

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université A. M. OULHADJ - Bouira
Faculté des Sciences et des Sciences Appliquées
Département de Génie des Procédés



Mémoire

Présenté par

MADI Kamilia
BAGHDADI Zineb

Pour l'obtention du diplôme de

MASTER

Filière : Génie des Procédés
Spécialité : génie de l'environnement

**Impact environnemental des centres
d'enfouissement techniques et traitement de
lixiviat (cas de CET Ras Bouira)**

Soutenu le 17/10 / 2021

Devant le jury :

LOUNICI	Hakim	Prof	ST-UAMOB	Examineur
IGUI	Kahina	MCB	IT-UAMOB	Examineur
HAMIDOUCHE	Sabiha	MAB	IT-UAMOB	Encadrant

Année Universitaire : 2020/2021

Remerciements

On tient en premier lieu à remercier l DIEU de nous avoir donné la force, le courage, la chance et la santé de mener à bien ce travail.

A notre maître et promotrice,

Madame le Docteur HAMIDOUCHE Sabiha

Pour sa patience, sa disponibilité, et pour ses conseils, ainsi que pour sa rigueur Scientifique, qu'elle a su nous communiquer pour mener ay mieux ce travail.

On remercie les membres de jury

Pour avoir accepté de jurer notre soutenance et pour tout le savoir qu'elle nous a transmis.

On remercie les responsables du Centre d'Enfouissement Technique de Bouira

Pour toutes les informations.

Nous n'oublions pas de remercier les ingénieurs du laboratoire chimie de l'institut de technologie, qui nous ont apporté une aide précieuse. Nos remerciements vont également à tous nos enseignants du département de génie des procédés de l'université Akli Mohaned Oulhadj.

Enfin, nous tenons à remercier tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce mémoire et qu'elle trouve ici l'expression de nos profondes gratitude.

Dédicace

*D'un sentiment plein d'amour, de sincérité et fidélité, je
dédie ce travail :*

A mes parents : Djamel & Souad

A qui je dois ce qui je suis

*Pour votre amour, votre compréhension, votre patience et
votre tendresse avez toujours pour moi sans limite, vous
m'avez soutenu le long de mes études et vous avez tout
sacrifié pour ma réussite, que dieu vous garde en bon santé*

A mon grand père Mohamed et ma grand mère Farida

*A mes sœurs Abir, Sara & Samar et mon frère Mohamed El
Hadi*

*Pour leurs soutiens infinis et leurs aides incessantes, à qui je
souhaite un meilleur avenir*

A toute ma grande famille

A tous mes amis sans exception

A ceux qui m'ont aidé à comprendre

*Pour leurs encouragements et pour les bons moments qu'on
a vécu ensemble j'espère que notre amitié durera
éternellement*

Kamília

Dédicace

*D'un sentiment plein d'amour, de sincérité et fidélité, je
dédie ce travail :*

A mes parents

A qui je dois ce qui je suis

*Pour votre amour, votre compréhension, votre patience et
votre tendresse avez toujours pour moi sans limite, vous
m'avez soutenu le long de mes études et vous tout sacrifié
pour ma réussite, que dieu vous garde en bon santé*

A mes sœurs Asma et Manel

*Pour leurs soutiens infinis et leurs aides incessantes, à qui je
souhaite un meilleur avenir*

A toute ma grande famille

A tous mes amis sans exception

A ceux qui m'ont aidé à comprendre

*Pour leurs encouragements et pour les bons moments qu'on
a vécus ensemble j'espère que notre amitié durera
éternellement*

Zineb

Sommaire

Liste des tableaux	i
Liste des figures	ii
Listes des abréviations.....	iv
Introduction générale.....	1

Chapitre I : Notions sur les déchets.

I. Introduction	2
II. Définitions	2
II.1 Contexte juridique	2
II.2 Règlements en Algérie.....	2
II.2.1 Définition	2
II.3 Règlements européens	4
II.4 Définition économique	4
II.5 Définition sociologique	4
II.6 Définition environnementale.....	4
III. Classification des déchets.....	5
III.1 Selon leur nature.....	5
III.1.1 Les déchets dangereux	5
III.1.2 Les déchets non dangereux	5
III.1.3 Les déchets inertes	5
III.2 Selon leur origine	6
III.2.1 Déchets urbains	6
III.2.2 Déchets urbains des entreprises	6
III.2.3 Déchets industriels	6
III.2.4 Déchets industriels banals (DIB)	6
III.2.5 Déchets industriels spéciaux (DIS).....	6
III.2.6 Déchets inertes	6
III.2.7 Déchets agricoles	6
III.3 Selon le mode de traitement et d'élimination.....	7
III.3.1 Déchets non dangereux ou banals.....	7
III.3.2 Déchets dangereux ou spéciaux	7
III.3.3 Déchets inertes	7

III.4	Selon le comportement et les effets sur l'environnement	7
III.4.1	Les déchets toxiques	7
III.4.2	Les déchets fermentescibles.....	8
III.4.3	Les déchets inertes	8
IV.	Quantité de déchets urbains produits.....	9
V.	Caractéristique des déchets.....	10
V.1	Densité.....	11
V.2	Humidité.....	11
V.3	Le pouvoir calorifique.....	11
V.4	Rapport carbone/azote (C/N)	11
VI.	Composition des déchets	11
VII.	Paramètres chimiques globaux	12
VIII.	Les types de traitement des déchets	13
VIII.1	L'incinération	14
VIII.1.1	Les avantages de l'incinération des déchets	15
VIII.1.2	Les inconvénients de l'incinération des déchets.....	16
VIII.2	Le compostage.....	16
VIII.2.1	Théorie du procédé de décomposition aérobie	17
VIII.2.2	Les avantages de compostage	17
VIII.2.3	Les inconvénients de compostage.....	18
VIII.3	Traitements anaérobies et méthanisation.....	18
VIII.4	Le recyclage.....	20
VIII.4.1	Les données algériennes	21
VIII.4.2	Les données de la banque mondiale.....	22
VIII.5	Les décharges ou centres d'enfouissement technique	25
VIII.5.1	Les types de décharge	25
VIII.5.2	Définition d'un Centre d'Enfouissement Technique (C.E.T).....	26
VIII.5.3	Description des décharges.....	27
VIII.5.4	Bioréacteur.....	29
VIII.5.5	Classification des centres de stockage	29
VIII.5.6	Les centre d'enfouissement techniques en Algérie.....	31
VIII.5.7	Risques et impacts des centres d'enfouissement technique.....	32

Chapitre II : Les lixiviats et ces procédés de traitement.

I.	Introduction	35
II.	Définition	35
III.	Composition de lixiviat.....	35
III.1	Les principaux groupes de polluants caractérisant le lixiviat	36
III.2	Les principaux paramètres caractérisant un lixiviat.....	36
IV.	Type des lixiviats	37
IV.1	Les lixiviats jeunes (≤ 5 ans).....	37
IV.2	Les lixiviats intermédiaires (5 à 10 ans).....	37
IV.3	Les lixiviats stabilisés (> 10 ans)	37
V.	Les normes de rejet du lixiviat en Algérie.....	38
VI.	Les procédés de traitement des lixiviats	39
VI.1	Les traitements biologiques.....	39
VI.1.1	Lagunage.....	39
VI.1.2	Traitement aérobie	39
VI.2	Procédés physico chimiques.....	41
VI.2.1	Flottation	41
VI.2.2	Adsorption.....	41
VI.2.3	Précipitation chimique	42
VI.2.4	Coagulation-Floculation	42
VI.3	Méthodes membranaires	45
VI.3.1	La nanofiltration.....	45
VI.3.2	L'osmose inverse	46

Chapitre III : L'impact environnementale et sanitaire de lixiviat.

I.	Introduction	48
II.	Pollution par lixiviat	48
II.1	Pollution par les matières organiques et minérales	48
II.2	Pollution par les métaux lourds.....	49
II.3	Pollution par les microorganismes	49
III.	Impact des lixiviats sur l'environnement.....	49
III.1	Pollution atmosphérique.....	49

III.1.1	Odeurs nauséabondes.....	49
III.1.2	Explosions.....	50
III.1.3	Effet sur la végétation.....	50
III.2	La pollution hydrique.....	50
III.2.1	Impact du lixiviat sur la qualité des eaux souterraines.....	50
III.2.2	Impact du lixiviat sur la qualité des eaux de surface.....	51
IV.	Effets du lixiviat sur la santé.....	52
IV.1	Les contaminants inorganiques.....	52
IV.2	Les polluants organiques.....	54
	Conclusion générale.....	56
	Référence bibliographiques	

Liste des figures

Figure I.1 : Répartition des déchets collectés par type de traitement.....	14
Figure I.2 : Usine d'incinération des déchets.....	15
Figure I.3 : procédé de décomposition aérobie.....	17
Figure I.4 : procédé de décomposition anaérobie et méthanisation.....	19
Figure I.5 : Schéma simplifié du processus de recyclage.....	20
Figure I.6 : La production annuelle des déchets ménagers.....	24
Figure I.7 : Centre d'Enfouissement Technique (C.E.T).....	26
Figure II.1 : Temps de décantation des particules.....	44
Figure II.2 : Coagulation-Floculation.....	44
Figure III.1 : Impacts des lixiviats dans les eaux de surface.....	52

Liste des tableaux

Tableau I.1 : La production journalière des déchets dans certains pays développés et en développement.....	10
Tableau I.2 : Composition des déchets ménagers dans certaines villes algériennes en %.....	12
Tableau I.3 : caractéristique chimique des déchets urbains.....	12
Tableau I.4 : Le nombre d'agents chargés de la collecte des déchets ménagers et du nettoyage des voies publiques en Algérie.....	21
Tableau I.5 : résumé toutes les données générales.....	22
Tableau I.6 : Classes de stockage de déchets.....	30
Tableau I.7 : Nuisances et impacts.....	33
Tableau II.1 : Caractéristiques principales des différents types de lixiviats.....	38
Tableau II.2 : normes de rejets d'un lixiviat.....	38
Tableau II.3 : Les caractéristiques, les avantages et les inconvénients des différents procédés de traitement.....	46
Tableau III.1 : Impact des lixiviats sur la qualité des eaux souterraines.....	50
Tableau III.2 : Effets possibles des métaux sur la santé à la suite d'une exposition chronique.....	53
Tableau III.3 : Composés organiques du lixiviat émanant de centres d'enfouissement technique, leurs effets toxiques.....	54

Liste des abréviations

C.E.T: Centre d'Enfouissement Technique.

CSD : Centre de Stockage de Déchets.

AGV : Acide gras volatils.

CH₄ : Méthane.

CO₂ : Dioxyde de carbone.

Km : kilomètre.

m : mètre.

mm : millimètre.

m³ :mètre cube.

mg : milligramme.

h : heure.

L : litre.

min : minute.

Kg : kilogramme.

j : Jour.

°C : Degré Celsius.

pH : Potentiel d'hydrogène.

DCO : Demande Chimique en Oxygène (mg d'O₂/L).

DBO₅ : Demande Biochimique en Oxygène pendant 5 jours (mg d'O₂/L).

MES : matière en suspension (mg/L).

NTU : Nephelometric Turbidity Unit

ms : millisiemens

µm : micromètre.

Hab : habitat

Introduction
générale

Les croissances démographique et économique dans le monde entraînent une production massive de déchets de divers types. Actuellement l'enfouissement constitue le principal mode de gestion des déchets dans plusieurs pays du monde. Les déchets enfouis subissent une évolution bio physico-chimique à l'intérieur de centre d'enfouissement. L'action de l'eau de pluie à travers une décharge entraîne la production d'un effluent pollué en matières organiques et minérales appelé lixiviat [1].

En effet, les décharges peuvent être l'origine de plusieurs sources de nuisance environnementale telles que : les émissions d'odeur, de bruit, de poussière, la production de biogaz et surtout de lixiviats. Vu l'impact négatif que ces lixiviats peuvent présenter pour l'environnement, une attention particulière doit être portée sur ces derniers afin de préserver toute intrusion dans la nappe phréatique ou la pollution des milieux aquatiques avoisinants [2].

En effet, quel que soit son mode d'exploitation, une décharge peut être à l'origine de plusieurs sources de nuisance environnementale telles que : émission d'odeur, de bruit, de poussière, production de biogaz et surtout de lixiviats. Ce dernier représente la fraction importante de sa pollution. Contrairement aux biogaz, qui aisément dispersé dans l'atmosphère. Les lixiviats, de par leur nature liquide, est une source concentrée de polluants.

De par leur charge polluante souvent importante, les lixiviats doivent subir un traitement d'épuration avant d'être rejetés vers le milieu naturel. Devant des réglementations de plus en plus strictes, en termes de rejet, les filières traditionnelles, qui dérivent du traitement des eaux usées (traitement biologique, osmose inverse, nanofiltration...) [2].

L'objectifs de ce modeste travail est l'étude de la composition, caractérisation, procédés de traitement et l'impact de lixiviats de décharge sur l'environnement et sur la santé humaine.

Le mémoire est structuré en trois parties.

La première partie présente une généralité sur les ordures ménagères, procédés de traitement des déchets et le fonctionnement des centres d'enfouissement technique.

La deuxième partie est consacrée à la composition, la caractérisation, les procédés de traitement des lixiviats.

Enfin, la troisième partie décrit les différents types de pollution générée par les lixiviats et leurs conséquences sur l'environnement et la santé humaine.

Chapitre I
Généralité sur
les déchets et
les lixiviats

Chapitre I : Notions sur les déchets

I. Introduction

Aujourd'hui, le concept de déchet est de plus en plus une réalité. Toujours plus nombreux, en quantité toujours plus importante et toujours plus difficile à faire disparaître, les déchets s'imposent parmi les réflexions politiques incontournables. La nature ou l'origine des déchets permet de différencier les types de déchets dont le traitement sera encadré par catégories distinctes. C'est aussi en fonction de la nature ou de l'origine des déchets que les différentes filières d'élimination devront être empruntées avec, comme priorité, de faciliter le recyclage et la valorisation.

Dans le premier chapitre nous rappellerons quelques notions sur les déchets en générale ; les types de traitement des déchets et les centres d'enfouissements technique.

II. Définitions

II.1 Contexte juridique

Un déchet est un débris, un résidu considéré comme indésirable et sans valeur pour la personne qui s'en débarrasse. Le terme « déchet » revêt une signification particulière selon les pays, les cultures et même les personnes. Ainsi, un objet peut être sans valeur pour une personne et avoir une valeur pour une autre (un meuble antique mis au rebut par exemple).

Les déchets sont définis dans le Code de l'environnement à l'article L 541-1-1. Il s'agit de « toute substance ou tout objet, ou plus généralement tout bien meuble, dont le détenteur se défait ou dont il a l'intention ou l'obligation de se défaire ». Toute la réglementation applicable aux déchets découle de cette définition. Elle détermine la frontière entre les déchets et les produits, qu'il est nécessaire de connaître avant toute cession à un tiers, un transport ou un transfert [3].

II.2 Règlementation en Algérie

II.2.1 Définition

On entend par déchet tout résidu d'un processus de production, de transformation 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 [4].

Selon l'article 03 de la loi 01-19 du 12 décembre 2001 les Types de déchets sont :

a) 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.

b) Déchets encombrants

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

c) Déchets spéciaux

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

d) Déchets spéciaux dangereux

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

e) Déchets d'activité de soins

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

f) Déchets inertes

Tous déchets provenant notamment de l'exploitation des carrières, des mines, des travaux de démolition, de construction ou de rénovation, qui ne subissent aucune modification physique, chimique ou biologique lors de leur mise en décharge, et qui ne sont pas contaminés par des substances dangereuses ou autres éléments générateurs de nuisances, susceptibles de nuire à la santé et /ou à l'environnement [4].

II.3 Règlementation européenne

Selon la loi cadre du 15 juillet 1975, est appelé déchets 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 destine à l'abandon. D'autres variantes existent et la notion de déchet peut être abordée de façon économique, sociale, en fonction de sa nature chimique, etc.

Toute personne qui produit ou détient des déchets dans des conditions de nature à produire des effets nocifs sur le sol, la flore et la faune, à dégrader les sites ou les paysages, à polluer l'air ou les eaux, à engendrer des bruits et des odeurs et d'une façon générale à porter atteinte à la santé de l'homme et à l'environnement, est tenue d'en assurer ou d'en faire assurer l'élimination conformément aux dispositions de la présente loi, dans des conditions propres à éviter lesdits effets.

L'élimination des déchets comporte les opérations de collecte, transport, stockage, tri et traitement nécessaires à la récupération des éléments et matériaux réutilisables ou de l'énergie, ainsi qu'au dépôt ou au rejet dans le milieu naturel de tous autres produits dans des conditions propres à éviter les nuisances mentionnées à l'alinéa précédent [5].

II.4 Définition économique

Un déchet est un produit qui, a priori, n'a aucune valeur marchande ou a une valeur négative (il coûte à éliminer). Toutefois cette définition reste subjective et dépend du détenteur, du lieu, du moment. Ainsi les déchets recyclables possèdent une valeur économique [6].

II.5 Définition sociologique

Sociologiquement, le déchet est le témoin d'une culture et de ses valeurs. Il est le reflet d'une du niveau social des populations et de l'espace dans lequel elles évoluent : zones rurales / urbaines, habitats collectifs / individuels [7].

II.6 Définition environnementale

Les déchets sont des sources de nuisances dès lors qu'ils n'ont pas été rendus inertes. Les effets sont directs (paysage, brûlage, percolation) ou indirects (risque lors du transport, du traitement) [8].

III. Classification des déchets

III.1 Selon leur nature

Une classification des déchets selon Leur nature physique en 03 catégories :

- Déchets solides : ordures ménagères, emballages, gravats...
- Déchets liquides : huiles usagés, peintures, rejet de lavage....
- Déchets gazeux : biogaz, fumées d'incinération ...

Les déchets peuvent être classés en fonction de leur nature dangereuse ou non dangereuse et selon leurs caractéristiques physico-chimiques.

III.1.1 Les déchets dangereux

Sont des déchets qui contiennent, en quantité variable, des éléments toxiques ou dangereux qui présentent des risques pour la santé humaine et l'environnement. La définition du déchet dangereux est donnée à l'article R. 541-8 du code de l'environnement. Un déchet est classé dangereux s'il présente une ou plusieurs des 15 propriétés de danger énumérées à l'annexe I de l'article R. 541-8 du code de l'environnement¹. Ils peuvent être de nature organique (solvants, hydrocarbures...), minérale (acides, boues d'hydroxydes métalliques...) ou gazeuse

III.1.2 Les déchets non dangereux

Sont définis par défaut comme ne présentant pas les caractéristiques spécifiques des déchets dangereux.

III.1.3 Les déchets inertes

Sont des déchets qui ne se décomposent pas, ne brûlent pas et ne produisent aucune autre réaction physique ou chimique avec l'environnement. Ils ne sont pas biodégradables et ne se décomposent pas au contact d'autres matières. Les définitions européennes qualifient ces déchets de déchets minéraux, dont ils proviennent en quasi-totalité. Les déchets inertes sont principalement issus du secteur de la construction et des travaux publics. Pour être comptabilisés en tant que déchets, les déblais ou les remblais doivent quitter le chantier où ils ont été produits [9].

III.2 Selon leur origine

III.2.1 Déchets urbains

Tous déchets issus des ménages, déchets de commerce et de l'industrie assimilables aux déchets ménagers, déchets encombrants, déchets verts (greffage des arbres, espaces verts), déchet de nettoyage des voies publiques, déchets hospitaliers, la collecte de ces déchets doit être assurée par les collectivités [10].

III.2.2 Déchets urbains des entreprises

Déchets de composition analogue aux déchets ménagers produits par les entreprises et qui font l'objet d'une collecte privée.

III.2.3 Déchets industriels

L'ensemble des déchets industriels doivent être éliminés par leurs producteurs industriels, artisans, commerçants, ils sont classés en 04 catégories :

III.2.4 Déchets industriels banals (DIB)

Sont assimilables aux ordures ménagères et relevant du même type de traitement : il s'agit principalement d'emballages usagés, de chutes de productions industrielles et de déchet d'activités et commerciales comme ferrailles, métaux non ferreux, papiers-cartons, verre, textiles, bois, plastiques.

III.2.5 Déchets industriels spéciaux (DIS)

Ce type de déchets comprenant des substances toxiques qui nécessitent une collecte et un traitement particulier comme les mâchefers, les aérosols, produits de jardinage, produits de bricolage, thermomètre au mercure.

III.2.6 Déchets inertes

Composés déblais, gravats, matériaux de démolition produit par les entreprises de travaux publics.

III.2.7 Déchets agricoles

L'activité agricole peut générer 03 types de déchet :

- Des résidus de l'industrie agroalimentaire.

- Des déchets de cultures.
- Des déjections animales de l'élevage [10].

III.3 Selon le mode de traitement et d'élimination

Les déchets solides sont regroupés en 3 grandes familles

III.3.1 Déchets non dangereux ou banals

Déchets non toxiques souvent assimilés aux ordures ménagères (car constitués des mêmes composants et ayant des modes de traitement ou d'élimination similaires), qui proviennent de l'ensemble des activités économiques.

Exemples : emballages, bois, plastique, textile, déchets de bureaux [11].

III.3.2 Déchets dangereux ou spéciaux

Déchets qui peuvent générer des nuisances pour l'homme ou l'environnement, définis par le décret n°2002-540 du 18 avril 2002. Les déchets industriels spéciaux (DIS) sont une sous-catégorie des déchets dangereux.

Exemples : amiante, solvants, fluides frigorigènes (dont chlorofluorocarbones CFC), polychlorobiphényles et polychloroterphényles (PCB-PCT), huiles usagées, peinture, déchets phytosanitaires, résidus de traitement de surface.

III.3.3 Déchets inertes

Déchets qui ne se décomposent pas, ne brûlent pas et ne produisent aucune réaction physique ou chimique, ne sont pas biodégradables et ne détériorent pas d'autres matières avec lesquelles ils entrent en contact, d'une manière susceptible d'entraîner une pollution de l'environnement ou de la santé humaine.

Exemples : déblais, gravats de démolition (tuiles, béton, etc.)[11].

III.4 Selon le comportement et les effets sur l'environnement

III.4.1 Les déchets toxiques

Les déchets toxiques peuvent être de natures différentes (solide, liquide, gazeuse ou même boues). Ainsi, parmi les déchets toxiques, on trouve par exemple des produits chimiques (huile de vidange, vernis, colles, etc.), des métaux lourds (plomb, mercure, etc.), des agents pathogènes ou encore des produits qui pourraient émettre des radiations ou libérer des toxines.

Les déchets toxiques peuvent provenir d'origines différentes. Les activités économiques en produisent une majorité : les garages, les laboratoires, les industries chimiques, etc. Mais les ménages également (solvants, piles, nettoyeurs ménagers, etc.), même si les quantités sont généralement moindres. On parle alors de déchets toxiques en quantités dispersées ou de déchets dangereux diffus. Une manière élégante de signaler que leur gestion est difficile à suivre.

Les déchets toxiques sont nombreux et d'origine variée :

- Acides : chlorhydrique, sulfurique, nitrique, fluorhydrique, etc.,
- Bases : soude caustique, ammoniacale, potasse, carbonates, etc.,
- Piles qui contiennent du mercure, accumulateurs,
- Huiles de vidange, antigel, batterie de voiture,
- Peintures et vernis,
- Solvants organiques : white-spirit, carburants, alcool, trichloréthylène, etc.,
- Colles et résines,
- Flaconnage de laboratoires : sels métalliques, minéraux, toxiques, acides organiques, etc.,
- Solutions ioniques : produits photographiques, perchlorure de fer, etc.,
- Produits phytosanitaires (pesticides) : engrais, fongicides, insecticides, etc.,
- Bouteilles de gaz et extincteurs,
- Petits déchets contenant de l'amiante (petite plaque d'isolation),
- Produits détachants, antirouilles, cires, eau de javel, soude caustique, déboucheurs pour éviers ou wc, décapants pour four,
- Médicaments et déchets (déchets d'activités de soins à risques infectieux) [12].

III.4.2 Les déchets fermentescibles

Sont des résidus d'origine animale ou végétale constitués de matière organique biodégradable. Ils se décomposent par l'action de micro-organismes pour lesquels ils représentent une source d'alimentation. On les nomme aussi déchets organiques car ils contiennent tous du carbone [13].

III.4.3 Les déchets inertes

Selon le code de l'environnement, un déchet inerte :

- "ne subit aucune modification physique, chimique ou biologique importante" ;
- "ne se décompose pas" ;
- "ne brûle pas" ;
- "ne produit aucune réaction physique ou chimique" ;
- "n'est pas biodégradable" ;
- "ne détériore pas les matières avec lesquelles il entre en contact d'une manière susceptible d'entraîner des atteintes à l'environnement ou à la santé humaine".

IV. Quantité de déchets urbains produits

La population totale du pays en 1994 était de 26.743.075. La population urbaine était de l'ordre de 18.957.586. L'année 1994 a été choisie comme référence au niveau mondial pour l'élaboration des émissions des gaz à effet de serre. La production des déchets urbains est fonction de l'importance des diverses agglomérations. Pour son évaluation, on a adopté, suite à des enquêtes menées au niveau national, les critères suivants :

- Production de 0,5 kg/habitant/jour pour les populations agglomérées inférieures à 300.000 habitants et totalisant 4.281.597 habitants.
- Production de 0,6 kg/habitant/jour pour les populations agglomérées comprises entre 300.000 et 600.000 habitants et totalisant 8.058.073 habitants,
- Production de 0,7 kg/habitant/jour pour les populations agglomérées supérieures à 600.000 habitants et totalisant 6.617.916 habitants
- Cependant, les taux ci-dessus devront être majorés, suite à une enquête menée en 1995, de 0,15 kg/habitant/jour pour tenir compte de la quantité de déchets industriels non ou peu toxiques qui sont déposés directement en décharges publiques. Ce qui donne une estimation de la quantité totale des déchets à 14.500 tonnes par jour soit une production annuelle de l'ordre de 5.292.500 tonnes pour l'année 1994.

Ce total n'inclue pas les déchets de la population rurale et les déchets industriels stockés au niveau des entreprises ou sur sites désignés. Le taux de collecte des déchets mis en décharge est estimé à 80 % du total des déchets produits.

Une différence significative entre la génération des déchets par habitant dans les PI et celle des PED. La moyenne de production se situe autour de 1,7 kg/hab/j pour les PI, et autour de 1 kg/hab/j pour les PED. Cette différence s'explique en partie par les niveaux de vie et les modèles de consommation. Les PI abritent des sociétés dites de consommation, avec un niveau de vie élevé. Le modèle de consommation est marqué par la rapidité d'utilisation des produits à courte durée de vie avec des emballages importants. Or les PED, sont à l'opposé de ce modèle et le niveau de vie est moins important. Le modèle de consommation est basé sur les produits locaux, bruts ou semi fini, utilisant un emballage minimum. Ces différences dans les modèles de consommation conjuguées aux conditions de développement inhérentes aux PED posent quelques difficultés méthodologiques et techniques quant à la gestion des déchets [15].

Tableau I.1 : La production journalière des déchets dans certains pays développés et en développement.

Pays	Ville	Production déchets kg/hab/j	Références
Burkina Faso	Ouagadougou	0,62	Follea et al., 2001
Malaisie	Kuala Lumpur	1,7	Kathiravale et al., 2003
Algérie	Alger	0,75-1	Kéhila et al. 2005
Maroc	Grand Casablanca	0,89	ONEM 2001
Tunisie	Tunis	0,8	.METAP, 2004b
Brésil	Uberlândia	0,51	Fehr et al., 2000
Vietnam	Moyenne nationale	0,61	UNEP, 2001
USA	UNew York	2	Aina, 2006
France	Moyenne nationale	0,96	ADEME 2007

V. Caractéristique des déchets

Selon NIGNIKAM, en 1992, SOTAMENOU, en 2005, les caractéristiques des déchets sont de quatre Paramètres de base : densité, humidité, pouvoir calorifique, rapport Teneur en carbone et azote (C / N).

V.1 Densité

Il met en évidence la relation entre la qualité des déchets et le volume de déchets. Leurs connaissances sont essentielles pour choisir une méthode de collecte.

La densité des déchets varie considérablement pendant le traitement.

V.2 Humidité

Les ordures renferment une suffisante quantité d'eau variante en fonction des saisons et du milieu environnemental. Cette eau a une grande influence sur la rapidité de la décomposition des matières qu'elles renferment et sur le pouvoir calorifique des déchets.

Pour des ordures fraîches et stockées à l'abri des intempéries, l'humidité varie entre :

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

V.3 Le pouvoir calorifique

Le pouvoir calorifique est défini comme la quantité de chaleur dégagée par la combustion de l'unité de poids en ordures brutes. Il s'exprime en millithermie par kilogramme d'ordures (mth/Kg).

V.4 Rapport carbone/azote (C/N)

Ce paramètre mesure la qualité des ordures ménagères pour leur valorisation en tant qu'amendements organiques, c'est à dire qu'il permet d'apprécier aussi bien l'aptitude des ordures ménagères au compostage que la qualité du compost obtenu [15].

VI. Composition des déchets

Les déchets urbains contiennent une variété de matériaux.

Dans le détail, les déchets comprennent :

- 32,2% de matières organiques ;
- 21,5% de papiers-cartons ;
- 12,7% de verre ;
- 11,2% de plastiques ;
- 3% de métaux ;

- 19,4% d'autres éléments.

Le tableau Ce qui suit décrit la composition des déchets de certaines villes algériennes [16].

Tableau I.2 : Composition des déchets ménagers dans certaines villes algériennes en % .

Catégorie	Mostaganem	Bejaia	Annaba	Djelfa
Matières organique	64.4	69.4	68.2	83.5
Papier carton	15.9	11.1	12.6	7.9
Plastique	10.5	12.3	11.2	2.4
Métaux	1.9	2.7	3.7	1.7
Verre	2.8	0.7	1.1	1.2
Textile	2.3	3.3	2.1	1.4
Divers	2	0.5	1.1	1.9

VII. Paramètres chimiques globaux

Certaines recherches se sont concentrées sur la caractérisation chimique des déchets urbains. L'objectif principal de ces études est d'évaluer le potentiel de pollution de ces déchets (ADEME 1999) ou avéré avoir des effets néfastes sur la santé humaine et l'environnement [17].

Tableau I.3 : caractéristique chimique des déchets urbains.

Paramètres	Unités (*)	Teneurs moyennes			
		France	Chine	Suisse	Algérie
Humidité	% MH	35	-	-	58.9
Matière organique totale	% MS	59,2	-	-	64.6
Carbone	% MS	33,4	29 ± 5	37 ± 4	29.5
Chlore	g/kg MS	14	-	6,9 ± 1,0	-
Soufre	g/kg MS	2,8	-	1,3 ± 0,2	-
Azote organique	g/kg MS	7,3	-	-	-
Fluor	g/kg MS	0,058	-	-	-

Bore	g/kg MS	0,014	-	-	-
Cadmium	g/kg MS	0,004	$0,3 \pm 0,01$	$0,011 \pm 0,002$	0.06
Cobalt	g/kg MS	0,113	25 ± 3	-	-
Chrome	g/kg MS	0,183	$0,18 \pm 0,02$	-	-
Cuivre	g/kg MS	1 048	-	$0,7 \pm 0,2$	-
Manganèse	g/kg MS	0,412	-	-	-
Mercure	g/kg MS	0,003	$0,005 \pm 0,001$	$0,003 \pm 0,001$	0.02
Nickel	g/kg MS	0,048	-	-	-
Plomb	g/kg MS	0,795	-	$0,7 \pm 0,1$	0.07
Zinc	g/kg MS	1,0	$1,3 \pm 0,2$	$1,4 \pm 0,2$	-

VIII. Les types de traitement des déchets

L'augmentation du volume des déchets solides municipaux (MSW) pose actuellement de sérieux problèmes dans les zones urbaines. La croissance démographique, l'augmentation du niveau de revenu par tête et du niveau de l'activité économique, notamment la consommation, ont eu pour conséquence d'augmenter la production des déchets solides qui constituent une menace pour la qualité de l'environnement. Ces déchets exercent une pression sur le sol, les ressources en eau et compromettent ainsi la santé humaine et animale. L'Algérie produit 9,9 millions tonnes de déchets solides en 2006. Ce chiffre pourrait augmenter jusqu'à 12,5 millions tonnes en 2025.

Le problème de gestion des déchets solides est particulièrement alarmant dans les pays en développement (PED), où leur collecte et leur traitement sont empêchés par le manque de moyens financiers et technologiques [18]. Selon l'ADEME (2006) 98% des ordures sont collectées et traitées de la façon suivante :

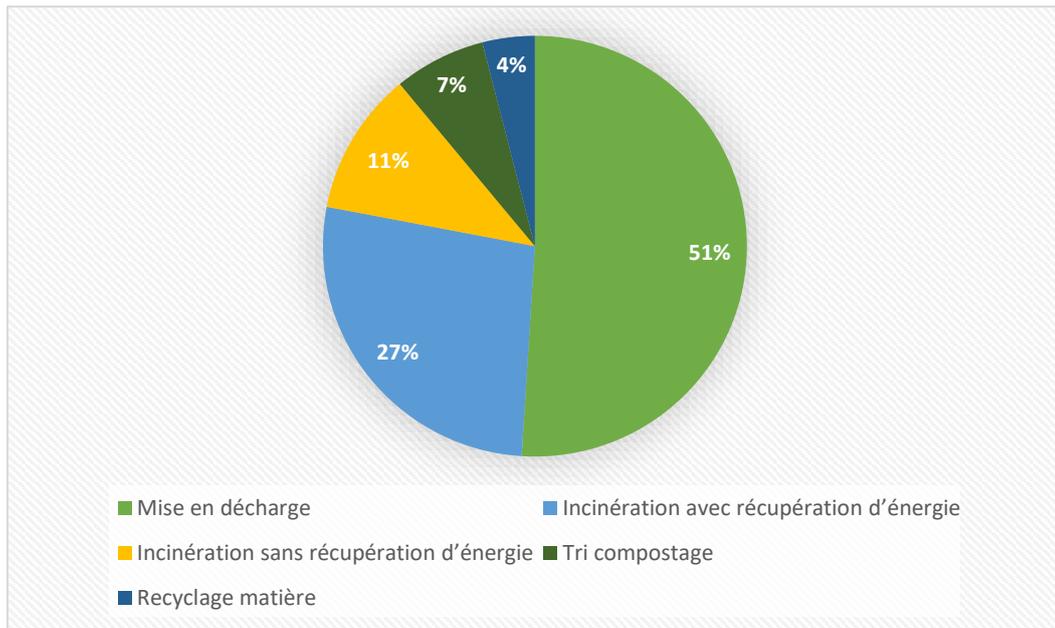


Figure I.1 : Répartition des déchets collectés par type de traitement [18].

VIII.1 L'incinération

Selon la définition de l'ADEME (Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie), l'incinération est un procédé de traitement thermique des déchets avec excès d'air. Ce procédé consiste à brûler les ordures ménagères et les déchets industriels banals dans des fours adaptés. Cette technique de gestion des déchets peut servir à produire de l'électricité ou de la chaleur, tout en consommant elle-même de l'énergie, mais est également une source de pollution de l'air [19].

Les résidus de l'incinération se répartissent en deux catégories :

- Les mâchefers (fraction solide des déchets qui résultent de leur combustion).
- Les résidus du traitement des fumées.

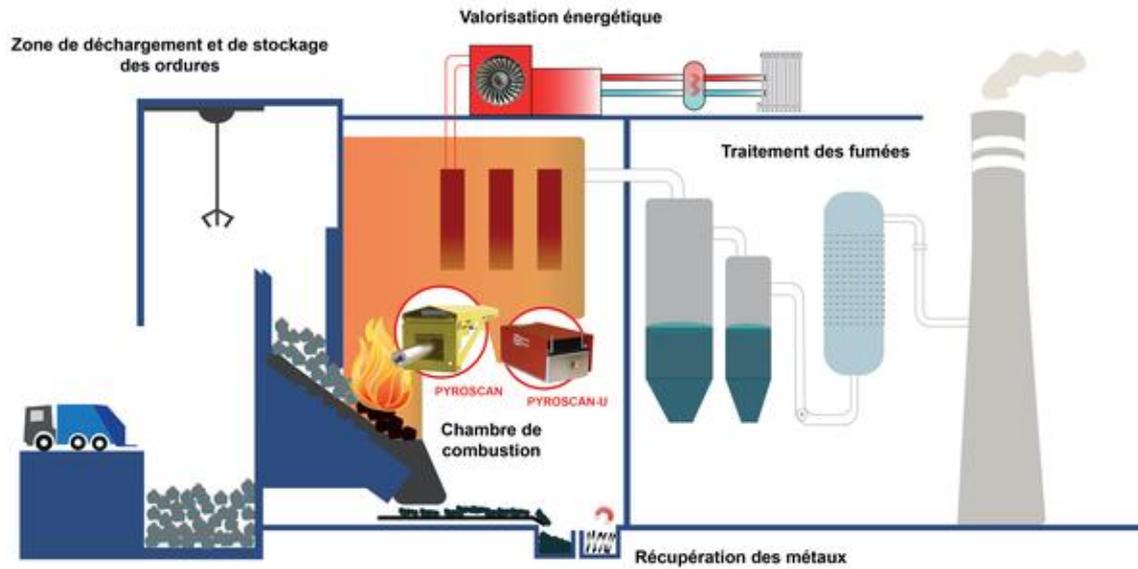


Figure I.2 : Usine d'incinération des déchets

VIII.1.1 Les avantages de l'incinération des déchets

L'incinération permet une réduction des déchets à mettre en stockage (décharge) Contrairement à la plupart des autres modes de traitement de déchets, l'incinération est adaptée à toutes sortes de déchets ménagers et assimilés. Elle permet de réduire en moyenne de 70 % la masse des déchets entrants et de 90 % leur volume et contribue donc à la réduction des quantités de déchets à stocker (mise en décharge).

L'incinération permet également de réduire la nocivité des déchets. Par exemple, la combustion stérilise les déchets médicaux.

A travers la production d'énergie, elle participe à la réduction de l'utilisation de ressources fossiles Après les collectes séparées des matériaux recyclables, les déchets restants contiennent encore une part significative de matériaux combustibles tels que : - des plastiques et des papiers, soit parce que difficilement recyclables (produits souillés, trop petits, objets composites...), soit du fait du non-respect des consignes de tri, - des matières organiques, du bois.

L'incinération de ces déchets permet de tirer parti de leur potentiel énergétique en produisant de la chaleur, donc une énergie dite de récupération (ou énergie fatale). Cette

source d'énergie est en partie assimilée aux énergies renouvelables dans les règlements européens, du fait qu'elle provient pour partie de biomasse et permet de réduire l'utilisation de ressources fossiles et les émissions de gaz à effet de serre induites[19].

VIII.1.2 Les inconvénients de l'incinération des déchets

L'incinération suscite des craintes en raison de mauvaises pratiques passées. Comme les autres modes de traitement des déchets, l'incinération génère des émissions et notamment des polluants atmosphériques (dioxines et furanes, métaux lourds, gaz acides, poussières) qui, à haute dose, peuvent avoir un impact sur la santé (certains cancers ou troubles de la reproduction) si ces émissions ne sont pas filtrées. Les niveaux de risques apparaissent très liés aux niveaux de performances de l'épuration des fumées (émissions de métaux lourds et de substances organiques) et sont très faibles pour les installations récentes

Les mauvaises pratiques des débuts de l'incinération ont pu avoir des effets nocifs sur la santé des riverains d'installations. Ainsi, l'incinération est le domaine de gestion des déchets le plus étudié sur le plan sanitaire.

L'incinération génère des craintes sur le fait qu'elle constituerait un obstacle au développement du recyclage et de la prévention. L'incinération demande des investissements lourds, dépendant notamment de la taille de l'installation et du taux d'occupation de l'incinérateur au regard de sa capacité. Certains craignent que le dimensionnement initial de l'installation puisse donc constituer, s'il est trop important, un frein ou une moindre incitation au développement de la prévention ou du recyclage des déchets. Il pourrait être en effet plus intéressant pour la collectivité de traiter un maximum de déchets pour amortir les coûts de l'installation par la revente d'énergie [19].

VIII.2 Le compostage

Le compostage est un processus naturel de « dégradation » ou de décomposition de la matière organique par les micro-organismes dans des conditions bien définies. Les matières premières organiques, telles que les résidus de culture, les déchets animaux, les restes alimentaires, certains déchets urbains et les déchets industriels appropriés, peuvent être appliquées aux sols en tant que fertilisant, une fois le processus de compostage terminé.

Le compost est une source importante de matière organique. La matière organique du sol joue un rôle important dans la durabilité de la fertilité, et donc pour une production agricole durable. En plus d'être une source d'éléments nutritifs pour les cultures, la matière

organique améliore les propriétés biologiques et physico-chimiques du sol. Suite à ces améliorations, le sol : devient plus résistant aux agressions telles que la sécheresse, les maladies et la toxicité, aide la culture à mieux prélever les éléments nutritifs, présente un cycle nutritif de bonne qualité en raison d'une activité microbienne vigoureuse. Ces avantages se manifestent par une réduction des risques pour les cultures, des rendements plus élevés et une réduction des dépenses des agriculteurs pour l'achat d'engrais minéraux [20].

VIII.2.1 Théorie du procédé de décomposition aérobie

La dégradation aérobie de la matière organique, c'est à dire en présence d'oxygène, se fait par des micro-organismes et des macro-organismes qui ont besoin pour vivre de nourriture, d'eau et d'air. Les principes de base suivants visent donc à leur assurer un environnement de vie idéal, afin d'accroître leur performance. La dégradation anaérobie (en l'absence d'oxygène) sera traitée plus loin car elle est surtout appropriée aux procédés à grande échelle et diffère du compostage aérobie [21].

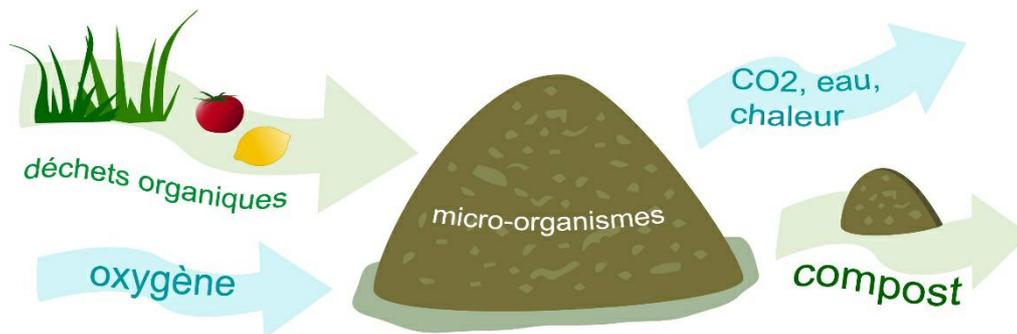


Figure I.3 : procédé de décomposition aérobie[21].

VIII.2.2 Les avantages de compostage

Les principaux avantages du compostage sont les suivants :

- La réutilisation de matériaux organiques disponibles sur place ;
- L'augmentation des substances nutritives du sol et activation de la vie microbienne
- L'amélioration du niveau de productivité des sols ;
- L'amélioration de la structure du sol ;
- La libération progressive des substances nutritives du sol ;
- Le coût moins cher par rapport à celui des engrais ;
- Le compost contient beaucoup d'oligo-éléments

- Les plantes qui poussent sur un sol ayant reçu uniquement du compost sont plus résistantes aux maladies que celles qui poussent sur un sol ayant reçu uniquement des engrais chimiques [22].

VIII.2.3 Les inconvénients de compostage

Les principaux inconvénients du compostage sont les suivants :

- Il exige beaucoup de temps de travail
- Il n'est pas possible partout. Cela dépend entre autres de la place et du matériel disponibles, ainsi que des circonstances locales ;
- Il n'augmente pas toujours le rendement. Néanmoins, si on l'utilise, il maintient la productivité du sol ;
- Si l'objectif est d'améliorer la structure du sol, il vaut mieux utiliser des matériaux organiques frais que du compost ;
- Il peut augmenter le risque d'avoir des mauvaises herbes ou des maladies pour la culture ;
- Un tas de compost attire des animaux nuisibles, tels que des insectes, des rats, des souris et également des serpents [22].

VIII.3 Traitements anaérobies et méthanisation

La digestion anaérobie (ou encore méthanisation) est la transformation de la matière organique en biogaz (principalement méthane et gaz carbonique) par une communauté microbienne qui fonctionne en anaérobiose. Cette transformation très répandue dans la nature, se retrouve dans les marais, dans les intestins d'animaux, d'insectes... et de manière très générale lors du stockage de la matière organique en absence d'oxygène [23].

Le flux de la matière est représenté sur la figure

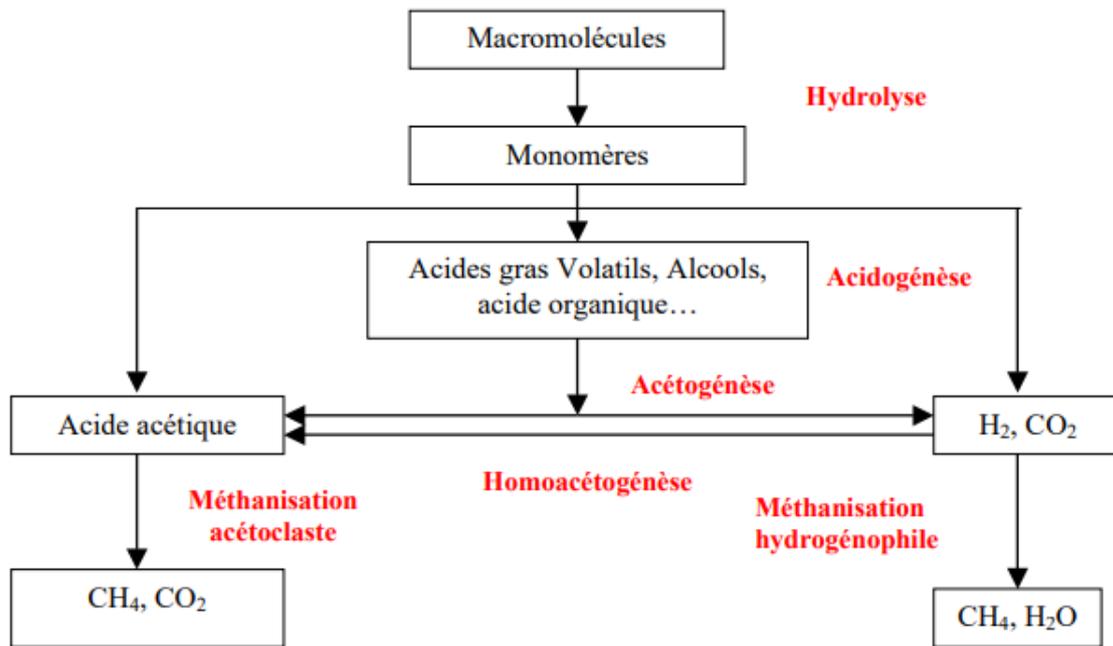


Figure I.4 : procédé de décomposition anaérobie et méthanisation.

La première étape est l'hydrolyse et l'acidogènes qui conduit à la production d'acides gras volatiles (AGV) d'hydrogène et de gaz carbonique. La seconde étape est l'acétogénèse réalisée par des bactéries acétogènes productrices obligées d'hydrogène (dites « OHPA ») et des bactéries homoacétogènes. La dernière étape, la méthanogénèse, est réalisé par des bactéries méthanogènes classées dans les archéobactéries. Les micro-organismes qui dégradent l'acétate en méthane et gaz carbonique sont dits « acétoclastes » et ceux qui réduisent le gaz carbonique avec l'hydrogène sont dits « hydrogénéophiles ».

Les conditions physico-chimiques qui permettent la réalisation de la digestion aérobie sont les suivantes :

- pH voisin de la neutralité 6,5 à 8,5 ;
- Des potentiels d'oxydo-réduction très bas de - 300 à - 400 mv
- Des gammes des températures peut être variées :
 - Thermophile (de 45 à 65 degrés C.) avec un optimum vers 55° C
 - Mésophile (25 à 45 degrés) avec un optimum de 37 degrés C.
 - Psychrophile (5 à 25 degrés C.) [23].

VIII.4 Le recyclage

Le « recyclage » est la création de nouvelles matières, ou le renouvellement des matières initiales, par le biais du traitement des déchets, (cela comprend le recyclage organique mais pas le recyclage énergétique).

Le recyclage des produits en fin de vie passe par l'organisation de filières spécialisées permettant à toutes les entreprises et/ou tous les particuliers de permettre la récupération des déchets. Ci-dessous est représenté un schéma simplifié du processus de recyclage, qui va de la collecte à la fabrication d'un nouveau produit issu des déchets [24].

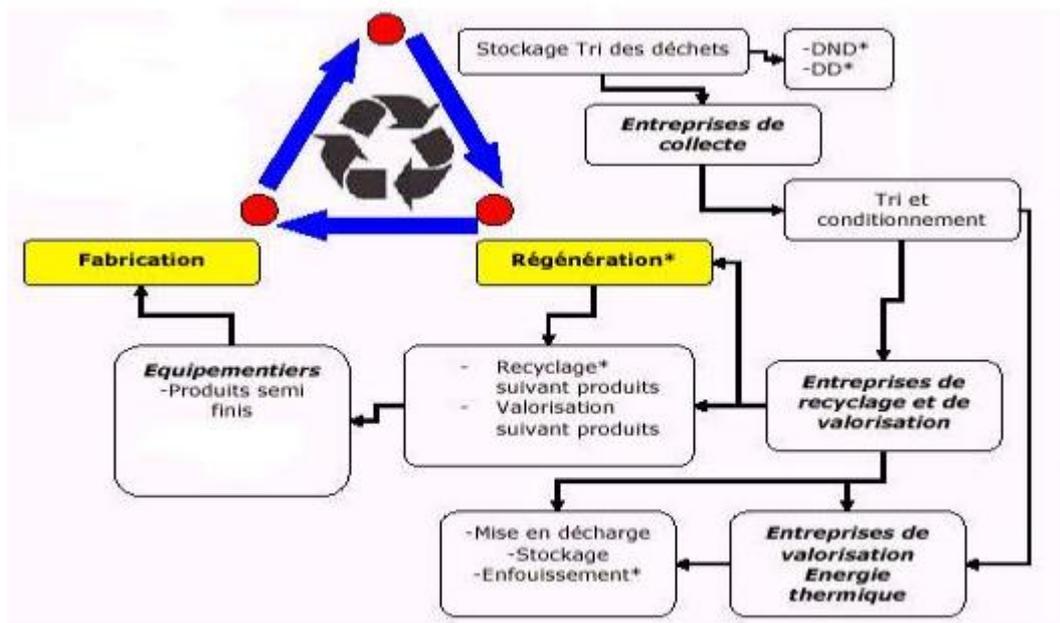


Figure I.5 : Schéma simplifié du processus de recyclage

Cependant, pour éviter des problèmes de pollution, le processus de recyclage est soumis à des règles très précises. Ainsi des normes ISO ont été mises en place pour se conformer aux directives européennes qui souhaitent la diminution des déchets ainsi que leur revalorisation. C'est ainsi que des normes, telles que celles de la famille ISO 14000, concernant la gestion de l'environnement, sont mises en place pour réduire les effets dommageables de l'activité des entreprises sur l'environnement. Toutes ces normes dont la liste est très fournie, peuvent s'appliquer à tout type d'entreprises, tout secteur d'activité, ou tout organisme quel que soit le produit ou le service réalisé [24].

VIII.4.1 Les données algériennes

Algérie génère chaque année 10 à 12 millions de tonnes de déchets ménagers. Il y a 3000 décharges sauvages. Ces décharges occupent une surface totale de l'ordre de 150 000 hectares. Le Ministère de l'aménagement du territoire et de l'environnement a programmé la réalisation de 300 Centres d'enfouissement Technique et décharges contrôlées. Déjà 90 projets sont achevés ou en voie d'achèvement.

Le coût de ces décharges 0,19 % du PIB en impacts sur la santé et 0,13 % du PIB en pertes économiques (potentiel de recyclage et de valorisation non réalisés).

Le nombre d'agents chargés de la collecte des déchets ménagers et du nettoyage des voies publiques en Algérie et en diminution par rapport l'année 1980.

Tableau I.4 : Le nombre d'agents chargés de la collecte des déchets ménagers et du nettoyage des voies publiques en Algérie.

En 1980	En 2005
(01) agent pour 500 habitants un	(01) agent pour 1500 habitants

Chaque année 200 000 tonnes de déchets d'emballages sont rejetés en Algérie. Les plastiques constituent 95% de ces emballages et les métaux représentent les 5% restants.

Des 200 000 tonnes de déchets d'emballages rejetés annuellement, seulement 4000 tonnes sont récupérées soit 2% du gisement.

Chaque année, 22000 tonnes de déchets d'activités de soins sont produits en Algérie. Il existe 317 incinérateurs opérationnels pour la destruction des déchets d'activités de soins.

Le Ministère de l'aménagement du territoire et de l'environnement a programmé la réalisation de 1000 schémas directeurs de gestion des déchets solides urbains pour les différentes communes du pays. Déjà 640 schémas sont finalisés.

En 2008, il existe 873 récupérateurs agréés et répartis sur le territoire national. Il existe aussi 320 exportateurs de déchets ferreux et non ferreux répartis sur le territoire national (Association des exportateurs de métaux ferreux). Ce chiffre est en augmentation continue.

Chaque année, les algériens utilisent près de 300 millions de piles et accumulateurs, soit environ 12 unités par habitant. On estime que 70% de ces piles finissent dans la nature ou à la décharge avec tous les risques de contamination de l'environnement par le mercure, le cadmium, le plomb, le zinc ou le lithium [25].

VIII.4.2 Les données de la banque mondiale

Le rapport final fait par la banque mondiale en janvier 2004 et le résultat du Projet Régional De Gestion Des Déchets Solides Dans Les Pays Du Mashreq Et Maghreb « Rapport Du Pays – Algérie ». Il est fait par « The International Consortium GTZ – ERM – GWK »

- GTZ: Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit GmbH Germany.
- ERM: Environmental Resources Management —United Kingdoml.
- GWK: Ingenieurbüro für Wasser - Abwasser - Abfalltechnik GmbH Germanyl.

Tableau I.5 : résume toutes les données générales

Population	31,5 Millions (1 janv.2003), Croissance/an : 1,43% Urbain : 61%, Rural : 39% Densité au Nord : 300 habitant/Km2 Densité territoire national: 13 habitant/Km2
PIB/Hab.	PIB/hab. : \$ US 1760 (année 2002)
Déchets municipaux	8,5 Millions de tonnes (année2002)
Composition des déchets	Organique 67 – 73 % Papier 7 – 12 % Plastic 2,5 – 7 % Glass 1 % Métal 2 % Reste 11 – 13 % - Composition variable selon les régions et les études faites. - La part en papier/carton serait actuellement de plus de 12 %
Quantités et Types de déchets produits	En plus des 8,5 millions de tonnes de déchets municipaux, environ : - Déchets industriels banals : 700000 Tonnes/an DIB - Déchets industriels spéciaux : 300.000 Tonnes/an

	, - Déchets d'activités de soins :125000 Tonnes/an
Taux de génération	Rural : 0,6 Kg/jour Urbain : 0,9 Kg/jour (Alger: 1 kg/jour)
Taux de collecte (%)	Rural 65 % Urbain 92 %
Gestion des déchets (%)	Compostage 1 % Recyclage 2% Décharge contrôlée 0,2% N.B. 22 décharges contrôlées sont en cours de réalisation ; Une décharge déjà opérationnelle Décharge publique ou communale non contrôlée : 40 % (avec clôture, gardiennage et dans quelques cas recouvrement par la terre) Décharge sauvage: 58%
Taux de croissance /an	2 %

Pendant longtemps, la gestion des déchets solides n'a pas fait l'objet d'une attention particulière. Mais à partir de 2001 et suite à l'adoption par le gouvernement du Rapport National sur l'état et l'Avenir de l'environnement et du Plan National d'Actions pour l'Environnement et le Développement Durable (PNAE-DD) qu'une nouvelle politique environnementale a été tracée.

Dans cette nouvelle stratégie environnementale, l'amélioration du cadre de vie et la propreté des villes occupent une place prépondérante. Sur la base de la loi relative à la gestion, au contrôle et à l'élimination des déchets promulguée en décembre 2001, le Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement a mis en place un Programme National de Gestion intégrée des Déchets Ménagers (PROGDEM). Ce programme pour lequel l'état a consenti un budget important vise à arracher les décharges sauvages, à doter les 40 grandes villes du pays de schémas directeurs de gestion des déchets et à aménager à partir de l'an 2004 des centres d'enfouissement techniques dans ces villes. Création de l'Agence Nationale des Déchets assisteront les collectivités locales dans la mise en place de cette nouvelle politique.

Actuellement, il n'existe qu'une seule décharge contrôlée à Alger qui est gérée par une entreprise publique à caractère industriel et commercial. Cette même entreprise gère la collecte et le transport de plusieurs communes d'Alger. Dans 22 autres grandes villes les travaux d'aménagement de décharges contrôlées sont en cours. Ces décharges seront équipées de matériels fixes et roulants adaptés pour une exploitation optimale.

En plus des 8,5 Millions de tonnes de déchets municipaux produits annuellement, l'Algérie produit 700 000 T/an de déchets industriels banals et 300 000 T/an de déchets dangereux. Les activités de soins sont à l'origine de 125 000 T/an.

Sous le triple effet de la croissance démographique, économique et du niveau de vie, la production des déchets ménagers est en constante augmentation. Le taux de génération actuelle des déchets ménagers varie de 0,5 à 1 Kg/hab/J, soit en moyenne 0,85 Kg/hab/J. Avec un taux de croissance estimé à de 2%, la production atteindra au-delà de 2010 une moyenne de 1 Kg/hab/J.

En l'absence de données statistiques fiables, l'évolution future de la quantité globale des déchets générés par les ménages ne peut être qu'estimée. Elle suit en principe l'évolution démographique. Comme illustrée en Figure la production annuelle des déchets ménagers atteindra en 2010 environ 9,9 MT et 12,5MT en 2025.

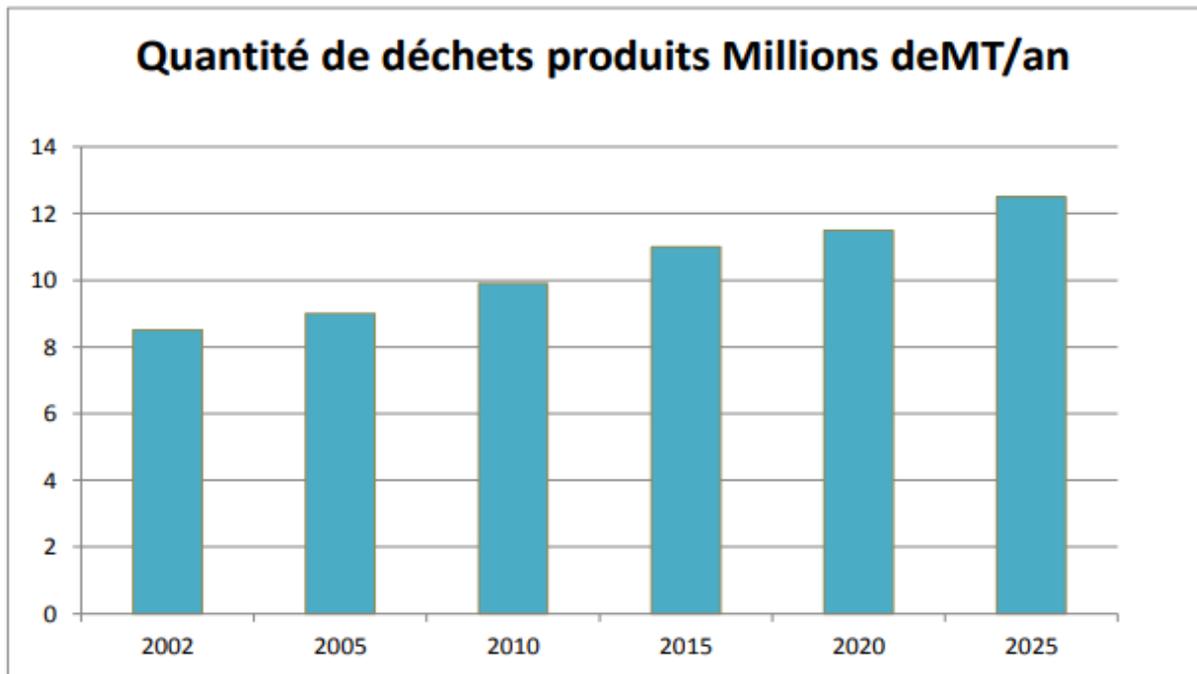


Figure I.6 : La production annuelle des déchets ménagers

En 2015, si on atteint un taux de recyclage/récupération/valorisation de 10 %, la quantité à mettre en décharge s'élèvera à environ 9,8 MT.

On note par ailleurs qu'il y a aussi une évolution dans la composition des déchets ménagers, en ce sens que la fraction emballage (papier, carton, plastiques, etc.) est de plus en plus importante dans les déchets générés. Cette tendance constitue un atout supplémentaire pour la mise en place et l'encouragement des activités de récupération/valorisation [26].

VIII.5 Les décharges ou centres d'enfouissement technique

VIII.5.1 Les types de décharge

Il existe deux grandes familles de décharges :

a) Les décharges sauvages non réglementées

Ce type de décharge se pratique encore beaucoup, c'est une accumulation de déchets dans des cavités ou sur des versants de montagnes ou sur des terrils et ceci sans précautions particulières

Au niveau de cette décharge et sous les conditions environnementales qui y règnent, il se crée des interactions entre les déchets, le sol et l'eau, en ce sens que les déchets urbains et industriels réagissent entre eux et le milieu pour donner naissance à des composés nuisibles à l'équilibre naturel du milieu environnant. On assiste alors à une pollution de l'atmosphère par les émissions de gaz de fermentation, et dans certains cas à une forte pollution des eaux. Dans ce contexte, et vu que l'eau est un puissant solvant, le risque majeur de contamination réside dans l'entraînement des éléments polluants contenus dans les déchets : les métaux lourds et la matière organique. Cette pollution peut se faire sur des distances importantes, et suivant des chemins préférentiels qui ne sont pas toujours connus, et qui aboutissent dans des nappes d'eau plus ou moins profondes [27].

b) Les décharges réglementées

Ce type de décharge obéit à un certain nombre de règles où toutes les précautions sont prises pour éviter toutes nuisances. Les déchets sont déposés pour une longue durée et sont répandus par couches successives et alternées d'épaisseur modérée de déchets et de sols et ceci sur un revêtement géotextile, ce genre de décharge s'appelle plus communément par centre d'enfouissement technique (C.E.T.) [27].

VIII.5.2 Définition d'un Centre d'Enfouissement Technique (C.E.T)

Les Centres d'enfouissement technique sont définis comme un site d'élimination des déchets par dépôt des déchets sur ou dans la terre y compris :

- Les décharges internes (les décharges où un producteur de déchets procède lui-même à l'élimination des déchets sur le lieu de production).
- Un site permanent (pour une durée supérieure à un an) utilisé pour stocker temporairement les déchets, à l'exclusion : des installations où les déchets sont déchargés afin de permettre leur préparation à un transport ultérieur en vue d'une valorisation, d'un traitement ou d'une élimination en un endroit différent
- Du stockage des déchets avant valorisation ou traitement pour une durée inférieure à trois ans en règle générale.
- Du stockage avant élimination pour une durée inférieure à une année.

L'enfouissement des déchets est donc une opération de stockage des déchets en sous-sol. Le principe général de l'enfouissement est de stocker des déchets, en éliminant leur contact direct avec le sol et de récupérer en dessous et les côtés les Lixiviats et en dessus le Biogaz.

Le C.E.T 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. Celui-ci fixé, après étude d'impact et enquête publique, leurs conditions d'implantation, d'exploitation, de surveillance et d'aménagement final [28].



Figure I.7: Centre d'Enfouissement Technique (C.E.T).

VIII.5.3 Description des décharges

La mise en place des décharges dans les PED doit être effectuée suivant certaines règles et dispositions qui permettent d'éviter les impacts sur l'environnement, ce qui revient à maîtriser les phénomènes de fermentation en contrôlant la nature et le flux de déchets enfouis et les flux liquides et gazeux.

Une décharge contrôlée peut être définie précisément par le fait que des précautions sont prises dans son organisation et sa mise en œuvre pour écarter toutes nuisances.

Aujourd'hui le terme décharge contrôlée couvre différentes méthodes relatives à l'évacuation et au traitement des ordures ménagères.

- La décharge contrôlée traditionnelle ;
- La décharge compactée ou non ;
- La décharge d'ordures préalablement broyées.

a) La décharge contrôlée traditionnelle

Dans ce type de décharge :

- Les résidus sont répandus par couches successives d'épaisseur modérée (2m environ).
- Les couches sont exactement nivelées par des talus peu inclinés pour que les ordures ne soient pas remises à jour par les pluies.
- Le dépôt doit être suffisamment compact, pour éviter les vides importants favorisant les risques d'incendie et l'entrée d'air préjudiciable à la fermentation anaérobie.
- Le dépôt et les talus, étant ainsi réalisés par couches régulières, celles-ci doivent être recouvertes de terre ou d'un matériau approprié qui constitue la « couverture », laquelle doit avoir 10 à 30 cm d'épaisseur suivant la cohésion des matériaux et le soin apporté à leur tassement.

b) La décharge contrôlée compactée

On distingue deux modes de compactage :

- Le compactage qui résulte du roulage sur la décharge de véhicules lourds de collecte et circulation des boteurs assurant le régalaage des ordures et leurs déplacements vers le front de la décharge.

- Le compactage plus accentué, recherché systématiquement est, obtenu non seulement par les engins de mise en place, mais aussi par l'action des engins spéciaux dont le rôle est d'effectuer un compactage intensif et une dilacération des déchets. Ces engins interviennent au fur et à mesure des arrivages pour obtenir un tassement d'autant plus efficace que les couches successives sont plus minces : compacteurs à pieds de mouton.

Ce type de décharge présente aussi un certain nombre d'avantages :

- Un meilleur emploi du volume du site ;
- Un tassement ultérieur sensiblement diminué ;
- Un meilleur aspect général ;
- Le travail en couches minces (0,50 à 0,80 m) qui permet une certaine réduction des travaux de couverture intermédiaire, sous réserve de certaines précautions notamment vis-à-vis des conditions climatiques.

c) La décharge d'ordures préalablement broyées

Une nouvelle méthode est apparue depuis une vingtaine d'année, elle consiste à broyer les ordures avant de les mettre en décharge : il en résulte une structure différente. La matière étant divisée en petits éléments, la masse plus homogène ne comportant pas de vides importants. On obtient ainsi un dépôt plus dense sans recourir au compactage. Au contraire, on évite dans ce cas le compactage pour permettre l'aération et favoriser la fermentation aérobie.

Ce type de procédé présente en outre d'autres avantages :

- Une exploitation plus facile, les contraintes à observer pour écarter les nuisances étant moins lourdes que pour les autres types de décharges contrôlées ;
- Une stabilité du sol qui peut s'obtenir plus rapidement grâce au volume des déchets ;
- La mise en culture plus facile et plus rapide, en particulier, la décharge d'ordures broyées est susceptible de valoriser plus rapidement les sols pauvres, arides ou humides ;
- Il semble bien aussi que la température interne, ainsi que le pouvoir absorbant et même filtrant des ordures broyées, rendent fort improbables les infiltrations et que, par conséquent, la pollution des nappes ne soit à redouter que par le ruissellement superficiel.

d) Décharges contrôlées de déchets mis en balles

Elles étaient utilisées sans autre prétraitement pour les déchets urbains et industriels banals ; au moyen d'une presse qui les comprime à une densité d'environ 0,9 T/m³, les déchets sont mis sous forme de balles ligaturées d'un volume de 1 à 5 m³. Les balles sont ensuite rangées sur le site de la décharge par couches successives. Il n'y a donc plus besoin d'engin de répartition et/ou du compacteur ; l'aspect de la décharge est nettement amélioré. De même les envols et l'éparpillement des déchets (papiers et autres) sont évités.

e) Centre de stockage de déchets (CSD) ultimes

L'évolution de la réglementation européenne et des réglementations nationales des états membres de l'union européenne, ainsi que les progrès techniques en termes de gestion et de traitement des ordures ont permis d'améliorer la sécurité des installations de stockage. En France, la loi du 2 juillet 2002 vise la réduction du stockage des déchets pouvant encore évoluer et exige la mise en décharge de déchets ultimes. Les structures de centre d'enfouissement ont évolué vers un seul objectif : limiter les impacts environnementaux. L'amélioration continue des techniques permet aujourd'hui d'entrevoir de nouveaux types de stockage qui, avant d'être des filières d'élimination seront des filières de valorisation

VIII.5.4 Bioréacteur

Le centre d'enfouissement peut également évoluer vers le concept de bioréacteur qui est caractérisé par deux principes : le confinement et le contrôle des paramètres de fermentation.

La seule différence entre Le centre d'enfouissement et le bioréacteur et que les lixivats générés dans le bioréacteur ne sont pas traités en dehors du site, mais ils sont mis en recirculation dans les résidus. Cette recirculation permet d'accélérer la dégradation des matières organiques (matières putrescibles) en maintenant un fort taux d'humidité [28].

VIII.5.5 Classification des centres de stockage

Les décharges contrôlées sont classées selon les types de déchets comme suit :

- Les décharges de Classe I : Les déchets dangereux
- Les décharges de Classe II : Les déchets dits « non dangereux »
- Les décharges de Classe III : Les déchets inertes [29].

1. Les décharges de classe 1 pour les déchets dangereux

Les décharges de classe 1 accueillent principalement les "déchets industriels spéciaux", présentant un caractère dangereux reconnu pour le milieu naturel ou les êtres vivants. Elles sont également appelées Centres de stockage de déchets dangereux (CSDD).

Avant d'être enfouis, les déchets sont "stabilisés" par extraction, notamment, des liquides dangereux pour limiter les réactions chimiques dans la fosse [30].

2. Les décharges de classe 2 pour les déchets dits "non dangereux"

Les décharges de classe 2 accueillent les déchets ménagers et assimilés (DMA), ainsi que les déchets industriels banals (DIB). Elles sont également appelées Installation de Stockage de Déchets non Dangereux (ISDND) et Centre de Stockage de Déchets Ultimes (CSDU). Selon la loi-cadre déchet de 1992, il est interdit d'enfouir autre chose dans ces décharges que du déchet ultime, un déchet "qui n'est plus susceptible d'être traité dans les conditions techniques et économiques du moment, notamment par extraction de la part valorisable ou par réduction de son caractère polluant ou dangereux"[31].

3. Les décharges de classe 3 pour les déchets inertes

Les décharges de classe 3 accueillent principalement des déchets du bâtiment et des travaux publics (terres, gravats, déchets de démolition, etc). Des trois catégories de décharges, ce sont les moins réglementées : à défaut d'une réglementation issue du Code de l'Environnement, comme c'est le cas pour les décharges de Classe 1 et 2, les décharges de Classe 3 sont soumises au Code de l'Urbanisme et placées sous l'autorité du maire des communes accueillant ces installations. Elles ne sont donc pas des "Installations classées pour la protection de l'environnement".

Tableau I.6 : Classes de stockage de déchets [32].

I	DIS ultimes Résidus ultimes stabilisés (seuils d'admission)	Minéraux solubles (métaux, sels)	Stockage Isolement de la pluie Besoins régionaux	Couverture, toit mobile Stabilisation, drainage, géologie $K > 10^{-9}$ m/s (e = 5 m)	Réversible Permanent à long terme Autosurveillance sur 30 ans
---	--	----------------------------------	--	--	---

II	OM ultimes	Organiques	Évolution Minéralisation biologique	Drainage Isolement du sous-sol : $e = 1$ m, $K = 10^{-9}$ m/s ou $e = 5$ m, $K =$ 10^{-6} m/s	Moyen terme (20 à 30 ans) Site convertible réutilisable ou « abandon »
	Mâchefers Sables de fonderies	Minéraux évolutifs	Maturation Besoins départementaux		
III	Déblais Gravats	Démolition Inertes	Gestion Espace géographique	Éviter les dépôts sauvages	Permanent si non récupération

VIII.5.6 Les centres d'enfouissement techniques en Algérie

Depuis 2001, le gouvernement algérien a fait le choix d'éliminer les déchets par, il a ainsi lancé un ambitieux programme de centres d'enfouissement technique sur tout le territoire national. L'un des objectifs du PROGDEM est d'abandonner le mode traditionnel d'élimination des déchets par la mise en décharge. Suite au lancement du PROGDEM, 65 Centres d'enfouissement technique ont été enregistrés, durant la période allant de 2001 à 2005, 16 ont été achevés, 28 en cours de réalisation et 21 en phase d'études. A la fin de l'année 2007, ce nombre a augmenté suite aux résultats des projets pilotes notamment celui d'Oueld Fayet à Alger. Ce dernier s'est inscrit dans le cadre de la nouvelle politique de gestion intégrée des déchets qui prévoyait la transformation de certaines décharges sauvages en CET. Il dessert plus de 34 communes des wilayas d'Alger et de Tipaza. La quantité de déchets enfouis est de 864 tonnes/jour en 2005 contre 72 tonnes/jour lors de son ouverture en 2001. L'établissement public Net- Com assure la gestion et l'exploitation de ce CET.

Ainsi, le nombre des CET est passé à 80 projets, dont 20 achevés, 34 en construction et 26 en étude, soit 15 nouveaux projets. En premier lieu, les wilayas concernées étaient Skikda, El-Taref, Annaba, Guelma, Souk Ahras, Batna, Tébessa, Média, Tizi-Ouzou, Sétif, Biskra, Alger, M'Sila, Ouargla, Blida, Djelfa, Jijel, Béjaia et Chelf17. En 2010, ce chiffre est passé à 100 C.E.T., dont la majeure partie a été pratiquement réalisée.

Il est à noter que 112 centres d'enfouissement technique ont été réceptionnés à travers le pays, vers la fin de l'année 2014. Ces 112 centres faisaient partie de 300 projets similaires programmés à la réalisation en vertu du quinquennal 2010-2014.

Pour l'année 2017, 141 centres d'enfouissement technique financés par l'Etat ont été recensés, dont 87 déjà réalisés, 30 sont en cours et 24 centres en début de travaux [33].

VIII.5.7 Risques et impacts des centres d'enfouissement technique

VIII.5.7.1 Impacts sur Environnement

1. La pollution par les lixiviats

Les biodéchets stockés dans les casiers de la décharge libèrent plus ou moins rapidement l'eau qu'ils contiennent. Ces jus, auxquels se mêlent les eaux de pluie qui percolent depuis la surface des casiers sont appelés lixiviats. Ils concentrent les polluants et substances toxiques contenus dans les déchets mélangés, notamment les métaux lourds. Les lixiviats sont une menace pour les sols et la ressource en eau :

- Certains centres de stockage ne sont pas équipés de membranes de protection au fond des casiers, les lixiviats pénètrent donc directement dans le sol et peuvent rejoindre une nappe phréatique, polluant ainsi la ressource en eau.
- Pour les décharges qui possèdent une membrane de protection disposée dans le fond des casiers, elle peut limiter la pollution des sols par les lixiviats au début de la vie de la décharge mais pas sur le long terme. Il n'existe pas de matériau synthétique à durée de vie infinie. Aussi, même si une membrane est installée, la pollution est simplement déplacée dans le temps.

Des fuites de lixiviats chargés en polluants et substances toxiques peuvent donc se produire dans l'environnement autour du site de la décharge, mettant en danger les végétaux, les animaux qui les ingèrent et, au sommet de la chaîne alimentaire, l'homme. L'homme est plus directement touché lorsque la décharge se situe à proximité d'une nappe phréatique alimentant la population en eau potable [34].

2. La pollution par les gaz

La décomposition des biodéchets mis en décharge produit également du biogaz, principalement composé de méthane. La loi oblige les exploitants à mettre en place des systèmes de captation de ce gaz. Cependant, ces systèmes ne sont que partiellement efficaces et une partie des gaz s'échappe dans l'atmosphère. Le biogaz capté et non utilisé est quand à lui brûlé dans des torchères, pour lesquelles la réglementation est peu exigeante, entraînant dans l'air le rejet de fumées dans lesquelles disparaissent des polluants, notamment des métaux lourds [34].

3. Des impacts diffus difficilement étudiables

Les pollutions engendrées par les décharges, et leurs impacts sanitaires et environnementaux sont difficiles à déterminer avec certitude car ils sont diffus dans le temps et dans l'espace. Plusieurs polluants interagissent dans des milieux naturels différents (air, sol, eaux etc.) sur le long terme. Les liens de causalité entre les pollutions liées aux décharges et des maladies ou des modifications significatives de l'environnement sont donc particulièrement difficiles à établir. La littérature scientifique sur le sujet est ainsi peu nombreuse.

4. Les centre d'enfouissement et changement climatique

La décomposition de la matière organique dans les lieux d'enfouissement produit un gaz qui est composé principalement de méthane, un gaz à effet de serre qui contribue aux changements climatiques.

Il est possible de récupérer et utiliser les gaz provenant des sites d'enfouissement pour produire de l'électricité, alimenter les industries en combustible et chauffer les édifices

Le méthane est 25 fois plus puissant que le dioxyde de carbone en ce qui a trait à sa mesure du potentiel de réchauffement planétaire.

Les émissions provenant des lieux d'enfouissement au Canada représentent 20 % des émissions de méthane générées au pays.

L'inventaire canadien des gaz à effet de serre indique qu'en 2015, environ 30 mégatonnes (Mt) d'équivalent-dioxyde de carbone (CO₂) ont été générées par les lieux d'enfouissement canadiens, dont 19 Mt d'équivalent-CO₂ émises au final.

Environ 11 Mt d'équivalent-CO₂ générées par les lieux d'enfouissement ont été captées, dont 5,4 Mt d'équivalent-CO₂ ont été brûlées et 5,6 Mt d'équivalent-CO₂ ont été utilisées à diverses fins énergétiques. (Article gouvernement de canada)

Tableau I.7 : Nuisances et impacts [34].

Nature des nuisances	Origines	Impacts
Envols	Papiers et plastiques, feuilles, textiles	Pollution du milieu naturel, atteintes au paysage

Odeurs	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 de maladies, gêne pour l'aviation, atteinte à la chaîne alimentaire
Incendies et explosion	Imprudences, déchets incandescents, Accumulation de biogaz	Danger pour le personnel, nuisances olfactives
Bruit	Circulation d'engins	Désagréments pour le personnel et les riverains
Défrichage déboisement	Implantation d'une installation de stockage	Appauvrissement paysager, gêne visuel
Pollution des sols et des eaux	Infiltration du lixiviat	Dégradation milieu naturel
Effet de serre	Biogaz non capté	Modification du climat, pathologie des plantes
Risques sanitaires, organismes	Toxicité des déchets pathogènes	Maladies

Chapitre II

Les lixiviats et ces procédés de traitement.

Chapitre II : Les lixiviats et ces procédés de traitement

I. Introduction

Les lixiviats de décharge sont des eaux usées complexes hautement polluées causées par l'infiltration d'eau à travers les déchets solides, mais aussi par les processus physiques et chimiques qui ont lieu pendant le processus de rejet.

Ces lixiviats contiennent de grandes quantités de matières organiques et inorganiques et ils doivent impérativement être traités avant d'être rejetés dans l'environnement. Des techniques nouvelles de traitement des lixiviats ont fait leurs apparitions telle que les procédés membranaires, les procédés biologiques et les procédés physico-chimiques.

Dans ce chapitre nous essayerons de définir lixiviats et ces procédés de traitements.

II. Définition

Le lixiviat est le « jus de décharge » des déchets, provient de l'eau qui percole à travers les déchets en se chargeant bactériologiquement et chimiquement en substances minérales et organiques dissoutes ou en suspension [35].

La législation européenne qui définit le lixiviat comme « tout liquide percolant à travers un dépôt d'ordures et contenu dans la décharge ou émis par celle-ci » (Art 2 Directive Européenne sur les décharges, adoptée le 27 avril 1999).

La compréhension de la genèse des lixiviats implique non seulement la connaissance de la nature des déchets enfouis et le mode d'exploitation du centre de stockage des déchets mais aussi l'étude des interactions entre l'eau et les déchets. Les mécanismes d'origine du lixiviat sont de nature biologique et chimique.

III. Composition de lixiviat

La composition globale des lixiviats est le plus fréquemment déterminée grâce à des analyses physico-chimiques, dérivées du traitement des eaux. Cette qualité physico-chimique dépend de nombreux facteurs tels que le mode d'exploitation du

CSDU (la gestion du site, sa topographie, sa situation géographique et le degré de compaction des déchets), les variations climatiques saisonnières (précipitation, humidité, évapotranspiration.), mais surtout de la nature des déchets entreposés, et du stade d'évolution du casier de déchets (âge) [36].

III.1 Les principaux groupes de polluants caractérisant le lixiviat

Selon WILLIAMS, 2005 et BERTHE, 2006, le lixiviat de la plupart des décharges contient des concentrations de contaminants dont les critères de qualité des eaux de surface et de l'eau potable présentent donc un risque environnementale élevé.

- La matière organique dissoute
- Les composés organiques anthropiques (hydrocarbures aromatiques, phénols, composés aliphatiques chlorés...) – concentration inférieure à 1 mg/L
- Les composés minéraux majeurs : Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ , NH_4^+ , Fe^{2+} , Mn^{2+} ...
- Les métaux lourds (Zn, Cd, Cr, Cu, Ni, Pb...) à l'état de traces.

III.2 Les principaux paramètres caractérisant un lixiviat

les principaux paramètres mesurés pour les lixiviats sont la Demande Chimique en Oxygène (DCO), la Demande Biologique en Oxygène (DBO5), le Carbone Organique Total (COT), la teneur en matière azotée et phosphorée (azote organique, NH_4^+ , NO_3^- , NO_2^- phosphore total, PO_4^{3-}), le pH, la conductivité, la concentration en métaux lourds (Fe, Zn, Cu, Cd, Pb, Ni, Hg, Ag), les teneurs en micropolluants organiques (hydrocarbures, phénols, pesticides et solvants), les AGV et les organismes pathogènes (coliformes totaux) (François, 2004). Certains de ces paramètres sont communs à tous les lixiviats quel que soit le stade de dégradation (concentration élevée en chlorure, sodium, potassium et forte alcalinité) ; tandis que d'autres dépendent de l'évolution de la bio-activité de la décharge et sont généralement très élevés pendant les premières phases (matière organique, azote organique, Ca^{2+} , Fe^{2+} , Mg^{2+}) [37].

La composition des lixiviats est très variable d'un site à l'autre en raison de la multiplicité des paramètres entrant en jeu (Pohland et al., 1983, Statom et al., 2004 ; Heyer et Stegmann, 2005 ; Renou et al., 2008b) :

- L'âge des déchets et leur stade de dégradation.
- La nature des déchets (teneur en eau, structure : granulométrie-densité-porosité, température, acidité).
- Le mode d'exploitation (prétraitement, compactage procédure d'enfouissement, sécurisation du casier, couverture finale).
- Le climat (précipitations, température).
- La configuration du site (géologie, topographie).
- Les combinaisons de processus physiques, chimiques et microbiologiques opérant au sein du massif au cours de la dégradation [38].

IV. Type des lixiviats

Il existe 3 types de lixiviat selon le stade d'évolution biologique :

IV.1 Les lixiviats jeunes (≤ 5 ans)

Les lixiviats jeunes se caractérisent par une charge organique élevée relativement biodégradable (seuil de biodégradabilité DBO₅/DCO > 0,3) constituée principalement d'AGV. Ces lixiviats peuvent être chargés en métaux (jusqu'à 2 g.L⁻¹) du fait de leur pH relativement bas (< 6,5). Ils correspondent aux premières phases non n-méthanogènes de l'évolution d'une décharge vieillit.

IV.2 Les lixiviats intermédiaires (5 à 10 ans)

Au fur et à mesure que la décharge vieillit et que les déchets se stabilisent, la charge organique diminue et les acides gras volatils se raréfient (20 à 30% de la charge du lixiviat) au profit de composés de hauts poids moléculaires. L'émergence de ces composés tend à diminuer la biodégradabilité du lixiviat. De ce fait, le pH est voisin de la neutralité et la charge en métaux devient négligeable. Ces lixiviats correspondent globalement à la phase méthanogène stable.

IV.3 Les lixiviats stabilisés (> 10 ans)

Ils sont caractérisés par une faible charge organique, composée essentiellement de substances humiques (acides fulviques et humiques) de hauts poids moléculaire (la DCO dépasse 3000 mg L⁻¹) qui sont réfractaires à la biodégradation (DBO₅/DCO <

0,1). Ces lixiviats stabilisés correspondent à la phase de maturation de la décharge. [39].

Tableau II.1 : Caractéristiques principales des différents types de lixiviats [39].

	Lixiviats jeunes	Lixiviats intermédiaire	Lixiviats stabilisés
Age de la décharge	< 5 ans	5 à 10 ans	> 10 ans
pH	< 6,5	6,5 à 7,5	> 7,5
DCO (g L ⁻¹)	10 à 20	5 à 10	< 5
DBO ₅ /DCO (biodégradabilité)	> 0,5 bonne	0,1 à 0,5 Assez faible	< 0,1 Très faible
AGV* (% du COT)	> 70	5 à 30	< 5

AGV* : acides gras volatils.

V. Les normes de rejet du lixiviat en Algérie

Tableau II.2: normes de rejets d'un lixiviat [40].

Paramètres	Normes	Paramètres	Normes
pH	6.5 et 8.5	MES (mg/L)	35
Odeur	/	MVS (%)	/
Température	30	NO ₃ ⁻ (mg/L)	/
Conductivité (ms/cm)	/	PO ₄ -3(mg/L)	/
Turbidité (NTU)	/	Lipides totaux (mg/L)	30
DCO (mg d'O ₂ /L)	120	Pb (mg/L)	0.5
Cu (mg/L)	0,5	Cd (mg/L)	0,5
Zn (mg/L)	3	Hg (mg/L)	0,01
Cr (mg/L)	0,25	Ni (mg/L)	0,5

VI. Les procédés de traitement des lixiviats

VI.1 Les traitements biologiques

Les procédés biologiques sont largement utilisés pour le traitement des lixiviats. On rencontre dans la littérature, différentes technologies biologiques appliquées au traitement des lixiviats : lagunage (Robinson et Grantham, 1988), boue activée, lit bactérien, bio-disque, bioréacteur à membrane (BRM), réacteur biologique séquentiel (SBR) etc. Les procédés biologiques présentent comme principal atout l'efficacité à traiter les polluants organiques biodégradables avec un coût économique rentable. Ils sont aussi efficaces pour le traitement des lixiviats jeunes qui sont caractérisés par un rapport de biodégradabilité (DBO/DCO) élevé. Cependant leur utilisation est limitée pour l'épuration des lixiviats matures qui présentent un grand pourcentage de composés bio-réfractaires [41].

VI.1.1 Lagunage

Le lagunage naturel est souvent défini par plusieurs termes : "oxidation pond", "sewage oxydation pond", "sewage lagoon", "waste stabilization-ponds", "étang de maturation", "étang de stabilisation". C'est un procédé biologique de traitement des eaux usées. Il consiste à laisser l'eau se reposer dans des bassins ouverts peu profonds de 1 à 5 m de profondeur pendant une durée variant de 30 à 60 jours. Il aboutit d'une part à l'abattement de la charge polluante et d'autre part à la stabilisation des boues produites, sous l'action des organismes se développant dans le milieu. Le lagunage naturel repose sur une décantation directe au fond des bassins des matières en suspension, et indirecte des substances solubles introduites ou remises en solution par les sédiments après leur absorption par les microphytes. Ce procédé est proche de l'autoépuration. Il est basé sur un cycle biologique, où les bactéries assurent l'élimination des matières organiques en présence d'O₂ fourni par les algues [42].

VI.1.2 Traitement aérobie

Les traitements biologiques aérobies font appel aux micro-organismes naturellement présents dans le milieu naturel pour dégrader les polluants présents. L'apport d'oxygène peut être naturel (le vent ou système de cascade) dans les petites installations de lagunage ou artificiel (turbine ou diffusion de microbulles) et dans les stations d'épuration de type "boues activées".

Les bactéries peuvent être libres (boue activée, lagunage) ou fixées (lit bactérien, filtres plantés, filtres à sable, bio-filtre) ou même sous forme de biodisques.

Même si les processus aérobies se sont révélés efficaces pour l'élimination des polluants organiques et de l'ammoniac, beaucoup d'inconvénients nous mènent à se concentrer sur d'autres technologies.

Parmi ces inconvénients on cite :

- La demande d'une grande période d'aération.
- La haute demande énergétique et l'excès de la production de boues.
- Une inhibition microbienne due à la haute teneur en azote ammoniacal [43].

VI.1.2.1 Les paramètres influençant les procédés biologiques aérobie

Les principaux facteurs pouvant avoir une influence sur le phénomène de dégradation biologique peuvent être résumés comme suit :

a) Concentration en oxygène dissous

Deux phénomènes sont à l'origine des besoins théoriques en oxygène :

- L'oxydation de la matière organique ;
- La destruction des matériaux cellulaires lors de la phase de respiration endogène.

De nombreux auteurs ont noté une amélioration dans l'épuration biologique avec un accroissement de l'aération. Il a été préconisé, par ailleurs, une concentration en oxygène dissous minimale de 2 mg/L.

b) Température

La température est un facteur important dans les réactions biologiques. La dégradation biologique sera optimale aux températures se situant entre 25 et 35°C. Aux basses températures (< à 10°C), la biodégradation sera limitée. Cependant comme la température des lixiviats se situe entre 14 et 18°C en hiver, et supérieure à 20°C en été, il est possible d'envisager un traitement biologique correct durant toute l'année.

c) pH

L'activité des microorganismes est très sensible au pH. Dans la nature, les bactéries peuvent se croître dans une large plage de pH. Cependant, leurs croissances et leurs activités optimales se situent aux environs d'un pH compris entre 6,5 et 8,5. De plus, des pH trop bas ou trop élevés peuvent être néfastes pour l'oxydation biologique [44].

VI.1.2.2 L'épuration biologique anaérobie

Les traitements anaérobies mettent en œuvre des processus similaires à ceux qui règnent à l'intérieur du massif de déchets et permettent donc d'achever le cycle de dégradation anaérobie des lixiviats. Ils se révèlent particulièrement adaptés à des lixiviats jeunes, caractérisés par de fortes teneurs en matières organiques riches en composés facilement biodégradables tels que des AGV, des alcools, des aldéhydes. Le traitement des lixiviats par procédés biologiques anaérobies a été examiné sur des technologies similaires à celles utilisées en épuration des eaux résiduaires mais également sur des systèmes plus spécifiques [44].

VI.2 Procédés physico chimiques

La majorité des traitements physico-chimiques utilisés pour l'épuration des lixiviats intervient en tant que prétraitement ou étape de finition pour compléter la filière de traitement, ou encore pour éliminer un polluant spécifique.

VI.2.1 Flottation

Pendant de nombreuses années, la flottation a été largement utilisée, elle est basée sur l'élimination des colloïdes, des ions, des macromolécules, des micro-organismes et des fibres. Cependant, jusqu'à ce jour, très peu d'études ont été consacrées à l'application de la flottation pour le traitement des lixiviats. Récemment, on a étudié l'utilisation d'une colonne de flottation comme une étape de post-traitement pour éliminer l'acide humique résiduel (composés non biodégradables) des lixiviats de décharges. Sous les conditions optimales, près de 60% d'acide humique a été éliminé [45].

VI.2.2 Adsorption

Parmi les techniques de traitement passées citées ci-dessus, l'adsorption est la méthode la plus généralement appliquée pour le déplacement des composés organiques récalcitrants du lixiviat de décharge. Fondamentalement, l'adsorption est un procédé de

transfert de masse par lequel une substance est transférée à partir de la phase liquide à la surface d'un solide, et devient limitée par des interactions physiques et/ou chimiques. En raison de ses propriétés physiques inhérentes, grande superficie, structure microporeuse, capacité élevée d'adsorption et réactivité de surface, l'adsorption utilisant le charbon actif granulaire (CAG) ou le charbon actif en poudre (CAP) a suscité une attention considérable pour le déplacement des polluants organiques et inorganiques de l'eau usagée souillée [46].

VI.2.3 Précipitation chimique

Grâce à son efficacité, sa simplicité et les équipements peu coûteux utilisés, la précipitation chimique a été utilisée pour l'élimination des composés organiques bio-récalcitrants, de l'azote ammoniacal et des métaux lourds à partir des lixiviats. Au cours de la précipitation chimique, les ions dissous dans la solution se transforment en composés insolubles par des réactions chimiques. De la même manière, les métaux présents dans la solution précipitent sous forme d'hydroxydes. La struvite (phosphate d'ammonium magnésien (MAP)) ou la chaux sont généralement employées comme précipitant en fonction de la nature de la cible (NH₃-N ou métaux lourds).

Les inconvénients de la précipitation chimique sont : la forte dose de précipitant nécessaire, la sensibilité du processus au pH, la production de boues et la nécessité de poursuivre l'élimination des boues [45].

VI.2.4 Coagulation-Floculation

La Coagulation floculation peut être utilisée avec succès dans le traitement des vieux lixiviats. Elle est largement utilisée comme un prétraitement avant l'osmose inverse ou avant les procédés biologiques ou encore comme la dernière étape de traitement afin d'éliminer la matière organique bio-récalcitrante.

Le sulfate d'aluminium, le sulfate ferreux, le chlorure ferrique et le chlorure de sulfate ferrique ont été couramment utilisés comme coagulants. Cependant, Zouboulis et al. ont montré que les bio-floculants sont plus efficaces que les floculants inorganiques.

Ce procédé présente certains inconvénients comme la production d'une grande quantité de boues et la diminution de la concentration de l'aluminium ou du fer dans la phase liquide.

VI.2.4.1 Définition

Le mot coagulation vient du latin coagulare qui signifie « agglomérer ». La couleur et la turbidité d'une eau de surface sont dues à la présence de particules de très faible diamètre : les colloïdes. Leur élimination ne peut se baser sur la simple décantation. En effet, leur vitesse de sédimentation est extrêmement faible. Le temps nécessaire pour parcourir 1 m en chute libre peut être de plusieurs années.

La coagulation et la floculation sont les processus qui permettent l'élimination des colloïdes. La coagulation consiste à les déstabiliser. Il s'agit de neutraliser leurs charges électrostatiques de répulsion pour permettre leur rencontre. La floculation rend compte de leur agglomération en agrégats éliminés par décantation et/ou filtration.

Les coagulants les plus communément employés se limitent au : sulfate d'aluminium $Al_2(SO_4)_3 \cdot nH_2O$, polychlorure d'aluminium $Al_nOH_mCl_{3n-m}$, chlorure ferrique $FeCl_3$, sulfate de fer $FeSO_4 \cdot nH_2O$ et sulfate ferrique $Fe_2(SO_4)_3$. Dans des cas particuliers, il est fait appel à : l'aluminate de soude $NaAlO_2$, la chaux $CaO, Ca(OH)_2$ pour attaquer la structure des matières à précipiter et favoriser ainsi la création d'un système moins stable susceptible d'être définitivement précipité par les réactifs précédents.

Pour les flocculants on peut les distinguer par leur nature (minérale ou organique), leur origine (synthétique ou naturelle) et le signe de leur charge électrique (anionique, cationique, non ionique) [47].

VI.2.4.2 Les particules mis en jeu

Les matières existantes dans l'eau peuvent se présenter sous les trois états suivants :

- Etat de suspension qui regroupe les plus grosses particules
- Etat colloïdal
- Etat dissous de sels minéraux et de molécules organiques.

Cette classification résulte de la taille des particules. Les colloïdes présentent un diamètre compris entre 1 μm et 1 nm. Ils possèdent deux autres caractéristiques très importantes. Leur rapport surface/volume leur confère des propriétés d'adsorption des ions présents dans l'eau. Ce phénomène explique en partie l'existence de particules électriques à leur surface. Ces charges, souvent négatives, engendrent des forces de

répulsion inter colloïdales. L'origine des colloïdes est très diverse. On peut citer l'érosion des sols, la dissolution des substances minérales, la décomposition des matières organiques, le déversement des eaux résiduaires urbaines et industrielles ainsi que les déchets agricoles.

La figure indique le temps de décantation de différentes particules en fonction de leur dimension

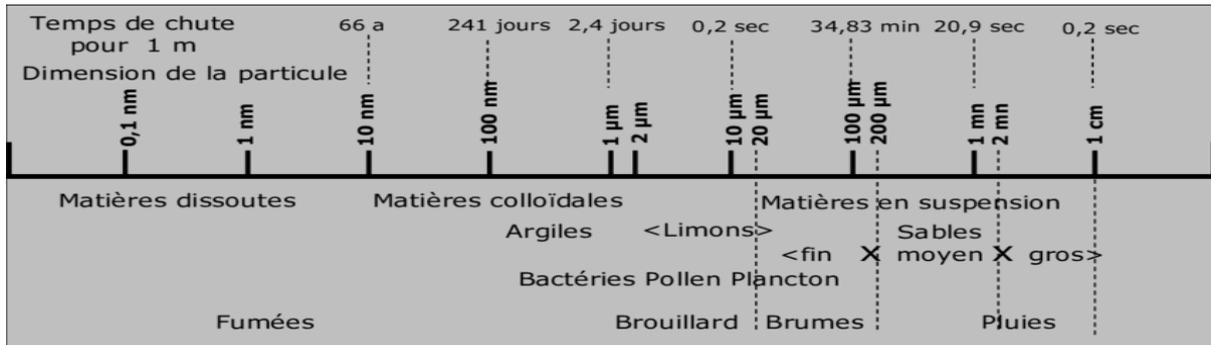


Figure II.1 : Temps de décantation des particules .

On observe qu'à densité égale, les particules plus petites ont une durée de chute plus longue. Cela conduit à l'impossibilité pratique d'utiliser la décantation seule pour éliminer le maximum de particules. Cette remarque est surtout valable pour les colloïdes, c'est-à-dire les particules dont la taille est comprise entre 10^{-6} m et 10^{-9} m.

VI.2.4.3 But de la coagulation-floculation

L'opération de coagulation-floculation a pour but la croissance des particules (qui sont essentiellement colloïdales) par déstabilisation des particules en suspension puis formation de floccs par absorption et agrégation. Les floccs ainsi formés seront décantés et filtrés par la suite.

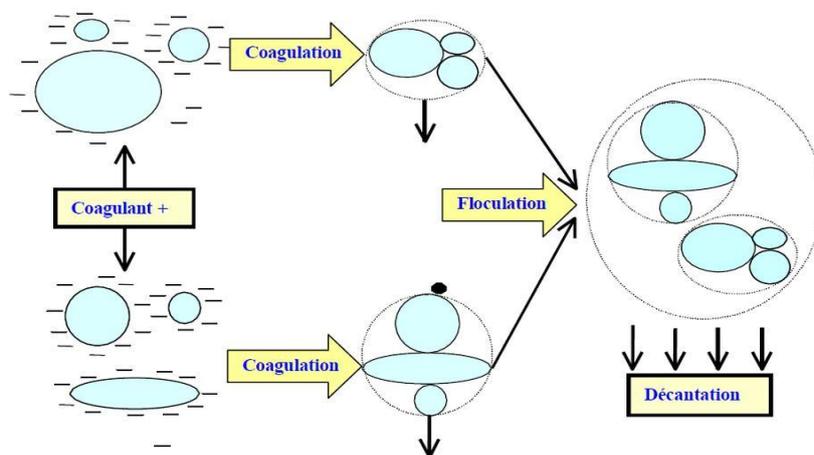


Figure II.2 : Coagulation-Floculation.

Facteurs influençant la coagulation et floculation

Les facteurs qui peuvent influencer la coagulation sont :

- pH : qui doit être compris dans une zone optimale de 4 à 6 pour les sels de fer et entre 5 et 7 pour les sels d'aluminium.
- Température : la diminution de la température augmente la viscosité de l'eau et rend la décantation du floc difficile. Le bris de floc est favorisé et la plage de pH optimale est rétréci.
- Temps de mélange : la coagulation nécessite un mélange vigoureux et de courte durée (maximum 120s) afin de disperser de façon uniforme le coagulant, tandis que la floculation nécessiterait un mélange lent d'une durée moyenne de 5 à 60 min.
- Type de coagulant : le choix du coagulant ainsi que de sa dose se fait à l'aide de jar-tests. Généralement les sels de fer sont utilisés pour traiter les eaux riches en matières organiques.
- Sels dissous : la présence de sels dissous modifiera le temps de floculation, la plage de pH optimal et la dose de coagulant requis [48].

VI.3 Méthodes membranaires

VI.3.1 La nanofiltration

En raison de ses propriétés uniques entre l'ultrafiltration et l'osmose inverse, la nanofiltration a montré ses preuves dans l'élimination des composés organiques récalcitrants et des métaux lourds provenant des lixiviats. Ce procédé a la capacité d'éliminer les particules d'un poids moléculaire supérieur à 300 Da ainsi que les substances inorganiques par le biais des interactions électrostatiques entre les ions et les membranes. La nanofiltration utilise généralement des membranes en polymère moléculaire de coupure entre 200 et 2000Da. Elle a été utilisée en combinaison avec des méthodes physiques et il s'est avéré que les résultats obtenus sont satisfaisants. En effet, le taux d'abattement de la DCO obtenu est de l'ordre de 70-80%.

Toutefois, la réussite de la technologie des membranes nécessite un bon contrôle contre le colmatage. En effet, lors du traitement des lixiviats, les composés présents

dans la matrice comme la matière organique et inorganique dissoute et les particules en suspension peuvent colmater la membrane [49].

VI.3.2 L'osmose inverse

L'osmose inverse semble être l'une des méthodes les plus prometteuses dans le traitement des lixiviats. En effet, plusieurs études effectuées à la fois à l'échelle du laboratoire et à l'échelle industrielle ont montré l'efficacité de ce procédé dans l'élimination des contaminants présents dans les lixiviats. Les taux d'abattement de la DCO et des métaux lourds sont respectivement supérieurs à 98 et 99%. A partir de 1984, les modules tubulaires et spiraux ont été les premiers utilisés pour le traitement des lixiviats. Une technologie innovante a été introduite sur ce marché en 1988 avec un grand succès, c'est le disque-tube-module (DT-module) mis au point par Pall-Exekia.

En dépit de ses avantages, l'osmose inverse présente plusieurs inconvénients qui sont : la faible rétention des petites molécules qui passent à travers la membrane et la possibilité de dépôt de substances dissoutes ou en suspension à la surface externe de la membrane.

Autre limitation de l'osmose inverse est la forte consommation d'énergie. Peters a précisé que le coût de la consommation d'énergie représentait environ 60-80% du coût de traitement [49].

Tableau II.3 : Les caractéristiques, les avantages et les inconvénients des différents procédés de traitement.

Procédés	Caractéristiques	Avantages	Inconvénients
Biologiques	Utilisation de Culture bactérienne	<ul style="list-style-type: none"> • Peu onéreux - • Eliminent NH₃, NH₄⁺, le fer et la matière organique biodégradable 	<ul style="list-style-type: none"> • Production importante de boue. • Inefficaces en présence de polluants toxiques et non biodégradables.

Chapitre II : Les lixiviats et son impact sur l'environnement

Physiques (filtration sur charbon actif, membranaire)	Non dégradatifs	<ul style="list-style-type: none"> • Séparation des polluants particulaire ou dissous 	<ul style="list-style-type: none"> • Coût d'investissement et énergétique élevé • Génération des connantrats
Physico-chimiques	Fixation des polluants par coagulation et séparation des floccs formées	<ul style="list-style-type: none"> • Séparation des polluants en suspension et des particules colloïdales 	<ul style="list-style-type: none"> • Utilisation de produits chimiques • Formation de boues
Chimiques	Utilisation d'un oxydant (Cl ₂ , ClO ₂ , O ₃)	<ul style="list-style-type: none"> • Oxydation chimique des polluants • Peu ou pas de déchets augmentation de la biodégradabilité 	<ul style="list-style-type: none"> • Oxydation partielle (formation d'intermédiaires) • Gestion des oxydants

Chapitre III

L'impact environnement ale et sanitaire de lixiviat.

Chapitre III : L'impact environnementale et sanitaire de lixiviat.

I. Introduction

Les lixiviats représentent une grande part de la pollution liée à une décharge. Contrairement au biogaz, qui aisément dispersé dans l'atmosphère, les lixiviats, de part leur nature liquide, sont une source concentrée de polluants.

Le plus grand risque lié à la production de lixiviats est la contamination de la nappe phréatique. Cela aurait pour conséquence de polluer les puits d'eau de consommation et donc de priver la population d'un élément vital à sa survie. Dans le même ordre d'idée, il est nécessaire de ne pas utiliser les lixiviats comme eau de consommation.

En cas de consommation d'eau polluée par les lixiviats, les risques encourus sont de graves intoxications pouvant entraîner des maladies irréversibles et la mort.

II. Pollution par lixiviat

Suite au dépôt dans une décharge, les déchets sont soumis à des processus de dégradation liés à des réactions biologiques et physico-chimiques complexes.

L'eau s'y infiltre et produit de lixiviat et du biogaz chargés en substances organiques ou minérales qui engendrent une pollution essentiellement de type organique et métallique en relation avec la biodégradation naturelle des déchets confinés et avec leurs composants anthropiques qui libèrent de nombreuses substances toxiques dans le milieu naturel.

Étude bibliographique Thèse de doctorat 18 Sur les sites de décharges on rencontre essentiellement trois types de pollution : pollution par les matières organiques et/ou minérales, pollution par les métaux lourds et pollution par les microorganismes [50].

II.1 Pollution par les matières organiques et minérales

La composition de lixiviat est une photographie de l'état des déchets à un certain moment de leur dégradation, Christensen et al. en étudiant plusieurs sites, ont défini les fourchettes de fluctuations de la composition physico-chimique de lixiviat d'ordures ménagères. La fraction minérale de lixiviat est essentiellement constituée de chlorures, sulfates, bicarbonates, potassium, sodium et ammonium. La partie organique est liée à l'âge des déchets. La matière organique peut se retrouver dans les eaux de surface et souterraines quand les conditions minimales d'enfouissement de déchets ne sont pas respectées. Cependant, même si

dans certaines décharges on assiste à la mise en place des géomembranes, la durée de vie de ces matériaux est mal connue vu qu'ils sont soumis à l'agressivité chimique de lixiviat. Une éventuelle fuite dans ces membranes peut occasionner la contamination de la nappe [51].

II.2 Pollution par les métaux lourds

La migration des métaux lourds dans les sols (à partir de décharge des déchets suite à lixiviation) et leur infiltration vers les eaux souterraines et ruissellement pluvial vers les eaux de surfaces met en jeu un grand nombre de phénomènes : solubilisation à pH acide, complexations par la matière organique de type humique, précipitation à pH basique, rétention des matières en suspension sur des particules de sol, adsorption des ions ou des molécules à la surface des grains de matrice poreuse, phénomène d'échange d'ions [52].

II.3 Pollution par les microorganismes

L'effectif bactérien dans le lixiviat brut oscille entre $0,04 \times 10^6$ et $0,34 \times 10^6$ bactéries mL⁻¹ et la biomasse bactérienne varie entre 8,78 et 77,51 $\mu\text{g C L}^{-1}$. Plusieurs maladies hydriques sont causées par la consommation des eaux contaminées par les lixiviat qui contiennent des microorganismes pathogènes. Durant la dernière décennie, les problèmes relatifs à l'eau sont devenus de plus en plus vastes, avec l'émergence de nouvelles maladies infectieuses et la réémergence d'autres qui sont déjà connues, (salmonelle, choléra, shigellose) [50].

III. Impact des lixiviats sur l'environnement

La décharge, doit être considérée comme un milieu en perpétuelle évolution, siège de réactions physico-chimiques et biologiques. Les conséquences directes de ces réactions sont la libération de gaz et la formation de lixiviats. Ces phénomènes sont à l'origine de deux types de pollution :

- La pollution de l'air ou pollution atmosphérique ;
- La pollution hydrique (eaux superficielles, eaux souterraines).

III.1 Pollution atmosphérique

III.1.1 Odeurs nauséabondes

La fermentation entraîne la production en faible quantité de gaz malodorants, tels que l'hydrogène sulfuré (H₂S), les mercaptans, les vinyles et les amines organiques. Ces gaz,

généralement beaucoup plus denses que l'air, sont véhiculés hors de la décharge par le méthane, gaz plus léger, et peuvent être transportés sur de longues distances [53].

III.1.2 Explosions

Des risques d'explosion existent essentiellement à la surface du dépôt car le mélange air méthane peut s'avérer dangereux quand l'hydrocarbure atteint des proportions de l'ordre de 5 à 15%. Cependant, ce biogaz peut représenter une source d'énergie du fait qu'il est composé, en partie, de méthane dont le P.C.I est de 35.83 MJ.m⁻³. A 60% en méthane, il présente un P.C.I de 21468 kJ. m⁻³, d'où l'intérêt de son captage et de sa valorisation [54].

III.1.3 Effet sur la végétation

Il arrive que le mélange gazeux s'exhale à la périphérie de la décharge. Dans ce cas, il entraîne une altération de la végétation existante dans la zone avoisinante. Le même mélange gazeux peut, également, nuire au reverdissement d'une décharge après exploitation (par asphyxie des racines) [55].

III.2 La pollution hydrique

Des missions et des enquêtes de terrains sur les nuisances engendrées par les lixiviats des décharges d'ordures ménagères, ainsi que des études de caractérisations des échantillons de sol et des eaux aussi bien superficielles que souterraines montrent que ces lixiviats induisent une contamination potentielle de ces derniers.

III.2.1 Impact du lixiviat sur la qualité des eaux souterraines

Devant une telle situation une pollution massive des eaux est très fréquente en raison des percolations des eaux de lixiviat à forte charge polluante à travers le sol, cette charge polluante est de trois types à savoir : la matière organique et/ou minérale, les métaux lourds et les microorganismes. Le tableau III.1 présente quelques études d'impact des lixiviats sur la qualité des eaux souterraines.

Tableau III.1: Impact des lixiviats sur la qualité des eaux souterraines.

Le site d'étude L'eau	Analysée Type de	Contaminant	Références
La décharge de TANGER, Maroc	Eaux des puits et des oueds, Eaux souterraines	Métaux et hydrocarbures	SBAI et al, 2005

La décharge publique D'EL JADIDA, Maroc	Eaux souterraines de la nappe phréatique	Teneurs élevées en chlorures, sulfate et sodium.	KHOULAID et al, 2005
La décharge publique de HEVIE,	Eaux souterraines et de surface, eau de forage de (25 à 50 m de profondeur)	DCO et matières non biodégradables assez élevés. Métaux lourds toxiques le plomb, le cadmium et le Bénéin zinc	KEHILA et al, 2007
La décharge publique de TIARET, Algérie MEKAIKIA	Eaux souterraines (puits de 9 à 45 m de profondeur et d'éloignement de 100 à 1200 m de la décharge)	Nitrate, ammonium, DCO Métaux toxiques : le chrome, le zinc et le plomb, Les germes pathogènes (Coliformes totaux, Coliformes fécaux (colibacille), et les Streptocoques fécaux)	MOKHTARIA et al., 2007
La décharge publique d'ANNABA, Algérie	Eaux souterraines de la nappe phréatique	DBO5 Métaux lourds toxiques le plomb, le Chrome et Le Cuivre	DJORFI et al, 2005

Les études ont montré que les lixiviats s'écoulent et s'infiltrent par les fissures en fonction de la perméabilité, la porosité et le type de sol, causant ainsi une pollution en profondeur des eaux souterraines.

Les eaux contaminées par des lixiviats contenant des microorganismes pathogènes, sont impropres à la consommation et présentent le siège de maladies hydriques, parmi les plus connues la salmonelle, le choléra et la shigellose.

III.2.2 Impact du lixiviat sur la qualité des eaux de surface

La pollution des eaux de surface est l'introduction dans le milieu aquatique de toute substance susceptible de modifier les caractéristiques physiques, chimiques et/ou biologiques. Cette pollution peut engendrer des risques sur la santé de l'homme, détruire la biodiversité aquatique, porter atteinte à l'agrément des sites ou de gêner toute autre utilisation rationnelle des eaux.

Les lixiviats générés par les ordures ménagères, très chargés en substances toxiques

Peuvent être à l'origine d'importantes phases de dysfonctionnement des eaux de surface. En effet, le rejet des lixiviats non-traités dans le réseau hydrographique entraîne une détérioration des qualités physiques et chimiques avec pour conséquence la destruction de la biodiversité, la contamination de la chaîne alimentaire et enfin l'eutrophisation du plan d'eau (figure 1) [56].

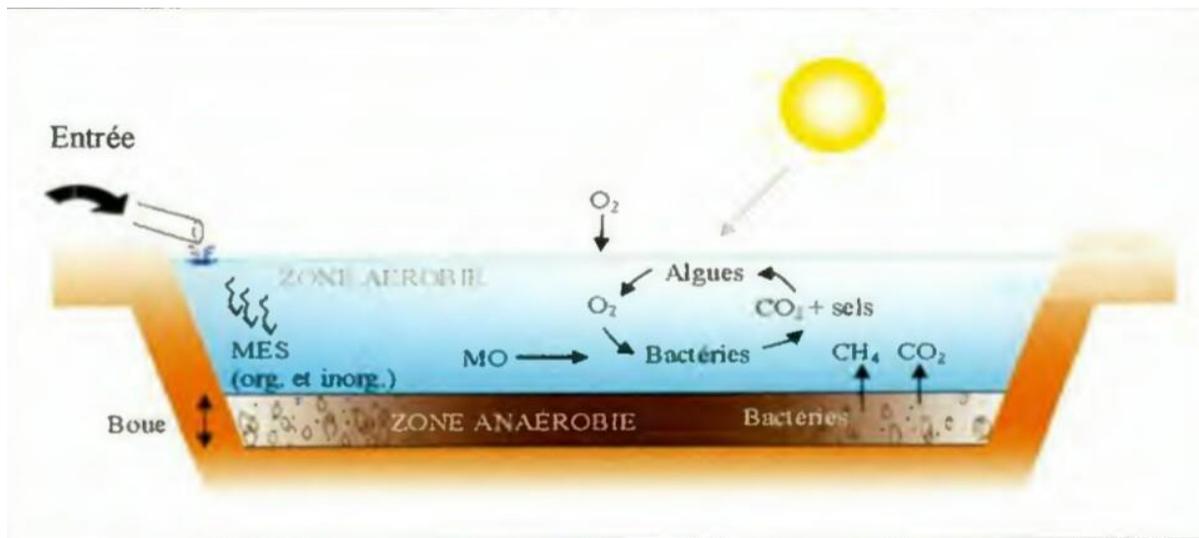


Figure III.1 : Impacts des lixiviats dans les eaux de surface [57].

IV. Effets du lixiviat sur la santé

Les effets du lixiviat découlent d'une contamination potentielle de la nappe phréatique, ou des eaux de surface, à la suite d'une migration latérale ; trois classes de contaminants représentent un risque :

IV.1 Les contaminants inorganiques

Qui sont essentiellement des métaux toxiques n'ayant aucun rôle physiologique : l'arsenic, le cadmium, le plomb et le mercure, ordinairement trouvés dans le lixiviat, représentent le plus grand risque. Le quatrième métal, le mercure inorganique, peut être transformé en une forme organique très toxique, notamment le méthyl mercure, qui s'accumule d'abord en érythrocytes et ensuite se répand au foie, aux reins et au cerveau.

Les effets possibles de ces métaux sur la santé sont présentés au tableau III.2

Tableau III.2 : Effets possibles des métaux sur la santé à la suite d'une exposition chronique [58].

Métaux lourds	Effets toxiques possibles à la suite d'une exposition chronique
Cadmium	<ul style="list-style-type: none"> • Absorbé par les voies respiratoires et les voies digestives ; • Dommages aux reins, jaunissement des dents, fatigue, souffle court, sécheresse de la bouche et de la gorge, troubles olfactifs, emphysème, ostéomalacie, hypertension artérielle possible ; • Cancer du poumon et de la prostate
Arsenic	<ul style="list-style-type: none"> • Absorbé par les voies respiratoires et les voies digestives ; • Lésions cutanées (hyperpigmentation, verrues, hyperkératose des paumes de mains et des plantes de pieds). Neuropathies périphériques, atteintes cardiovasculaires et vasculaires périphériques (gangrène), incidence de diabète plus élevée ; • Cancer de la peau, du poumon, de la vessie, du foie et des reins à la suite de l'ingestion d'eau contenant de l'arsenic
Plomb	<ul style="list-style-type: none"> • Principalement absorbé par les voies respiratoires et les voies digestives ; la peau est une voie d'absorption négligeable par rapport aux autres • Trouble digestif, douleurs articulaires et musculaires aux extrémités, effets sur le système sanguin (anémie), effets sur le système nerveux (ex. : irritabilité) Insuffisance rénale chronique,

	<p>augmentation de la pression artérielle, affaiblissement de la fonction immunitaire ;</p> <ul style="list-style-type: none"> • Cancérogénicité
Mercure	<ul style="list-style-type: none"> • Ce produit est absorbé par les voies respiratoires, la peau et faiblement par les voies digestives. Élémentaire • Atteinte du système nerveux central (tremblement, modification du comportement) atteinte du système nerveux périphérique (sensitifs dans les mains et les pieds, une réduction du champ visuel et une réduction de la vitesse de conduction des nerfs périphériques), atteinte rénale rare, coloration brunâtre du cristallin ; • Cancérogénicité

IV.2 Les polluants organiques

Les composés organiques qui sont très nombreux, certains étant plus fréquents ou en plus grandes concentrations ; Le tableau III.3 qui comprend la liste des principaux composés organiques retrouvés dans le lixiviat, présente les effets toxiques et donne les concentrations acceptables dans l'eau potable (selon les recommandations de Santé Canada pour la qualité de l'eau potable) [59].

Tableau III.3 : Composés organiques du lixiviat émanant de centres d'enfouissement technique, leurs effets toxiques [58].

Composés	Effets toxiques
Benzène	Anémie, foetotoxique, cancérigène
Chlorure de vinyle	Diminution de la fertilité

Dichlorométhane	Neurotoxique
Tétrachloroéthylène	Oedème pulmonaire, dépression du système nerveux central, problèmes hépatiques
Tétrachlorure de carbone	Dépression du système nerveux central, hépatotoxique, néphrotoxique, cancérigène
Toluène	Néphrotoxique, neurotoxique, hépatotoxique, arythmies, diminution des fonctions respiratoires, foetotoxique
Trichloroéthane	Dépression du système nerveux central, hépatotoxique, néphrotoxique
Xylènes	Neurotoxique, irritation mucocutanée, tératogène chez les animaux

*Conclusion
générale*

L'enfouissement des déchets solides urbains en demeure une filière d'élimination très économique dans la gestion globale des déchets, mais il n'a pas été jusque-là pratiqué en appréhendant tous les problèmes qu'il pouvait engendrer, tel que les biogaz et le lixiviat. Ce dernier est un effluent très concentré en éléments polluants qui est généré à raison des volumes considérables. Le contexte économique rend inadaptés des procédés de traitement dont les coûts d'investissement et de fonctionnement restent assez élevés.

Les lixiviats sont sources de pollution des eaux de surface. Cette pollution dépend de plusieurs paramètres tels que la composition physico-chimiques et biologique des lixiviats. Celle-ci dépend de la nature, de la composition et du mode de mise en décharge des ordures ménagères. Ces lixiviats issus de décharges d'ordures ménagères ont un impact néfaste sur l'environnement et la santé humaine.

Des missions et des enquêtes de terrains sur les nuisances engendrées par les lixiviats des décharges d'ordures ménagères, ainsi que des études de caractérisations des échantillons de sol et des eaux aussi bien superficielles que souterraines montrent que ces lixiviats induisent une contamination potentielle de ces derniers. Comment éviter la contamination des eaux, des sols et assurer une gestion efficace des décharges et leurs produits (lixiviat et biogaz) ? est une question d'actualité pour les pays en développement car la quasi-totalité des implantations de décharges publiques dans ces pays se font sans tenir compte de leurs impacts sur le milieu naturel notamment dans l'atmosphère, les eaux souterraines et les cours d'eau.

Toutefois, pour préserver l'environnement et la santé des populations, il convient de procéder au traitement du lixiviat avant son rejet dans le milieu naturel.

Références bibliographiques

1. Céline BERTHE, Thèse de doctorat, Etude de la Matière Organique contenue dans des lixiviats issus de différentes filières de traitement des déchets ménagers et assimilés. UNIVERSITE DE LIMOGES Ecole doctorale Science – Technique – Santé Faculté des Sciences et Techniques, (2006).
2. Hicham KHATTABI, Thèse de doctorat, Intérêts de l'étude des paramètres hydrogéologiques et hydrobiologiques pour la compréhension du fonctionnement de la station de traitement des lixiviats de la décharge d'ordures ménagères d'Etueffont (Belfort, France. A L'Institut des Sciences de l'Environnement Spécialité : Sciences de l'eau et de l'environnement, (2002).
3. Code de l'environnement, art. L 541-1-1. Donne la définition du déchet : « toute substance ou tout objet, ou plus généralement tout bien meuble, dont le détenteur se défait ou dont il a l'intention ou l'obligation de se défaire »..
4. ABDERREZAK S. (2000). Gestion des déchets solides en Algérie. Séminaire sur la gestion intégrée des déchets solide, Alger. Pp31-34.Selon leur nature
5. Article R541-8 - Code de l'environnement 2008
6. Gérard Bertolini Économiste, directeur de recherche ou CNRS, Université de Lyon i qu'est-ce qu'un dechet? Le droit européen rejette l'acception économique 1998
7. A.D.E.M.E., 2003-Guide des déchets en Auvergne, Ed. Délégation régionale, Clermont-Ferrand, 95p.
8. Code de l'Environnement – article R122-20 et article R.122-17 du code de l'environnement, modifié par le décret n°2016-1110 du 11 août 2016.
9. Article L.541-1-1 du Code de l'environnement 1975
10. Brahim Djemaci. La gestion des déchets municipaux en Algérie : Analyse prospective et éléments d'efficacité. Sciences de l'environnement. Université de Rouen, 2012.
11. Décret n° 2002-540 du 18/04/02 relatif à la classification des déchets
12. B. Savary, R. Vincent, C. Rodriguez, A. Chollot. Caractérisation des risques chimiques et biologiques professionnels de la filière de gestion des déchets : analyse a priori des risques potentiels.Notes scientifiques et techniques de l'INRS NS 240, Institut National de Recherche et de Sécurité (INRS). 2004, 119 p

13. R. GOURDON - LAEPSI (INSA de LYON) aide a la definition des dechets dits biodegradables, fermentescibles, methanisables, compostables rapport final février 2002
14. Florence CHARNAY Thèse pour obtenir le grade de docteur de l'universite de LIMOGES Discipline : Chimie et Microbiologie de l'Eau présentée et soutenue par Compostage des déchets urbains dans les Pays en Développement : élaboration d'une démarche méthodologique pour une production pérenne de compost le 28 octobre 2005
15. Nignkam ..Deux proposition pour une gestion optimisée des ordures ménagères dans la ville de yaoundé : le compostage et la station de transit . mémoire d'ingénieur a l'ENSP yaoundé 1992
16. Guermoud N, et ali, "Municipal solid waste in Mostaganem city (western Algeria)" February 2009
17. FRANCOIS "Détermination d'indicateurs d'accélération et de stabilisation de déchets ménagers enfouis. Etude de l'impact de la recirculation de lixiviats sur colonnes de déchets". Laboratoire des Sciences de l'Eau et de l'Environnement. Limoges, France, Faculté des Sciences et Techniques : 185. (2004)
18. A.D.E.M.E- Les installations de traitement des ordures ménagères, 2006
19. A.D.E.M.E., L'incinération des déchets ménagers et assimilés fiche LES AVIS DE L'ADEME 2012.
20. R.V. Misra Consultant FAO R.N. Roy Division de la mise en valeur des terres et des eaux FAO, Rome H. Hiraoka Bureau régional pour l'Asie et le Pacifique FAO, Bangkok Méthodes de compostage au niveau de l'exploitation agricole, documents de travail sur les terres et les eaux organisation des nations unies pour l'alimentation et l'agriculture Rome, 2005
21. Marie-Annie Blackburn Lefebvre le compostage communautaire, est-ce une alternative avantageuse pour la ville de gatineau? centre universitaire de formation en environnement université de sherbrooke gatineau, Québec, Canada, avril 2010
22. Dr Ir. Gustave D. DAGBENONBAKIN Dr Ir. André Jonas DJENONTIN Fiche technique Production et Utilisation de Compost et Gestion des Résidus de Récolte Dépôt légal N°6529 du 18/01/2013, Bibliothèque Nationale (BN) du Bénin 1er trimestre 2013.
23. RECORD, Traitement des déchets organiques – Etat de l'art. Traitements thermiques. Méthanisation, 270 p, n°01-0221//0408/1A. 2003

24. Marie Rose Bangoura. Gestion des déchets solides ménagers et ségrégation socio-spatiale dans la ville de Conakry. Géographie. Université Toulouse le Mirail - Toulouse II, 2017.
25. Ministère de l'environnement algérienne 2008.
26. THE WORLD BANK 2004
27. BLIEFERT ; PERRAUD, 2009. Chimie de l'environnement : air, eau, sols, déchets. 2^{ème} édition de Boeck. ISBN : 978-2-8041-5945-0..
28. Martin Pépin Aina 2006 : Expertises des centres d'enfouissement technique de déchets urbains dans les PED
29. Loi n° 28-00 relative à la gestion des déchets et à leur élimination) article 48
30. Arrêté du 30 décembre 2002 relatif au stockage de déchets dangereux
31. Arrêté du 9 septembre 1997 relatif aux installations de stockage de déchets non dangereux
32. BILLARD, H centres de stockage des déchets. Impacts et prospective. - [s.l.] : Techniques de l'Ingénieur G 2 100
33. Ghizlene CHIHAOUI, (2017), Les centres d'enfouissement technique pour la protection de l'environnement en Algérie Revue de droit public algérien et comparé (06/2017).
34. BILLARD Hervé centres de stockage des déchets impact et prospective G 2 100 [Ouvrage]. - [s.l.] : techniques de l'ingénieur. - p. 7. Impact CET
35. Pronost R., Matejka G., Les lixiviats de décharges d'ordures ménagères. Production, caractérisation, traitement, Environnement & Technique. 196 25-29(2000).
36. Kulikowska D, Klimiuk E, te effect of landfill age on minicipal leachate coposition, Bioresource . Technol.99 (2008) 5981-5985 Directive Européenne sur les décharges, adoptée le 27 avril 1999/ Art 2
37. LAGIER T. Etude des macromolécules de lixiviat : caractérisation et comportement vis-à-vis des métaux. Thèse de doctorat, Université de Limoges. (2000).
38. HEYER K.-U., HUPE K., RITZKOWSKI M. & STEGMANN R. Pollutant release and pollutant reduction – impact of the aeration of landfills. Waste Management, 25(4), 353- 359. (2005)
39. Dunod; L'Analyse de l'eau : Eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer (Relié) ;8e édition (15 septembre 2005)

40. BELKACEMI. M., 1993. Contribution à l'étude des interactions dans le système déchetssol-eau (cas de la décharge d'Oued-Smar), Thèse de magister, E.N.P. (1993).
41. Oumar Dia Thèse présentée pour l'obtention du grade de Philosophiae doctor (Ph.D.) en sciences de l'eau. Combinaison des procédés de biofiltration et d'électrocoagulation pour le traitement des lixiviats des sites d'enfouissement sanitaires. Université du Québec Institut National de la Recherche Scientifique Centre Eau Terre Environnement 20017.
42. MEJBRI R. Thèse de doctorat, Fractionnement et caractérisation de la matière organique dissoute dans les lixiviats de décharges d'ordures ménagères : Effets du traitement par lagunage aéré. Université de Limoges. (1997).
43. Mehmood M.K., Adetutu E., Nedwell D.B., Ball A.S., In situ microbial treatment of landfill leachate using aerated lagoons, *Bioresource. Technol.* 100 (2009) 2741-2744.
44. . Renou, S. Poulain, P. Moulin et J. Gagnaire, l'eau, l'industrie, les nuisances N°311 pp 5- 7
45. SOUHAILA TRABELSI, Thèse de doctorat, Études de traitement des lixiviats des déchets urbains par les Procédés d'Oxydation Avancée photochimiques et électrochimiques. Application aux lixiviats de la décharge tunisienne 'Jebel Chakir. Université Paris-Est, (2011).
46. MEMENTO, (1989), technique de l'eau, tome 1(1989), Dégrèvement.
47. Hernandez de Leon, Thèse de doctorat, Supervision et diagnostic des procédés de production d'eau potable Hector Ricardo l'Institut National des Sciences Appliquées de Toulouse (2006).
48. Prévost, M. Traitements physico-chimiques. Notes du cours CIV8210. École Polytechnique de Montréal. (2010)
49. MEJBRI R. Thèse de doctorat, Fractionnement et caractérisation de la matière organique dissoute dans les lixiviats de décharges d'ordures ménagères : Effets du traitement par lagunage aéré. Université de Limoges. (1997).
50. Y. Kehila, M. Aina, F. Mezouari, G. Matejka, D. Mamma, Quelles perspectives pour l'enfouissement technique et le stockage éco-compatible des résidus solides dans les ped vis-à-vis des impacts sur l'hydrosphère urbaine ? Actes des JSIRAUF, Hanoi, 6-9 novembre 2007.

51. T.H. Christensen, P. Kjeldsen, P.L. Bjerg., D.L. Jensen, Christensen J.B, A. Baun, H.G. Albrechtsen , G. Heron, Biogeochemistry of landfill leachate plumes. *Appl. Geochem.* 16 (2001) 659-718.
52. Étude des macromolécules de lixiviat : Caractérisation et comportement vis-à-vis des métaux. Thèse de Doctorat. Université de Limoges. France (2000).
53. Gaïd, A. (1994). Epuration biologique des eaux usées urbains. Tome I. Alger.
54. Bennajah, M. (2007). Traitement des rejets industriels liquides par électrocoagulation, électro flottation en réacteur air lift. Thèse de Doctorat. Institut national polytechnique de Toulouse.
55. Daneshavar, N., Khataee, AR., Djafarzadeh , N. (2006). The use of artificial neural networks (ANN) for modeling of decolorization of textile dye solution containing C.I. basic yellow 28 by electrocoagulation process, *J. Hazard. Mater.* B137;1788-1795.
56. Biyada S., 2015. Traitement des lixiviats de la décharge publique contrôlée de la ville Fès par voies biologique et physique. Mémoire de Master en Sciences et Techniques : Biotechnologie microbienne, Université Sidi Mohammed Ben Abdellah, Fès, Maroc, 65 p.
57. Grisey E., 2013. Impact de l'évolution des déchets d'une installation de stockage de déchets non dangereux sur l'environnement-Site d'étude: l'ISDND d'Etueffont (Territoire de Belfort-France). Thèse de Doctorat, Université de Franche-Comté, Besançon, France, 214 p.
58. Commission de la santé et de la sécurité du travail (CSST, 2010), International Agency for Research on Cancer (IARC, 2010).
59. S.-M. Kim, S.U. Geissen and A. Vogelpohl (1997) Landfill leachate treatment by a photoassisted Fenton reaction. *Water Sci. Technol.* 35, pp. 239 - 248.

Résumé

L'un des soucis majeurs demeure la gestion des déchets solides et leurs sous-produits, notamment les lixiviats et le biogaz. Les lixiviats de décharge ont été identifiés en tant que sources potentielles de contamination de l'environnement causant la pollution de diverses sources. Afin d'atteindre l'objectif de sensibiliser sur l'effet négatif des centres d'enfouissement technique et spécialement l'impact de lixiviat de ce type de décharge nous avons préparé un travail théorique qui présente des notions sur les déchets, les décharges (CET) et les lixiviats et son impact sur l'environnement et la santé humaine.

Mots clés : déchets, CET, lixiviat, pollution, impact sur l'environnement, impact sur la santé humaine, traitement.

Abstract

One of the major concerns remains the management of solid waste and its by-products, particularly leachate and biogas. Landfill leachate has been identified as a potential source of environmental contamination causing pollution from various sources. In order to achieve the objective of raising awareness about the negative effect of technical landfill sites and especially the impact of leachate from this type of landfill, we have prepared a theoretical work which presents concepts on waste, landfills and leachate and its impact on the environment and human health.

Keywords: waste, leachate, pollution, environmental impact, human health impact, treatment.

الملخص

لا تزال إدارة النفايات الصلبة ومنتجاتها الثانوية، وخاصة العصارة والغاز الحيوي، من أهم الاهتمامات. تم تحديد العصارة المظمورة كمصدر محتمل للتلوث البيئي الذي يسبب التلوث من مصادر مختلفة. من أجل تحقيق الهدف المتمثل في رفع مستوى الوعي حول التأثير السلبي لمواقع المكبات الفنية وخاصة تأثير المادة المترشحة من هذا النوع من المكبات، قمنا والمادة المترشحة وأثرها. على البيئة وصحة الإنسان بإعداد عمل نظري يعرض مفاهيم حول النفايات ودفن النفايات

الكلمات المفتاحية: النفايات، العصارة، التلوث، الأثر البيئي، التأثير على صحة الإنسان، المعالجة.