanisation des ordures ménagères a été développé au début des années 1980, puis teste de 1984 à 1990 à l'échelle de pilote industriel (8 000 t d'ordures par an) à Grenoble (France). La figure 36 présente le synopsis du procédé. La filière de traitement comporte quatre étapes principales : **tri** en amont sur les ordures entrantes, **méthanisation**, **pressage** et **affinage** (maturation) de la matière digérée.



**Figure II.48 :** Diagramme synoptique du procédé Valorga de méthanisation des ordures Ménagères. [22]

**➤ Le tri**

Les Biodéchets suivent une chaîne de tri automatique afin d'extraire les diverses indésirables présents dans les ordures ménagères. Ils sont broyés, criblés, triés par tables densimétriques, dé ferrailés et malaxés avant introduction dans des digesteurs, cœur du procédé.

Le tri « en amont » extrait environ 30 à 35% de la masse d'ordures entrantes, qui sont constitués de refus de différentes natures (verre, inertes, métaux) et de refus combustibles qui sont un mélange de papiers/cartons, plastiques, bois et autres matières organiques.

**➤ La digestion**

Le reste de la matière (65 à 70% de la masse entrante) subit le traitement biologique de méthanisation. La matière organique est d'abord humidifiée (avec de l'eau provenant pour partie du pressage de la matière digérée) et malaxée sous forme de boues très épaisse 30 à 35 % de matières sèches. Puis la matière est transférée dans les digesteurs constitués par quatre cuves cylindriques de 2400 m<sup>3</sup> chacune.

La température est maintenue à 37 à 40°C, ce qui nécessite une autoconsommation de biogaz de l'ordre de 10% de la production. Le temps de séjour est de 18 à 25 jours. Le mélangeage et la circulation de la matière dans les digesteurs sont assurés par injection de biogaz comprime a la base des digesteurs. La production de biogaz est de l'ordre de **150 Nm<sup>3</sup>/t** de matière entrant dans les digesteurs, soit environ **110 Nm<sup>3</sup>/t** d'ordures entrantes à l'usine. Le biogaz

produit contient 50 à 60% vol. De CH<sub>4</sub> et le complément n'est quasiment constitué que de CO<sub>2</sub>.

➤ **Le pressage de la matière digérée**

Après digestion, la matière soutirée des digesteurs est traitée sur filtre-presse. On en extrait des jus qui sont recyclés, après centrifugation, pour être malaxés avec les ordures entrantes.

Le pressât, contenant environ 55 % en masse de matières sèches est alors dirigé vers la chaîne d'affinage.

➤ **L'affinage**

Le pressât est disposé en andains (tas), sous hangar. L'aération, lors de sa manutention, permet une maturation aérobie et un séchage progressif de la matière. Le temps de séjour est d'au moins un mois. L'**affinât** (matériau similaire au compost) est ensuite tamisé puis débarrassé des inertes dans un épierreur pour en faire un amendement organique.

La production massique d'amendement organique est de l'ordre de 25 à 30% de la masse des ordures entrantes. La destination des affinâtes issus de la biométhanisation de déchets résiduels est fonction de leur qualité :

- Utilisations telles que le comblement d'anciennes mines, comme matériaux de recouvrement d'anciennes décharges ou de réhabilitation de sites pollués...
- Utilisation sur des sols à usages non alimentaires : plantations en bordures d'autoroutes, nouvelles plantations forestières, cultures de tabac...
- Stockage en CSDU (Centre de Stockage des Déchets Ultimes) comme déchets ultimes stabilisés.

#### II.4.2 Le compostage (matière organique) :

Les ordures ménagères contiennent des matières organiques utilisées depuis de longue date, en raison de leur valeur humique, comme engrais pour amender les sols cultivés. Les agriculteurs situés à la périphérie des villes récupéraient les déchets urbains et les transformaient par fermentation naturelle en un produit qu'ils répandaient sur leurs terrains.

Actuellement les ordures ménagères ont changées en termes de composition, elles présentent des inconvénients, difficultés de manutention, gêne ou risque d'accidents causés par des éléments coupants, et des objets tranchantes, salissure des terrains, etc. Leur emploi sous cette forme n'est plus admis de nos jours par les cultivateurs, ces derniers exigent des produits plus élaborés, possédant la valeur agronomique recherchée, mais ne contenant pas d'éléments gênants ou nuisibles ou même simplement susceptibles de salir leur terre. Le compostage des déchets urbains consiste à préparer industriellement un produit répondant à ces conditions (Gillet, 1985).

**Le compost** : est une substance brun foncé et fragmentée qui sent bon les bois. C'est en fait le résultat du recyclage de matières organiques. Qui provient de la transformation aérobie des déchets organiques par le biais de Micro-organismes, le produit obtenu se transformera dans le sol en humus, contenant des organismes vivants et des minéraux pouvant servir de nourriture aux plantes, indispensable en agriculture.



Figure II.49 : compost affiné. [22]

### II.4.2.1 Définitions

Il existe plusieurs définitions assez voisines du compostage qui permettent de le définir de la manière suivante :

Le **compostage** est un processus contrôlé de dégradation des constituants organiques (substrats) organiques, sous forme solide ou semi-solide et d'origine végétale et animale, par une succession de communautés microbiennes évoluant en condition aérobies, entraînant une Montée en température et conduisant à l'élaboration d'une matière organique humifiée et stabilisée (Figure II.50). Le produit ainsi obtenu est appelé **compost** (matériau stable et granulaire).

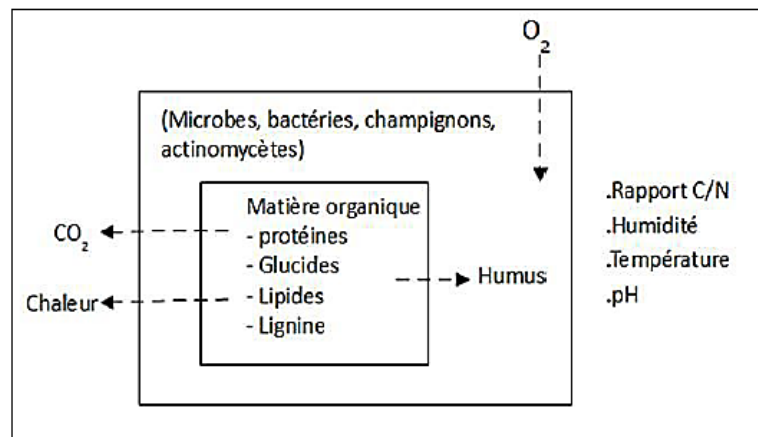


Figure II.50 : Schéma descriptif du principe de compostage. [22]

Le compostage a pour objet une accélération et une optimisation des processus biologiques aérobies de dégradation permettant l'humification (formation de l'humus) des matières organiques d'origines végétales ou animales : glucides simples ou condensés (cellulose), protéines, graisses, résines et surtout lignine... par des micro-organismes (bactéries : eubactéries mésophiles et thermophiles, actinomycètes (Streptomyces), levures et des champignons (Figure II.51), lorsque les conditions de température, d'humidité, d'oxygénation et de pH du milieu sont convenables.

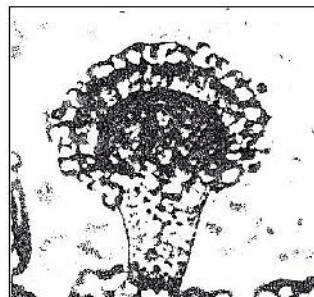


Figure II.51 : *Aspergillus fumigatus*. Capable de dégrader la cellulose, ce champignon est un habitant normal du compost. [21]

Le compostage est un traitement biologique de déchets organiques permettant de poursuivre un ou plusieurs des objectifs suivants :

- stabilisation du déchet pour réduire les pollutions ou nuisances associées à son évolution biologique ;
- réduction de la masse du déchet ;
- production d'un compost valorisable comme amendement organique des sols.

En résumé, tous les compostages sont basés sur l'équation globale de **bio oxydation** de la matière organique (MO) suivante :

**Matière organique + Micro-organismes + O<sub>2</sub> = Produit oxydé (Compost) + CO<sub>2</sub> + H<sub>2</sub>O + Chaleur**

En tant que mode de traitement, le compostage possède deux atouts importants :

- une **technicité** relativement simple adaptée à toute taille de gisement et tout type de déchets organiques ;
- un **coût de revient** intéressant par rapport aux autres coûts de traitement (incinération, CET II).

#### II.4.2.2 Différentes étapes du compostage :

Il comporte quatre (4) étapes essentielles :

- **Etape1** : préparation ayant pour objectif d'obtenir une humidité et une porosité Optimales (broyage, mélange, etc.).
- **Etape2** : fermentation aérée ayant pour objectif la stabilisation, l'hygiénisation et le Séchage.
- **Etape 3** : criblage éventuelle, ayant pour objectif d'affiner le produit final et d'en Recycler une partie.
- **Etape4** : maturation et stockage, ayant pour objectif de conférer au produit une Qualité agronomique. (Francou, 2003).

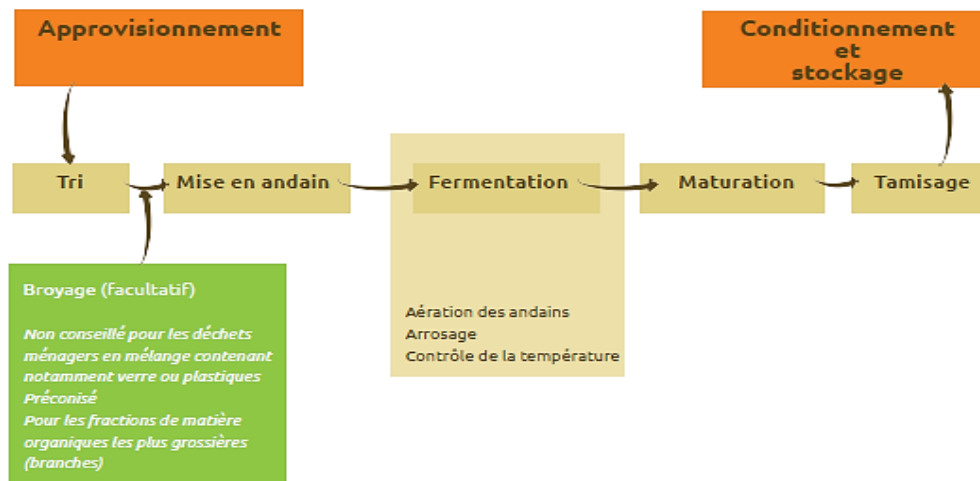


Figure II.52 : les étapes du compostage. [23]

#### II.4.2.3 Qualité du compost

Le compost est la matière humique stable, assainie, riche en matière organique et non nauséabonde, qui résulte du compostage des Biodéchets... Il est composé pour l'essentiel d'une fraction organique stabilisée et de composés minéraux. L'action de composter est donc de produire de la matière organique de type humique stable.

Le degré de maturité s'exprime généralement par la valeur du rapport (MO/N) de la matière organique (MO) à l'azote total (N). Sachant que :  $MO = C/0,47$ .

Les composts sont classés selon le degré de maturité comme suit :

- **Compost frais** (température de 60°C pendant au moins 4 jours) :  $MO/N > 30$
- **Compost mûr** (stabilisation de la courbe de température) :  $25 < MO/N < 30$
- **Compost demi mûr** (état de maturité intermédiaire) :  $MO/N < 25$

#### II.4.2.4 Paramètres à contrôler lors du compostage

Pour produire des composts de qualité, un contrôle sévère doit être exercé sur les différents paramètres du compostage qui influencent les processus de transformation :

- la température (élévation en fonction des mécanismes biologiques) ;
- la teneur en eau (teneur optimale voisine de 50 à 60%) ;

- l'oxygène et l'air de ventilation (pour maintenir une activité microbienne aérobie optimale) ;
- la nature et la granulométrie du substrat ;
- le rapport carbone/azote (C/N théorique proche de 30) ;
- la valeur du pH (limites acceptables comprises entre 5 et 7).

Il est à signaler que ces facteurs sont interactifs, ce qui rend délicat le pilotage d'une unité de compostage.

#### II.4.2.5 Les quatre phases du compostage

L'évolution schématique de la température au sein du compost permet de définir quatre phases au cours du compostage (Figure II.53).

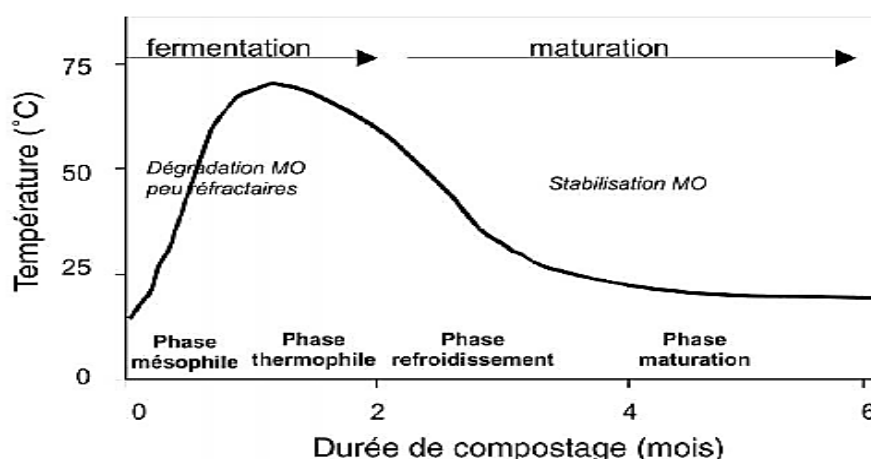


Figure II.53 : Courbe théorique de l'évolution de la température au cours du compostage.

1. La **phase mésophile** est la phase initiale du compostage. Durant les premiers jours de compostage, la présence de matières organiques facilement biodégradables entraîne une forte activité microbienne (bactéries et champignons) générant une forte production de chaleur et une montée rapide de la température au cœur du compost.

2. Très vite la température atteint des valeurs de 60°C voire 75°C. Cette phase est appelée **phase thermophile** car seuls les micro-organismes thermorésistants (essentiellement des bactéries) peuvent survivre à ces hautes températures. Au cours de cette phase, une part importante de matière organique est perdue sous forme de CO<sub>2</sub>, et un assèchement du compost lié à l'évaporation de l'eau est souvent observé.

3. A la phase thermophile succède la **phase de refroidissement**. La diminution de la quantité de matières organiques (MO) facilement dégradables provoque un ralentissement de l'activité microbienne. La chaleur générée par la dégradation microbienne est alors inférieure aux pertes dues aux échanges surfaciques et à l'évaporation, entraînant un refroidissement du compost. Cette phase de refroidissement peut être très progressive ou au contraire très rapide en fonction des conditions climatiques ou de la taille du tas de compost par exemple. Au cours de cette phase, des micro-organismes mésophiles colonisent à nouveau le compost.

4. Au cours de la dernière phase appelée **phase de maturation**, les processus d'humification prédominent, ainsi que la dégradation lente des composés résistants. Cette phase de maturation dure jusqu'à l'utilisation des composts.

Les deux premières phases (mésophile et thermophile) qui sont des phases de dégradation des matières organiques sont regroupées sous le nom de **fermentation**, correspondant à une phase de dégradation intensive de la matière organique.

### II.4.2.6 Les matières dégradables et non dégradables

La figure suivante montre les différents déchets ménagers telle que les matières compostables et les matières non compostables.



**Figure II.54** : les matières compostables et non compostables.

Source : compostage-développement durable-université de Montréal

### II.4.7 Procédés de compostage

Classiquement, pour le compostage des déchets ménagers et assimilés deux principaux procédés sont envisagés. Il s'agit du compostage en andains (naturel ou lent) et du compostage en récipients clos (accéléré).

Il existe un autre mode de compostage qui est le lombricompostage, ou le vermicompostage, qui est une variante reposant sur l'utilisation de vers de terre (lombrics) pour consommer et dégrader la matière organique du déchet. L'espace la plus couramment utilisée est *Eisenia foetida* (tigre rouge violacé et jaune). Il peut s'utiliser :

- soit en une seule étape de traitement (réservé au domaine agricole sur des tas ou andains présentant un rapport surface/volume important (de l'ordre de 2,5 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup> de déchet) ;
- soit après une étape de fermentation chaude en substitution de l'étape classique de maturation (ce qui évite le problème d'échauffement) dans des systèmes plus compacts (rapport surface/volume faible). Le compost obtenu (lombricompostage) est alors constitué par les excréments des vers qui ingèrent et digèrent la matière organique résiduelle.

#### II.4.7.1 Compostage en andains à l'air libre (lent)

Cette technique consiste, après traitement mécanique et éventuellement adjonction d'eau, à mettre les déchets broyés sur une plate-forme appropriée de fermentation : des andains ou des tas de substrats allongés de section triangulaire, de 2 à 3 m de hauteur sur un diamètre à la base de 3 à 5 m. Typiquement, les andains sont des tas dont la longueur peut atteindre une centaine de mètres et sont disposés par rangées parallèles et voisines (Figure II.54).

Ces tas sont retournés régulièrement au moyen d'un trax ou de machines plus spécialisées : les produits doivent être retournés tous les 10 jours du premier mois, puis une fois par mois pendant les deux mois suivants. Après chaque retournement, on constate une brusque élévation de la température, qui peut atteindre 75°C ; provoquée par une accélération de l'activité des bactéries aérobies thermophiles. Après trois mois, la phase active de la

fermentation (phase thermophile) est terminée et il n'y a plus que la maturation (la température redescend lentement et revient à 30°C : compost prêt).



**Figure II.55 :** (a) Opération de compostage en andains, (b) Engin utilisé pour aérer le compost mis en andains. [21]

#### II.4.7.2 Matériels utilisés

Les principaux matériels nécessaires à une plate-forme de compostage en fonctionnement en sont : le **broyeur**, le **retourneur d'andain** et le **crible** (Figure II.55).



**Figure II.56 :** (a) Broyeur, (b) Retourneur d'andain, (c) Crible (trommel rotatif, tamis à disques, tamis vibrants). [21]

#### II.4.7.3 Compostage en bioréacteur (accélééré)

Pour mieux contrôler et guider le processus de compostage, les produits broyés sont stockés dans des tours fermées (réacteurs biologiques). Il existe de nombreux types de réacteur permettant un brassage (retournement) continu ou discontinu des produits, l'aération par aspiration d'air et le contrôle de l'humidité par adjonction d'eau du milieu en compostage. Leur forme s'étend du tunnel au tambour en passant par le silo. Certains sont en rotation, d'autres sont fixes et pourvus de dispositifs internes assumant les fonctions ci-dessus. Certains sont alimentés en continu alors que d'autres se limitent à un fonctionnement par batch.

Ce type de compostage contrôle et optimise au mieux les paramètres influençant (Température, oxygène, humidité...) afin de réduire les temps de séjour. Ce système réduit ainsi la phase active de la fermentation aérobie (phase thermophile) à quelques jours. Cette première phase dure 8 à 21 jours et suivie d'une phase de maturation "en tas" durant plusieurs semaines (obtention d'un **compost mûri**).

Le compostage en bioréacteur présente des avantages multiples :

- favorise l'**oxydation** des composés organiques ;
- fermentation **contrôlée** (diminution des risques de nuisances) : odeurs et production de lixiviats inexistantes ou réduites au minimum ;
- procédé **clos** (pas de contact avec l'extérieur : oiseaux, mouches et rongeurs) ;
- destruction plus complète des **germes pathogènes** ;
- **température** plus régulièrement maintenue.

La figure suivante illustre une installation type de compostage à l'échelle industrielle.

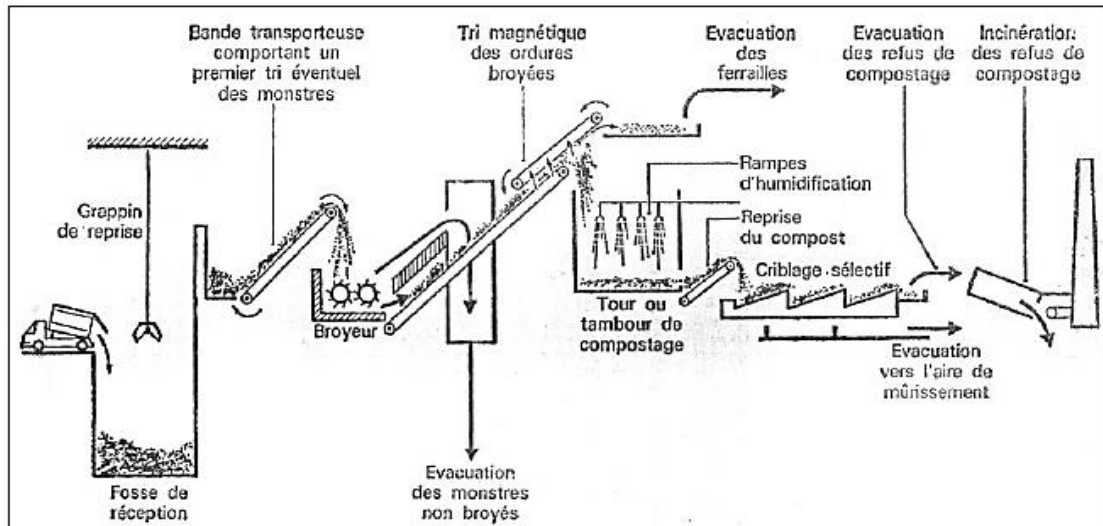


Figure II.57 : Schéma d'une installation industrielle de compostage avec incinération des rejets. [21]

#### II.4.7.4 Tri mécano biologique

C'est la nouvelle technologie du compostage accéléré qui est basé sur la technologie du tri sélective, certifié par les pays européens.

Cette dernière offre la disposition pour les deux types de traitement des déchets inorganiques que ce soit par l'incinération (récupération énergétique) ou par l'enfouissement technique des déchets inorganiques malgré le recyclage des ordures ménagers (métaux, plastique et verre). [23]

##### II.4.7.4.1 Principe :

Une unité de tri mécano biologique est une installation mécanique automatisée ayant pour mission de séparer les fractions organiques et inorganiques contenues dans les déchets ménagers afin de dégager :

- la fraction organique (humide fermentescible) qui sera enfin valorisée sous forme de compost.
- La fraction inorganique (sèche) de la quelle seront extraites les matières recyclables (métaux et plastiques) avant disposition finale ou encore valorisation énergétique du refus final.

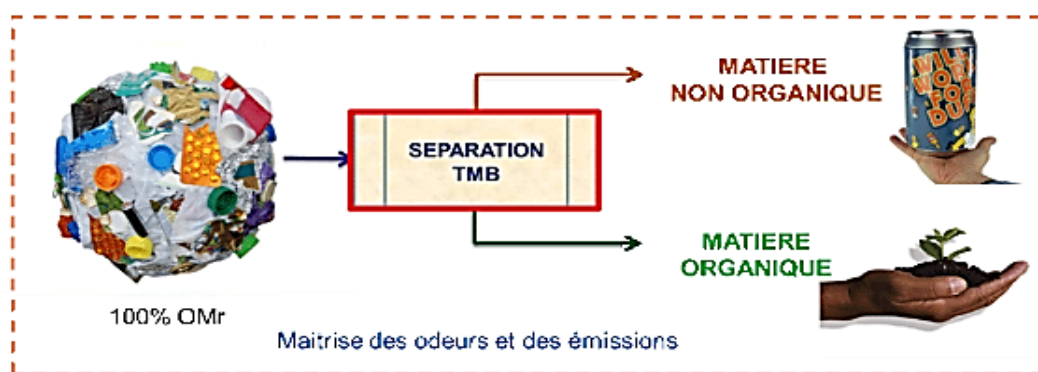


Figure II.58 : destination des déchets ménagers. [23]



#### II.4.7.4.2 Technologie :

On distingue deux technologies modernes de tri mécano-biologique répondant à des besoins spécifiques :

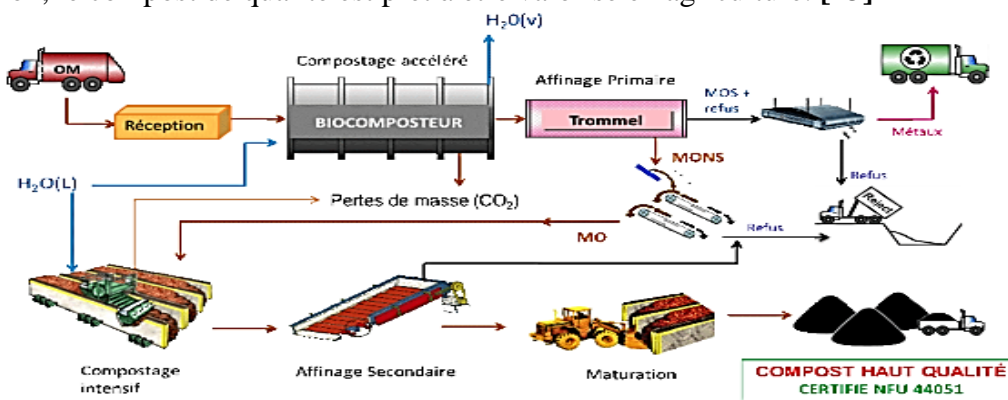
##### ➤ Le tri mécano biologique CONPOREC

Cette technologie a pour cible la récupération maximale de la matière organique en vue de produire un compost répondant aux normes les plus exigeantes. Le taux de valorisation globale de cette technologie dépasse les 60%.

Le procédé intègre en début de chaîne un digesteur rotatif (aussi appelé bioréacteur, biodigesteur ou biocomposteur) dont le rôle est d'éventrer les sacs poubelles par dilacération et de réaliser une amorce de compostage de 3 jours, propice à la séparation naturelle des fractions inorganiques et organiques.

La seconde étape est un tri-criblage permettant de sélectionner positivement la fraction organique fine et légère des autres déchets non compostables. Parmi ceux un second affinage sera réalisé pour extraire les matières valorisables.

La troisième étape consiste à composter dans des tunnels (compostage intensif) la fraction organique sélectionnée. L'objectif est de réaliser en quelques semaines ce que la nature réalise en plusieurs mois ou années, grâce à la fourniture des conditions idéales à l'action microbienne de compostage (aération, température ...). Suite à un affinage secondaire et une maturation, le compost de qualité est prêt à être valorisé en agriculture. [23]



**Figure II.59 :** Schéma d'une installation industrielle de compostage avec enfouissement technique des rejets.

Source : (2013 Tournan en Brie (Paris, France), 65 000t/an des OM)

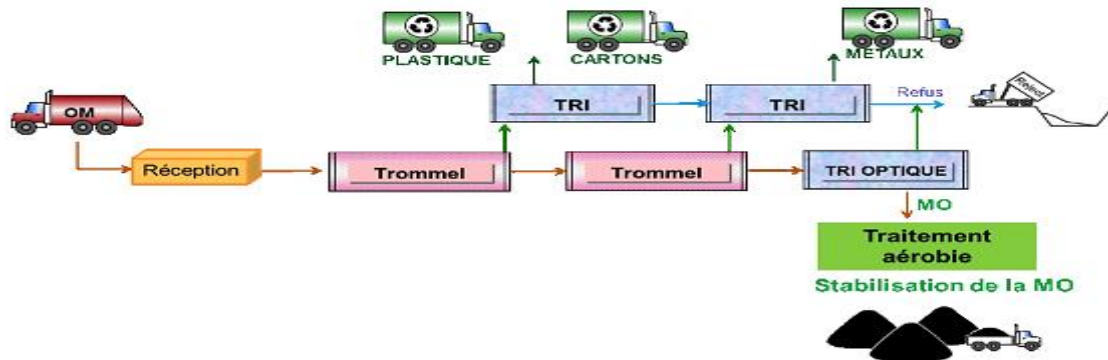
##### ➤ Le tri mécano biologique CTR

Cette technologie a pour cible la récupération maximale des matériaux recyclables, tel que les papiers, cartons, plastiques et métaux en vue de les recycler. Le taux de valorisation globale de cette technologie peut atteindre 50%.

Le procédé intègre en début de chaîne une série de trommels intégrant des ouvre-sacs, ces trommels (tube rotatifs perforés) réalisent une séparation granulométrique séparant les fractions organiques et inorganiques en fonction de la taille.

La seconde étape consiste à une récupération positive des matières recyclables contenues dans la fraction non passante du trommel. Cette récupération est opérée par criblage et tri optique. Chaque fraction inorganique recyclable est isolée en vue d'une revalorisation (métal, plastique, tetrapack...). La fraction passante du trommel, soit la fraction organique est acheminée vers un hangar de compostage.

La troisième étape consiste à un compostage intensif dans un bâtiment à atmosphère contrôlée. L'objectif est d'atteindre en quelques semaines une stabilisation de la matière organique compostable. Ce compost stabilisé, peut être utilisé en espace ou encore être utilisé en recouvrement. [23]



**Figure II.60 :** Schéma d'une installation industrielle de compostage par le tri mécano biologique CTR  
 Source : 2010 CTR Vallès Occidental Vacarisses (Barcelone, Espagne) 285 000t/an ordures ménagères brutes.

**II.4.7.5 Les avantages et les inconvénients du compostage :**

On peut les établir dans ce tableau suivant :

**Tableau II.12:** les avantages et les inconvénients du compostage. [21]

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Réduction du volume des DMA</li> <li>✓ Naturel et bon pour la planète</li> <li>✓ Demande peu d'entretien</li> <li>✓ Rend la terre très fertile</li> <li>✓ Réduit les mauvaises herbes</li> <li>✓ Cout de traitement faible</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Une mauvaise odeur</li> <li>✓ Attire les animaux</li> <li>✓ Nécessite le broyage des certains éléments</li> <li>✓ Peut prendre du temps</li> <li>✓ Assez volumineux</li> </ul>

**II.5 Méthodes combinées**

La méthode combinée de traitement des déchets ménagers et assimilés consiste à utiliser plusieurs méthodes en même temps comme une technique idéale pour la gestion et le traitement des DMA, qui respecte l'environnement en vigueur et contribue au développement durable.

Cette méthode est la plus utilisée car elle offre la diversité de la gestion des déchets ménagers en dispatchés les taux entre la mise en décharge et l'incinération mais en fin l'objectif restera toujours de maximiser celui du recyclage et compostage.

On distingue plusieurs stratégies dans la méthode combinée telle que :

- L'enfouissement avec l'incinération
- L'enfouissement avec le recyclage (compostage)
- L'incinération avec le recyclage (compostage)
- L'incinération, l'enfouissement et le recyclage (compostage)

En Algérie, cette technique est basée sur la décharge contrôlée ou sauvage par l'enfouissement de la majorité des quantités des DMA, ainsi que la récupération est faite par le recyclage des certains déchets ménagers et le compostage des déchets verts.

Dans ce tableau nous donnons les pourcentages de ces derniers.

**Tableau II.13** : les pourcentages des méthodes de traitement des DMA en Algérie.

Données en 2014	Déchets (kg/hab)	Enfouis	Récupéré	Traité	
				Recyclé	Composté (déchets verts)
DMA	950	97%	3%	3%	1%

Source : rapport 2014 AND et Gecetal.

En Europe, les DMA sont dans des proportions diverses recyclés (récupération et/ou transformation en matières, produits, objets), compostés (matières biodégradables), incinérés ou mis en décharge ; la situation est très variable d'un pays à l'autre, dont :

- Taux moyenne DMA : mis en décharges 45.7%.
- Taux moyenne DMA : recyclées et compostés 38.7%.

**Tableau II.14** : les pourcentages des méthodes de traitement DMA dans quelques pays européens (2016).

Données en 2016	Déchets en kg/hab	recyclage et compostage	Mise en décharge	Incinérées
Danemark	777	48%	1%	51%
Malte	647	8%	92%	0%
France	510	42%	22%	34%
Allemagne	626	66%	1%	33%
Italie	497	51%	38%	11%
Belgique	420	54%	1%	45%
Autriche	564	59%	3%	38%

Source : Eurostat, service de recherche du Parlement et commission européenne.

### Objectif de l'UE sur la gestion des DMA

- ✓ La réutilisation/recyclage des DMA soit > 55% à l'horizon du 2025.
- ✓ Réduction du taux d'enfouissement (décharge) des DMA à < 10% d'ici au 2035.

### Prenons l'exemple : la France

Au milieu des années 1990, près de la moitié des déchets ménagers était mis en décharge (stockage). Cette proportion décroît nettement depuis ; elle atteignait 43 % des tonnages en 2000 et 24 % en 2015.

La loi n° 2015-992 du 17 août 2015, relative à la transition énergétique pour la croissance verte, fixe l'objectif de réduire de 50 % la mise décharge des déchets non dangereux non inertes à l'horizon 2025 par rapport à 2010.

En France, le taux de valorisation par recyclage et par valorisation énergétique ou organique (compostage, méthanisation, traitement mécanobiologique) atteint 76 % des déchets municipaux en 2015, contre 53 % en 2000.

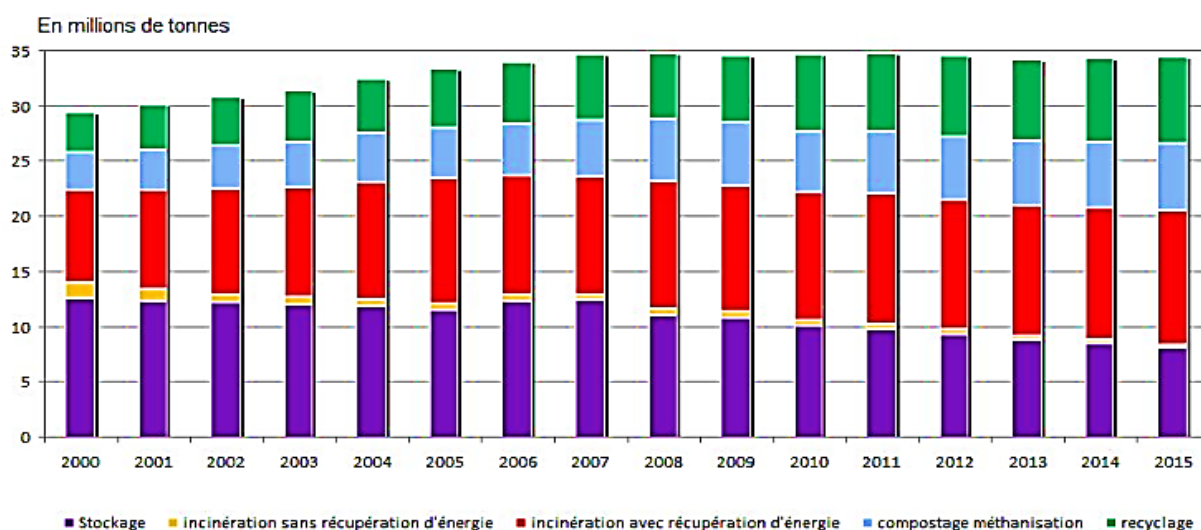
Le recyclage des déchets progresse fortement du fait du développement de la collecte sélective, conséquence de l'ouverture de déchèteries (4 649 en service en 2015). Les quantités de déchets ménagers à destination du recyclage s'élèvent à 7,9 millions de tonnes (Mt) en 2015, contre 3,7 Mt en 2000 (recyclables secs, hors encombrants).

Les plateformes de compostage accueillent 5,2 Mt de déchets verts issus des DMA.

La loi n° 2009-967 du 3 août 2009 de programmation relative à la mise en œuvre du Grenelle de l'environnement fixe notamment comme objectif : « d'ici à 2015, 45 % des déchets ménagers et assimilés (DMA) devront être orientés vers le recyclage ».

Les résultats 2015 de l'enquête collecte de l'Ademe font apparaître un taux de recyclage (matière et organique) des déchets ménagers et assimilés de 41 %. Ce taux croît sensiblement de 1 % par an, mais l'objectif fixé pour 2015 n'est pas atteint malgré les efforts réalisés. Cet objectif est renforcé dans le cadre du programme national de prévention des déchets qui fixe une réduction de 7 % des DMA, entre 2010 et 2020.

L'incinération sans récupération d'énergie est aujourd'hui marginale. À l'inverse, l'incinération avec récupération d'énergie s'accroît, passant de 29 % du poids des déchets ménagers en 2000, à 35 % en 2015.



**Figure II.61** : traitement des déchets par la méthode combinée en France

Source : ADEME, SDES France 2015.

Selon l'inventaire des installations de traitement des ordures ménagères de l'Ademe (enquête **Itom**), on compte 221 centres de stockage de déchets non dangereux en 2014 contre 303 en 2006. Les incinérateurs sont au nombre de 126 - dont 115 avec récupération d'énergie - contre 266 en 1996 et 90 avec récupération d'énergie. Pour favoriser la valorisation des déchets, un nombre important de centres de tri et d'unités de

compostage ont ouvert au début des années 2000. En 2014, on dénombre 397 centres de tri et 585 unités de compostage.

## **Conclusion**

La gestion des déchets ménagers solides reste un défi majeur pour les autorités. La diversité, la quantité énorme des déchets ménagers ainsi que les décharges non conformes à la réglementation incitent de nos jours le recours à la valorisation de ces déchets.

Dans ce chapitre on avait présenté les différentes modes de traitement et de la gestion des déchets ménagers tous en décrivant leurs détails et à travers ces derniers, nous avons conclu que la meilleure technique pour traiter les DM est la méthode combinée, en effet elle offre la disposition de diviser les taux des DM réceptionnés entre les différents modes de traitement tout en tenant compte de la grande part pour le recyclage (compostage).

Afin d'être ce dernier appliqué, il fallait une chaîne technologique de tri des DM en absence du tri sélectif, qu'on va les préciser dans les chapitres suivants.

**CHAPITRE III : ETUDES  
STATISTIQUES DES DONNEES  
RELATIVES MONDIALES ET  
LOCALES**

## ETUDES STATISTIQUES DES DONNEES RELATIVES MONDIALES ET LOCALES

### I. Le cas mondial

#### I.1. Introduction

Rien ne se perd, tout se transforme. Cette maxime est on ne peut plus d'actualité alors que les dirigeants du monde comme les populations locales appellent de plus en plus à en finir avec la « culture du déchet ». Dans une société où tout se jette, les déchets sont un enjeu qui touche à la santé des individus et à leurs moyens de subsistance, mais aussi à l'environnement et à la prospérité économique.

La gestion des ordures ménagères est un problème universel qui concerne chaque habitant de la planète. Mais, parce que plus de 90 % des déchets brûlés ou déversés dans des décharges sauvages concernent des pays à faible revenu, ce sont les habitants pauvres et les plus vulnérables qui en payent le plus lourd tribut.

On assiste régulièrement à l'effondrement de décharges qui ensevelissent sous les ordures des maisons de fortune et leurs habitants. Ceux qui vivent à proximité de ces immenses dépotoirs sont généralement les habitants les plus pauvres des villes, qui vivent de la récupération des déchets et sont exposés à de graves risques sanitaires.

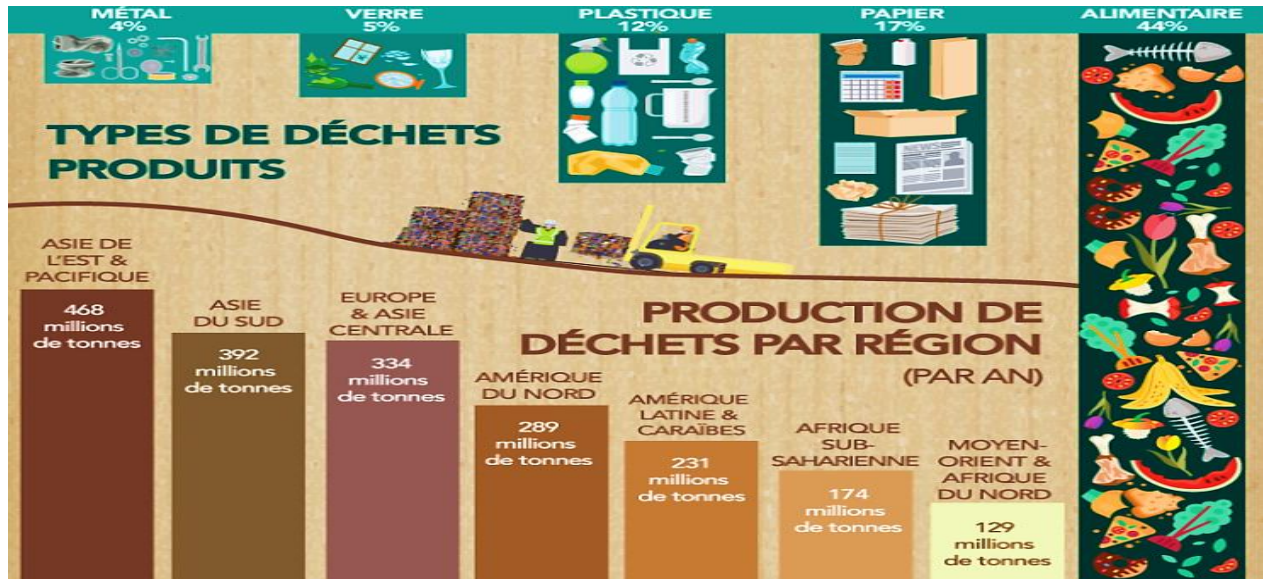
« La mauvaise gestion des déchets contamine les océans, obstrue les canaux d'évacuation des eaux et provoque des inondations, propage des maladies, accroît les problèmes respiratoires du fait du brûlage des ordures à l'air libre, tue des animaux et affecte le développement économique, en nuisant par exemple au tourisme », rappelle **Sameh Wahba**, directeur en charge du développement urbain et territorial, de la gestion du risque de catastrophe et de la résilience à la Banque mondiale.

En outre, le (non) traitement des déchets solides contribue fortement au changement climatique : il représentait en 2016 presque 5% des émissions mondiale des gaz à effet de serre (sans tenir compte des émissions liées au transport des ordures). [34]

#### I.2. Production et gestion mondiale des DM

- Le monde produit 2.01 Milliards de tonnes des déchets municipaux par an.

Sans action immédiate, ce chiffre va augmenter de 70% pour atteindre 3.4 Milliards de tonnes d'ici 2050.



**Figure III.1** : Production et répartition des déchets ménagers au niveau mondiale. [35]

(Source : banque mondiale 2018 Lois Goh #what-a-waste2)

- La gestion des ordures ménagères concerne tout le monde. Il est indispensable de mettre en place une gestion efficace et appropriée des déchets solides pour atteindre les Objectifs de développement durable », souligne **Ede Ijjasz-Vasquez**, directeur principal du pôle Développement social, urbain et rural et résilience de la Banque mondiale. « Les ordures brûlées à l'air libre ou déversées dans des décharges sauvages sont nocives pour la santé humaine, l'environnement et le climat, et sont un frein à la croissance économique dans les pays pauvres comme dans les pays riches. [34]

Dans les pays à faible revenu, plus de **90%** de ces déchets sont mal gérés.

Cette situation aggrave les émissions des gaz à effet de serre et les risques de catastrophe, avec des effets proportionnellement plus élevés parmi les pauvres.



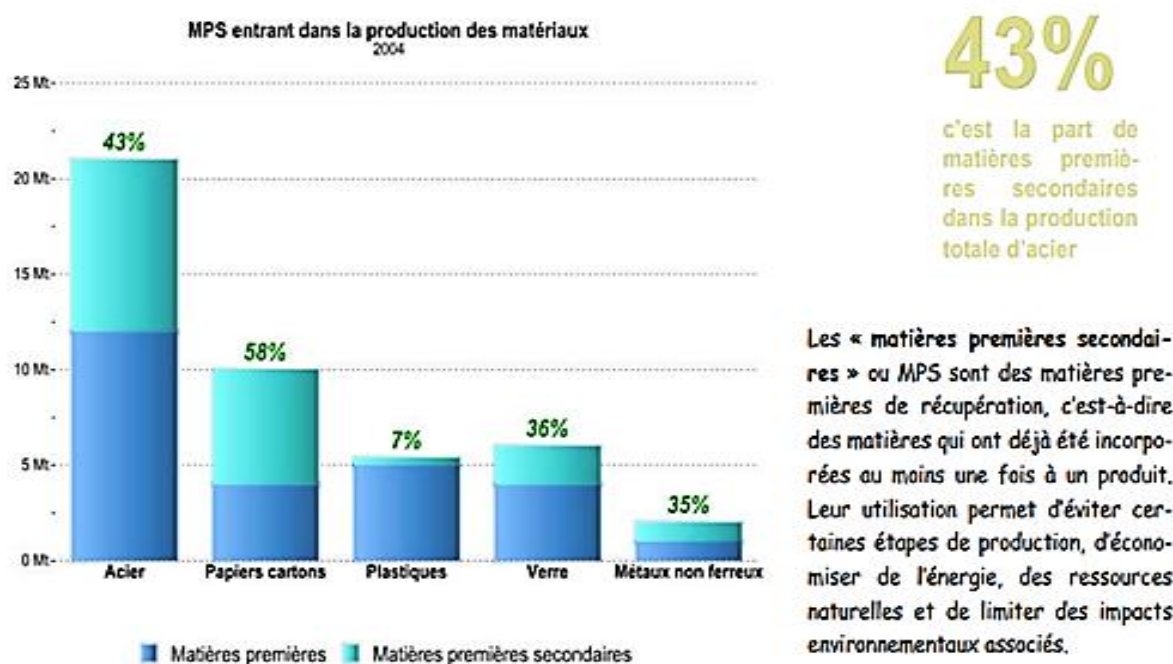
**Figure III.2** : Situation des déchets dans les pauvres. [35]

(Source : banque mondiale 2018 Lois Goh #what-a-waste2)



### I.3. récupération mondiale des DM

Les pays à revenu élevé et intermédiaire de la tranche supérieure assurent globalement la collecte des déchets et, dans les premiers, plus d'un tiers des ordures sont recyclées ou compostées. Les pays à faible revenu collectent environ 48 % des ordures dans les villes et seulement 26 % dans les zones rurales, et ne recyclent que 4 % des déchets. À l'échelle mondiale, seuls 13,5 % des déchets sont recyclés et le compostage ne représente que 5,5% des ordures en 2018. Une évolution de 5% par 15 ans, la figure (III.3) Ci-dessous montre l'état de recyclage mondiale en 2004 était à peu près 43%.



**Figure III.3 : Recyclage des matières primaires secondaires [36]**

Il est donc essentiel de développer les données disponibles, tout en aidant les gouvernements à prendre des décisions capitales en matière de financement, de politique et de planification de la gestion des déchets ménagers. Ce soutien doit notamment consister à :

- apporter des financements aux pays qui en ont le plus besoin, à savoir en particulier les pays qui connaissent une croissance rapide, afin qu'ils puissent développer des systèmes de gestion des déchets modernes ;
- aider les principaux pays producteurs de déchets à diminuer la consommation de produits en plastique et les déchets marins à travers des programmes complets de réduction des déchets et de recyclage ;
- lutter contre le gaspillage alimentaire en développant l'éducation du consommateur, la gestion des déchets organiques et des programmes coordonnés de gestion des résidus alimentaires.

## II. Le cas local (wilaya d'ALGER)

### II.1 Introduction

Dans le cadre de la mise en œuvre du Programme National de Gestion des Déchets Ménagers et Assimilés (PROGDEM), l'Agence Nationale des Déchets (AND) a lancé en **2014**, une procédure d'enquête mensuelle auprès des **48** wilayas (DEW, Epics CET, ...), le but étant de mettre en place une base de données sur la gestion des déchets ménagers et assimilés au niveau national. Après quelques années de récolte d'informations, Elle dispose actuellement de données suffisamment représentatives pour pouvoir suivre la situation en temps réel et établir des statistiques à échelle nationale.

Il s'agit d'une première en Algérie et ne doute nullement que cette démarche va davantage encourager l'ensemble des acteurs activant dans le secteur à contribuer favorablement à l'enrichissement de cette base de données.

Dans ce qui suit, seront présentés la situation des DMA (déchets ménagers et assimilés) en Algérie, les acteurs intervenant et l'évolution des déchets à l'horizon **2030**. [37]

#### II.1.1 Présentation de la wilaya

Capitale du pays, Alger est de par son statut et ses fonctions la première ville d'Algérie. Elle comprend les plus importantes concentrations au niveau national en matière de population, d'activités de services, d'équipements, d'infrastructures, de centres de recherche, d'industries et de grands projets urbains.

Alger est aussi la capitale politique, administrative et économique du pays. Elle est le siège de toutes les administrations centrales, des institutions politiques et sociales, des grands établissements économiques et financiers, des grands centres de décisions et des représentations diplomatiques. [37]

#### II.1.2 Situation géographique

La wilaya d'Alger est située au Nord - Centre du pays. Elle occupe une position géostratégique, aussi bien de par les flux économiques échangés avec le reste du monde, que par sa géopolitique. Elle s'étend sur plus de **810 KM<sup>2</sup>** et est limitée par :

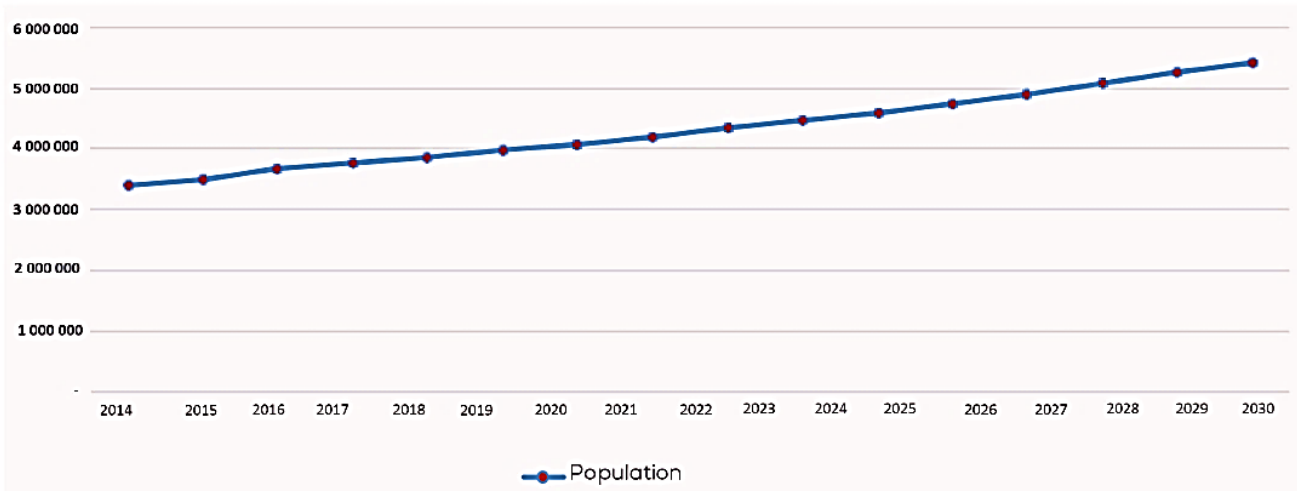
- La mer méditerranée au Nord.
- La wilaya de Blida au Sud.
- La wilaya de Tipaza à l'Ouest.
- La wilaya de Boumerdès à l'Est. [37]

#### II.1.3 Situation démographique

Selon le RGPH de **2008**, la wilaya d'Alger totalisait **2 987 160** habitants, En **2016**, la population est estimée à **3,6** Millions d'habitants, soit une augmentation de plus de **30%** en **8** ans. La densité de la population s'élève à **~ 4 450** habitants par Km<sup>2</sup>.

La structure de la population par sexe laisse apparaître que la population masculine dépasse légèrement la population féminine dont les proportions sont respectivement de **50,19%** et **49,81%**. Le taux d'accroissement moyen/an dans la wilaya d'Alger est estimé à **1,6%**.

Pour l'année **2030**, la population dépassera la barre des **5 Millions** d'habitants et pourrait même atteindre **5,3 MH.** [37]



**Figure III.4 :** évolution de la population algérienne à l'horizon du 2030.

#### II.1.4 Gestion des déchets ménagers et assimilés dans l'agglomération algéroise

Avec un ratio de **0,95 Kg/J/Hab.**, la quantité de DMA générée dans l'agglomération Algéroise avoisine les **3500 Tonnes** par jour, soit environ **1,3 MT/an.** **80%** des déchets générés sont traités au niveau de deux Centres d'Enfouissement Techniques (CET), le premier situé au niveau de Mehalma (Hamici) et le deuxième à Corso dans la wilaya de Boumerdès. Deux opérateurs publics sont chargés de la collecte et du transport vers les sites d'enfouissement.

#### II.1.5 Opérateurs chargées de la collecte et du transport des DMA

##### II.1.5.1 EPIC NETCOM

L'Etablissement de Nettoyement et de Collecte des Ordures Ménagères (**NETCOM**) a été créé par arrêté de Monsieur le wali d'Alger, sous le N° **449/SAGC/** du **07/06/1995**, conformément aux dispositions du décret **83/200** du **19/06/1983** portant conditions de création, d'organisation et de fonctionnement de l'établissement public local à caractère industriel et commercial.

**NETCOM** a pour missions, l'enlèvement et la collecte des ordures ménagères et assimilées, le balayage des trottoirs, l'installation des équipements de pré-collecte et le lavage des rues et places publiques.

L'EPIC a un champ d'intervention qui couvre **26 communes** soit **41 %** de la population de la Wilaya (**184 KM<sup>2</sup>** de la superficie de wilaya), en exploitant **409** véhicules, dont **363** véhicules de collecte, **21** camions citernes et **06** balayeuses mécaniques. L'établissement dispose aussi, de moyens humains appréciables, soit : **6249** agents dont : **64** chargés de l'encadrement, **310** agents de maîtrise, **5875** agents d'exécution.

##### II.1.5.2 EPIC EXTRANET

C'est un Etablissement Public à caractère Industriel et Commercial créé conformément à l'arrêté interministériel daté du **26 janvier 2014** et chargé du nettoyage, de la collecte et du transport des déchets ménagers et assimilés des **31 communes** de la wilaya d'Alger soit **59 %** de la population.

EXTRANET couvre 625 km<sup>2</sup>, soit ~ 81% de la superficie de la wilaya. Il subvient au besoin d'une population de plus de **2 273 000** habitants. Pour ce faire, l'entreprise utilise des moyens humains et matériels importants, soit : **5200** agents et plus de **500** véhicules. [37]

**II.1.6 Répartition des communes**

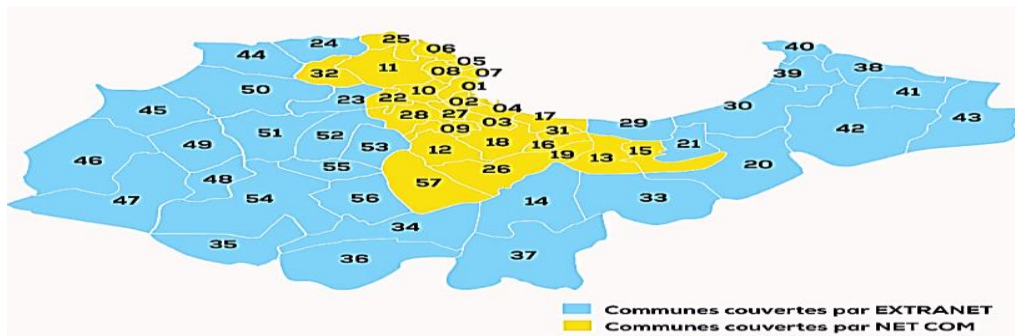


Figure III.5 : répartition des communes dans la wilaya d'ALGER.

**II.1.7 Taux de collecte**

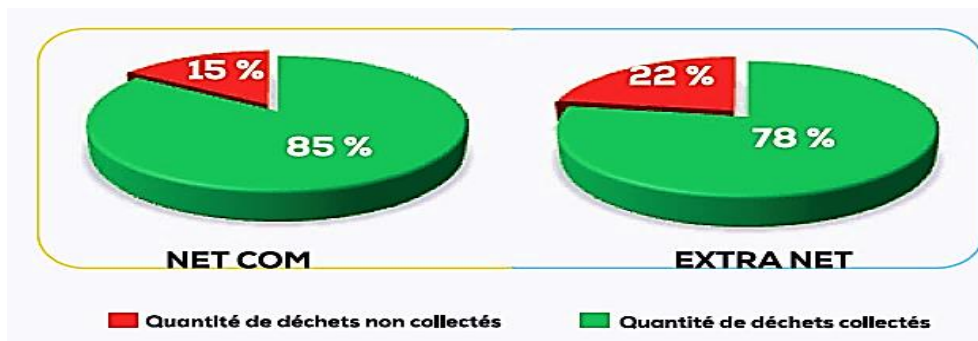


Figure III.6 : taux de collecte des DM par EPIC (ALGER)

**II.1.8 Evolution de la quantité générée (T/AN)**

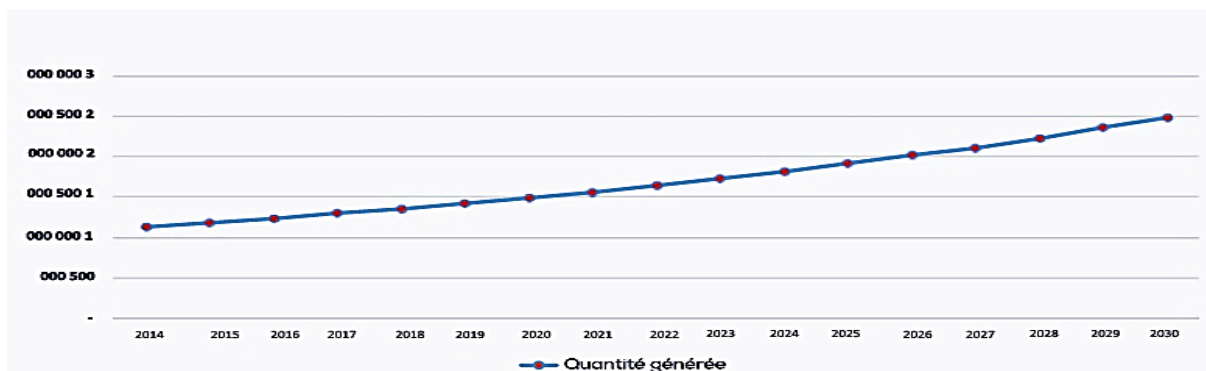


Figure III.7: évolution des quantités DM au bout du 2030

### II.1.9 Potentiel par catégorie de déchets à l'horizon 2030

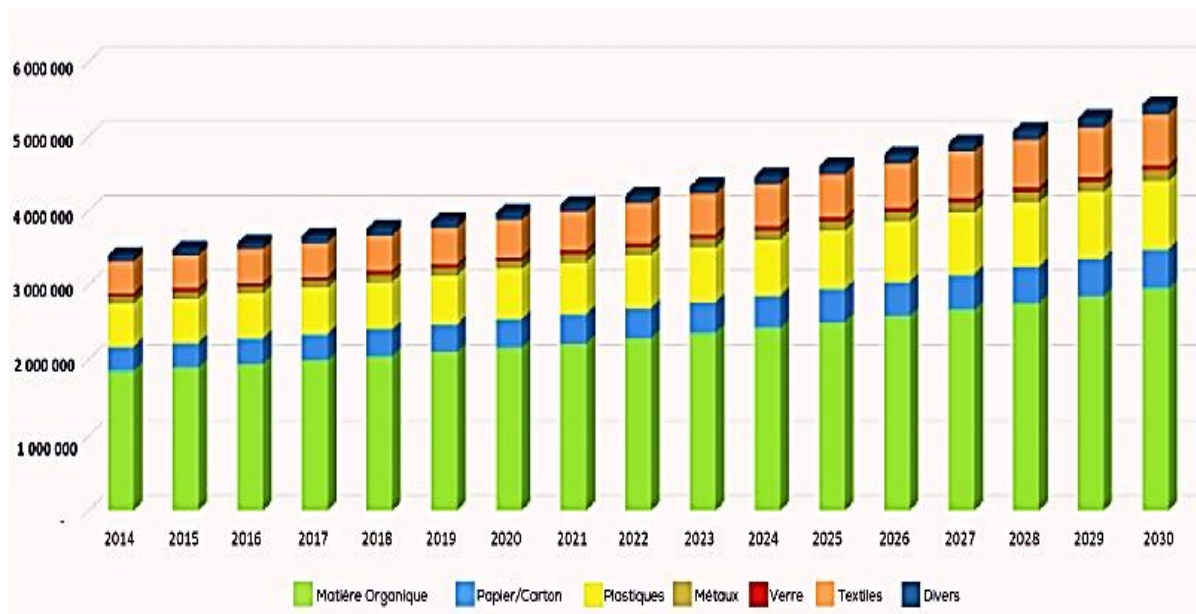


Figure III.8 : évolution des quantités des DM par catégorie.

**Remarque :** ces deux graphes, ressort une évolution quantitative et qualitative des déchets produits dans la wilaya d'Alger, proportionnelle à la courbe démographique. Cette dernière étant marquée par un taux d'accroissement nettement élevé.

Sur le plan qualitatif, il est à relever, selon les projections élaborées, que la composition des DMA, ce qui constituera une source d'alimentation des filières de valorisation.

### II.1.10 Recyclage et récupération

Afin d'alimenter le fichier national de base de données, les services de l'AND ont entamé en 2015 une procédure d'enregistrement des opérateurs chargés de la gestion des déchets. Pour ce faire, des attestations d'enregistrement leurs ont été délivrées.

Après deux années, nous avons constaté que le nombre de recycleurs enregistrés est de **47** auxquels s'ajoutent **72** récupérateurs. [37]

#### II.1.10.1 Par commune

Selon la répartition des recycleurs et récupérateurs à travers les communes de la wilaya d'Alger, il est à relever que les filières de valorisation des déchets ne laissent prospérer qu'un nombre très réduit d'artisans et opérateurs, ne dépassant que d'une manière exceptionnelle le taux de **10 %** (cas des communes de Rouïba **16%** et de Baraki **10%**). [37]

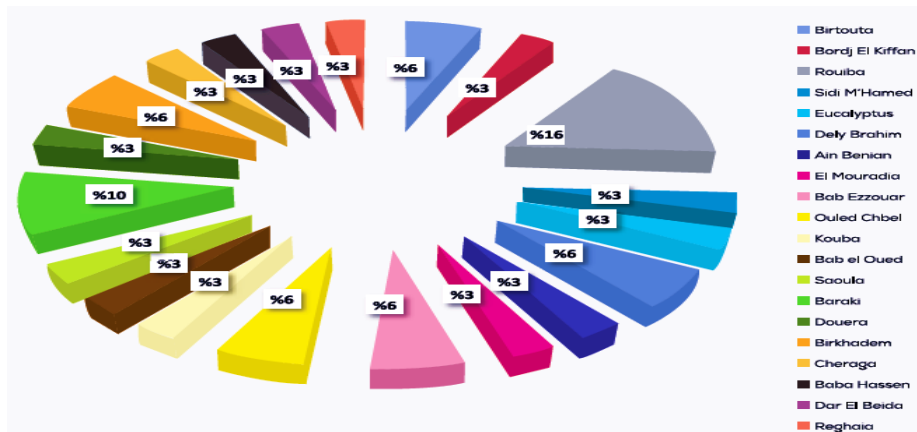


Figure III.9 : récupération et recyclages des DM par commune (ALGER)

II.1.10.2 Par wilaya

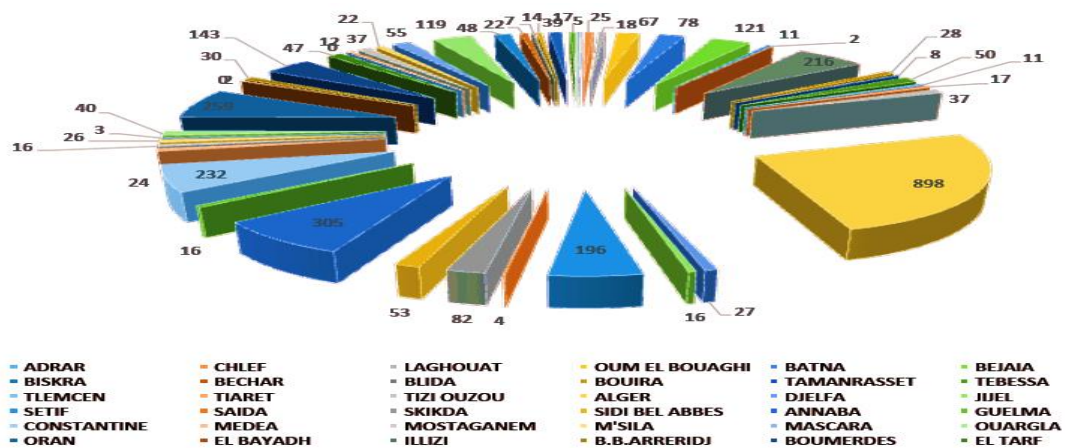


Figure III.10 : récupération et recyclages des DM par wilaya (ALGERIE)

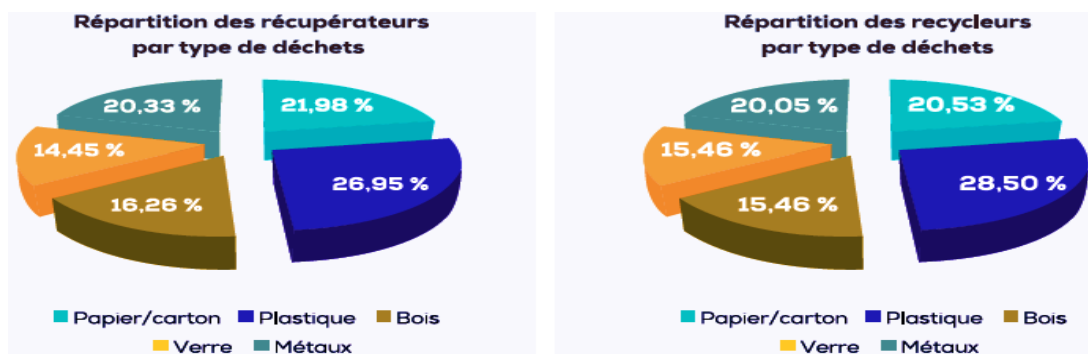


Figure III.11 : répartition des recycleurs et récupérateurs des DM (ALGER)

**Remarque :** Il est évident d'après les résultats des graphes ci-dessus, que le papier carton et le plastique constituent les premières sources d'alimentation des différentes filières de valorisation des déchets et ce, d'une part, grâce au savoir-faire acquis par les opérateurs - notamment dans le domaine du recyclage et, d'autre part, pour la prédominance de ces matériaux dans le conditionnement des produits.

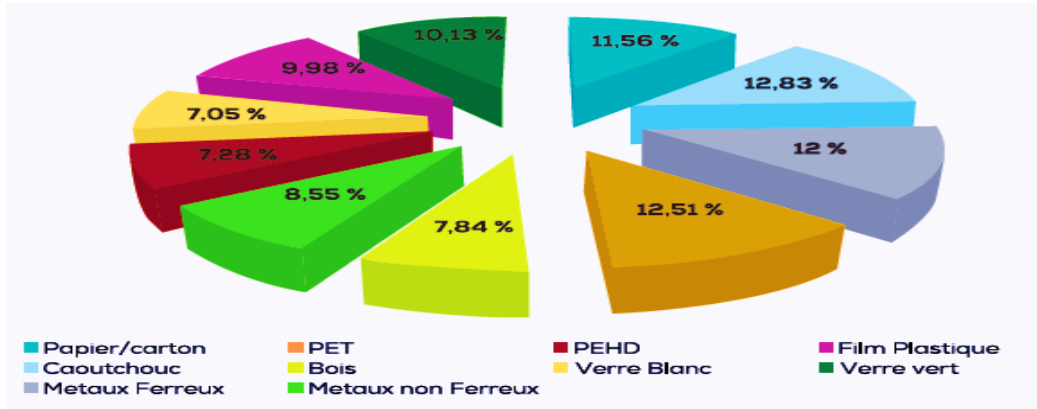


Figure III.12 : répartition des récupérateurs par sous-catégorie des DM (ALGER)

## II.2 Présentation du centre d'enfouissement technique Hamici (GECETAL)

**EPIC-GECETAL** de la wilaya d'Alger (Etablissement Public à caractère industriel et commercial de Wilaya de Gestion des Centres d'Enfouissement Techniques).

Il est également de la classe II dédié aux déchets ménagers et assimilés avec une superficie de 80 hectares, mise en exploitation depuis février 2013 et reçoit une quantité de 1700 T/J dont 7 à 9 % valorisées. [38]



Figure III.13 : centre d'enfouissement technique El Hamici GECETAL-ALGER



Figure III.14 : localisation du CET Hamici GECETAL-ALGER.

### II.2.1 Pont bascule

Le CET a doté les usagers de cartes magnétiques afin de faciliter la procédure d'accès au CET. Il dispose d'une banque de données présentée sous forme de bilan (hebdomadaire et mensuel). [38]



Figure III.15 : pont bascule municipale et celui de réserve.

### II.2.2 Bâtiment administratif

Regroupe différents services, à savoir :

- Direction Générale;
- Section Contrôle, Audit et Communication;
- Section HSE et Condition de Travail;
- Service Technique;
- Service Commercial;
- Service Administration et Finances.





**Figure III.16** : les bâtiments administratifs du GECETAL

### II.2.3 Hangar de tri

Il est composé de trois unités de tri manuel, chacune est exploitée par 3 brigades, pendant 18H et de capacité 900 T/j environ abritées dans deux locaux en structure métallique



Figure III.17 : les hangars de tri

Le triage est réalisé d'une manière traditionnelle par les mains pour séparer quelques matières



Figure III.18 : l'une des chaînes de tri.

### II.2.4 Les étapes de tri

Les déchets sont déversés au niveau de la plateforme, ensuite menés via un mini chargeur vers le convoyeur/déchetueur des sachets puis vers le tapis de tri;

- Les déchets non valorisables sont évacués par un camion à benne vers le casier;
  - Les produits récupérés sont pressés et mis en balles pour faciliter leur stockage;
  - Les catégories de déchets récupérés : PET, Carton, Aluminium, Fer, PEHD, film plastique.
- [38]



**Figure III.19** : l'alimentation de la chaîne de tri par un chargeur



**Figure III.20** : chaîne de triage manuel

*(En respectant les désirs des travailleurs, nous n'avons pas pu prendre cette photo en relevant leurs visage)*



**Figure III.21** : convoyeur magnétique ( séparation des métaux fereux )

**Remarque** : nous observons malhersement que certains sacs ne sont pas bien ouverts ou dispersés c'est du à l'inefficacité infame de la machine 'déchiqueteur des sacs' ou peut etre aussi un dysfonctionnement non diagnostiqué.



**Figure III.22** : évacuation des déchets non valorisables par les camions vers le casier



**Figure III.23** : l'armoire électrique de la chaîne de tri

***Remarque** : Cette installation électrique n'est pas soumise à un système de contrôle ou d'acquisition des données (SCADA). Dans une comme celle-ci (simple armoire électrique 380V/200A/50HZ). l'absence d'un système de contrôle ou de protection affecte grandement sur le triage et même peut exposer les travailleurs à des risques en cas des urgences.*

### II.2.5 Station de transformation des sachets plastiques

Station de lavage et de transformation des sachets plastique usagés en granulés, avec une capacité de transformation de **250kg/heure**. [38]



**Figure III.24** : station de transformation des sachets plastiques

## II.2.6 Les casiers

Au moment de notre visite, le CET GECETAL comprend trois casiers d'enfouissement des déchets sans récupération des biogaz, telle que :

➤ **Casier 1**

- ✓ Une superficie de **10 hectares** avec une capacité de **1 800 000 m<sup>3</sup>**
- ✓ Déchets enfouis/jour **1600 Tonnes**
- ✓ Exploitation actuelle : en dôme



**Figure III.25** : casier N°1 en dôme (GECETAL)

➤ **Casier 2**

- ✓ Une superficie de **12 hectares** avec une capacité de **3 000 000 m<sup>3</sup>**
- ✓ Date prévisionnelle de réception : juin 2017
- ✓ Exploitation actuelle : presque saturé



**Figure III.26** : casier N°2 en exploitation (GECETAL)

➤ **Casier 3**

- ✓ De même superficie et capacité du casier 2
- ✓ Etat : en construction



Figure III.27 : casier N°3 en construction (GECETAL)

### II.2.7 Bassin de lixiviation

- ✓ Capacité : 3 000 m<sup>3</sup>
- ✓ Débit : 160 à 200 m<sup>3</sup>/jour
- ✓ Equipé d'un système de traitement des odeurs



Figure III.28 : bassin des lixiviats (GECETAL)

#### ➤ Station de traitement membrane

Un traitement membranaire s'effectue par le mode nano filtration, avec une capacité de traitement de 80 m<sup>3</sup>/j.

#### ➤ Station de traitement par osmose inverse

Le traitement s'effectue par le système de l'osmose inverse, avec une capacité de 120 m<sup>3</sup>/j. L'eau traitée par les deux stations est stockée au niveau de la bache à eau, servant pour le nettoyage des hangars, arrosage, voiries, etc. [38]



Figure III.29 : de gauche vers la droite, la station membrane de traitement et la station de traitement osmose inverse

**Remarque :** Ces deux stations de traitement ont été créées lors du démarrage du CET, pour traiter les lixiviats en cohérence avec les quantités des déchets réceptionnés par le CET (900T/j). Aujourd'hui avec la croissance démographique de la wilaya et l'évolution des quantités des déchets réceptionnés quotidiennement par le CET est estimé +3000T/j en 2020.

Ces deux stations ne sont pas encore reconnues des extensions afin d'améliorer leurs capacités,

C'est ce qui aboutit des quantités des lixiviats sans traitement.

### ➤ Laboratoire des analyses

Sert à effectuer des analyses de contrôle des lixiviats avant et après le traitement.

Parmi les analyses effectuées, nous pouvons citer (DCO, DBO, PH, Azote ammoniacal, Potassium, Chrome, Nickel Cadmium, Zinc, cuivre, plomb, Sodium)

### II.2.8 Station du compostage des déchets verts

Une station de compostage des déchets verts est prévue au niveau du CET Hamici d'une capacité de **19 272 t/an**, soit environ  $\sim 63 \text{ t/j}$

Elle comptera des andains retournés sous toiture avec l'aération naturelle des matières pendant le compostage.

La surface de la station sera répartie comme suit:

- ✓ L'aire de réception et de stockage des déchets d'une superficie de **5 371 m<sup>2</sup>**
- ✓ Une surface réservée à la fermentation des andains de **4 734 m<sup>2</sup>**
- ✓ Une surface réservée à la maturation de **4 564 m<sup>2</sup>**
- ✓ Une surface réservée au stockage de produit fini de **5 144 m<sup>2</sup>**

Des hangars en charpente métallique pour la zone de fermentation, la zone de maturation et la zone de stockage de produit fini. [38]



**Figure III.30 :** station du compostage des déchets verts

**Remarque :** Au moment de notre visite le concasseur de la station du compostage des déchets verts est en panne depuis un certain temps sous l'attente du commandement de la pièce usée.



**Figure III.31** : Station de concassage des déchets inertes

### II.3 Situation des déchets GECETAL

La situation des déchets dans ce CET est catastrophique en raison d'absence d'une chaîne technologique de tri des déchets ménagers.

Dans ce qui suit, nous vous montrons en termes l'état des équipements et les quantités traités des déchets ménagers

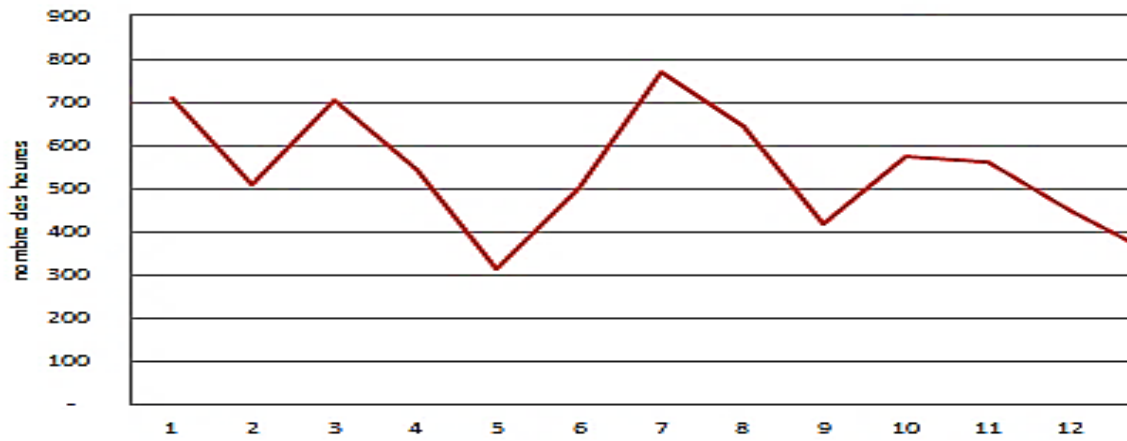
#### II.3.1 Statut des équipements

**Tableau III.1** : fiabilité et défaillance des équipements en heure (Gecetal)

Désignation de l'équipement	2020	2019											
	Jan	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Jui	Aou	Sep	Oct	Nov	Dec
<b>Chaîne de tri N°1</b>	354	254	353	86	63	102	120	145	210	288	266	221	177
<b>Chaîne de tri N°2</b>	354	254	353	354	192	354	294	145	210	288	266	221	177
<b>Chaîne de tri N°3</b>	-	-	-	106	59	45	354	354	-	-	30	9	-
<b>Presse à balle H N°1</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Presse à balle H N°2</b>	-	En panne	En panne	En panne	En panne	En panne	En panne	En panne	En arrêt	-	-	-	-
<b>Presse à balle H N°3</b>	En panne	-	-	-	-	-	-	En panne	En panne	En panne	En panne	En panne	En panne
<b>Presse à balle V N°1</b>	En arrêt	-	En panne	En panne	En panne	En panne	En panne	En arrêt	En arrêt	En arrêt	En arrêt	En arrêt	En arrêt
<b>Total</b>	<b>708</b>	<b>508</b>	<b>706</b>	<b>546</b>	<b>314</b>	<b>501</b>	<b>768</b>	<b>644</b>	<b>420</b>	<b>576</b>	<b>562</b>	<b>451</b>	<b>354</b>

L'aggravation des défauts sur les équipements est due à l'absence des entretiens et les maintenances organisables, le taux moyen des défaillances des équipements est à peu-près 530 heures/mois soit environ 18 heures/jour.





**Figure III.32** : taux des défaillances des équipements (heures/mois)



**Figure III.33** : chaîne de tri défaillante

(Trémies d'alimentation, déchiqueteur des sacs, convoyeur à bande)



**Figure III.34** : presse à balle horizontale défaillante

(Le système hydraulique des vérins et les plaques compressibles sont usés)

## II.3.2 Statut des déchets

Malgré l'indisponibilité des informations nécessaire pour préparer une étude statistiques des déchets, cependant nous avons pu préparer notre propre calcul pour vous démontrer l'incapacité la chaîne de triage manuelle à faire face à cette énorme quantité des déchets pour être traités.

**Tableau III.2** : Les données relatives des déchets ménagers GECETAL 2019/2020  
[38]

Quantité des déchets		Données relatives													
		Année	2019												
		Mois	Jan	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jui	Jui	Aout	Sep	Oct	Nov	Dec
<b>Enfouit</b>		64976	63987	63987	66171	76513	95246	91765	93500	96276	7938 8	65394	65713	64976	
<b>Entrant au tri</b>		6260	7728	7728	9981	8449	7557	6424	5967. 9	4651.6	4861	6482. 7	5788	6260	
<b>Récupérés</b>		<b>202</b>	<b>117.3</b>	<b>124.5</b>	<b>189.5</b>	<b>198.2</b>	<b>173.5</b>	<b>161.5</b>	<b>177.3</b>	<b>133.9</b>	<b>137.6</b>	<b>200.3</b>	<b>181.7</b>	<b>202</b>	
origines	Aluminium	1.9	0.9	1	1	2	2.7	1.2	1.5	1.3	1.6	1.6	1.7	1.9	
	Carton papier	47.8	21.8	23.6	31.3	42.7	22	16.1	18.6	9.8	10.2	21	27.0	47.8	
	Pin	16.5	18.2	15	17.2	116.6	12.5	12.5	12.0	11.5	10.3	16.1	13.4	16.5	
	PET	113	64.4	64	118.8	11.7	118.6	108.2	127.2	92.4	93.6	134.4	113.6	113	
	PEHD	9.1	7	8.6	10.4	10.5	9.7	11.8	9.5	6.9	7.6	11.2	11.3	9.1	
	Fer	13	5.1	12.2	10.9	14.8	8	11.6	8.3	12	14.4	15.7	14.3	13	
	Autre	0.6	-	0.2	-	-	-	0.1	0.2	-	-	0.3	0.4	0.6	
<b>Total réceptionnés</b>		<b>71034</b>	<b>71598</b>	<b>71591</b>	<b>75963</b>	<b>84764</b>	<b>10262 9</b>	<b>98028</b>	<b>99292</b>	<b>100794</b>	<b>84112</b>	<b>71676</b>	<b>71320</b>	<b>71039</b>	
Nombre des camions triés		2723	3136	2267	3377	3127	3134	2340	1989	2156	2062	2827	2550	2723	
Nombre des camions non triés		15624	13384	14630	15226	17338	21669	18501	19926	20427	1727 4	16162	15375	15624	

	<b>Total</b>	<b>Pourcentage</b>
<b>Déchets réceptionnés</b>	<b>1 073 833 T</b>	<b>100 %</b>
<b>Déchets enfouis</b>	<b>987 893.7 T</b>	<b>91.0 %</b>
<b>Déchets entrant au tri</b>	<b>88 138.6 T</b>	<b>9.0 %</b>
<b>Déchets récupérés</b>	<b>2 199.3 T</b>	<b>2.6 %</b>
<b>Nombre des camions triés</b>	<b>34 422</b>	<b>15.9 %</b>



Figure III.35 : pourcentage des déchets ménagers triés / enfouis

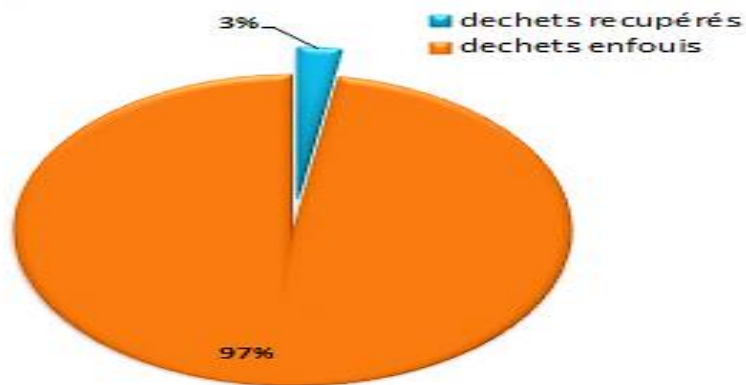


Figure III.36 : pourcentage des déchets ménagers récupérés / enfouis

➤ Potentielle de la valorisation des DMA

WILAYA D'ALGER

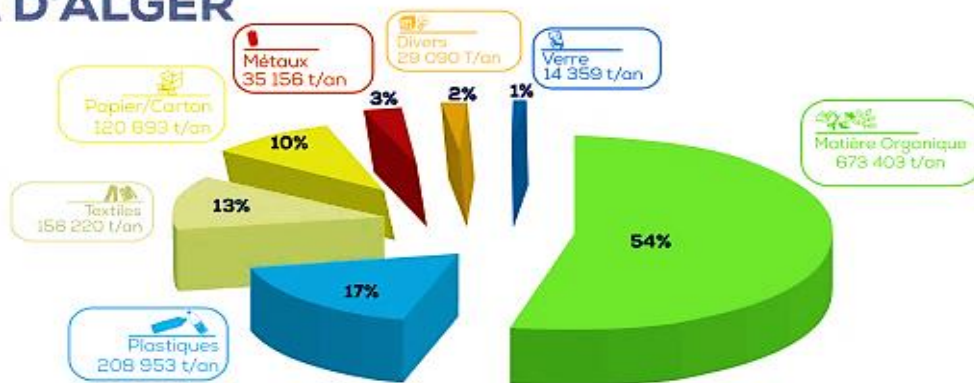
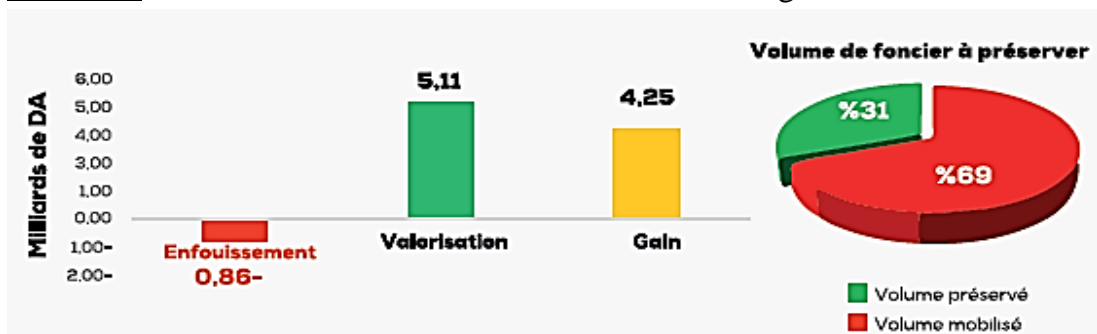


Figure III.37 : potentielle de la valorisation des DMA (AND 2014). [37]

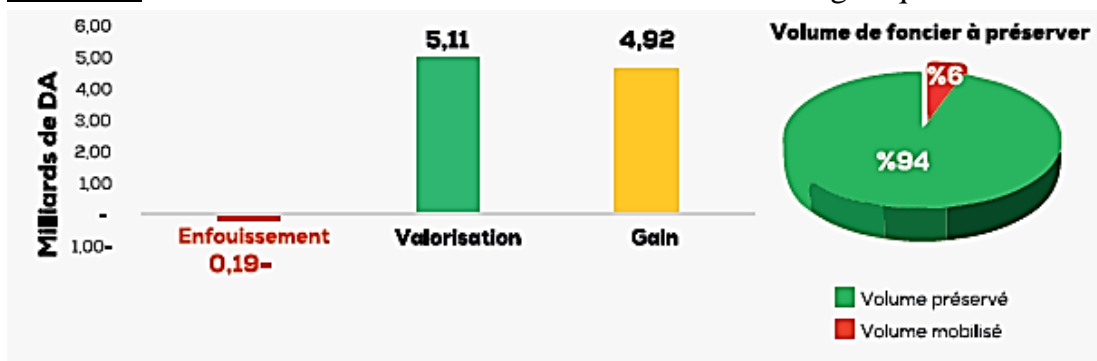
➤ Etude économique : enfouissement versus valorisation. [37]

✓ **1<sup>er</sup> Cas** : enfouissement sans valorisation

Dans ce cas nous voyons que le taux déficit phénoménal des pertes investies sur l'enfouissement sans valorisation des DMA.

✓ **2<sup>eme</sup> Cas** : enfouissement avec valorisation des emballages

Nous signalons que le gain obtenu par rapport à la valorisation des emballages est assez important mais cela n'était pas suffisant pour annuler l'enfouissement et le volume important occupé par ce dernier du casier.

✓ **3<sup>eme</sup> Cas** : enfouissement avec valorisation de la matière organique

Dans ce cas nous observons l'importance de la valorisation de la matière organique qui est la majeure parmi les autres déchets ménagers malgré qu'elle ne soit exploitée que partiellement, c'est due à la négligence du processus de compostage.

Au moment où ce dernier sera appliqué nous gagnerons bien sûr le volume mobilisé (6%) tandis que le gain dépassera son égal et cela permet de prolonger la durée de vie du casier.

### III. Cas de la wilaya de Tébessa

Dans cette étude nous allons se consacrer sur tout dans nos calculs sur le cas de la wilaya de Tébessa qui est effectivement notre lieu d'étude, on avait également réalisé un stage au sein du centre d'enfouissement technique de la wilaya où on avait aussi découvrir les modes de gestion et de traitement des DMA dans la wilaya, seront dans ce qui suit représentées en détails.

#### III.1 Situation géographique

La wilaya de Tébessa est située à l'extrême Est du pays, limitrophe de la Tunisie. Elle possède depuis longtemps une double vocation minière (exploitation des mines de fer OUENZA et BOUKHADRA et des gisements de phosphate de DJEBEL ONK) et agro pastorale (y compris l'agriculture en montagne). Elle est caractérisée par son emplacement dans la zone frontalière des Hauts Plateaux Est du pays. La wilaya s'étend sur une superficie de **13.878 KM<sup>2</sup>**, elle est limitée :

- Au Nord par la wilaya de Souk-Ahras
- Au Nord-Ouest par la wilaya de Oum-El Bouaghi et de Khenchela
- A l'Est par la Tunisie (sur 300 kms de frontières)
- Au Sud par la wilaya d'El-Oued. [39]

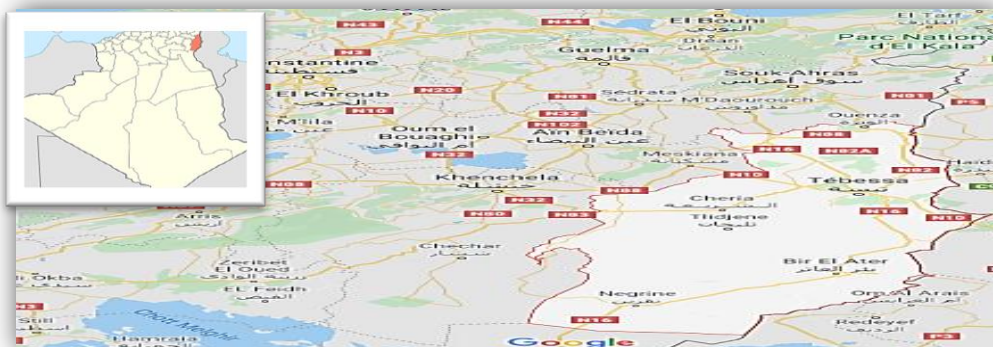


Figure III.38 : Localisation de la wilaya de Tébessa.

#### III.2 Condition climatique

Cette région étant une zone de transition météorologique est considérée comme une zone agro-pastorale avec une présence d'un nombre important de phénomènes (gelée, grele crue, vent violent). La wilaya de Tébessa se distingue par quatre (04) étages bioclimatiques.

Le Sub- humide (400 à 500 mm/an) très peu étendu il couvre que quelques Ilots limités aux sommets de quelques reliefs

Le Semi-aride (300 à 400 mm/an) représenté par les sous étages frais et Froids couvre toute la partie Nord de la Wilaya

Le Sub-Aride (200 à 300 mm/an) couvre les plateaux steppiques de Oum-Ali – Saf-Saf-El-Ouesra – Thlidjene et Bir El-Ater.

L'Aride ou saharien doux (-200 mm/an), commence et s'étend au-delà de L'Atlas saharien et couvre les plateaux de Negrine et Ferkane. [39]

### III.3 Population

La population de la wilaya est estimée à **693 671 habitants**, soit une densité moyenne de 46 habitants au Km<sup>2</sup>

### III.4 Autre information

- Densité : 46 hab/ Km<sup>2</sup>
- Communes : 28
- Code de la wilaya : 12
- Code postale : 12 000

(Source : Andi 2013)

### III.5 Centre d'enfouissement technique de la wilaya de Tébessa

#### III.5.1 introduction

Il est nommé par l'établissement public de wilaya de gestion des centres d'enfouissement technique de Tébessa (**EPWG-CET**), implanté dans la commune de Tébessa, d'une superficie de 33 hectares limité comme suit :

- A l'est par la route nationale N°16.
- A l'ouest par l'ancienne décharge publique à ciel ouvert.
- Au sud par une ligne de chemins de fer.
- Au nord par la route nationale N° 16.

Le centre reçoit seulement les déchets ménagers assimilés et non aux déchets interdits (inertes, spéciaux, chimiques ...). [40]



**Figure III.39** : Centre d'enfouissement technique de la wilaya de Tébessa (EPWG CET)

III.5.2 L'organigramme de l'établissement

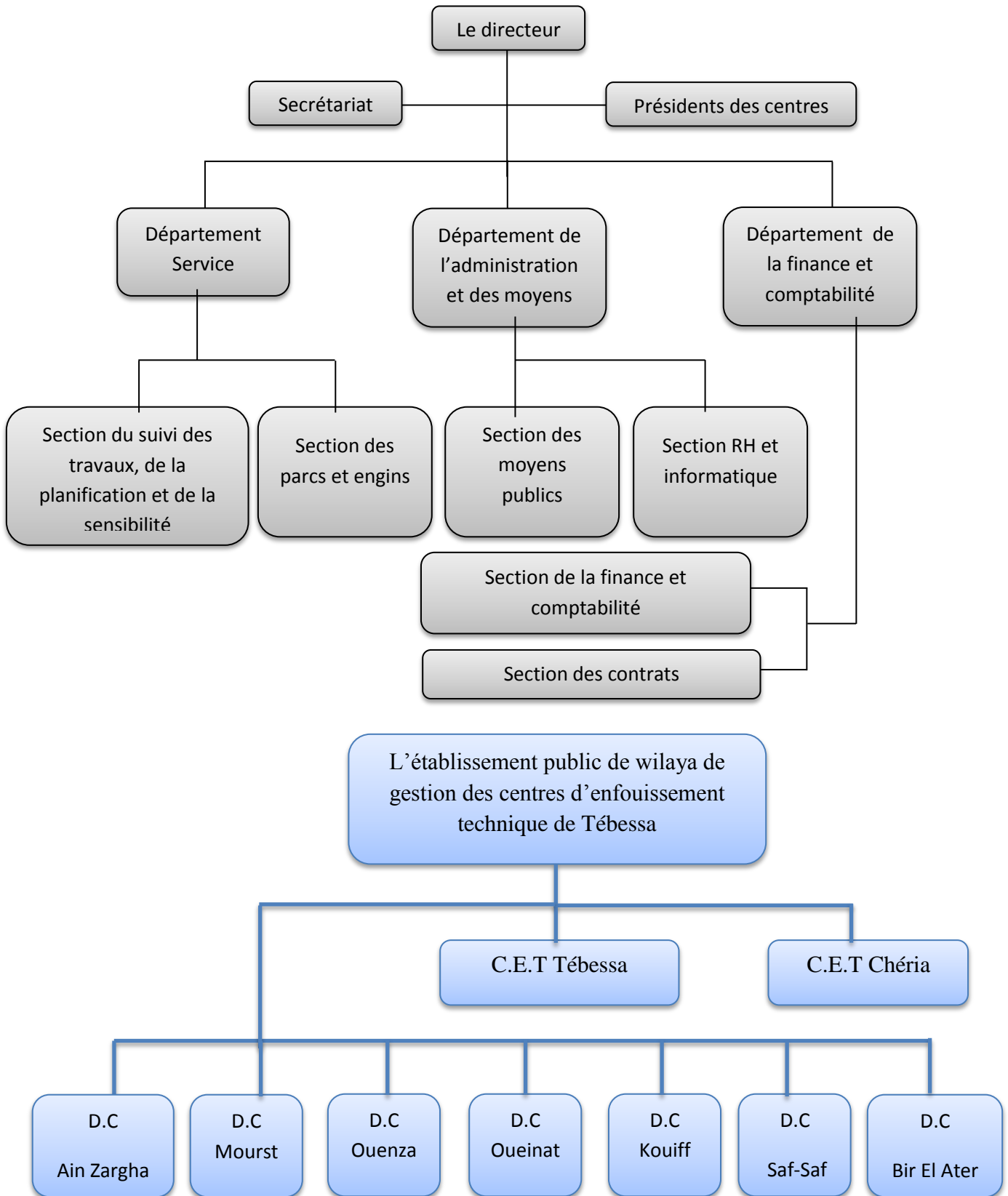


Figure III.40 : L'organigramme de l'EPWG CET Tébessa

### III.5.3 Information relative à l'établissement

- ✓ Le directeur d'établissement : **Mr. RABAI AZEDDINE**
- ✓ Date de création du CET : **04/05/2009**
- ✓ Date de mise en exploitation : **08/12/2010**
- ✓ Nombre de CET et des décharges gérés par l'établissement : **08**
- ✓ Nombre des communes prise en charge par le CET : **18/28**
- ✓ Estimation de la quantité annuelle de déchets qui sera enfouie au niveau des CET gérés par l'établissement : **122 778 tonnes**
- ✓ Estimation de la quantité des déchets qui sera enfouis annuellement : **77.019 T/an**
- ✓ Capacité total d'enfouissement : **1.524.600 m<sup>3</sup>**
- ✓ Nombre total des casiers prévus : **09**
- ✓ Nombre des casiers réalisé : **03**
- ✓ Communes desservies : **Tébessa – Bekkaria – Boulhaf Dyr – El Hammamet et Elmalabiad.**
- ✓ Nombre des habitants desservis : **260.000 habitants.**
- ✓ Durée de vie de CET : **20 ans. [40]**

### III.5.4 Fiche technique

- Casier d'enfouissement
- Station déshydratation par évaporation des lixiviats
- Bloc administrative
- Hangar de tri manuel équipé de trois tapis roulants
- Atelier de maintenance
- Station des carburants
- Bâche à eau
- Loge de gardiennage et de contrôle
- Cabine de pesage + pont bascule
- Clôture mixte
- Eclairage publique

### III.5.5. Equipement d'exploitation

- ✓ Compacteur à pieds de mouton
- ✓ Bulldozer
- ✓ Niveleuse
- ✓ 02 chargeurs sur pneu.
- ✓ Un camion-citerne et Citerne tractable 3000L.
- ✓ 08 bennes tasseuses
- ✓ 07 camions (1 ampliroll, 3 BOM, 3 grand tonnage)
- ✓ 3 motoculteurs
- ✓ 3 presses à balle.





Figure III.41 : bâtiment administratif EPWC TBS.



Figure III.42 : pont bascule et cabine de pesage des camions EPWC TBS.



Figure III.43 : point de déchargement des camions pour le triage



Figure III.44 : hangar de tri.



Figure III.45 : les trois chaines de triage manuel des déchets EPWC TBS.



Figure III.46 : échenillions des déchets récupérés.



Figure III.47 : casier N°1 fermé après l’exploitation EPWC TBS



**Figure III.48** : casier N°2 en exploitation EPWC TBS



**Figure III.49** : casier N°3 en construction EPWC TBS



**Figure III.50** : les trois bassins des lixiviats EPWC TBS



**Figure III.51** : incinérateur des déchets médicaux

### III.5.6 Situation des déchets EPWC TEBESSA

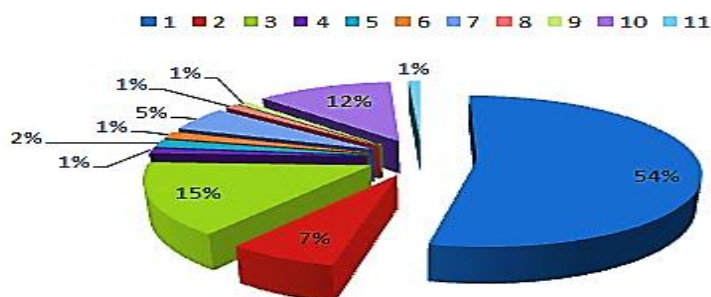
Dans ce qui suit nous avons résumé notre étude statistique concernant les déchets ménagers du CET de la wilaya de Tébessa en des tableaux et des graphes.

#### III.5.6.1 Composition des déchets ménagers

Le tableau suivant nous montre la composition des déchets ménagers selon leurs poids.

**Tableau III.3** : compositions des déchets ménagers selon leurs poids (AND 2018). [41]

Composition des DMA en 2018			Quantités générées 2018 (T/an)	Quantités générées par catégories (T/an)
1	matière organique	53,6 %	<b>212231</b>	113777,0
2	papier carton	6,8 %		14346,8
3	plastique	15,3 %		32492,6
4	verre	1,0 %		2207,2
5	métaux	1,7 %		3650,4
6	complexe/composés	1,5 %		3183,5
7	textile/chaussure	5,4 %		11439,3
8	dangereux	1,1 %		2270,9
9	inertes	0,8 %		1761,5
10	couches jetables	11,8 %		24958,4
11	autres	1,0 %		2164,8
<b>Total</b>		<b>100,0 %</b>		<b>212252,2</b>



**Figure III.52** : composition des déchets ménagers (AND 2018) TBS

III.5.6.2 Quantités des déchets enfouis

Tableau III.4 : données relatives des quantités des déchets (EPWC TBS). [40]

	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
2016	4909	4149	4407	4688	5017	4726	4449	4208	4635	4441	4039	4732	54400
2017	4915	4738	4757	4973	4685	5428	5344	4770	5038	5107	4282	5590	59627
2018	5915	3798	4854	5715	5533	5159	5161	5935	4399	4845	4510	4493	60317
2019	4594	4420	5035	5354	5976	5771	5688	6660	5820	5118	4831	5294	64560

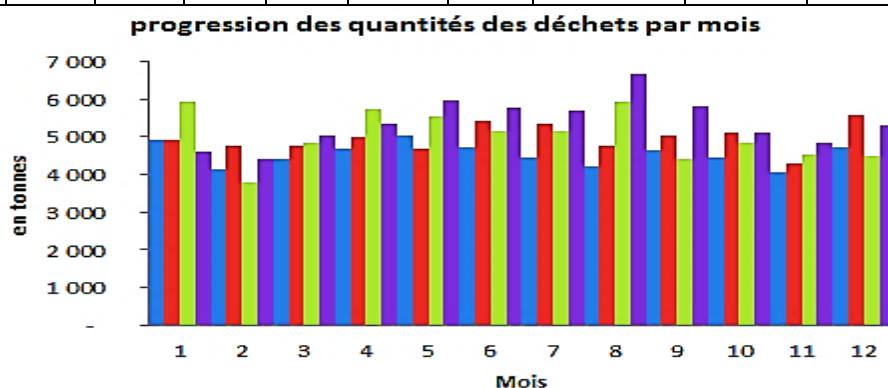


Figure III.53 : progression des quantités des déchets par mois du CET (EPWC TBS)

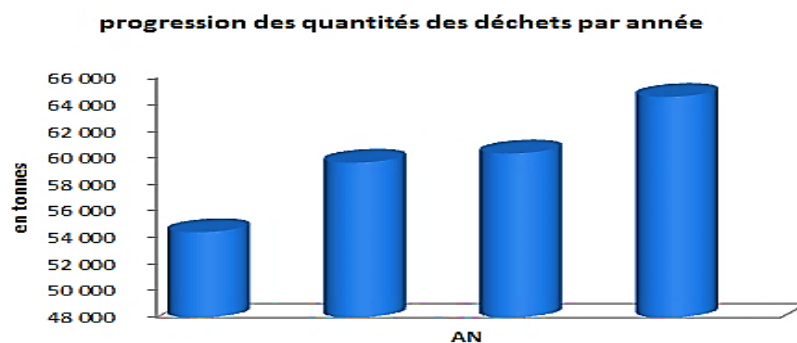


Figure III.54 : la progression des quantités des déchets en Tonnes/An du CET EPWC TBS

III.5.6.3 Quantités des déchets récupérés

Tableau III.5 : les quantités en tonnes des déchets récupérés (EPWC TBS). [40]

ORIGINE AN	Plastique			Carton Papier		Fer	Verre	Pneu	Total	Moyenne en %
	PET	PEHD	PVC							
2016	45	31	62	5	70	21	2	161	397	0.7
2017	58	10	12	38	6	30	5	560	719	1.2
2018	61	14	15	37	4	31	2	427	591	1.0
2019	59	8	12	42	6	0	0	504	631	1.0

**Conclusion :**

Après analyse du rapport sur la gestion des déchets de la wilaya d'Alger il ressort que: La longue distance parcourue par les camions de collecte acheminés vers le CET de Hamici induit la détérioration précoce de la flotte, afin de remédier à cette situation il est plus que nécessaire de mettre en œuvre des stations de transfert.

Aussi la mise en place d'une collecte sélective ou l'existence d'une chaîne technologique de tri peuvent considérablement contribuer à l'optimisation des coûts liés au transport comme sur la durée de vie du casier et la rentabilité des chaînes de tri.

La réalisation du tertiaire casier dans le CET de Hamici, dont la capacité est nettement supérieure aux précédents (3 million M3, soit une durée de vie prévisionnelle de 10 ans) permettra une marge de sécurité en matière d'enfouissement pour la wilaya d'Alger.

En l'absence d'une stratégie efficace de la gestion et traitement des DMA qui prend en compte tous les aspects, la solution radicale ne se figure pas sur l'augmentation des nombres de casier sans prendre en compte la production résultante des lixiviats produisent par ces derniers où le développement de la station du traitement de ces eaux en conjonction avec l'inflation de cette dernière.

En ce qui concerne le CET de la wilaya de Tébessa, l'adaptation de la même technique de gestion et traitement des DMA (le triage manuel et l'enfouissement) sous l'absence d'une station de recyclage des acqis. Nous avons trouvé à travers ces analyses :

**Tableau III.6 : les analyses des lixiviats (EPWC TBS). [42]**

Paramètres	Unités	Valeurs limites	Méthode	Résultats		Evolution en 4 mois
				Analyse N°35/18 (12/04/2018)	Analyse N°44/18 (01/08/2018)	
Température	°C	30	Multi-paramètres	17	27	
PH	/	<6.5 et >8.5	ISO 11923 ; 1997	8,70	8,44	3 %
MES	Mg/L	35	ISO 6060 ; 1989	490	674	27 %
DCO	Mg/L	120	ISO 5815-1989NA1135	1180	1600	26 %
DB05	Mg/L	35	ISO 5663 ; 1989	112	190	41 %
Azote	Mg/L	30	ISO 5663 ; 1984	665	600	10 %
Fer	Mg/L	03	ISO 8288 ; 1986	14	11	21 %
Phosphore	Mg/L	10	ISO 6878 ; 2004	13	10	21 %
Chrome total	Mg/L	0.5	ISO 8288 ; 1986	2,5	0.2	92 %

Une exacerbation importante et dangereuse des lixiviats, il faut donc admettre une solution efficace à ce problème, elle se réside sur le changement de la chaîne de triage manuel par une autre technologique de récupération ceci afin de réduire la matière organique et donc réduire les acqis (lixiviats).

Il faut aussi mettre en place une station moderne de recyclage des eaux qui pourra supporter ce dernier, malgré son augmentation au cours du temps, afin de réduire l'aggravation du problème et ses risques sanitaires et environnementaux.

# **CONCLUSION GENERALE**

## Conclusion générale

D'après notre travail de recherche renfermant deux parties l'une théorique et autre expérimentale nous pouvons déduire les conclusions suivantes :

- L'incinération ne fait pas disparaître les déchets, elle les transforme en :
  - Mâchefers (tout ce qui ne brûle pas) : environ 30 % du poids des déchets. Ils peuvent être utilisés comme matériaux de construction ou de terrassement ;
  - cendres et RFEIOM (résidus d'épuration des fumées d'incinération d'ordures ménagères) : environ 3 % du poids des déchets. Leur toxicité, qui dépend du traitement des fumées choisi, est mesurée, ce qui détermine en quelle classe de décharge sont dirigées les cendres.
  - Les fumées toxiques.

Les coûts de traitement des usines d'incinération d'ordures ménagères actuellement en fonctionnement varient sensiblement d'une unité à l'autre, selon les dates de mise en service, les choix d'équipement, de valorisation énergétique, de valorisation et d'élimination des sous-produits, etc.

- Le tri à la source est un moyen pour la réduction du coût de production du compost et la réduction des risques liés aux déchets dangereux, mais très difficile à enraciner dans les habitudes des populations urbaines ;
- la composition des déchets ménagers des villes dans les pays en voie de développement permet la production d'un compost de bonne qualité. Cependant, il arrive d'observer des teneurs en matière organique en deçà des valeurs seuils des normes existantes ; En deçà de 10 000 tonnes de déchets traités par an, le compostage peut être réalisé sans mécanisation (cas actuel des CET en Algérie). Cependant, pour des capacités supérieures, une mécanisation partielle est fortement conseillée et pour la pratique du compostage à moyenne et grande échelle, des surfaces importantes en milieu urbain sont nécessaires.
- Tous les procédés décrits peuvent se compléter entre eux. Une solution mixte par le compostage et le tri (recyclage) par exemple, permettra de moduler le bon fonctionnement d'un CET en fonction de la demande de composte. Toutefois, dans tous les cas de figures on ne peut pas éviter la mise en décharge.

Pour entamer notre étude il a fallu une description de l'état actuel des déchets au niveau mondial et local (cas de la wilaya d'Alger et celle de Tébessa) ceci est bien détaillé dans le chapitre 3 qui explique le traitement et la gestion excessives des DMA et qui peuvent provoquer un désastre environnemental et sanitaire.

Afin d'améliorer les CET des DMA en Algérie du point de vue technique on avait proposé une conception mécanique d'une chaîne technologique de tri des déchets ménagers qui s'adapte aux propriétés spécifiques de ces derniers, qui est composé de 9 machines confectionnées et élaborées et autres existantes à travers lesquelles une optimisation du rendement de la chaîne technologiques de tri des DMA, le nouveau principe de fonctionnement pour la séparation des corps souple en plastique majeur des rejets « piquetage » a été réalisée sous forme d'un prototype et tester de performance au niveau du



CET de Tébessa et le laboratoire de l'environnement de l'institut des mines à l'université de Tébessa, ceci est bien éclairé dans le chapitre 4.

On avait aussi proposé dans le chapitre 5, un système automatique de contrôle et d'Acquisition des données qui permet le bon fonctionnement de la chaîne de tri et à travers lequel nous prélevons les données statistiques et technologiques.

**Références bibliographiques/Webographies**

- [1] : Cours de traitement des eaux potables, Master II, FS, Boumerdes, 2015.
- [2] : Agence nationale des déchets, février 2014.
- [3] : Emilien Belle. Evolution de l'impact environnemental de lixiviats d'ordures ménagères sur les eaux superficielles et souterraines, approche hydro biologique et hydrogéologique. Site d'étude : décharge d'Etuefont (Territoire de Belfort {France). Hydrologie. Université de Franche- Comte, 2008.
- [4] : Ministère de l'Aménagement de territoire, de l'environnement et du tourisme (MATET), le guide des techniciens communaux pour la gestion des déchets ménagers et assimilés, 2008.
- [5] : Gillet R, 1985. Traité de gestion des déchets solides et son application aux pays en voie de développement, 1er Volume : Programme minimum de gestion des ordures ménagères et des déchets assimilés (P397, p1, 2,3).
- [6] : (MATE, 2012) Ministère de l'Aménagement du Territoire, de l'Environnement et du Tourisme 2001. Guide des techniciens communaux pour la gestion des déchets ménagers et assimilés. P10-13.
- [7] : ADEME, 2009b. Campagne nationale de caractérisation des ordures ménagères, Résultats année 2007.
- [8] : tiré de la polycopie des cours du Dr. BENNAMA Tahar, Traitement biologique des déchets ménagers et assimilés : Biométhanisation & Compostage, Université des Sciences et de la Technologie d'Oran, janvier 2016.
- [9] : Le tri sélectif et le recyclage pdf }
- [10] : Eco-emballage Avril 2005 { construire et exploiter un centre de tri }
- [11] : Centre national d'information indépendante sur les déchets (CNIID), « Déchets : le tri des candidats », *CNIID-infos*, n° 42, mars-juin 2012, p. 1 (ISSN 1636-5402)
- [12] : Inserm, CNRS, INRA et Ministère de l'Éducation nationale, *Gestion des déchets : Guide pour les établissements publics d'enseignement supérieur ou de recherche*, 194 p.
- [13] : Dany Dietmann, *Déchets ménagers : Le Jardin des impostures*, 2005, 162 p.
- [14] : Jean Gouhier, « Déchet » dans *Dictionnaire des notions*, Encyclopaedia Universalis, Paris, 2005 ; *Au-delà du déchet, le territoire de qualité. Manuel de Rudologie*, Presses universitaires de Rouen et du Havre, 2000.
- [15] : Guide de conception et fonctionnement installations de traitement.
- [16] : Archives de document. Titre « Conservation des graines en régions chaudes ».

- [17] : tiré de « Etude d'un centre de tri de déchets », UNIVERSITÉ BADJI-MOKHTAR ANNABA, 2017, P : 30-44.
- [18] : {Le tri sélective et recyclage}
- [19] : Fédération professionnelle des entreprises du recyclage, Ademe, *Évaluation environnementale du recyclage en France selon la méthodologie de l'analyse de cycle de vie*, avril 2017, 178 p
- [20] : Laura CHAMARANDE {Le recyclage aujourd'hui}
- [21] : tiré de la polycopie des cours du Dr. BENNAMA Tahar, *Traitement biologique des déchets ménagers et assimilés : Biométhanisation & Compostage, Université des Sciences et de la Technologie d'Oran, janvier 2016.*
- [22] : Francou C., 2003. Stabilisation de la matière organique au cours du compostage de déchets urbains : Influence de la nature des déchets et du procédé de compostage – Recherche d'indicateurs pertinents (Doctoral dissertation, INAPG (AgroParisTech)).
- [23] : 2013 Tournan en Brie (Paris, France) et 2010 CTR Vallès Occidental Vacarisses (Barcelone, Espagne)
- [24] : Eurostat, service de recherche du Parlement et commission européenne, 2016.
- [25] : J. K. O'Brien - Comparison of Air Emissions from Waste-to-Energy Facilities to Fossil Fuel Power Plants - SWANA - 2005
- [26] : H. Prévot - La récupération de l'énergie issue du traitement des déchets – Ministère de l'Economie, des finances et de l'industrie - Juillet 2000.
- [27] : tiré de l'exposé des déchets, Loye, 17/10/2013.
- [28] : tiré de la page 75, réalités des centres d'enfouissement technique en Algérie (cas du CET de SOUMAA wilaya de Blida, 2012.
- [29] : Julien BERTHOLON - Rapport de Maîtrise Sciences de l'Environnement, Milieux Urbains et Industriels - LES DÉCHETS SOLIDES DE L'INCINÉRATION DES ORDURES MÉNAGÈRES, 2001/2002
- [30] : LES AVIS DE L'ADEME (L'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie), L'incinération des déchets ménagers et assimilés, *Décembre 2012, Pages 2 et 3*  
<http://lavalorisationdesdechets.e-monsite.com/pages/l-incineration/avantages-et-inconvenients.html#Aww4v2FPs5QqpZV5.99>.
- [31] : Document de référence sur les meilleures techniques disponibles, Incinération des déchets, Août 2006 (Ce document est la traduction de la version anglaise publiée par la Commission européenne)
- [32] : Mme BOUZIDI .N Née BOUZIDI, Intitulé du cours « Techniques de tri des déchets », UNIVERSITE A/MIRA-BEJAIA, 2015.

- [33] : HASLAY. C, LECLERC.H, « Microbiologie des eaux d'alimentation », Edition technique et documentation Lavoisier-1993.
- [34] <https://www.banquemonde.org/fr/news/infographic/2018/09/20/what-a-waste-20-a-global-snapshot-of-solid-waste-management-to-2050>
- [35] banque mondiale 2018 Lois Goh #what-a-waste2.
- [36] <http://www.donnees.statistiques.developpementdurable.gouv.fr/lesessentiels/essentiels/gestion-ressource-recyclage-matieres-premieres.html>
- [37] Rapport de l'AND 2014
- [38] Documentation du centre d'enfouissement technique Hamici (GECETAL), été pris en janvier 2020.
- [39] [https://fr.wikipedia.org/wiki/Wilaya\\_de\\_Tebessa](https://fr.wikipedia.org/wiki/Wilaya_de_Tebessa).
- [40] Documentation du centre d'enfouissement technique de la wilaya de Tébessa (EPWG CET), été pris en mars 2020.
- [41] Documentation de l'AND 2018.
- [42] Les analyses des lixiviats N°35/18 et N°44/18 (EPWG CET), 2018
- [43] <https://cahiersdescharges.com/comment-faire-cahier-des-charges>.
- [44] [https://fr.wikipedia.org/wiki/Mati%C3%A8re\\_plastique](https://fr.wikipedia.org/wiki/Mati%C3%A8re_plastique)
- [45] <http://coparm.fr/ouvre-sacs/ouvre-sacs-serie-as-8/>
- [46] <http://coparm.fr/ouvre-sacs/ouvre-sacs-serie-apr-200/>
- [47] Suez consacre un centre de tri aux déchets de plastiques industriels », *Environnement Magazine*, 20 octobre 2015. Comment SMRR redonne vie aux déchets », *Les Inspirations éco*, 19 février 2016. Artex n'a « presque plus de limites » », *Le Télégramme*, 2 juin 2015.
- [48] <https://pkmachinery.en.made-in-china.com/product-group/yeWQoVOjIRkr/trommel-screen-1.html>.
- [49] ADEME, procédure de séchage des déchets 2010.
- [50] <https://www.bezner.com/fr/products/cribles/crible-plan/>
- [51] : <https://www.allgaier-process-technology.com/fr/produit/la-table-densimetrique>.
- [52] : [https://fr.wikipedia.org/wiki/Cha%C3%A8ne\\_de\\_production](https://fr.wikipedia.org/wiki/Cha%C3%A8ne_de_production).
- [53] : [https://fr.wikipedia.org/wiki/Diagramme\\_de\\_cycle](https://fr.wikipedia.org/wiki/Diagramme_de_cycle)

- [54] : N. AIT OUMGHAR et T. BELBAL « Etude et automatisation par S7-200 d'une machine pour emboutissage à l'entreprise ENIEM ». Mémoire de fin d'études en vue de l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en électronique. Promotion 2011.
- [55] : L. BELAID « Etude et automatisation d'une ligne de production de parois cuisinières à l'aide d'un API S7-300 » mémoire de fin d'études en vue de l'obtention du diplôme de Master professionnel en électronique industrielle. 2011-2012.
- [56] L. BERGOUGNOUX, « API Automate Programmable Industriels », 2004-2005, 40p
- [57] : sté hydrauliqusimple, « Verin hydraulique », *Hudraulique Simple - Mécanique des fluides*, 25 juin 2017.
- [58] : F. Baudoin, M. Lavabre, *Capteurs : principes et utilisations*, Éd. Casteilla, 2007
- [59] : S. Devaux, M. Rachline. « Introduction à l'automatisme : Schneider Electric » Encyclopédie économie 300, Série haute technologie. ISBN2-7191-0551-1,2000.
- [60] : Ikhlef boualem, Contribution à l'étude de supervision industrielle automatique dans un environnement SCADA mémoire de magistère, boumerdes: université Mohamed Bougara, 2009.
- [61] : Dale Barr, Peter Fonash «Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA) Systems»,NationalCommunications System, Technical Information Buletin 04-1 Octobre 2004.
- [62] : MOUSS Hayet, '' Supervision et sureté des systèmes industriels'', Cours Master II en Automatique, Université de Batna.
- [63] : Siemens AG, « manuel système du S7-1200 », 2012.
- [64] : Siemens AG, «SIMATIC STEP 7 dans le portail Totally Integrated AutomationPortal », 2013.



**Email :** [boukharymed@gmail.com](mailto:boukharymed@gmail.com)