



Faculté de Technologie
Département d'Hydraulique
Laboratoire de Traitement des eaux

MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDES

Présenté par :

Mr. AZAZ SOUFIANE

En vue de l'obtention du diplôme de **MASTER en Hydraulique**

Option : **Hydraulique Urbaine**

INTITULE :

**Traitement des lixiviats
Etude de cas : Centre d'enfouissement
technique de Hamici, Alger**

Soutenu le **18/10 /2020** devant le jury composé de :

- Président : Mr. MERAH . F
- Promoteur (s) : Mr. KADJI . B
- Examineur (s) : Mr. SAOU . H

Remerciement

Je remercie le bon Dieu qui m'a donné la volonté et la force pour achever ce modeste travail.

Je tiens aussi à exprimer ma profonde gratitude à mon encadreur Mr Kadji Belaid pour son aide, ses conseils et ses encouragements.

Je tiens aussi à remercier le chef de département de l'hydraulique ainsi tout le staff administratif et des enseignants du département pour leur aides et pour leur accueil chaleureux durant l'année universitaire Master 2 en cours.

Je profite l'occasion pour remercier Mr Ammari Abdelhadi et Mr Zaibak Issam, anciens collègues et enseignants de l'ENSH Blida pour leurs aides, conseils et orientations.

Aussi, je tiens à remercier mon Directeur Mr Smail Malek de m'avoir autorisé et faciliter la tâche pour suivre cette formation de Master 2.

Mes respects aux membres de jury qui feront l'honneur d'examiner mon travail.

SOUFIANE AZAZ

Dédicace

Je dédie ce travail à mes chers parents et à mon épouse qui m'ont soutenu durant toute la période de cette formation.

A mes sœurs et mon frère,

A toute la famille AZAZ,

et à toute la famille BOUKAIS,

A tous mes amis sans exception et en particulier à : Aissani Mounir et Bennamane Mohamed Aïssam.

SOUFIANE AZAZ

Sommaire

Remerciement

Dédicace

Résumé

Sommaire

Liste des abréviations

Liste des figures

Liste des tableaux

INTRODUCTION GENERALE 1

PARTIE 1 : SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

Chapitre I : Généralités sur les déchets ménagers et assimilés

I-1. Introduction	3
I-2. Notion de déchets ménagers et assimilés	3
I-2-1. Définition	3
I-2-2. Classification des déchets	3
I-3. Les ordures ménagères et assimilées	5
I-3-1. Les ordures ménagères	5
I-3-2. Déchets assimilés aux ordures ménagères	6
I-4. Production et évolution des ordures ménagères	6
I-4-1. Quantité de déchets ménagers générées et leur variabilité	7
I-4-2. Mesure de la production d'ordures ménagères	7
I-4-3. Exemples de production d'ordures ménagères	7
I-5. Caractéristiques des déchets ménagers	8
I-5-1. Densité	8
I-5-2. Teneur en eau ou degré d'humidité	8
I-5-3. Rapport Carbone / Azote	8
I-5-4. Le pouvoir calorifique	8
I-6. Catégories et composition des déchets ménagers	9
I-6-1. Catégories des déchets ménagers	9
I-6-2. Composition des déchets ménagers et assimilés	9
I-7. Facteurs influençant sur la dégradation des déchets ménagers et assimilés	10
I-8. Gestion des déchets ménagers en Algérie	11
I-8-1. Collecte des déchets	11
I-8-2. Le tri des déchets	12
I-8-3. Le transport des déchets	13
I-8-4. L'élimination des déchets	13
I-9. Méthodes de traitements des déchets	14
I-9-1. La mise en décharge	14
I-9-2. Les incinérations des déchets	14
I-9-3. Les installations de compostage	14
I-9-4. Le recyclage	15
I-9-5. La valorisation des déchets ménagers	15
I-10. Impact des déchets ménagers sur l'environnement et la santé humaine	16

I-11. Conclusion	17
Chapitre II : Enfouissement technique des déchets ménagers et assimilés	
II-1. Introduction	18
II-2. Dépotoirs et décharges sauvages	18
II-2-1. Décharge sauvage	18
II-2-2. Décharge contrôlée	18
II-2-2-A. Décharge traditionnelle (classique)	19
II-2-2-B. Décharge contrôlée de type compact	19
II-2-2-C. Décharge des déchets broyés	19
II-2-2-D. Décharge des déchets mise en balles ou en cubes	19
II-2-3. L'enfouissement technique	19
II-3. Classification des centres d'enfouissement techniques	20
II-3-1. CET de classe I	20
II-3-2. CET de classe II	20
II-3-3. CET de classe III	20
II-4. Fonctionnement des installation de stockage des déchets ISD	21
II-5. Evolution des déchets dans une décharge d'ordures ménagères	22
II-6. Configuration d'un site de stockage de déchets ménagers et assimilés	23
II-7. Matériaux d'étanchéité utilisés pour le confinement des CET	24
II-8. Système de drainage du biogaz	26
II-8-1. Systèmes à puits verticaux	26
II-8-2. Systèmes à drains horizontaux	27
II-9. Captage du biogaz	27
II-10. Exploitation du site	27
II-10-1. Critères et procédures d'admission des déchets	28
II-10-2. Description de l'enfouissement	28
II-11. Conclusion	29
Chapitre III : Pollution générée par les déchets ménagers et assimilés	
III-1. Introduction	30
III-2. Formation et composition des lixiviats	30
III-2-1. Formation et composition des lixiviats	30
III-2-2. Composition des lixiviats	30
III-3. Type de lixiviats des décharges	31
III-3-1. Lixiviat Jeune	31
III-3-2. Lixiviat Intermédiaire	31
III-3-3. Lixiviat Stabilisé	31
III-4. Caractérisation des lixiviats	32
III-5. Production du lixiviat	33
III-5-1. Mécanismes physico-chimiques	33
III-5-2. Mécanismes biologiques	33
III-6. Quantification des lixiviats	35
III-7. Formation et composition du biogaz	36
III-7-1. Formation du biogaz	36

III-7-2. Composition des Biogaz	37
III-8. Dangers et risques liés aux lixiviats et aux biogaz	38
III-8-1. Dangers et risques liés aux lixiviats	38
III-8-2. Dangers et risques liés aux biogaz	39
III-9. Gestion des lixiviats	40
III-10. Conclusion	42

Chapitre IV : Traitement des lixiviats et valorisation du biogaz

IV-1. Introduction	43
IV-2. Normes de rejets de lixiviats	43
IV-3. Traitement externe du lixiviat	43
IV-4. Traitement biologique	44
IV-4-1. Le lagunage aéré	44
IV-4-2. Les boues activées	44
IV-5. Traitement physico-chimique	45
IV-5-1. Coagulation et Flocculation	45
IV-5-2. Adsorption sur charbon actif	45
IV-6. Traitement électrochimique	46
IV-7. Techniques membranaires	46
IV-7-1. Microfiltration (MF)	47
IV-7-2. Ultrafiltration (UF)	47
IV-7-3. Nanofiltration (NF)	47
IV-7-4. L'Osмосe Inverse (OI)	47
IV-8. Le bioréacteur à membranes (BRM)	48
IV-9. Techniques d'épuration des biogaz	50
IV-9-1. Réduction de la teneur en eau	50
IV-9-2. Réduction de la teneur en sulfure d'hydrogène	50
IV-9-3. Réduction de la teneur d'oxygène	51
IV-9-4. Réduction du dioxyde du carbone	51
IV-10. Valorisation des biogaz	51
IV-10-1. Valorisation thermique des biogaz	51
IV-10-2. Valorisation électrique des biogaz	52
IV-10-3. Cogénération	52
IV-10-4. Injection de biogaz dans le réseau de gaz naturel	52
IV-10-5. Production de carburant	53
IV-11. Conclusion	53

PARTIE 2 : ETUDE DE CAS (CET DE HAMICI)

Chapitre V : Présentation de la zone d'étude

V-1. Introduction	54
V-2. Situation géographique	55
V-3. Situation démographique	55
V-4. Relief	56
V-5. Situation géologique	56
V-6. Analyse des facteurs climatiques	57

V-6-1. Température	57
V-6-2. Les vents	58
V-6-3. Les précipitations	58
V-7. Evolution de la quantité des DMA à l'horizon 2030	59
V-8. Caractéristiques des DMA reçus par le CET de Hamici	60
V-9. Description du CET de Hamici	62
V-9-1. Organisation de l'établissement de gestion des déchets GECETAL	63
V-9-2. Installation du CET classe II de Hamici	64
V-10. Conclusion	69
Chapitre VI : Matériels et Méthodes	
VI-1. Introduction	71
VI-2. Etude Quantitative des lixiviats du CET de Hamici.....	71
VI-2-1. Méthodes	71
VI-3. Etude Qualitative des lixiviats du CET de Hamici.....	73
VI-3-1. Appareillage et méthodes	73
VI-3-2. Points de prélèvement.....	74
VI-3-3 Résultats d'analyses physico-chimiques des lixiviats.....	74
VI-4. Evaluation de la quantité du biogaz produit	76
VI-4-1. Méthodes	76
VI-5. Conclusion	83
Chapitre VII : Discussions	84
VI-1. Production des lixiviats et du biogaz	84
VI-2. Etude qualitative du lixiviat du CET de Hamici	84
VI-2-1. Caractérisation du lixiviat brute du CET de Hamici	84
VI-2-2. Etude de variabilité de la DBO5.....	84
VI-2-3. Etude de variabilité de la DCO.....	85
VI-2-4. Etude de la Matière organique	86
VI-2-5. Variation de la température	88
VI-2-6. Variation du pH	88
VI-2-7. Etude de la conductivité électrique.....	89
VI-2-8. Etude de la turbidité	90
VI-2-9. Etude comparative des performances de traitement par BRM et par OI.....	90
VI-3. Evaluation de la production du biogaz	93
CONCLUSION GENERALE	94
BIBLIOGRAPHIE	96
ANNAEXE 1	99
ANNAEXE 2	106
ANNAEXE 3	107

Liste des abréviations

ADEME : Agence de la transition écologique
Ag : Argent
AGV : Acide Gras Volatil
AND : Agence Nationale des Déchets
ANRH : Agence Nationale des Ressources Hydrauliques
AOB : Ammonium oxydante bacteria
ATSDR : Agency of Toxic Substance and Disease
BRM : Bioréacteur à membranes
Cd : Cadmium
CET : Centres d'Enfouissement Technique
CH₄ : Méthane
CNC : Combustibles Non Classés
CO : Monoxyde de carbone
CO₂ : Dioxyde de carbone
CO₃²⁻ : Carbonate
COT : Carbone organique total
CSD : Centres de stockage de déchets
Cu : Cuivre
DBO₅ : Demande biologique en oxygène durant 05 jours
DCO: Demande chimique en oxygène
DIB : Déchets Industriels Banals
DMA : Déchets Ménagers et Assimilés
DSM : Déchets spéciaux des ménages
EPIC : Etablissement Public à caractère Industriel et Commerciale
Fe²⁺ : Ion de Fer
GECETAL : Etablissement de Gestion des Centre d'Enfouissement Techniques de la wilaya d'Alger
H₂O : Formule chimique de l'eau
HAP : Hydrocarbures aromatiques polycycliques
HCO₃⁻ : Ion Bicarbonate
Hg : Mercure
INC : Incombustibles Non Classés
ISD : Installation de Stockage des Déchets
ISDND : Installation de Stockage des Déchets Non Dangereux
Kg : Kilogramme
MES : Matière en suspension
MF : Microfiltration
MH : Masse humide
MO : Matière organique
MS : Masse sèche
N₂ : Azote

NF : Nanofiltration

NF: Nano filtration

NH_4^+ : Ammonium

Ni: Nickel

NO_2^- : Nitrites

NO_3^- : Nitrates

NOB : Nitrite oxydante bacteria

NTK: Azote Totale Kjeldahl

NTU: Nephelometric Turbidity Unit

O_2 : Oxygène

OI : Osmose inverse

ONM : Office National de la Météorologie

OPM : Optimum Proctor modifié

Pb : Plomb

PCB : Polychlorobiphényles

PED : Pays en développement

PEHD : Polyéthylène Haute Densité

PET : Polytéraphthalate

PET-P : Polytéraphthalate Pressé

PNAE-DD : Plan Nationale d'Aménagement pour l'Environnement et le Développement
Durable

PO_4^{3-} : Ion Phosphate

POA : Procédés d'Oxydation Avancée

PROGDEM : Programme National de Gestion des Déchets Solides Municipaux

RGPH : Recensement général de la population et de l'habitat

SO_4^{2-} : Ion Sulfate

TA : Titre alcalimétrique

TAC : Titre alcalimétrique complet

TH : Dureté totale

THM : Trihalométhanes

UF : Ultrafiltration

UV : Ultra –Violet

Zn : Zinc

Liste des figures

	PAGE
Chapitre I : Généralités sur les déchets ménagers et assimilés	
Figure I-1 : Fumées et lixiviats produits par les décharges brutes	11
Figure I-2 : Les modes d'élimination des déchets ménagers et assimilés en Algérie	13
Chapitre II : Enfouissement technique des déchets ménagers et assimilés	
Figure II-1 : Entrants et sortants dans une ISD	19
Figure II-2 : Schéma de fonctionnement d'une ISD	21
Figure II-3 : Schéma de confinement d'un casier	24
Figure II-4 : Combinaisons et structures d'étanchéité en fond et couverture de	25
Décharge	
Figure II-5 : Principe du confinement d'un casier	26
Chapitre III : Pollution générée par les déchets ménagers et assimilés	
Figure III-1 : Evolution de la composition des déchets	35
Figure III-2 : Cycle de l'eau dans un centre de stockage de déchets	36
Figure III-3 : Évolution typique de la composition du biogaz d'une décharge	37
Figure III-4 : Gestion du lixiviat	41
Chapitre IV : Traitement des lixiviats et valorisation du biogaz	
Figure IV-1 : Coagulation / Flocculation	45
Figure IV-2 : Schéma de traitement de lixiviats par le BRM	48
Chapitre V : Présentation de la zone d'étude	
Figure V-1 : Situation des CET de la wilaya d'Alger	54
Figure V-2 : Situation géographique de la zone d'étude	55
Figure V-3 : Evolution de la population à Alger (2014 - 2030)	56
Figure V-4 : Diagramme ombrothermique de la zone d'étude	59
Figure V-5 : Potentiel des déchets ménagers de la wilaya d'Alger à l'horizon 2030	60
Figure V-6 : Composition des déchets ménagers d'Alger	60
Figure V-7 : Potentiel de valorisation des déchets ménagers du CET Hamici	61
Figure V-8 : Présentation du CET de Hamici	62
Figure V-9 : Effectif de l'EPIC - GECETAL	63
Figure V-10 : Organigramme de l'EPIC - GECETAL	64
Figure V-11 : Pont bascule et poste de contrôle et d'enregistrement des camions	65
Figure V-12 : Centre de tri du CET de Hamici	65
Figure V-13 : Aménagement du casier.....	67
Figure V-14 : Bassin de rétention de lixiviats.....	68
Figure V-15 : Station de traitement de lixiviats par BRM.....	68
Figure V-16 : Station de traitement de lixiviats par OI.....	69
Chapitre VI : Méthodes et moyens	
Figure VI-1 : Bilan hydrique du CET de Hamici.....	72
Figure VI-2 : Appareillage d'analyse physico-chimique du lixiviat.....	73
Figure VI-3 : Appareillage d'analyse physico-chimique du lixiviat	82
Figure VI-4 : Evaluation temporelle de la quantité de biogaz produit	82

Chapitre VII : Discussions

Figure VII-1 : Variation de la DBO5.....	84
Figure VII-2 : Variation de la DCO.....	85
Figure VII-3 : Variation de NH4.....	86
Figure VII-4 : Variation de PO4	87
Figure VII-5 : Variation de la température	87
Figure VII-6 : Variation du pH	88
Figure VII-7 : Variation de conductivité électrique.....	88
Figure VII-8 : Variation de la turbidité.....	89
Figure VII-9 : Rendements de traitement des lixiviats.....	91

Liste des tableaux

	PAGE
Chapitre I : Généralités sur les déchets ménagers et assimilés	
Tableau I-1 : Quelques exemples de production d'ordures ménagères	7
Tableau I-2 : Catégories de déchets ménagers	9
Tableau I-3 : Caractérisation des déchets ménagers et assimilés dans les zones nord, aride et semi-aride d'Algérie	10
Tableau I-4 : Durée de décomposition de quelques déchets ménagers	16
Chapitre II : Enfouissement technique des déchets ménagers et assimilés	
Tableau II-1 : Types de sites de décharges	20
Chapitre III : Pollution générée par les déchets ménagers et assimilés	
Tableau III-1 : Classification des lixiviats	32
Tableau III-2 : Caractérisation physico-chimiques des lixiviats	33
Tableau III-3 : Composition moyenne des biogaz de décharges	38
Chapitre IV : Traitement des lixiviats et valorisation des biogaz	
Tableau IV-1 : Comparaison entre les procédés de traitement des lixiviats	49
Chapitre V : Présentation de la zone d'étude	
Tableau V-1 : Caractéristiques des stations météorologiques de Mahelma et Koléa	57
Tableau V-2 : Variation des températures max, min et moy de la station de la Koléa	57
Tableau V-3 : Moyennes mensuelles des vitesses de vent de la station de la Koléa	58
Tableau V-4 : Moyennes mensuelles des précipitations de la station de la Mahelma	58
Tableau V-5 : Caractéristiques des DMA d'Alger	61
Tableau V-6 : Produits valorisés dans les centres de tri - année 2019.....	66
Tableau V-7 : Etat des casiers du CET classe II de Hamici	67
Chapitre VI : Méthodes et moyens	
Tableau VI-1 : Moyennes mensuelles de l'évapotranspiration (2004 - 2013)	71
Tableau VI-2 : Méthodes d'analyses des paramètres physico-chimiques	74
Tableau VI-3 : Résultats d'analyses de l'échantillon A (Lixiviat brute)	75
Tableau VI-4 : Résultats d'analyses de l'échantillon B (Perméat UF)	75
Tableau VI-5 : Résultats d'analyses de l'échantillon C (Perméat NF)	75
Tableau VI-6 : Résultats d'analyses de l'échantillon D (Perméat OI)	76
Tableau VI-7 : Aptitude à la dégradation des différentes fractions des déchets	77
Tableau VI-8 : Taux de récupération de biogaz selon couverture.....	78
Tableau VI-9 : Données de base pour le calcul de la production théorique du biogaz.....	78
Tableau VI-10 : Calcul du potentiel méthanogène des déchets ménagers reçus par le CET....	79
Tableau VI-11 : Calcul de la production théorique du biogaz à 50% de CH ₄	80
Tableau VI-12 : Calcul du débit capté de biogaz capté	81
Tableau VI-13 : Production et débit de biogaz capté maximal et moyen	81
Chapitre VII : Discussions	
Tableau VII-1 : Caractéristiques du lixiviat du CET de Hamici	83
Tableau VII-2 : Comparaison des performances de traitement par BRM et par OI.....	90

INTRODUCTION

INTRODUCTION GENERALE

L'évolution démographique, l'urbanisation forcée et l'amélioration du niveau de vie sont la cause de l'accroissement des quantités de déchets urbains produites. En Algérie, le problème des déchets solides est avant tout une contrainte à laquelle sont confrontées les collectivités locales et qui engendre des effets négatifs directs et indirects, liés à la quantité des déchets, à leur évacuation et à leur traitement.

Le secteur des déchets et l'amélioration de la qualité de vie constituent actuellement un axe de travail prioritaire des autorités Algériennes, conscientes que l'activité de gestion des déchets (collecte, tri et recyclage) recèle de nombreuses opportunités socio-économiques, et devrait se transformer en une filière économique génératrice de richesse et pourvoyeuse d'emploi.

La principale voie de traitement des déchets en Algérie est la mise en décharge. Cette technique est souvent utilisée dans les pays en développement (PED), mais elle aboutit souvent à des décharges incontrôlées et à ciel ouvert, où tous les types de déchets sont rejetés, à l'état brut et mélangés : ménagers et assimilés, industriels, hospitaliers et agricoles.

Selon l'Agence nationale des déchets [02], plusieurs CET sont mis en exploitation à travers le territoire national et d'autres sont en phases d'étude et de choix de site.

Ce genre d'installation sert de stockage et de gestion des déchets pendant une période de temps limitée. En effet, bien que la durée de fonctionnement des CET soit limitée, leurs impacts n'en demeurent pas : les ordures ménagères continuent à vivre après leur enfouissement, créant ainsi plusieurs nuisances tel que l'émissions d'odeurs, la production de biogaz et surtout de lixiviat.

Actuellement, le majeur souci des autorités Algériennes dans la gestion des CET est celui du des lixiviats qui sont des eaux usées toxiques et complexes résultant de la percolation de l'eau de pluie à travers les déchets mais également de processus biologiques, physiques et chimiques ayant lieu au sein de la décharge. Ces effluents, au fil du temps, se chargent en matières organiques et autres métaux lourds, ce qui fait un vecteur de pollution de plus en plus dangereux. Cela montre la nécessité de leur traitement avant de les rejeter dans l'écosystème. S'ajoute aussi, la nécessité de traitement des grandes quantités de biogaz produites et leurs valorisation par la production de chaleur, d'électricité, de carburant ou leurs injection dans le réseau de gaz [08].

PROBLEMATIQUE

Notre étude traite une problématique très complexe qui se traduit par les impacts environnementaux dus à l'enfouissement technique des DMA par la production des lixiviats et le biogaz au niveau du CET de Hamici, qui actuellement traite la globalité des DMA de la wilaya d'Alger, environ 2800 tonne/jour plus que sa capacité d'installation qui était de 1700 tonne/j lors de sa mise en exploitation en Février 2013; ce qui nécessite de mettre en place une stratégie de valorisation des déchets plus efficiente.

OBJECTIFS

Les objectifs de notre travail se résument dans la caractérisation et la quantification du lixiviat du centre d'enfouissement technique de Hamici afin de choisir une approche de traitement adéquat et satisfaire les exigences aux normes des rejets d'effluents en milieu naturel et l'évaluation du potentiel de production de biogaz afin de proposer le mode adéquat pour de sa valorisation.

METHODOLOGIE

Notre travail est composé de deux parties :

- D'une étude bibliographique qui permet de faire une analyse sur la gestion des déchets ménagers et assimilé, de la pollution générée par l'enfouissement technique et leur impacts environnementaux (lixiviats et biogaz) et des techniques de leurs traitements.
- D'une deuxième partie pratique qui permet de faire une présentation de la zone d'études et une description des activités et des infrastructures du CET de Hamici, de caractériser et quantifier les lixiviats produits ainsi évaluer l'efficacité des stations de traitement installées dans le CET et recommander le choix adéquat pour leur traitement et enfin évaluer le potentiel de production du biogaz et proposer un mode de sa valorisation.

PARTIE 1 : SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

CHAPITRE I : GENERALITES SUR LES DECHETS MENAGERS ET ASSIMILES

I-1. Introduction

La croissance économique et le développement urbain ont engendré une amplification préoccupante des volumes des déchets. Cette situation, dont les effets sont visibles par tous, engendre des nuisances importantes pour les habitants et a des conséquences néfastes sur la nature en créant une nouvelle problématique.

Le caractère hétérogène de ces déchets rend difficile la généralisation d'une filière de traitement dont la nécessité de connaître leur composition et leurs caractéristiques pour permettre le choix adéquat de leur traitement.

I-2. Notion de déchets ménagers et assimilés

I-2-1. Définition

Parmi les nombreuses définitions existantes, on cite les suivantes :

- Le déchet est un résidu abandonné par son propriétaire, car inutilisable, sale ou encombrant.
- Le déchet est 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.
- Les déchets sont des résidus de l'emploi de matières solides qui peuvent être putrescibles (matière apte à pourrir) ou non putrescibles.
- Les déchets sont des matières normalement solides ou semi-solides résultant des activités humaines et animales qui sont indésirables ou dangereuses.
- Les déchets :sont les débris, les restes sans valeur de quelque chose, ce qui tombe d'une matière qu'on travaille [22].
- La loi n° 01-19 du 12 décembre 2001 relative à la gestion, au contrôle et à l'élimination des déchets, définit le déchet dans son article N°3 comme "tout résidu d'un processus de production, de transformation ou d'utilisation, toute substance, matériau, produit ou, plus généralement, tout objet, bien meuble dont le détenteur se défait, projette de se défaire, ou dont il a l'obligation de se défaire ou de l'éliminer".

I-2-2. Classification des déchets

Il existe plusieurs classifications de déchets; nous allons citer les classifications selon le mode de traitement et d'élimination, selon leurs origines et selon la législation Algérienne.

I-2-2-A. Classification selon le mode de traitement et d'élimination

Les professionnels et les chercheurs s'accordent à regrouper les déchets en quatre grandes familles :

- a) **Les déchets inertes** : composés de déblais, gravats et matériaux de démolition produit par les entreprises de travaux publics;
- b) **Les déchets banals**: regroupe essentiellement des déchets constitués de papiers, plastiques, cartons, bois produit par des activités industrielles ou commerciales et ordures ménagères;
- c) **Les déchets spéciaux**: ils peuvent contenir des éléments polluants et sont spécifiquement issus de l'activité industrielle (boues de peintures ou d'hydroxyde métallique, cendre d'incinération, etc.);
- d) **Les déchets dangereux** : issus de la famille des déchets spéciaux, ils contiennent des quantités de substances toxiques potentiellement plus importantes et présentent de ce fait beaucoup plus de risques pour les milieux naturels.

I-2-2-B. Classification selon l'origine

On a deux classes :

a) Les déchets industriels

Hormis les résidus assimilables aux ordures ménagères, tant par leur nature que par leur volume modeste, on distingue dans cette classe:

- Les déchets inertes provenant de chantiers de construction, transformation des combustibles et de l'énergie (gravats, cendres, etc.), métallurgie (scories, laitiers, mâchefers, etc.);
- Les déchets des industries agricoles et alimentaires;
- Les déchets pouvant contenir des substances toxiques par des industries variables (ateliers artisanaux, galvanoplastie, chromage, miroiterie, etc.).

b) Les déchets urbains

Ce sont tout déchet issu des ménages, déchet de commerce et de l'industrie assimilables aux déchets ménagers, déchet encombrant, déchet vert (greffage des arbres, espaces verts), déchets de nettoyage des voies publiques, déchets hospitaliers [2]. La collecte de ces déchets doit être assurée par les collectivités.

I-2-2-C. Classification des déchets ménagers selon la législation Algérienne

La loi N°01-19 du 12 décembre 2001 relative à la gestion, au contrôle et à l'élimination des déchets, dans son article N°05 définit 03 classes de déchets; à savoir :

a) Déchets spéciaux y compris les déchets spéciaux dangereux

Les déchets spéciaux sont les 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.

Les déchets spéciaux dangereux sont les 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 [33].

b) Déchets ménagers et assimilés

Les déchets ménagers et assimilés sont les 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 [33].

c) Déchets inertes

Les déchets inertes sont les 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 [33].

I-3. Les ordures ménagères et assimilées**I-3-1. Les ordures ménagères**

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

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

- Les résidus des collectivités (cantines, écoles, casernes, hospices, prisons ... etc.), ainsi que les résidus des hôpitaux ayant un caractère ménager que l'on rassemble dans des récipients appropriés.
- Les déblais, gravats, décombres et débris des chantiers de travaux publics et constructions.
- Tous les objets qui, en raison de leur encombrement, poids ou nature, ne pourraient être chargés dans les véhicules de collectes [22].

I-3-2. Déchets assimilés aux ordures ménagères

Il existe un grand nombre de déchets qui peuvent être assimilés aux ordures ménagères et traitées comme tel. A ce titre, on cite :

- Certains déchets industriels non toxiques, à condition qu'ils puissent être stockés dans des récipients appropriés à la collecte des ordures ménagères (cas des industries à caractère artisanale, petite industrie du bois, panneaux, papier carton, imprimerie, artisanat, textile, petite industrie, agro-alimentaire,...etc.).
- Les déchets des marchés à caractère essentiellement alimentaire (fruits et légumes, boucheries, poissonneries) sans pour autant exclure d'autres résidus tels que : les emballages.

I-4. Production et évolution des ordures ménagères

La loi N°01-19 du 12 décembre 2001 relative à la gestion, au contrôle et à l'élimination des déchets, dans son article N°03 définit :

- Générateur de déchets: toute personne physique ou morale dont l'activité génère des déchets.
- Détenteur des déchets : toute personne physique ou morale qui détient des déchets.
- Cette loi stipule aussi dans son article N°06 que tout générateur et/ou détenteur de déchets doit prendre les mesures nécessaires pour éviter autant que faire se peut la production des déchets, notamment par :
 - l'adoption et l'utilisation des techniques de production plus propres, moins génératrices de déchets;
 - l'abstention de mettre sur le marché de produits générant des déchets non biodégradables;
 - l'abstention d'utilisation de matières susceptibles de créer des risques pour les personnes, notamment pour la fabrication des emballages [33].

I-4-1. Quantité de déchets ménagers générées et leur variabilité

Les quantités d'ordures ménagères générées dans une ville dépendent de:

- L'habitat (milieu rural ou urbain avec un taux généralement plus faible en milieu rural).
- Le niveau de vie, les habitudes et les mœurs de la population (la production tend à s'accroître avec le niveau de vie; ex. zones résidentielles par rapport aux autres zones).
- Les conditions climatiques, ainsi que les variations annuelles et saisonnières.
- Les mouvements plus ou moins importants de la population au cours de l'année : foires, pèlerinage, vacances annuelles, etc.
- Des modes de conditionnement des denrées et des marchandises [22].

I-4-2. Mesure de la production d'ordures ménagères

Les quantités d'ordures ménagères produites peuvent s'exprimer en poids ou en volume. Cependant en raison de la compressibilité des ordures ménagères, seul le poids constitue une donnée fiable et mesurable sur le pont-bascule. On mesure alors les quantités d'ordures ménagères en kg/habitant/jour ou par année. Par contre pour définir la taille des récipients, l'estimation des volumes est nécessaire.

En pratique et en particulier dans les pays en voie de développement, on doit toujours faire la distinction entre les quantités d'ordures ménagères générées et les quantités de ces ordures collectées, ces dernières étant toujours très inférieures aux premières.

I-4-3. Exemples de production d'ordures ménagères

L'évolution de la production des déchets ménagers est essentiellement liée à deux facteurs : l'évolution démographique et l'évaluation quantitative par habitant [15].

Tableau I-1 : Quelques exemples de production d'ordures ménagères

Zone de production	Production (Kg/hab/j)
Pays hautement industrialisés	1,1 -1,2
Pays moins avancés	0,35
France (moyenne nationale)	1
Zone urbaine (France)	0,8 - 1
Zone rurale (France)	0,6 - 0,8
Logement ou hôtel	0,6 - 0,8
Campings	0,3 - 0,5
Algérie	0,9

(Source : Neggaz et Ghennai, 2015)

I-5. Caractéristiques des déchets ménagers

I-5-1. Densité

La densité met en évidence la relation qui existe entre la masse des ordures ménagères et le volume qu'elles occupent. Sa connaissance est essentielle pour le choix des moyens de collecte de ces déchets et aussi pour leur traitement. Toutefois, comme les déchets ménagers sont essentiellement compressibles, leur densité varie au cours des différentes manipulations auxquelles elles sont soumises.

I-5-2. Teneur en eau ou degré d'humidité

Les ordures ménagères renferment une quantité d'eau, hors équilibre, qui est contenue dans leurs composants. IL en résulte que la teneur globale en eau varie largement aussi bien avec les saisons et le climat du pays qu'avec les conditions sociales des populations concernées.

Le pourcentage d'eau dans les ordures est d'autant plus élevé qu'elles sont plus riches en matière organique dont l'humidité moyenne est aux alentours de 80%, et que la quantité considérable de déchets de fruits que l'on observe en certaines saisons les rend encore plus humides.

I-5-3. Rapport Carbone / Azote

Les ordures ménagères renferment plusieurs milliards de germes et de microorganismes thermophiles par gramme abandonnées à elles-mêmes, elles entrent rapidement en fermentation. Ainsi, la température s'élève pour se maintenir entre 60 et 70 °C avec conséquence la destruction des germes pathogènes lors de la fermentation. Il se produit deux phénomènes contraires d'une extrême complexité minéralisation de la matière organique qui se décompose en gaz carbonique et en ammoniac avec production d'acide nitrique et de nitrates. 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 (pour un bon compostage le rapport C/N est de l'ordre de 20 à 30) [12].

I-5-4. Le pouvoir calorifique

Le pouvoir calorifique est défini comme la quantité de chaleur dégagée par la combustion de l'unité de poids en déchets brutes. Il s'exprime en Kilo Joule par Kilogramme (KJ/Kg). Le pouvoir calorifique supérieur (PCS) prend en compte la chaleur de la vaporisation de l'eau contenue dans les déchets ménagers pendant la composition. Le pouvoir calorifique inférieur (PCI) qui ne tient pas compte de la chaleur de vaporisation de cette eau pendant la composition [23].

I-6. Catégories et composition des déchets ménagers

I-6-1. Catégories des déchets ménagers

On distingue (10) dix catégories pour les déchets ménagers, (Voir tableau I-2).

Tableau I-2 : Catégories de déchets ménagers

N°	Catégorie de déchets	Description
01	Déchets putrescibles	Déchets alimentaires (restes de cuisine), produits alimentaires non consommés, déchets de jardin, ...
02	Papiers et cartons	Journaux, magazines, imprimés publicitaires, papiers bureautiques, emballages en papiers, cartons plats et ondulés, ...
03	Textiles	Tissus, microfibrés, textiles sanitaires (fraction hygiénique et fraction papiers souillés), ...
04	Plastiques	Emballages plastiques, bouteilles et flacons polyoléfinés, bouteilles et flacons en PET (polytéréphtalate), films polyoléfinés (PE et PP), ...
05	Combustibles non classés (CNC)	Bois, emballages en bois, autres combustibles.
06	Verres	Emballages en verre incolore et de couleur, morceau de verre et miroir cassé, ...
07	Métaux	Emballages métaux ferreux, emballages aluminium, ...
08	Incombustibles non classés (INC)	Céramiques, débris de briques, ...
09	Déchets spéciaux (dangereux)	Produits chimiques, déchets hospitaliers, tubes fluorescents et ampoules basse consommation, piles et accumulateurs, ...
10	Eléments fins	Cendres, sable, débris de verre, déchets végétaux, litière pour animaux, ...

(Source : AND, 2014)

I-6-2. Composition des déchets ménagers et assimilés

La composition des déchets ménagers peut être le « miroir » de l'activité consommatrice des ménages. En effet, elle varie en fonction du niveau de vie, du mode de vie, de la région, de la saison et du déplacement des populations.

Le tableau suivant représente la composition moyenne des déchets ménagers et assimilés dans les zones nord, semi-aride et aride d'Algérie.

Tableau I-3: *Caractérisation des déchets ménagers et assimilés dans les zones nord, semi-aride et aride d'Algérie.*

Catégories	%	
	2010	2014
Catégorie DMA / Année	2010	2014
Déchets putrescibles	62.12	54.40
Papier – carton	9.39	9.75
Textile	10.26	12.62
Plastique	12.00	16.88
CNC	1.57	1.51
Verres	1.36	1.16
Métaux	1.63	2.84
INC	0.59	0.52
Déchets spéciaux	0.20	0.29

(Source : AND, 2014)

I-7. Facteurs influençant sur la dégradation des déchets ménagers et assimilés

Le massif de déchets enfouis est un réacteur biologique où se déroule une multitude de réactions chimiques. La dégradation des déchets s'effectue en plusieurs étapes métaboliques, sous l'action de micro-organismes spécifiques, où les produits d'une étape deviennent les substrats de l'étape suivante.

La succession de ces étapes aboutit à la minéralisation partielle de la matière organique et à sa transformation en molécules plus complexes. Deux phases majeures sont à distinguer :

- une première phase courte qui a lieu en aérobiose,
- une seconde phase beaucoup plus longue en anaérobiose.

Plusieurs facteurs sont susceptibles d'influencer la dégradation des déchets; à savoir : l'humidité, le pH, la température ainsi que les autres paramètres cités précédemment influent sur la croissance des micro-organismes et leur développement dans le milieu.

Une carence en eau, des températures trop faibles et un fort compactage sont susceptibles de bloquer les processus biochimiques. La méthanogénèse est sensible à différents inhibiteurs comprenant les cations, les métaux lourds, les sulfates, l'ammoniaque et les acides gras volatils pour lesquels les effets inhibiteurs sont encore très controversés. Selon certains auteurs, il faudrait 10 g/L de chaque acide pour avoir une inhibition significative alors que pour d'autres auteurs, une concentration totale d'AGV supérieure à 3 g/L pourrait suffire à inhiber la méthanogénèse. Le suivi de ce paramètre est essentiel lors de la

dégradation anaérobie pour la détection d'un problème de stabilité du processus. De nombreux auteurs ont montré que lors d'une inhibition du système, les acides gras volatils (AGV) s'accumulaient [7].

I-8. Gestion des déchets ménagers en Algérie

La croissance démographique, le développement des activités socio-économiques et les mutations du mode de vie et de consommation, favorisent grandement la production des déchets en milieu urbain. En 2014, la production de déchets ménagers et assimilés ont avoisiné 11 millions de tonnes [2]. Ce qui nécessite beaucoup d'efforts pour leur traitement.

A ce jour, la mise en décharge est la destination finale la plus privilégiée pour l'élimination des déchets ménagers et assimilés du fait, de son faible coût par rapport aux autres filières comme l'incinération ou le compostage. Cet état de fait a provoqué la saturation des décharges existantes et a engendré des problèmes d'hygiène et de salubrité publique (odeurs nauséabondes, problèmes respiratoires, allergie...). Ajouter à cela, le potentiel de risque que constituent les lixiviats pour les nappes phréatiques ainsi que les émissions des gaz à effet de serre (figure I-1).

"La gestion des déchets ménagers est toute opération relative à la collecte, au tri, au transport, au stockage, à la valorisation et à l'élimination des déchets, y compris le contrôle de ces opérations" [33].

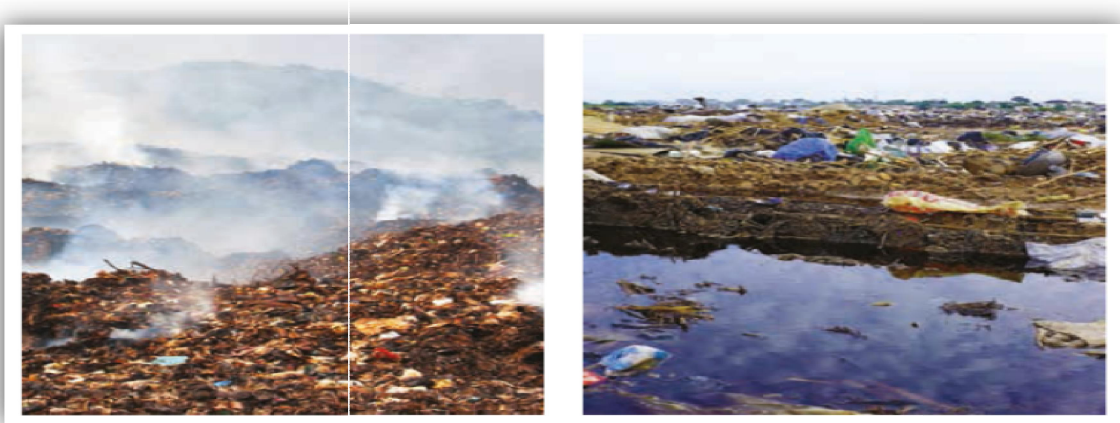


Figure I-1 :Fumées et lixiviats- produits par des décharges brutes [2].

I-8-1. Collecte des déchets

C'est le ramassage et/ou le regroupement des déchets en vue de leur transfert vers un lieu de traitement. Elle est réalisée en deux étapes :

a) La pré-collecte

La pré-collecte concerne toutes les opérations qui précèdent la collecte effective des déchets. Elle vise le recueil, le rassemblement et le stockage des déchets par les habitants des

foyers, d'un immeuble, d'une cité ou par les personnels d'un organisme ou d'une entreprise, puis les déposer dans des lieux dédiés aux déchets [2].

b) La collecte des déchets

Cette étape consiste au ramassage et au regroupement des déchets en vue de leur transporter vers les décharges. A l'heure actuelle, il existe en Algérie deux méthodes de collecte :

❖ Porte à Porte

Cette méthode consiste au passage régulier du service de collecte (EPIC de nettoyage et de collecte de wilaya ou la commune) pour l'évacuation des déchets ménagers et assimilés (DMA) ou par apport volontaire, dans lequel le générateur assure le transfert des déchets ménagers et assimilés vers un point de regroupement afin qu'ils soient transportés par le service chargé de l'opération vers un lieu d'élimination ou de traitement. Ce mode d'apport est très adapté à l'opération de tri sélectif.

❖ La collecte sélective

Elle Consiste en un ramassage séparé d'une ou de plusieurs catégories de déchets, dont le verre, les papiers et carton, la ferraille qui est déjà bien connues par le public. La collecte séparée de « déchets vert », constituée essentiellement des déchets de cuisine ou de jardin ne contenant que des résidus organique, elle est pratiqué dans certaines régions [19].

I-8-2. Le tri des déchets

Auparavant, tous les déchets étaient mélangés pour être jetés dans les décharges. Mais beaucoup de déchets peuvent avoir une seconde vie par différents mode de traitement. Avant tous, il faut faire une étape incontournable de la chaîne de gestion globale des déchets qui est le tri.

Le tri n'est pas un mode de traitement en lui-même, mais il aide à optimiser l'efficacité des traitements. C'est est une opération visant à séparer des déchets mélangés en différentes catégories (carton, plastique, palettes en bois...). Il se fait dans les centres ou à la source, c'est-à-dire sur le lieu de production des déchets, pour faciliter en aval la récupération des produits recyclables, sans que ceux-ci ne soient souillés par la partie fermentescible des déchets ménagers. Les restes des déchets qu'on ne peut pas récupérer sont évacués vers les centres d'incinérations, ou bien vers les décharges contrôlées, contrairement pour la partie des déchets fermentescibles, pour faire la valorisation biologique par compostage.

Ces différentes modes de traitement sont efficaces et accessibles financièrement, c'est pour ça que la sensibilisation et l'éducation de la population est essentielle et importante pour faire le tri à la source, avant la jetée dans les poubelles.

I-8-3. Le transport des déchets

La collecte et le transport des déchets sont assurés par les EPIC de nettoyage et de collecte de wilaya ou la commune par les systèmes suivants :

- L'utilisation de camion Ampli-roll pour l'enlèvement des caissons pleins et les transporter à la décharge, où ils sont vidés, puis leurs mise en place aux point de regroupement;
- L'utilisation des véhicules à bennes entasseuses qui collectent les déchets urbains à l'aide des bennes dotées de dispositifs hydrauliques pour compression des déchets;
- L'utilisation des véhicules à bennes pour la collecte des déchets porte à porte ainsi que pour la collecte des points de groupement des déchets. Le changement des déchets est en général effectué manuellement par les éboueurs;
- L'utilisation des tracteurs agricoles dans la collecte des balayures. Le chargement des déchets s'effectue aussi manuellement par les éboueurs.

I-8-4. L'élimination des déchets

C'est toutes les opérations de traitement thermique, physico-chimique et biologique, de mise en décharge, d'enfouissement, d'immersion et de stockage des déchets, ainsi que toutes autres opérations ne débouchant pas sur une possibilité de valorisation ou autre utilisation du déchet.

Le nombre de décharges sauvages a passé de 2 000 en 1980 à 3 130 en 2007 en Algérie. Par contre, les quantités destinées à être valorisées sont trop faibles : seulement 2 % par recyclage et 1 % par compostage [2].

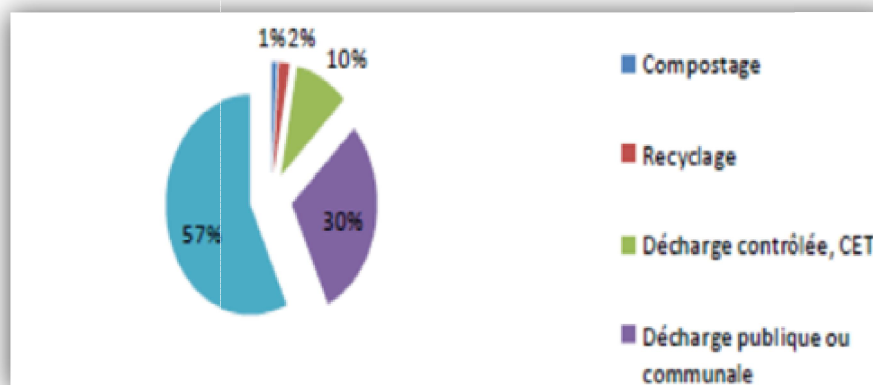


Figure I-2 : Les modes d'élimination des déchets ménagers en Algérie [2].

I-9. Méthodes de traitements des déchets

I-9-1. La mise en décharge

La solution d'élimination des déchets la plus adoptée dans les pays en voie de développement est la mise en décharges ouvertes, qu'elles soient sauvages ou contrôlées par les autorités locales. Ces décharges posent des risques environnementaux engendrant notamment d'importants déséquilibres écologiques au sol et à l'eau, à travers les lixiviats, et la pollution atmosphérique liée aux fumées dégagées. Cette dégradation de l'environnement a déjà fait l'objet d'un constat dans des villes indiennes [28] et à Abuja au Nigéria [17].

En Algérie, l'élimination des déchets ménagers et assimilés par voie de la mise en décharges sauvages est le mode le plus utilisé, avec un taux de 87 %. Malgré l'existence d'une politique environnementale et d'une réglementation en matière d'élimination des déchets, leur nombre ne cesse d'augmenter. Des milliers de décharges sauvages ont été recensées dans les wilayas Algériennes. Elles sont localisées le long des rivières, des routes, ou sur des terres agricoles ou des forêts. L'autre point commun est que la plupart de ces décharges sont quasi saturées et ne peuvent pratiquement plus recevoir de déchets. Leur état actuel menace l'environnement et la santé publique des habitants résidant à proximité.

I-9-2. Les incinérations des déchets

L'incinération des déchets est une technique utilisée depuis longtemps. Elle reste encore aujourd'hui une méthode d'élimination des déchets qui a une mauvaise réputation malgré les gros efforts des industriels, ces dernières années. En effet, nous restons souvent sur l'image de l'incinérateur des années 80 avec les différents problèmes sanitaires qu'ils ont engendrés, notamment avec les dioxines et cendres.

Le relationnel entre les industriels et les habitants est parfois tendu ; source de contestation et manifestation. Les incinérateurs actuels sont plus performants, plus propres, avec des technologies sans cesse améliorées, notamment sur les rejets atmosphériques. Ce procédé de traitement de déchets permet de réduire d'environ 90% du volume brut [30].

I-9-3. Les installations de compostage

Il est difficile de donner une définition précise et rapide du compost. Car, selon le cas, les objectifs et les caractéristiques qui lui sont attribués sont variés. On peut toutefois retenir que le compost est un produit de stabilisation et de traitement aérobie des déchets organiques putrescible.

Le compostage concerne tous les déchets organiques mais surtout les déchets solides et semi-solides. C'est un processus de transformation de matière organique fraîche en une substance organique humifiée, plus stable, appelée : compost.

Le compost produit est assez riche en substances humiques, constitue un excellent produit d'amendement des sols. Il permet à la fois d'améliorer les propriétés physiques, chimiques et biologiques du sol et de fournir par voie de minéralisation des éléments nutritifs assimilables par les plantes cultivées [29].

I-9-4. Le recyclage

Le recyclage est défini comme étant un procédé de traitement des déchets industriels et des déchets ménagers qui permet de réintroduire dans le cycle de production d'un produit, des matériaux. C'est un procédé par lequel les déchets sont ramassés, traités et ensuite utilisés pour en faire de nouveaux produits. Il existe plusieurs catégories de recyclage : chimique, mécanique et organique.

La récupération des déchets en Algérie est une importante opportunité à saisir. Les déchets ménagers représentent environ 14,4 millions de tonnes/an, soit 0.9 Kg /habitant /jour, dont près de la moitié peut être récupérée. Environ 45 % de ces déchets, soit 6,5 millions de tonnes, sont recyclables [14].

I-9-5. La valorisation des déchets ménagers

I-9-5-A. Déchets ménagers potentiellement valorisables

La réintroduction des divers matériaux valorisables issus des déchets ménagers dans le circuit économique vers l'industrie ou l'agriculture exige un degré de qualité qui est obtenu par la collecte sélective.

Les plus importants déchets ménagers valorisables sont :

- Emballages (Flacons en plastique, barquettes en aluminium, cartons...);
- Papiers (Les journaux, papiers de bureau, Le papier alimentaire souillé...);
- Déchets de jardin (Tontes de gazon, Feuilles mortes et autres végétaux flétris);
- Verre (les bouteilles, quelque types de vaisselles);
- Encombrants (Matelas, sommiers, Meubles, Petite ferraille).

I-9-5-B. Les déchets non valorisables dans un centre de tri

Les déchets qui ne peuvent pas faire l'objet d'une valorisation au centre de tri concernent : Les pots de yaourt, les barquettes avec restes, les pots de fromage, les pots de crème, les bouteilles d'huile, les boîtes avec restes, le polystyrène, les barquettes translucides,

les sacs en plastique, les petits emballages en plastique, les articles d'hygiène, et les couches culottes. Cependant, ils peuvent faire l'objet d'une valorisation énergétique (incinération avec production d'électricité par exemple).

I-10. Impact des déchets ménagers sur l'environnement et la santé humaine

L'augmentation continue de la population humaine et le changement des modes de consommation entraînent forcément la multiplication des déchets ménagers. Dans les pays en développement (PED); la décharge constitue l'issue ultime pour plus de 90% de déchets récoltés. Ce dépôt incontrôlé entraîne des nuisances qui vont se propager dans l'environnement.

Un déchet ménager peut se dégrader lentement comme, le plastique ou rapidement comme le papier (Tableau I-4).

La présence des déchets d'hôpitaux dans les déchets ménagers, constitue une source potentielle de maladies graves (telle que l'hépatite ou infections graves).

Tableau I-4 : Durée de décomposition de quelques déchets ménagers

Type de déchet	Durée de vie (décomposition)
Mouchoir en papier	3 mois
Ticket de bus	de 3 à 4 mois
Journal	de 3 à 12 mois
Epluchures de fruit	de 3 à 12 ans
Allumette	6 mois
Chaussette en laine	1 an
Mégot de cigarette	de 1 à 5 ans
Chewing-gum	5 ans
Planche de bois	de 13 à 15 ans
Boîte de conserve	de 10 à 100 ans
Briquet jetable	100 ans
Canette en aluminium	de 200 à 500 ans
Sac en plastique	450 ans
Bouteille en plastique	de 100 à 1000 ans
Fil de pêche et filet en nylon	600 ans
Polystyrène expansé	1000 ans
Bouteille en verre	Quasi illimitée

(Source : Ben Silette Adel et Mahdi Rima, 2017)

I-11. Conclusion

Le problème des déchets est devenu un souci très préoccupant de tous les pays dont la gestion reste complexe : les installations de traitement arrivent à saturation, leur incinération, leur stockage ou leur traitement participent à la pollution atmosphérique, des sols, des ressources en eau et émettent des gaz à effet de serre.

Pour améliorer la gestion des déchets ménagers, les pouvoirs publics Algériens ont lancé deux programmes d'actions :

1. Le programme national de gestion des déchets solides municipaux (PROGDEM) qui a été mis en œuvre en 2001, il se focalise sur une nouvelle stratégie reposant sur le principe de précaution-prévention, le principe du pollueur-payeur, le principe de producteur récupérateur, et le rôle de l'information et de la sensibilisation du citoyen. Ce programme fixe des objectifs de préservation de l'hygiène publique, l'amélioration du cadre de vie du citoyen, protection de la santé, l'élimination saine et écologiquement rationnelle des déchets et la valorisation des déchets recyclables.
2. Le plan national d'actions pour l'environnement et le développement durable (PNAE-DD) qui a été mis en œuvre en 2002, il propose une vision du futur et qui engage l'Algérie à investir dans un développement écologiquement durable. L'amélioration de la santé publique et de la qualité de vie du citoyen constitue un objectif central du PNAE-DD et la mise en place d'une gestion saine et intégrée des déchets municipaux constitue une priorité et une urgence.

**CHAPITRE II : ENFOUISSEMENT TECHNIQUE
DES DECHETS MENAGERS ET ASSIMILES**

I- Introduction

Il existe plusieurs termes désignant l'activité d'enfouissement technique; à savoir : décharge, décharge contrôlée, centre d'enfouissement technique (CET) et centre de stockage de déchets. L'évolution des dénominations traduit celle des techniques d'aménagement et d'exploitation imposée par la réglementation. Aussi, en trois décennies, on est passé du simple dépôt des ordures dans les décharges à un dispositif de traitement complexe avec des dispositions techniques concernant le choix des sites de confinement, la sélection des déchets admis, l'étanchéité des casiers de stockage, la récupération des effluents gazeux et aqueux aux fins de traitement avant rejet et la surveillance des sites pendant et après l'exploitation [17]. Cette évolution de la réglementation ainsi que les progrès techniques en terme de gestion et de traitement des déchets ont cependant permis d'améliorer la sécurité des installations de stockage en terme d'impacts environnementaux.

II-1. Dépotoirs et décharges sauvages

II-1-1. Décharge sauvage

La décharge sauvage ou bien la décharge brute est réalisée sans aucune précaution, les usagers viennent habituellement déposer leurs déchets à la sauvette. Elle présente de très graves inconvénients, notamment :

- L'étalement de la souillure par l'envol des papiers et des sachets,
- Le dégagement d'odeurs désagréables, et parfois de gaz toxiques,
- La pollution éventuelle des eaux de surface et souterraines,
- La présence de déchets alimentaires attire les mouches et les rongeurs, ces agents de propagation de maladies contagieuses constituent une grave menace pour la santé publique,
- L'incendie qui peut prendre dans la décharge a pour conséquence le dégagement et la propagation des fumées désagréables et très incommodantes pour le voisinage.

II-1-2. Décharge contrôlée

On dit qu'une décharge est contrôlée lorsque toutes les dispositions de sécurité en terme d'impacts environnementaux sont prises pour éviter les nuisances et tous les déchets entrants et sortants sont contrôlés (figure 3).

Il existe quatre types de décharges contrôlées; à savoir : décharge traditionnelle, décharge contrôlée avec compactage des ordures, décharge contrôlée d'ordures ménagères préalablement broyée et décharge des déchets mise en balles ou en cubes [9].

II-1-2-A. Décharge traditionnelle (classique)

Dans ce type de décharge, les déchets sont déposés en couches régulières sur un terrain adéquat et couverts ensuite par du sable argileux, elle est recommandée en zone rurale à cause des espaces disponibles.

II-1-2-B. Décharge contrôlée de type compact

Le développement des emballages en papier et en plastique a rendu la méthode classique de décharge contrôlée moins efficace du fait de la diminution de la densité des déchets. Les déchets sont compactés par des engins lourds à roues spéciales qui tassent les déchets en diminuant leur volume [15].

II-1-2-C. Décharge des déchets broyés

Dans ce type d'installation, les déchets sont préalablement broyés avant leur mise en décharge.

II-1-2-D. Décharge par mise en balles des déchets

La mise en balles des ordures ménagères par compression est une technique simple de mise en décharge, les ordures à l'origine sont peu denses donc susceptibles d'une forte réduction du volume initiale avec injection d'une quantité d'eau importante. Le principe de compression des déchets consiste à confectionner des blocs en forme de cubes de dimension standard qui sont faciles à transporter et les entasser les uns sur les autres dans la décharge.

II-1-3. L'enfouissement technique

Depuis 2001, l'Algérie a fait le choix d'éliminer les déchets urbains par enfouissement en lançant un ambitieux programme de réalisation de centres d'enfouissement technique (CET) sur tout le territoire national.

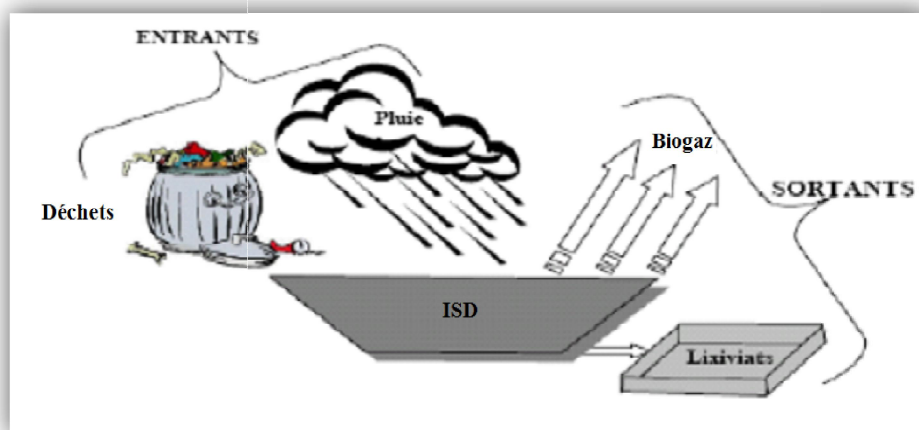


Figure II-1 : Entrants et sortants dans une installation de stockage de déchets (ISD) [26].

II-2. Classification des centres d'enfouissement techniques

II-2-1. CET de classe I

Les CET 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. Ils assurent un confinement des déchets par une barrière géologique d'au moins 5m dont le coefficient de perméabilité est inférieur à 10^{-9} m/s et d'une géomembrane sur le fond et les flancs de l'installation, les percolats sont drainés [26].

II-2-2. CET de classe II

Les CET 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). Leur exploitation concerne notamment le captage du biogaz, le drainage des eaux d'infiltration et la récupération et le traitement des lixiviats. Ils sont subdivisés en casiers (volumes délimités), la perméabilité du sol doit être inférieure à 10^{-9} m/s sur au moins 3 mètres d'épaisseur.

II-2-3. CET de classe III

Les CET de classe 3 accueillent principalement des déchets du bâtiment et des travaux publics (terres, gravats, déchets de démolition, déchets de chantiers et les déchets de carrière).

Tableau II-1 : Types de sites de décharges

Catégorie de site	K (m.s ⁻¹)	Caractéristiques du site	Déchets industriels admissibles
Classe I (Site imperméable)	$K \leq 10^{-9}$	1- Fond imperméable, 2- Aptitude à un façonnage garantissant les écoulements vers un point bas, 3- Aptitude à l'implantation d'un ouvrage, de contournement évitant l'entrée des eaux superficielles, 4- Aptitude à une couverture en pente, favorisant le ruissellement.	Certains déchets spéciaux
Classe II (Site semi-perméable)	$10^{-9} \leq K \leq 10^{-6}$	1- Capacité du site à assurer une épuration des lixiviats, 2- Infiltrations modérées du bilan hydrique, les écoulements vers un point bas, 3- Intérêt à garantir les eaux souterraines contre les risques de pollution	Déchets assimilables aux ordures ménagères
Classe III (Site perméable)	$K \geq 10^{-6}$	Migration trop rapide des lixiviats constituant un risque élevé de pollution des nappes.	Déchets inertes

(Source : ANRED, 1986)

II-3. Fonctionnement des installations de stockage des déchets ISD

Le fonctionnement d'une ISD peut s'apparenter à un réacteur bio-physico-chimique donnant lieu à des réactions et à des évolutions complexes qui aboutissent à la transformation chimique, physique et biologique des déchets. Du fait des conditions géologiques et hydrologiques du site, de la nature des déchets stockés et du mode de gestion de l'exploitation, chaque centre de stockage est un cas unique, il n'est donc pas envisageable de déterminer avec précision un mode d'évolution qui serait applicable à tous les centres [5].

Cependant, certains phénomènes sont communs à la majorité des sites et peuvent être quantifiés, permettant ainsi de caractériser l'évolution générale d'une installation de stockage, en particulier en ce qui concerne les aspects biologiques, physico-chimiques, hydrauliques, et géotechniques :

- les matières biodégradables mises en décharge font l'objet d'une évolution biologique sous l'action des bactéries aérobies puis des bactéries anaérobies,
- en l'absence de dispositions particulières, l'eau qui s'écoule à travers la masse des déchets produit des lixiviats en se chargeant de substances chimiques et/ou biologiques,
- des réactions chimiques ou physiques conduisent à la destruction partielle de la matière et à la solubilisation de certaines molécules ou à leur transformation en gaz,
- les déchets stockés, et souvent les sols qui les entourent, sont constitués de matériaux hétérogènes sur le plan de leur qualité physique. Les casiers et les alvéoles subissent des tassements qui modifient leurs caractéristiques mécaniques et géotechniques.

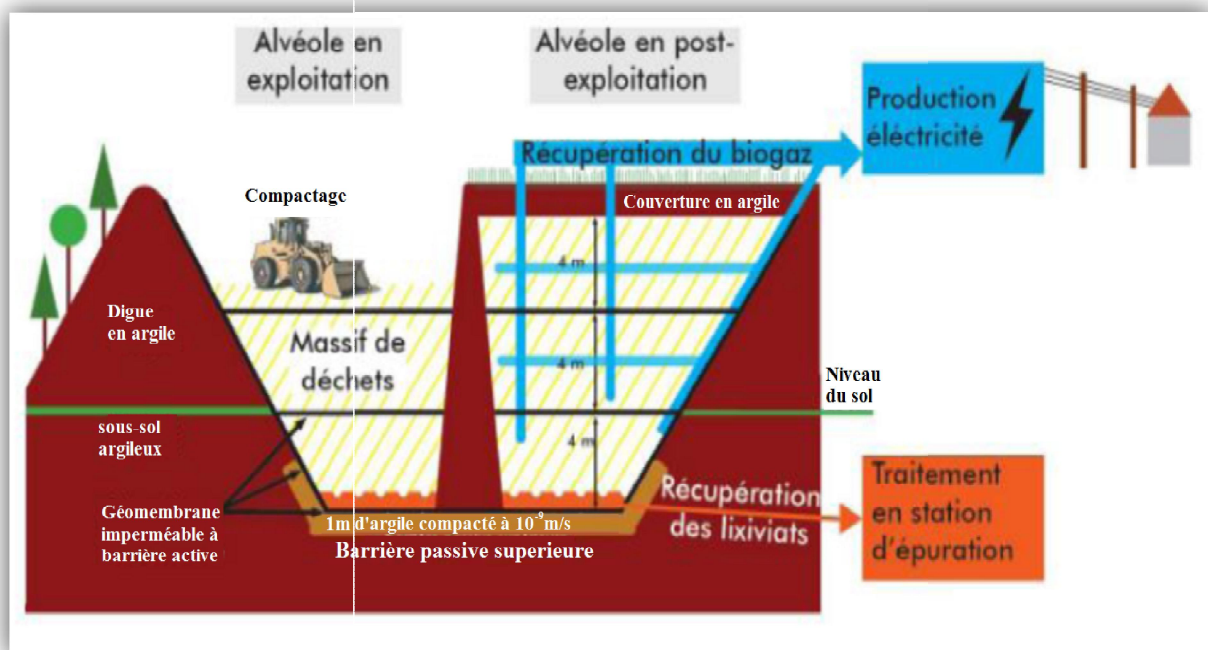


Figure II-2 : Schéma de fonctionnement d'une ISD [22].

II-4. Evolution des déchets dans une décharge d'ordures ménagères

Une fois déposés dans la décharge, les déchets subissent une dégradation aérobie favorisée par l'oxygène en place. Durant cette phase aérobie, ce sont les micro-organismes hydrolytiques qui assurent la dégradation de la matière organique solide présente dans les déchets par l'action d'enzymes spécifiques (protéolytiques, cellulolytiques, lipoprotéiques). Il résulte de ces dégradations une transformation des grosses molécules organiques insolubles en molécules plus petites qui pourront ultérieurement servir de substrats pour d'autres microorganismes. Ce métabolisme aérobie peut continuer jusqu'à une minéralisation complète des substrats biodégradables et conduit à des métabolites finaux (CO_2 , H_2O , CO_3^{-2} , HCO_3^- , NO_3^- , PO_4^{-3} et SO_4^{-2}). Après c'est la dégradation anaérobie qui prend le relais produisant ainsi du CO_2 et CH_4 .

Il existe cinq phases de digestion anaérobie des déchets:

a) Phase de latence

Durant laquelle on assiste à un remplissage initial, augmentation de l'humidité et un début de tassement des alvéoles.

b) Phase de transition

Cette phase est caractérisée par la première production des lixiviats et un début de la dominance de la phase anaérobie qui se manifeste par une substitution de l'oxygène par les nitrates ou les sulfates comme accepteur final d'électrons. De plus, durant cette étape, on assiste à une hydrolyse bactérienne aérobie ou anaérobie des complexes organiques aboutissant à la formation de sucres simples, d'acides gras et d'acides aminés. Les premières formations des AGV (acides gras volatils) [5].

c) Phase acidogène

C'est la phase des AGV qui peuvent constituer jusqu'à 95 % du carbone organique total (COT). Ceci est dû au développement d'une autre flore bactérienne capable de transformer les produits issus de l'hydrolyse en acide acétique, en acétates (avec formation de H_2 et CO_2), en alcool ou en AGV. L'ensemble de ces composés conduit à la production de lixiviats acides.

d) Phase de fermentation méthanique

Au cours de cette étape, les AGV, l'acide acétique et le méthanol formés dans la phase acidogène sont métabolisés. Les résidus de cette métabolisation sont des gaz: CH_4 (45 à 60%), CO_2 (35 à 50 %) et de grosses molécules stabilisées (acides humiques). Cette étape est favorisée par des bactéries strictement anaérobies. De plus, lors de cette étape, on enregistre souvent une élévation du pH donnant des valeurs proches de la neutralité. Enfin la portion organique des lixiviats diminue et il s'y adjoint un phénomène de précipitation des métaux.

e) Phase de maturation finale

Cette phase est caractérisée par une diminution des teneurs en nutriments et une diminution de biogaz.

II-5. Configuration d'un site de stockage de déchets ménagers et assimilés

A ce jour, la mise en décharge est encore la principale voie d'élimination des déchets. Le terme « décharge » a longtemps désigné les anciens centres d'enfouissement non contrôlés du fait de l'absence d'infrastructures garantissant la maîtrise des émissions polluantes liquides (lixiviats) et gazeuses (biogaz) et de l'absence d'un contrôle rigoureux de la nature des déchets enfouis. L'évolution de la réglementation ainsi que les progrès techniques en terme de gestion et de traitement des déchets ont cependant permis d'améliorer la sécurité des installations de stockage en terme d'impacts environnementaux [7].

Les Centres de stockages des déchets ont progressivement remplacés les décharges contrôlées de DMA ou les centres d'enfouissement techniques (CET). Ces CSD sont dits classe II ou centres de stockage pour déchets non dangereux, et sont habilités à recevoir des déchets ménagers et assimilés. Les conditions d'implantation, d'aménagement, d'exploitation et de surveillance sont imposées en raison des nombreux risques pouvant être causés sur la santé et l'environnement. Ils sont ainsi de véritables sites confinés grâce à la mise en place de barrières de sécurité assurant l'étanchéité des alvéoles, limitant les entrées d'eau et minimisant les émissions de biogaz et de lixiviats.

Sur les sites de stockage actuels, la zone à exploiter est divisée en casiers, eux même le plus souvent subdivisés en alvéoles. La réalisation de ces casiers permet de restreindre les risques de nuisances, de pollution des eaux souterraines et superficielles à des entités spatiales réduites. Chaque casier est une entité hydrauliquement indépendante [15].

La sécurité active (la géomembrane) prévient et évite les risques de pollution et la sécurité passive (le sol) minimise les effets d'une pollution en cas de défaillance de la première. Le rôle de cette géomembrane est d'assurer une indépendance hydraulique, le drainage et la collecte des lixiviats et d'éviter la sollicitation de la barrière passive. Pour cela, elle est surmontée d'une couche de drainage. L'ensemble de l'installation de drainage et de collecte des lixiviats doit être conçu pour limiter la charge hydraulique à 30 cm en fond de site [15].

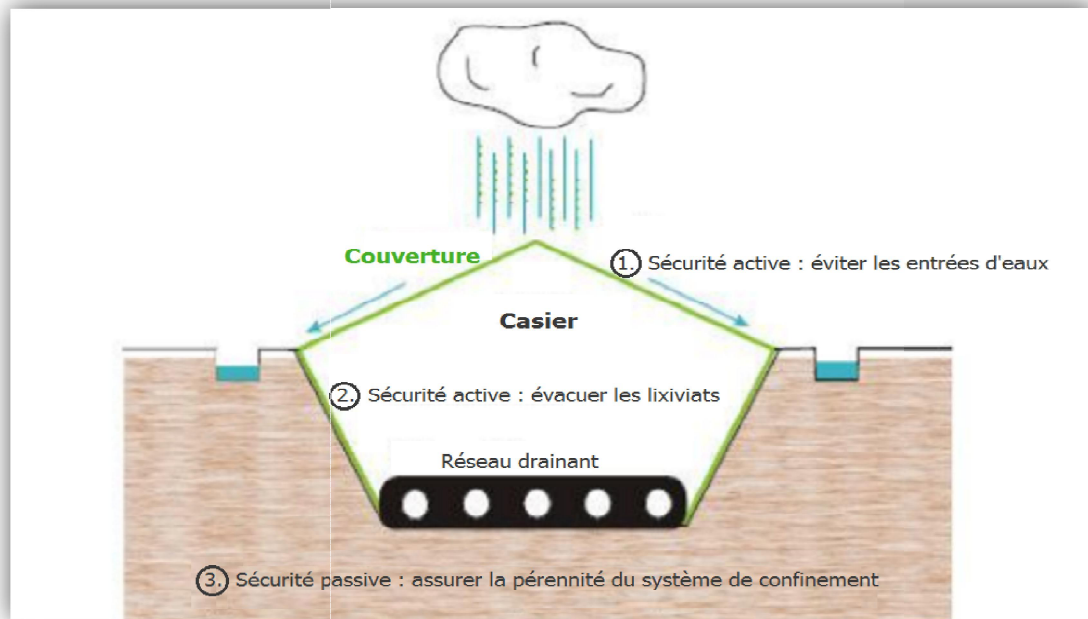


Figure II-3 : Schéma de confinement d'un casier [15].

II-6. Matériaux d'étanchéité utilisés pour le confinement des CET

Les matériaux d'étanchéité sont de deux types : les géomembranes et les argiles, qui constituent ensemble les étanchéités composites.

a) Les géomembranes

Elles sont manufacturées avec une épaisseur minimale de 1 mm et conditionnées en rouleaux de largeur supérieure à 1,5 m. Ces rouleaux doivent être soudés ou collés entre eux pour assurer la continuité de l'étanchéité. Les géomembranes peuvent être bitumineuses ou de synthèse [15].

- ❖ **Les géomembranes bitumineuses** : sont élaborées par l'imprégnation d'un géotextile, produit textile synthétique sous forme de nappe perméable, par du bitume oxydé ou polymère.
- ❖ **Les géomembranes de synthèse** : sont élaborées à partir de résines (30 à 98%), d'adjuvants tels que les antis ultra-violets (UV) ou antioxydants et parfois d'un autre polymère. Le noir de carbone est un des anti-UV utilisés, c'est lui qui confère leur couleur noire à certaines géomembranes [14].

b) L'étanchéité passive constituée d'argiles

Les argiles sont situées à l'aval hydraulique direct de la géomembrane. Elles constituent la barrière de sécurité passive, qui doit être constituée d'une couche de perméabilité à 10^{-9} m/s sur une épaisseur minimale de 1m, reposant sur une couche de perméabilité à 10^{-6} m/s sur au

moins cinq mètres. Si le contexte géologique du site ne répond pas à ces prescriptions, des mesures compensatoires doivent être prises [15].

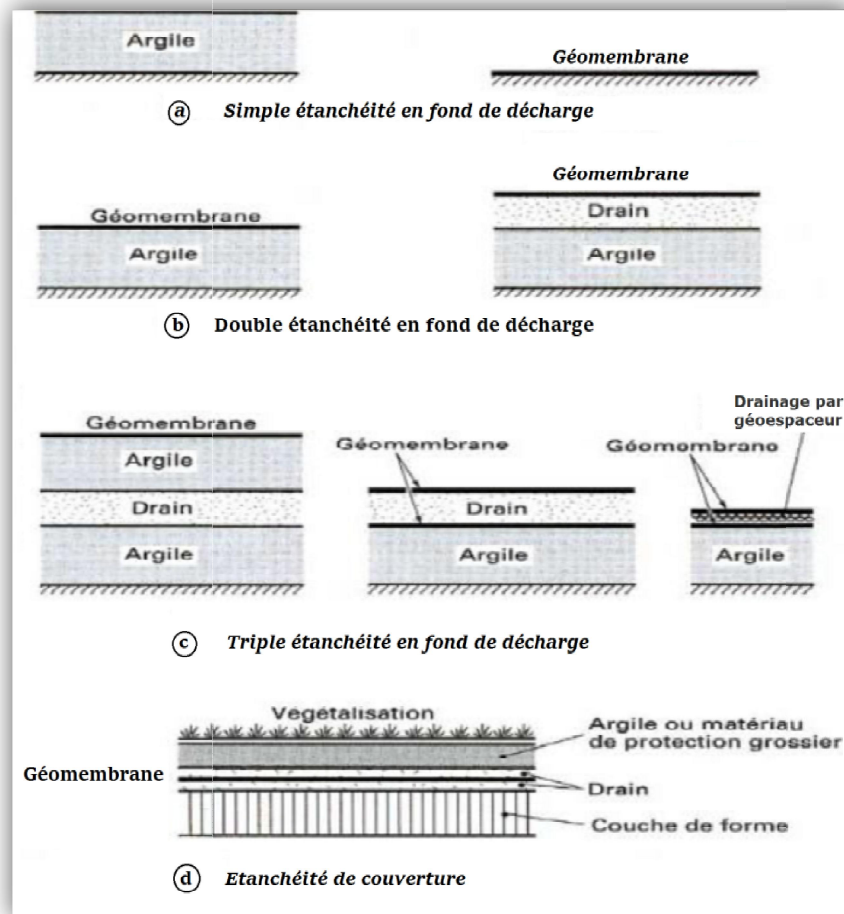


Figure II-4 Combinaisons et structures d'étanchéité en fond et couverture de décharge [10].

Afin de garantir un transfert minimum vers le milieu environnant, l'argile est compactée lors de sa mise en place. Les minéraux argileux présentent un pouvoir d'arrêt important par rapport à de nombreux polluants compte tenu de leur structure cristalline. La rétention peut se faire par échange ou par adsorption. La rétention d'un polluant est fonction de sa nature, de sa charge et du type d'argile. Dans le cas des molécules, la symétrie de celle-ci sera favorable à leur adsorption. Pour les molécules organiques, l'adsorption la moins bonne concerne les molécules comportant moins de 4 atomes de carbone. Les complexes non polaires seront peu arrêtés. Les cations se fixent sur les particules d'argile chargées négativement. Les anions non retenus par l'argile migreront plus facilement vers la nappe [15].

L'argile joue également un rôle de catalyseur pour certaines réactions d'hydrolyse.

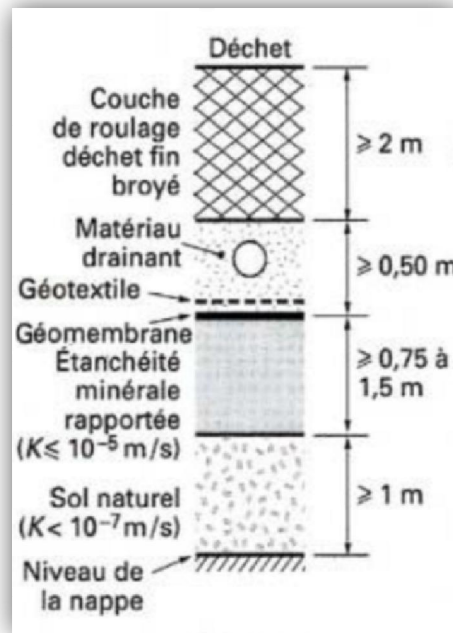


Figure II-5 : Principe du confinement d'un casier [10].

II-7. Système de drainage du biogaz

La collecte et le traitement du biogaz sont imposés dans les réglementations européennes et française (Directive européenne 99/31 CE et AR-FR/97)[35].

Le système de drainage doit permettre de collecter le maximum de biogaz produit, de maintenir une qualité constante du biogaz pour assurer une alimentation régulière des dispositifs de traitement et offrir une certaine flexibilité compte-tenu des changements de production de biogaz au cours de la biodégradation.

Le biogaz s'écoule dans la masse de déchets principalement grâce à la différence de pression dans la mesure où la formation du biogaz crée une pression plus élevée que la pression atmosphérique. Le gaz parcourt alors le chemin le moins de résistant. La perméabilité horizontale de la masse de déchets étant plus grande que la perméabilité verticale, le biogaz a tendance à migrer vers les limites extérieures du massif de déchets. Il existe deux systèmes de collecte du biogaz:

II-7-1. Systèmes à puits verticaux

Il est recommandé d'utiliser des tubes perforés en polyéthylène en raison de leur résistance à la corrosion, et de leur plasticité dont le diamètre usuel est de 100 à 200 mm. Il est recommandé pour le suivi du tassement, que le tube de filtration doit être équipé d'un dispositif télescopique et l'installation d'une couche d'argile autour de cette partie télescopique pour empêcher l'air d'entrer par le puits.

II-7-2. Systèmes à drains horizontaux

Les drains horizontaux placés dans la masse de déchets peuvent remplir deux fonctions :

- Soit ils constituent le système "principal" de collecte du gaz, à la place des systèmes verticaux, ils sont alors disposés à intervalles réguliers et répartis dans la masse;
- Soit ils constituent des "auxiliaires" des drains verticaux auxquels ils sont connectés et vers lesquels ils canalisent les gaz formés dans la masse.

L'extraction verticale est la plus utilisée dans les centres de stockage, alors que l'extraction horizontale est souvent réservée aux centres peu profonds.

Les drains horizontaux sont, plus que les drains verticaux, sensibles aux risques de colmatage dus à la présence de lixiviats, condensant, et fines ainsi qu'aux tassements différentiels[10].

II-8. Captage du biogaz

Pour la collecte du biogaz, constitué principalement de méthane et de dioxyde de carbone, les centres de stockage doivent être pourvus d'un réseau de puits verticaux , qui seront connectés par des tuyaux horizontaux qui acheminent le biogaz vers une installation de valorisation ou, à défaut vers une installation de destruction par combustion (torchère), et la conception de l'installation de drainage, de collecte et de traitement doit faire l'objet d'une étude.

Après captage du biogaz, il faut analyser sa composition en particulier en ce qui concerne la teneur en (CH₄, CO₂, O₂, H₂S et H₂O).

En cas de destruction par combustion, la température doit être au moins de 900 °C. La législation française fixe la fréquence des mesures de poussières et CO et donnent les valeurs suivantes :

➔ Poussières < 10 mg / Nm³

➔ CO < 150 mg / Nm³ [8]

II-9. Exploitation du site

Dans un premier temps, il convient de définir les conditions d'admission des déchets, ce qui est préalable à l'exploitation du centre de stockage. L'exploitation en dehors de l'enfouissement consiste à collecter et à traiter les effluents produits par les déchets stockés : les lixiviats et le biogaz.

II-9-1. Critères et procédures d'admission des déchets

Selon l'article 9 de l'AR-FR/06 (Arrêté du 19/01/2006 relative aux installations de stockages des déchets non dangereux), deux conditions obligatoires sont fixés pour l'admission des déchets dans une installation de stockage:

- ❖ La vérification de l'existence d'une information préalable ou d'un certificat d'acceptation préalable pour toute livraison de déchets;
- ❖ Le contrôle de non radiation du chargement.

L'exploitant doit consigner sur le registre des admissions pour tous les déchets entrants :

- la nature et la quantité des déchets;
- le lieu de provenance et l'identité du producteur ou de la (ou des) collectivité(s) de collecte;
- la date et l'heure de réception, et, si elle est distincte, la date de stockage;
- l'identité du transporteur;
- le résultat des contrôles d'admission (contrôle visuel et, le cas échéant, contrôle des documents d'accompagnement des déchets) ;
- la date de délivrance de l'accusé de réception ou de la notification de refus et, le cas échéant, le motif du refus [40].

L'article 32 du Décret n° 84-378 du 15 décembre 1984 fixant les conditions de nettoyage, d'enlèvement et du traitement des déchets solides urbains donne les déchets solides urbains autorisés suivants: les ordures ménagères et assimilées, les déblais et gravats, les cendres et mâchefers refroidis, les déchets encombrants et les boues pelle-tables des stations d'épuration.

Et interdits les déchets solides industriels et urbains suivants: les liquides contenant des produits chimiques, même s'ils sont en bidons clos, les déchets industriels solides divers susceptibles à s'enflammer spontanément, les produits solides pulvérulents ou boues présentant un risque de pollution chimique ou de toxicité, les résidus industriels solubles, présentant un risque sérieux du fait qu'ils sont susceptibles de passer directement dans les eaux traversant la décharge, ainsi que ceux présentant des particularités susceptibles de réagir défavorablement avec les autres résidus admis à la décharge ou le milieu ambiant, les matières colorantes et les matières radioactives [32].

II-9-2. Description de l'enfouissement

Un site d'enfouissement technique permet la disposition finale des déchets solides de façon sécuritaire en minimisant les impacts sur l'environnement. Il ne peut être exploité qu'un

casier ou qu'une alvéole par type (origine) de déchets (Article 27 de AR-FR/97). Les déchets sont étendus en mince couches dans des cellules étanches et où ils sont nivelés, compactés et recouverts périodiquement avec de la terre ou un autre produit inerte pour limiter les infiltrations d'eau dans le déchet, et les nuisances dues aux envols de déchets et aux émanations de gaz [39].

L'article 18 de l'AR-FR/06 (Arrêté du 19/01/2006), précise que seules les déchets mis en balles, qui ne seront pas compactés donc déposés en couches successivement, et recommande un recouvrement journalier de la zone exploitée du casier ou de l'alvéole afin de limiter l'envol des déchets légers.

L'article 19 de l'AR-FR/06 oblige l'exploitant à mettre en place un programme de surveillance de ses rejets [40].

II-10. Conclusion

La gestion des déchets solides représente l'un des défis les plus importants des sociétés urbaines et industrielles. L'enfouissement technique reste un mode important d'élimination des déchets. Il est considéré dans les pays en développement comme une solution par défaut pratiquée sans aucune considération pour l'environnement.

Tous les procédés de traitements de déchets décrits peuvent se compléter entre eux. Une solution mixte compostage et incinération par exemple, permettra de moduler le fonctionnement de deux unités en fonction de la demande de compost. Toutefois, dans tous les cas de figures on ne peut éviter la mise en décharge.

Un centre d'enfouissement technique doit permettre non seulement une gestion efficace des déchets urbains mais aussi le traitement après drainage et récupération des deux effluents qui sont lixiviats et les biogaz.

CHAPITRE III : POLLUTION GENEREE PAR LES DECHETS MENAGERS ET ASSIMILES

III-1. Introduction

L'enfouissement des déchets ménagers et assimilés génère une pollution de l'environnement qui devient un problème très préoccupant. Cette situation trouve ces racines dans les menaces visibles sur la santé de la population et le cadre de vie, ainsi que dans les risques imminents sur les ressources naturelles de l'environnement en générale.

En effet, le dépôt incontrôlé des ordures ménagères provoquent des émissions entraînant une détérioration de l'environnement; telles que les eaux de percolation appelées lixiviats qui peuvent impacter les sols, nappes souterraines et superficielles et d'énormes quantités de biogaz qui impactent l'air et contribuent à l'augmentation de l'effet de serre.

III-2. Formation et composition des lixiviats

III-2-1. Formation des lixiviats

Le lixiviat est un effluent toxique issu des centres de stockage des déchets. Il est composé de multiples éléments organiques et minéraux [18]. Il est défini comme étant « l'eau qui percole à travers les déchets en se chargeant bactériologiquement et chimiquement de substances minérales et organiques ». Il est appelé aussi « le jus des poubelles ».

La production massive des lixiviats engendre des risques de pollution des sols, des rivières et des nappes phréatiques, Il est donc nécessaire de le collecter et de le traiter avant son rejet dans le milieu naturel. Les lixiviats apparaissent dès que l'humidité des déchets est supérieure à leur capacité de rétention. A partir de ce moment, les eaux de percolation, provenant essentiellement des précipitations, ne peuvent plus être retenues par le déchet et s'écoulent dans l'espace des pores. Plusieurs facteurs agissent sur la formation des lixiviats:

- Le climat et l'hydrogéologie (précipitations, neige, infiltration, évaporation, etc.),
- La gestion du site (compactage, déchets broyés, recirculation de lixiviat, géomembrane),
- Le type et la qualité des déchets (porosité, âge, densité, humidité initiale, etc.).

III-2-2. Composition des lixiviats

La composition chimique et biochimique des lixiviats est très diverse et aussi variable dans le temps et dans l'espace. Il existe quatre types de polluants dans les lixiviats:

- La matière organique dissoute ou en suspension, issue de la biomasse, exprimée en DCO (les acide gras volatiles(AGV), les substances humiques et fulviques...),
- Les micropolluants organiques (hydrocarbures, composés aromatiques...),

- Les composés minéraux majeurs sous forme ionique (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , NH_4^+ , HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-} ...) ainsi que d'autres composés tels que les borates, les sulfites...
- Les cations de métaux lourds à l'état de traces, sous forme majoritairement complexée par des ligands minéraux (HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-}) ou organiques (macromolécules de type humiques et fulviques).

D'autre part, les lixiviats peuvent aussi contenir certains micro-organismes pathogènes tels que les coliformes, bactéries pathogènes, virus et parasites.

III-3. Type de lixiviats des décharges

Suivant le stade d'évolution biologique des déchets, trois types de lixiviats sont distingués :

III-3-1.Lixiviat Jeune

Un lixiviat jeune (âge < 5 ans) est caractérisé par une charge organique élevée (DCO dépasse souvent 20 g/l et peut même atteindre des valeurs extravagantes jusqu'à 80 000 mg/l), les acides carboxyliques représentent environ 80% de la charge organique, une biodégradabilité moyenne ($\text{DBO}_5/\text{DCO} > 0.3$), une teneur en métaux élevée (jusqu'à 2 g/l) et le rapport COT/DCO voisin de (0.3).Ainsi, un traitement biologique est fortement recommandé pour ce genre d'effluent [15].

III-3-2.Lixiviat Intermédiaire

C'est une phase de transition entre le lixiviat jeune et le lixiviat stabilisé. Le lixiviat intermédiaire (âge de 5 à 10 ans) est caractérisé par une charge organique plus faible que celle du jeune (3 et 15 g/l), une biodégradabilité assez faible ($0.1 < \text{DBO}_5/\text{DCO} < 0.3$), le pourcentage en acides carboxyliques est faible (20% à 30%) et une charge en métaux lourds faible.

III-3-3.Lixiviat Stabilisé

Le lixiviat stabilisé (âge >10 ans) est appelé aussi le lixiviat vieux. Il est caractérisé par une charge organique très faible (DCO ne dépasse pas les 2 g/l), une biodégradabilité très faible ($\text{DBO}_5/\text{DCO} < 0.1$) et les acides carboxyliques et les métaux n'existent presque pas, mais la teneur des composés à haut poids moléculaire est importante [16].

Tableau III-1: Classification des lixiviats

Type de lixiviat	Jeune	Intermédiaire	Stabilisé
Age des lixiviats	< 5 ans	5 - 10 ans	> 10 ans
PH	< 6.5	7	> 7.5
DCO (g/l)	> 20	3-15	< 2
Biodégradabilité (DBO ₅ /DCO)	Moyenne > 0.3	Assez faible 0.1 - 0.3	Très faible < 0.1
COT/DCO	0.3	-	0.4
Matières organiques	70-90% AGV ⁽¹⁾	20-30% AGV ⁽¹⁾	SHF ⁽²⁾
Azote NTK (mg/l)	100 – 2000	-	-
Métaux lourds (g/l)	2	< 2	< 2
⁽¹⁾ : AGV = Acides Gras Volatils ⁽²⁾ : SHF = Substances Humiques et Fulviques et substances de hauts poids moléculaires			

(Source : Céline Berthe, 2006)

III-4. Caractérisation des lixiviats

Les paramètres influençant la composition du lixiviat sont la composition des déchets enfouis, leur degré de décomposition, leur taux d'humidité, leur température, le taux d'infiltration de l'eau dans les déchets, les conditions climatiques et l'âge de la décharge [7].

Les principales mesures caractérisant un lixiviat sont :

- la Demande Chimique en Oxygène (DCO),
- la Demande Biologique en Oxygène (DBO₅),
- le Carbone Organique Dissous (COD),
- l'Azote Total Kjeldahl (NTK),
- le pH, la conductivité,
- les métaux, etc.

Le Tableau III-2 donne les valeurs extrêmes qui peuvent être retrouvées dans un lixiviat.

Tableau III-2: Caractéristiques physico-chimiques des lixiviats d'ordures ménagères

	Unité	Paramètre	Valeurs limites
Paramètres globaux	-	pH	4.5 - 9
	µS/cm	Conductivité	2500 - 25000
	mg/l	COD	30 - 27700
	mg/l	DBO ₅	20 - 57000
	mg/l	DCO	140 - 90000
	mg/l	NTK	14 - 2500
Principaux ions	mg/l	Fer (Fe ²⁺)	1 - 5
	mg/l	Manganese (Mn ²⁺)	0.03 - 1400
	mg/l	Ammonium (NH ₄ ⁺)	50 - 1800
	mg/l	Calcium (Ca ²⁺)	10 - 7200
	mg/l	Potassium (K ⁺)	50 - 3700
	mg/l	Sodium (Na ⁺)	70 - 7700
	mg/l	Carbonate (CO ₃ ²⁻)	610 - 7320
	mg/l	Chlorure (Cl ⁻)	150 - 4500
mg/l	Sulfate (SO ₄ ²⁻)	8 - 7750	

(Source : Céline Berthe, 2006)

III-5. Production du lixiviat

Le lixiviat 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. 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 (hauteur des déchets, surface exploitée, compactage...) mais aussi l'étude des interactions entre l'eau et les déchets. Les mécanismes de la genèse des lixiviats sont très complexes, ils sont de natures physico-chimique et biologique [7].

III-5-1. Mécanismes physico-chimiques

Les principaux mécanismes physico-chimiques sont :

- La dissolution : le degré de broyage ou l'état de division des déchets modifie leur surface spécifique,
- La solubilisation (milieu acide) ou la précipitation (sulfates, carbonates) selon les principaux paramètres du milieu (pH, potentiel d'oxydoréduction, capacité tampon, présence d'agents complexant).

III-5-2. Mécanismes biologiques

Il existe deux types de mécanismes biologiques de la genèse de lixiviats; à savoir : aérobies (en présence d'oxygène) et anaérobies (en absence d'oxygène).

III-5-2-A. Mécanismes biologiques aérobies

La fermentation aérobie se produit immédiatement après le dépôt des déchets tant que la densité des déchets permet le passage de l'oxygène (faible compactage).

III-5-2-B. Mécanismes biologiques anaérobies

On distingue cinq étapes caractéristiques de l'évolution d'une décharge d'ordures ménagères:

a) Hydrolyse

C'est le passage des conditions aérobies aux conditions anaérobies où il y'a chute du potentiel d'oxydoréduction, apparition d'acides carboxyliques et augmentation rapide de la charge organique. La dégradation de la matière organique par les enzymes bactériennes conduit à un mélange de sucres simples et d'acides aminés libres qui pourront servir de nutriments dans la phase suivante [7].

b) Acidogénèse

Cette phase est caractérisée par la formation des acides gras volatils (AGV) qui deviennent prépondérants dans la structure organique des lixiviats, à partir des produits d'hydrolyse. Il se produit une diminution du pH, une complication des espèces métalliques, une consommation de l'azote et du phosphore pour la croissance de la biomasse avec production de CO₂ et H₂.

c) Acétogénèse

Cette phase est caractérisée par le développement d'une autre flore bactérienne capable de transformer les acides gras volatils et les alcools sont transformés en acide acétique, Dioxyde de carbone (CO₂) et l'Hydrogène (H₂).

d) Méthanogénèse

Au cours de cette étape, les AGV, l'acide acétique et le méthanol formés dans la phase acidogène sont métabolisés en produisant des gaz: CH₄, CO₂ et de grosses molécules stabilisées (acides humiques). Cette étape est favorisée par des bactéries strictement anaérobies. Enfin la portion organique des lixiviats diminue et il s'y adjoint le phénomène de précipitation des métaux.

e) Maturation

Cette phase est caractérisée par une diminution des teneurs en nutriments et une diminution de biogaz [7].

Le diagramme présenté par la figure III-1 donne une idée globale sur l'évolution et la composition du lixiviat et du biogaz au cours de la dégradation des déchets.

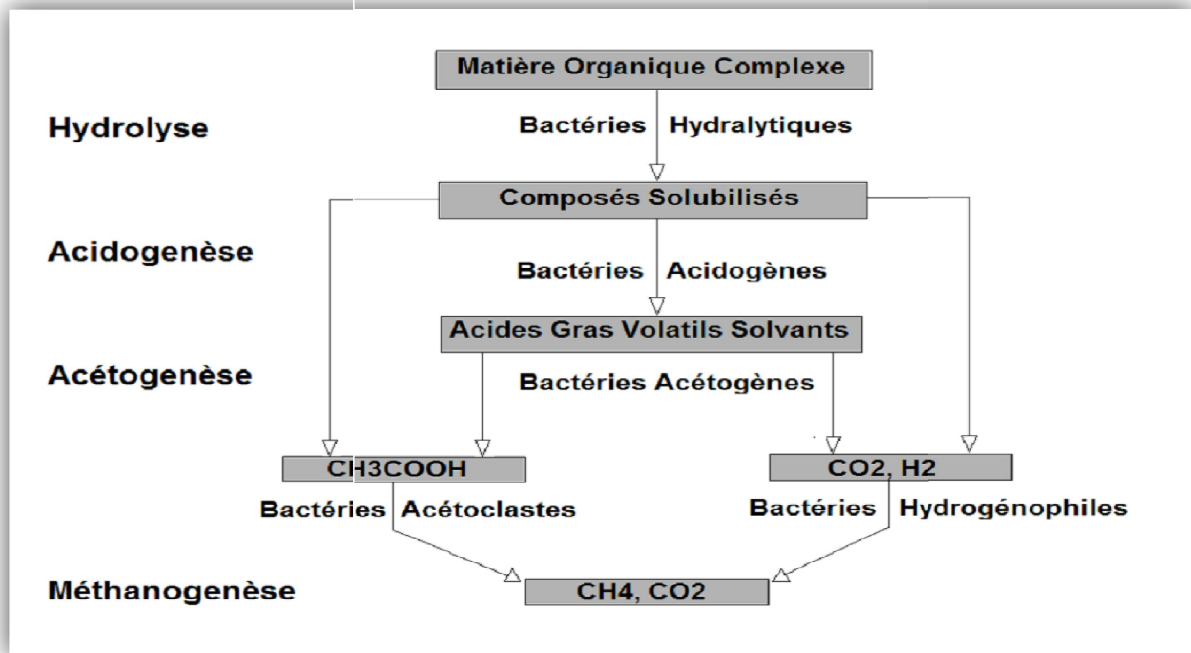


Figure III-1: Évolution de la composition du lixiviat [7].

III-6. Quantification des lixiviats

Le bilan hydrique permet de comprendre les phénomènes de production de lixiviat au sein du massif de déchets dans un centre de stockage. Il permettra d'évaluer le volume d'eau de pluie infiltrée et de dimensionner les ouvrages de collecte, de drainage et de traitement à mettre en place. L'équation de base du bilan hydrique peut s'écrire:

$$\text{Où, } E = P + ED + I_{\text{ext}} + I_{\text{int}} - ETR + R_{\text{ext}} - R_{\text{int}} \pm \Delta\sigma \dots \dots \dots \text{ (III-1)}$$

E : Quantité d'effluents pouvant être produite;

P : Quantité d'eau pluviale tombant sur le site;

ED : Eau de constitution des déchets;

ETR : Evapotranspiration réelle;

I_{int} : Infiltration de l'intérieur vers l'extérieur;

I_{ext} : Infiltration de l'extérieur vers l'intérieur

R_{ext} : Quantité d'eau ruisselant de l'extérieur du site vers les fossés de collecte des eaux de ruissellement;

R_{int} : Quantité d'eau ruisselant de l'intérieur du site vers l'extérieur;

$\Delta\sigma$: Variation de la teneur en eau des déchets= variation du stock d'eau dans le massif.

Dans le cas de CET construits dans les normes, on peut considérer les termes R et I comme étant négligés [24]. L'évaluation des volumes de lixiviats produits peut être obtenue:

$$E = P + ED - ETR \pm \Delta\sigma \dots \dots \dots (III-2)$$

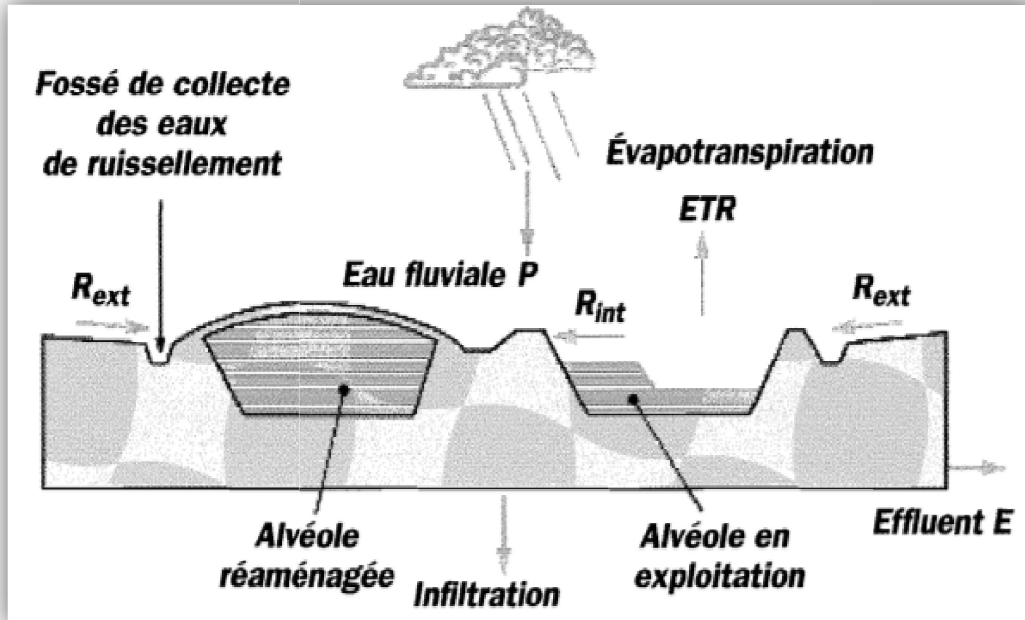


Figure III-2 : Cycle de l'eau dans un centre de stockage de déchets [24].

III-7. Formation et composition du biogaz

III-7-1. Formation du biogaz

L'ensemble des déchets organiques produit, lors de sa décomposition, d'énormes quantités de méthane et de gaz carbonique. Ces gaz regroupés forment ce qu'on appelle le biogaz qui contribue à l'augmentation de l'effet de serre.

Le biogaz représente une source d'énergie et de chaleur mais il a cependant un impact non négligeable sur l'environnement. En effet, le méthane participe activement à l'effet de serre et l'émission issue des décharges d'ordures ménagères est l'une des sources anthropogéniques les plus importantes. Il provient de la dégradation de la matière organique en l'absence d'oxygène (dégradation anaérobie). La fermentation anaérobie comprend les quatre étapes citées ci-dessus; à savoir : l'hydrolyse, l'acidogénèse, l'acétogénèse et la méthanogénèse.

La production de biogaz liée à la phase de stabilisation des déchets, en système anaérobie, dépend de plusieurs paramètres; à savoir : la nature du déchet, la teneur en humidité, la température, le pH, la disponibilité des nutriments et la présence d'inhibiteurs.

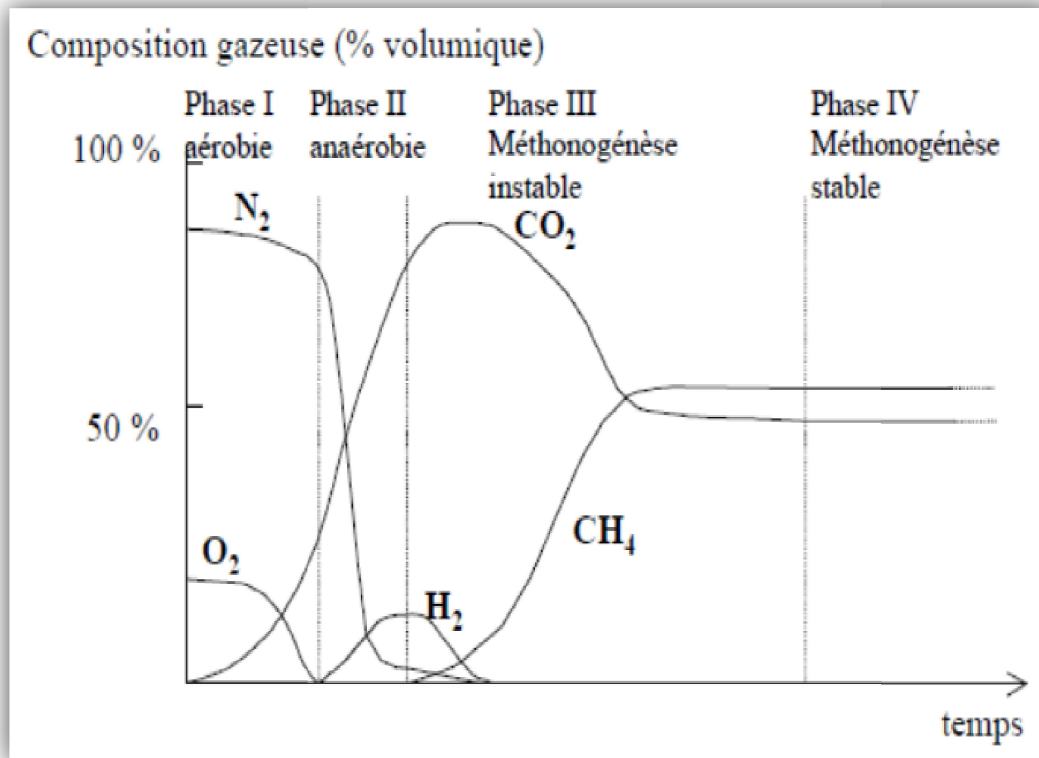


Figure III-3 : Évolution typique de la composition du biogaz d'une décharge.

III-7-2. Composition des Biogaz

Le biogaz issu des décharges est un mélange composé essentiellement de méthane et de dioxyde de carbone (le rapport CH_4/CO_2 est d'environ 60/40 en phase de méthanogénèse).

Il contient aussi de l'hydrogène sulfuré (H_2S) et de l'eau (H_2O) et peuvent aussi contenir des quantités variables d'azote (N_2), d'oxygène (O_2), d'hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), des composés organo-halogénés (chlore et fluor) et des métaux lourds (ces trois dernières familles chimiques étant présentes à l'état de traces). Les concentrations en gaz inertes (N_2, \dots) et en gaz toxiques (H_2S, \dots) sont variables selon la composition à l'origine des déchets [33].

Le dégagement en grande quantité de gaz inertes dans l'atmosphère, conduit à une dilution de l'air, donc à une diminution de la concentration en oxygène ; Si cette diminution est importante (teneur en oxygène de l'ordre de 10 à 12 %), il existe alors un risque d'asphyxie.

Les risques d'intoxication concernent principalement (hors particules) : l'hydrogène sulfuré, le monoxyde et le dioxyde de carbone, les composés organiques volatils (COV).

Le dioxyde de carbone varie, quant à lui, entre 5 et 50 % ; les teneurs les plus élevées (proches de 50 %), se rapportent surtout au cas des décharges.

Tableau III-3 : Composition moyenne des biogaz de décharges

Composants majeurs des biogaz de décharges	Unité	Valeur
CH ₄	%	45
CO ₂	%	32
N ₂	%	17
O ₂	%	2
H ₂ O	%	4
H ₂ S	mg/m ³	5-20
Aromatiques	mg/m ³	1
Organo– halogénés	mg/m ³	0-100

(Source : BROZ, 2006)

III-8. Dangers et risques liés aux lixiviats et aux biogaz

III-8-1. Dangers et risques liés aux lixiviats

Les lixiviats de décharges se composent des polluants et substances toxiques; à savoir les polluants organiques, les substances minérales et les polluants bactériens et présentent une menace permanente pour l'environnement (sol et ressources en eau) et la santé humaine.

Des fuites de lixiviats peuvent donc se produire dans l'environnement autour du site de la décharge à cause d'absence ou de défaillance de membranes de protection au fond des casiers, mettant en danger les végétaux, les animaux et 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 [16].

Plusieurs littératures en matière d'effets sur la santé des lixiviats de l'enfouissement proviennent d'études réalisées par l'organisation américaine Agency for Toxic Substance and Disease Registry (ATSDR) mis en évidence que la contamination d'eaux souterraines ou de surface par les lixiviats constituaient les risques les plus significatifs.

L'exposition humaine aux lixiviats survient essentiellement par voie orale, lors de la consommation d'une eau souterraine ou de surface contaminée, par l'exposition peut également être respiratoire et par l'évaporation des contaminants volatils de l'eau contaminée, lors du bain ou surtout de la douche [15].

Une étude écologique portant sur la période de 1950 à 1973 pour les cas de cancer chez des personnes ayant résidé autour de 593 sites de déchets dangereux, où la seule eau de consommation disponible était de l'eau souterraine prouvée contaminée. On y a démontré des associations significatives d'excès de mortalité par cancer du poumon, de la vessie, de l'œsophage, de l'estomac, de l'intestin et du rectum, et cela pour les deux sexes [15].

Plusieurs maladies hydriques sont causées par la consommation des eaux contaminées par les lixiviats qui contiennent des microorganismes pathogènes. La pleine image des

maladies associées à l'eau est complexe pour un grand nombre de raisons. Durant la dernière décennie, les problèmes relatifs à l'eau sont devenus de plus en plus vastes, avec l'émergence de nouvelles maladies d'infection relatives à l'eau et la réémergence d'autres déjà connues, (Salmonelle, Choléra, Shigellose) [15].

La contamination des sols par les métaux lourds, constitue un enjeu fondamental parce qu'elle affecte notre environnement proche et directement lié à l'alimentation en eau potable. Pour limiter le risque de la pollution engendrée par le lixiviat dans les CSD, on doit prendre en considération les précautions suivantes:

- Réduction des eaux d'infiltration,
- Approvisionnement de terre de recouvrement,
- Délimitation des zones d'exploitation (zones d'entreposage).
- Ces zones d'exploitation ne doivent pas avoir une trop grande surface.
- A la fin de l'exploitation de l'alvéole, le recouvrement doit être approprié (couche d'argile, couche végétale et déviation des eaux de pluie).
- Le lixiviat est fortement pollué, donc précaution particulière entre autre :
 - ✓ Conception initiale adéquate du système d'étanchéisation de la base;
 - ✓ Contrôle régulier et rigoureux du système de collecte des lixiviats;
 - ✓ Système de collecte des lixiviats, évacuation et traitement doivent faire partie du concept de gestion des lixiviats.

III-8-2. Dangers et risques liés aux biogaz

Lors de dégradation anaérobie des déchets organiques, d'énormes quantités de méthane et de gaz carbonique sont produites. Ces gaz contribuent à l'augmentation de l'effet de serre.

La production et la valorisation de biogaz comportent les dangers et les risques principaux suivants :

- ❖ Incendie et explosion dus au mélange méthane/air qui est très dangereux lorsque la concentration de méthane dans l'air se situe entre 5 et 15%;

On cite les deux exemples :

1. L'explosion dans le sous-sol d'un immeuble situé en face d'une ancienne décharge publique un taux de 60% de méthane est mesuré en sous-sol ; une partie des murs porteurs et de la toiture sont soufflés par l'explosion, le 15/02/91 à Wintzenheim à l'Est de la France.

2. L'explosion dans une usine de traitement d'ordures ménagères à la suite d'une accumulation de gaz généré par la fermentation des déchets, le 04/04/91 à Massugas au Sud-ouest de la France.

- ❖ Intoxication et asphyxie inhérente à la présence d'hydrogène sulfuré (H_2S) et de dioxyde de carbone (CO_2). Ces gaz sont plus lourds que l'air, ils s'accumulent naturellement en partie basse des installations et de toutes autres constructions environnantes (cuves, puits, réservoirs, fosses, caves, regards,...).

Les risques liés à l'hydrogène sulfuré sont particulièrement insidieux car, si un dégagement de H_2S est facilement détectable à une concentration de 0,05ppm, le nerf olfactif se paralyse dès que la concentration atteint 50 à 150 ppm. Un œdème pulmonaire peut survenir à une concentration de 300 ppm et une perte de connaissance rapide peut être provoquée par une concentration de plus de 500 ppm. L'exposition à des concentrations élevées entraîne une perte de conscience en quelques secondes et le décès peut survenir très rapidement.

On cite l'exemple de :

- ✓ L'asphyxie un enfant cherchant à récupérer des métaux, suite à une chute dans une buse de dégazage (avec d'une forte concentration d'hydrogène sulfuré) d'une station de traitement des ordures ménagères, le 10/04/1997 à Mende au Nord Est de la région Occitanie en France [27].

Les fuites de biogaz élèvent nécessairement les niveaux des risques associés. Dans ce contexte, il existe des situations sensibles qui dépendent des caractéristiques intrinsèques des biogaz et donc d'actions combinées ou non de certains composants :

- ❖ formation de condensation dans les canalisations, obstruction possible des conduites et corrosion due aux composants agressifs du biogaz;
- ❖ soufflage de flamme molle pendant une combustion, selon les ratios gaz combustible/gaz neutre ou inerte; ce qui requiert des mesures préventives et une vigilance particulière.

III-9. Gestion des lixiviats

La gestion des lixiviats consiste à drainer les lixiviats se trouvant en fond de casier et les évacuer dans un bassin de traitement.

Une partie de lixiviats produits au niveau de la décharge sera engagée lors du procédé de la digestion anaérobie (méthanisation) de la fraction organique des déchets qui se transformera en biogaz (CH_4 et CO_2). Cependant, la partie restante des lixiviats migrera vers

le fond des casiers et sera drainée et acheminée vers des bassins de stockage désignés à ces fins de traitement.

Un drain périphérique en PEHD sera installé au pied de la digue à l'intérieur du casier. Les surfaces alimentant le drain auront une pente de 2.5 % afin de faciliter l'écoulement gravitaire des lixiviats vers la conduite principale. Le système de collecte de lixiviats sera équipé d'un réseau de tuyaux perforés, raccordés entre eux par soudure ou par manchons. Les drains perforés seront raccordés à une station de pompage placée à l'extérieur du casier. A partir de cette station, une pompe prendra en charge le refoulement des lixiviats vers les bassins de traitement. Les collecteurs et équipements du système de collecte des lixiviats devront être étanches, stables et résistants à la rupture. Des drains en PEHD fixés entre eux sont prévus. La classe de résistance mécanique minimale est PN16.

Les collecteurs des lixiviats seront posés sur un lit de sable préparé en conséquence dans un creux de la couche d'étanchéité. L'angle d'appui sera de 120 degrés. Ils seront recouverts par du gravier filtrant 25/40 (teneur en carbonate de calcium < 30 % du poids) jusqu'à 40 cm au-dessus de leur génératrice supérieure.

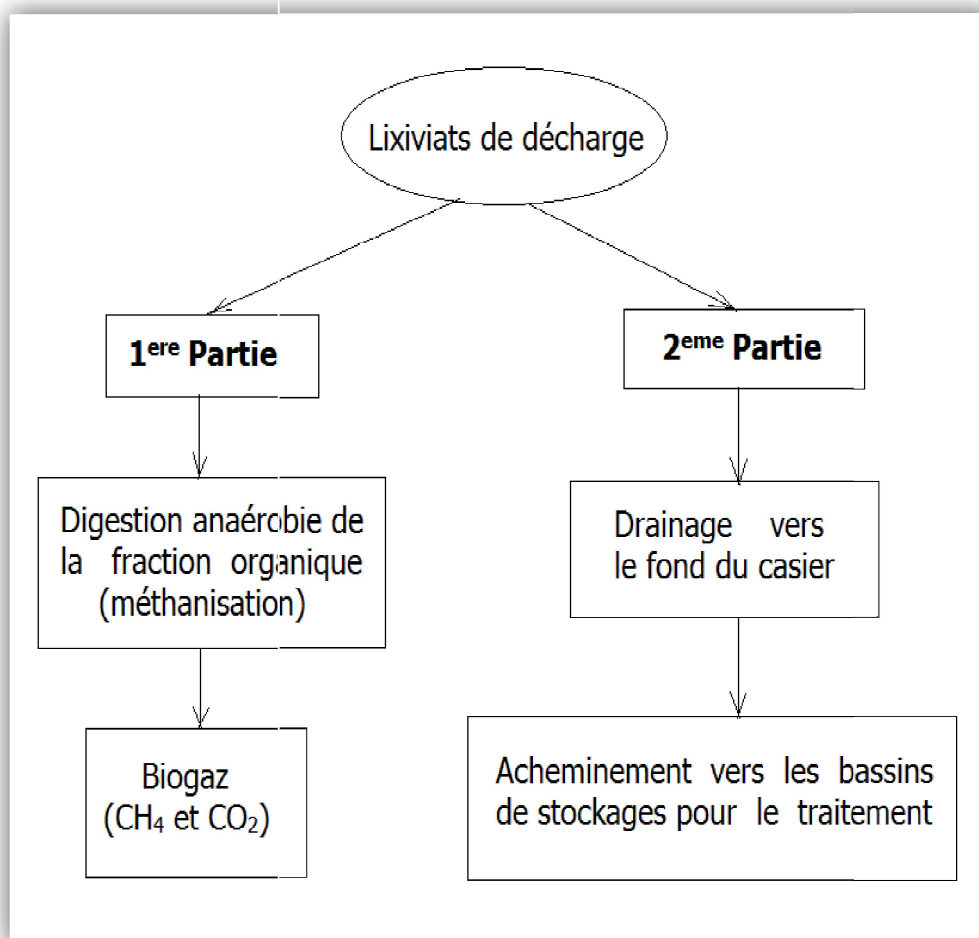


Figure III-4 : Gestion du lixiviat

III-10. Conclusion

Les lixiviats et les biogaz générés par l'enfouissement technique des déchets ménagers et assimilés présentent une menace permanente pour l'environnement (air, sol et ressources en eaux) et la santé humaine.

Pour éviter les risques et les dangers liés aux lixiviats, il faut prendre en considération des précautions particulières en assurant une conception adéquate du système d'étanchéisation de la base, un contrôle régulier et rigoureux du système de collecte des lixiviats et un choix adéquat de la filière de traitement et de gestion des lixiviats.

La composition des lixiviats des centres de stockage de déchets ménagers dépend de l'âge de la décharge, de la nature et de la composition des déchets et de la gestion du site. En conséquence, présenter une composition type de lixiviat de décharge de déchets ménagers semble illusoire.

Les biogaz sont de composition variée selon l'origine et la composition des déchets. Dans la plupart des cas, le biogaz est loin d'être du méthane pur. Il contient des quantités plus ou moins importantes de gaz carbonique et de sulfure d'hydrogène et renferme également des produits toxiques qui peuvent n'être présents que sous forme de traces. Son utilisation nécessite de procéder à des analyses préliminaires, de traiter a priori dans la majorité des cas le biogaz ou pour le moins de le soumettre à un contrôle régulier. Ils présentent un risque potentiel d'incendie et d'explosion qui est sensiblement équivalent à celui inhérent à l'utilisation du gaz naturel et peut présenter des risques d'intoxication et d'asphyxie.

CHAPITRE IV : TRAITEMENT DES LIXIVIATS ET VALORISATION DU BIOGAZ

IV-1. Introduction

Les lixiviats de décharges sont des liquides hautement polluants qui se sont infiltrés à travers des déchets solides, par effet de la percolation de l'eau avec de diverses réactions chimiques de la matière organique en décomposition et d'autres composés. Ces liquides peuvent s'infiltrer aux eaux souterraines en mettant à un grave danger l'environnement et la santé publique dont la nécessité de les traiter avant leur rejet en milieu naturel demeure indispensable.

Le traitement "type" du lixiviat n'existe pas à cause de la diversité des polluants qui le composent, dont la nécessité de combiner de procédés et de techniques particulières pour arriver au résultat souhaité. Il existe différents procédés de traitement des lixiviats : biologiques, physico-chimiques, électrochimiques et les techniques membranaires.

Les biogaz produits dans les centres d'enfouissement techniques doivent être collectés après couverture de casiers et ensuite traiter par incinération dans des torchères ou pour une éventuelle valorisation énergétique.

IV-2. Norme de rejet des lixiviats

Les normes Algériennes de rejet des lixiviats sont définies dans le décret exécutif n°06-141 du 20 Rabie El Aouel correspondant au 19 avril 2006 définissant les valeurs limites des rejets d'effluents liquides industriels et qui exige à toutes les installations générant des rejets d'effluents liquides industriels d'être dotées d'un dispositif de traitement approprié de manière à limiter la charge polluante rejetée et respecter les valeurs limites des paramètres de rejets d'effluents liquides en milieu naturel (Annexe 2).

IV-3. Traitement externe du lixiviat

Le traitement externe des lixiviats dans des station d'épuration des eaux usées urbaines peut être envisageable mais pour avoir l'autorisation de raccordement sur le réseau d'assainissement urbain (RAU) ou la STEP, il faut que les teneurs en substances nocives contenues dans l'effluent en aucun cas dépasser, au moment de leur déversement tel que stipule le décret exécutif n°09-2009 du 17 Jomada Elthania 1430 correspondant au 11 juin 2009 fixant les modalités d'octroi de l'autorisation de déversement des eaux usées autres domestiques dans les réseaux publics d'assainissement ou dans les station d'épuration (Annexe3).

IV-4. Traitement biologique

Le traitement des lixiviats nécessite d'élaborer une stratégie sur le moyen ou le long terme, tout commence par la caractérisation de l'effluent et après l'avoir qualifié et quantifié.

Le principe du traitement biologique est d'utiliser la croissance microbienne pour dégrader les molécules polluantes. La charge abattue est la fraction biodégradable de l'effluent.

Le traitement biologique, surtout efficace sur les lixiviats jeunes ou non stabilisés, fait partie des traitements qui réduisent la pollution organique. Les composés organiques sont soit dégradés en conditions aérobies sous forme de CO_2 avec production de boues, soit en conditions anaérobies sous forme de biogaz (CO_2 , CH_4).

IV-4-1. Le lagunage aéré

L'effluent séjourne pendant une durée allant de plusieurs semaines à plusieurs mois, dans des bassins peu profonds mais de grande surface.

Ce procédé permet à l'effluent d'être en conditions aérobies (présence d'oxygène dissout en grandes quantités) et favorise la prolifération de bactéries hétérotrophes au carbone (utilisant le carbone comme source d'énergie). L'azote organique et les molécules biodégradables jouent le rôle de nutriments. Ce procédé permet également la stabilité des boues produites. En raison de sa simplicité d'exploitation et de son efficacité. On le retrouve souvent en prétraitement.

IV-4-2. Les boues activées

Le processus d'épuration par boues activées est le plus utilisé pour traitement des eaux usées urbaines dans des zones urbaines. Son développement est dû à ses excellentes performances de dépollution (rendement supérieur à 95%) par rapport aux autres procédés existants. En contre partie, suivant le type d'effluents à traiter, ce procédé peut être difficile à maîtriser notamment pour le traitement de l'azote et du phosphore ou en cas de variations importantes des flux à traiter [25].

Le traitement par boues activées permet la dégradation des polluants grâce à l'action de micro-organismes. Ce processus existe spontanément dans les milieux naturels tels que les eaux superficielles suffisamment aérées. Une multitude d'organismes est associée à cette dégradation selon différents cycles de transformation. Parmi ces organismes, on trouve généralement des bactéries, des algues, des champignons et des protozoaires. Cette microflore, extrêmement riche, peut s'adapter à divers types de polluants. Les boues activées

sont des systèmes qui fonctionnent biologiquement essentiellement comme les lagunes aérées. L'aération est également artificielle, la différence réside dans la recirculation des organismes actifs (les boues activées) du décanteur secondaire vers le bassin d'aération.

IV-5. Traitement physico-chimique

Les techniques de traitement physico-chimiques sont souvent utilisées en prétraitement ou en traitement tertiaire.

IV-5-1. Coagulation et Floculation

Le traitement de coagulation-floculation a pour but la croissance des particules qui sont essentiellement des matières colloïdales caractérisées par des vitesses de sédimentation très faibles, d'une part à cause de leur petite taille (diamètre de 1nm à 1µm) et d'autre part, elles sont chargées négativement se repoussant donc entre elles. Pour les agglomérer, on ajoute des sels métalliques (tel que le sulfate d'alumine Al_2SO_4 et le sulfate ferreux Fe_2SO_4) puis des polymères (polyélectrolytes) qui vont provoquer l'agglomération des matières colloïdales en formant des précipités insolubles ou floccs, et donc leurs décantation [22].

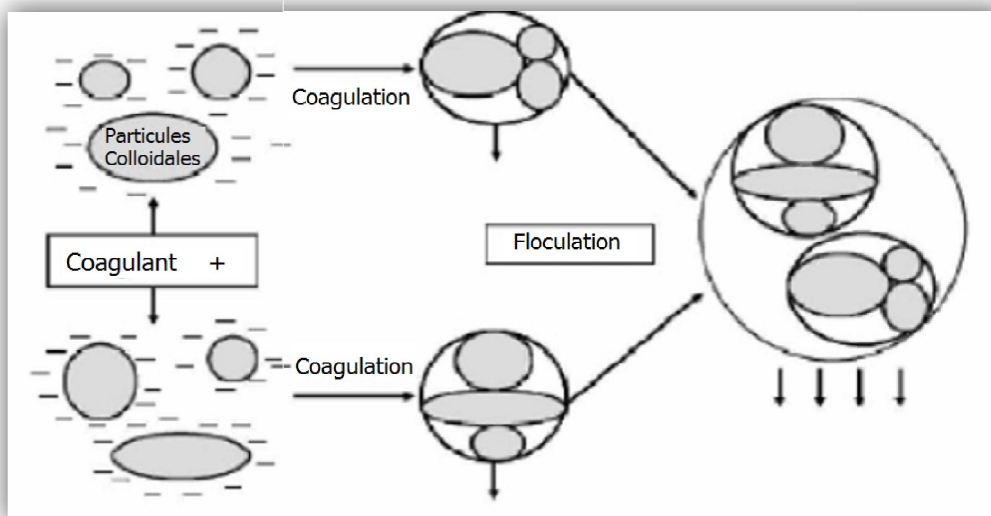


Figure IV-1 : Coagulation / Floculation [8].

IV-5-2. Adsorption sur charbon actif

Les techniques d'adsorption sont dominées par l'utilisation du charbon actif en grain ou en poudre. Cette technique est très efficace pour l'élimination des composés organiques réfractaires ainsi que la décoloration des lixiviats. Les lits de charbon actif biologique (CAB) mettent en synergie les effets de biodégradation et d'adsorption pour un meilleur traitement des lixiviats. Le charbon doit être renouvelé ou lavé régulièrement, lorsque sa surface d'adsorption est saturée [22].

IV-6. Traitement électrochimique

Depuis quelques années de plus en plus d'études réalisées dans sur ce sujet. Les trois procédés électrochimiques les plus couramment rencontrés pour le traitement des lixiviats sont : l'électrocoagulation, l'électro-oxydation et l'électro-Fenton. Ces procédés ont en commun l'avantage d'éliminer à la fois la pollution organique réfractaire et la couleur des lixiviats. Leur principe consiste à générer de façon électrochimique des agents réactifs capables d'éliminer efficacement les polluants. Les avantages de tels procédés résident dans leur aspect non polluant, leur facilité d'automatisation, des temps de traitement réduits et des besoins en réactifs faibles. Malgré les intérêts qu'ils présentent, le potentiel des technologies électrochimiques reste encore sous-exploité dans le domaine du traitement des lixiviats. Ceci est lié à certains inconvénients que présentent ces technologies. Les coûts énergétiques associés à l'exploitation des procédés électrochimiques constituent un des freins majeurs de leur expansion. Il existe également d'autres inconvénients spécifiques à chacune de ces techniques. Par exemple, l'électro-Fenton requiert une condition de traitement en milieu acide ($\text{pH} < 4$), l'électrocoagulation entraîne une production de résidus métalliques et l'électro-oxydation peut générer des sous-produits de réactions toxiques comme les composés organochlorés [10].

IV-7. Techniques membranaires

Le principe du traitement par les techniques membranaires est la filtration de l'effluent au-dessus d'un certain seuil granulométrique. Les techniques membranaires telles que la microfiltration, l'ultrafiltration, la nanofiltration et l'osmose inverse ont été largement étudiées pour épurer les lixiviats. L'emploi de ces techniques permet d'obtenir un effluent d'une bonne qualité susceptible d'être réutilisé. L'utilisation de la filtration membranaire trouve principalement son intérêt lorsqu'il s'agit d'éliminer les molécules de poids moléculaires élevés non biodégradables comme les substances humiques. Cependant, ces technologies sont toujours associées à d'autres méthodes de traitement conventionnelles et elles se situent généralement en fin de filière (traitement tertiaire). Les inconvénients majeurs liés aux procédés membranaires sont les problèmes de colmatage des membranes, les coûts d'exploitation élevés et la formation de concentrât hautement pollué qu'il faut épurer à nouveau.

IV-7-1. Microfiltration (MF)

Les membranes de microfiltration ont une taille de pore (0,1-10 μm) suffisante pour retenir toutes formes de bactéries, macromolécules, colloïdes, etc.

Elles sont utilisées dans le prétraitement de l'eau pour la nanofiltration et l'osmose inverse.

IV-7-2. Ultrafiltration (UF)

L'ultrafiltration vise à séparer des particules ayant une taille de 0,001-0,1 μm de l'eau. Dans ces membranes sont retenus tous les virus, les macro protéines, les antibiotiques, etc.

Ils sont utilisés dans l'élimination de substances organiques nocives dans l'industrie alimentaire et des boissons, dans l'élimination de trihalométhanes (THM) de l'eau, dans le traitement d'eaux résiduaires et dans l'industrie textile entre les autres.

IV-7-3. Nanofiltration (NF)

La nanofiltration peut retenir des particules ayant une taille de 0,1 nm-0,001 μm , ce qui permet de séparer de l'eau la majorité des molécules, même si celles ayant un bas poids moléculaire restent partiellement retenues dans la membrane. La nanofiltration est utilisée pour l'élimination en métaux lourds des eaux résiduaires, pour la dépollution des eaux résiduaires, comme prétraitement avant l'osmose inverse, pour l'élimination de nitrates et pour l'élimination de la couleur.

IV-7-4. L'Osmose Inverse (OI)

L'Osmose Inverse (OI) est un des procédés les plus fréquemment utilisés pour traiter les lixiviats stabilisé. Il est aussi utilisée pour produire de l'eau potable en dessalement des eaux de mer et permet de concentrer tous les solides dissous ou en suspension en filtrant les molécules autres que la molécule d'eau. Il est extrêmement efficace avec des rendements épuratoires très bons (> 98% pour la DCO).

L'osmose inverse peut être utilisé pour l'élimination des métaux lourds, des matières en suspension colloïdale et des solides dissous du lixiviat de décharge. Cette technique utilise les propriétés des membranes semi-perméables à travers lesquelles l'eau migre, alors que tous les solutés sont rejetés, à l'exception de quelques molécules organiques très voisines de l'eau (faible masse molaire, forte polarité). L'eau traitée par OI est exempte de bactérie et de quelques virus [8].

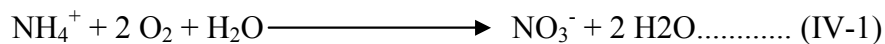
Le système conventionnel à Osmose inverse permet une récupération d'eau épurée équivalant à au moins 70% de la portée en entrée et se prête bien dans les cas où le recyclage du concentrât dans le corps de la décharge est autorisé [4].

Le procédé d'osmose inverse s'impose aujourd'hui comme le procédé final indispensable au traitement des lixiviats afin de satisfaire aux normes de rejet.

IV-8. Le bioréacteur à membranes (BRM)

C'est un procédé qui couple entre le traitement biologique et les techniques membranaires.

Le traitement biologique par nitrification - dénitrification permet d'abattre la charge azotée en présence d'oxygène (aérobie) par des bactéries AOB (Ammonium Oxydante Bacteria) et NOB (Nitrite Oxydante Bacteria) qui utilisent l'ammonium comme source d'énergie [22].



Les nitrates sont ensuite convertis en N₂ grâce à des bactéries hétérotrophes qui ont besoin d'un substrat carboné supplémentaire. Cette réaction de dénitrification s'effectue en milieu anaérobie (absence d'oxygène). En général, les réactions de nitrification - dénitrification s'effectuent successivement dans un sens ou dans l'autre. Ces réactions peuvent abattre jusqu'à 99% de la charge azotée.

Le principe du BRM se base sur le déroulement des réactions de nitrification de la matière organique en condition aérobie s'effectuent en même temps que la filtration de l'effluent dans une filière d'ultrafiltration puis par une nanofiltration. Cela permet d'abattre la charge organique et la teneur en MES [22].

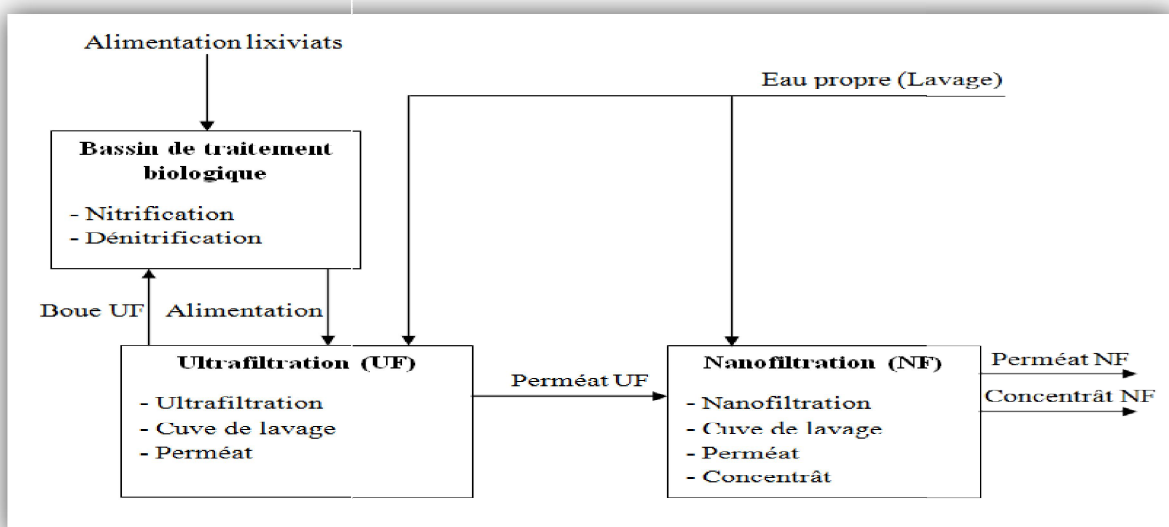


Figure IV-2 : Installation de traitement de lixiviat par BRM.

Tableau IV-1: Comparaison entre les procédés de traitement des lixiviats [22].

Procédés		Avantages	Inconvénients	Sous - produit
Procédés biologiques	Lagunage aéré	- Elimination de la DBO5 et l'Azote	- Dénitrification difficile, - Encombrement important	Boues biologiques en excès
	Boues activées	- Elimination de la DBO5 et l'Azote	- Consommation énergétique pour l'apport d'oxygène	Boues biologiques en excès
Procédés physicochimiques	Coagulation - Flocculation	- Débit de traitement, - Réduction de 40 à 50% de la DCO dure, - Agglomération des MES	- Production importante de boues (20% du volume traité)	Boues
	Filtration sur charbon actif	- Elimination de la DCO résiduelle, réduction des organo-halogènes et la couleur	- Renouvellement des absorbeurs,	Boues
Procédés électrochimiques	Electrocoagulation	- Elimination de la matière organique réfractaire et couleur, Aspect non polluant, - Temps de traitement réduit, - Besoin en réactifs faible	- Production de résidus métalliques, - Consommation énergétique	Boues
	Electro-oxydation		- Peut générer des sous-produits de réactions toxiques comme les organo chlorés, - Consommation énergétique	Boues
	Electro-fenton		- Requiert une condition de traitement en milieu acide (pH<4) - Consommation énergétique	Boues
Procédés Membranaires	Nanofiltration	Rétention de la DCO dure, des sels, des métaux et des nitrates	Consommation énergétique	Retentât de nanofiltration
	Osmose inverse	Rétention de la DCO dure, des sels et des métaux	Consommation énergétique	Retentât d'osmose inverse (saumures)
Procédés mixtes	Bioréacteur à membranes	Elimination de la DBO5 et l'Azote, DCO résiduaire, MES, bactéries virus. Faible encombrement	Consommation énergétique	Boues biologiques en excès

IV-9. Techniques d'épuration des biogaz

Les biogaz peuvent être valorisés, a priori, dans plusieurs domaines d'activité, pour autant qu'ils soient impérativement épurés au préalable. Les différentes voies envisageables sont la production de chaleur, la production d'électricité, la cogénération, le carburant automobile et l'injection dans le réseau de gaz naturel. A défaut, les biogaz sont brûlés en torchères.

Selon le mode de valorisation souhaité, les nécessités d'épuration du biogaz ne sont pas les mêmes:

- Pour une valorisation en chaudière, il faut enlever du biogaz l'eau et éventuellement le sulfure d'hydrogène (H_2S);
- Pour une valorisation énergétique (production d'électricité et/ou cogénération), il est nécessaire d'extraire du biogaz l'eau, le sulfure d'hydrogène (H_2S) et éventuellement les composés organo-halogénés;
- Pour la valorisation comme carburant, il faut enlever du biogaz l'eau, le sulfure d'hydrogène (H_2S), le dioxyde de carbone (CO_2) et éventuellement les composés organo-halogénés et les métaux ;
- Pour l'injection dans réseau gaz, il faut éliminer du biogaz l'eau, sulfure d'hydrogène (H_2S), le dioxyde de carbone (CO_2), les composés organo-halogénés et les dérivés de métaux et l'oxygène (O_2) [8].
- Plusieurs techniques d'épuration du biogaz existent; à savoir :

IV-9-1. Réduction de la teneur en eau

On peut éliminer la vapeur en eau par un dévésiculateur suivi d'un séparateur diphasique, si les contraintes de point de rosé ne sont pas trop contraignantes.

Dans le cas où on veut injecter le biogaz dans les réseaux de gaz, la teneur en eau doit être inférieure à 30 g/Nm^3 et des techniques plus poussées seront préconisées comme la cryogénie, l'adsorption des glycols ou plus couramment les tamis moléculaires. Lors de l'usage en tant que carburant, la teneur en eau doit être divisé de moitié (point de rosé - 25°C).

IV-9-2. Réduction de la teneur en sulfure d'hydrogène

Les sulfures d'hydrogène s'éliminent facilement par :

- Réaction sur des "éponges ferrugineuses" ou directement sur les oxydes de fer. L'efficacité de ce procédé nécessite la présence d'une faible quantité d'eau pour favoriser la solubilisation des H_2S et l'augmentation de la réactivité vis à vis du métal.

- Adsorption sur charbon actif qui est un procédé très coûteux par rapport au précédent par ce qu'il est impossible de régénérer le charbon actif qui doit être fréquemment renouvelé. Il permet aussi l'élimination des composés organo-halogénés et les métaux lourds.
- Un lavage à l'eau sous pression peut être envisagé, il permet l'élimination conjointe des H₂S et du CO₂ même si une partie du méthane se solubilisera aussi.

IV-9-3. Réduction de la teneur d'oxygène

Un traitement catalytique peut être utilisé pour réduire l'oxygène. Son inconvénient est la consommation du méthane.

IV-9-4. Réduction du dioxyde du carbone

Elle est préconisée lorsqu'il est nécessaire de concentrer le biogaz en méthane en fonction de certaines utilisations comme dans la réinjection dans les réseaux de gaz naturel ou en carburant. Il existe la technique d'adsorption modulée en pression PSA (Pressure Swing Adsorption) qui est basée sur la succession de phase d'adsorption et de désorption dans des cuves de petites tailles. Elle permet de moduler l'enrichissement du biogaz en méthane jusqu'à des teneurs de 90% (par élimination du CO₂) et applicable sur des petits débits de biogaz.

V-10. Valorisation des biogaz

IV-10-1. Valorisation thermique des biogaz

Dans le cas de la valorisation du biogaz sous forme de chaleur pour faire fonctionner l'installation de méthanisation ou des structures proches de la dite installation, les contraintes d'épuration du biogaz sont relativement légères.

Elles sont par contre plus lourdes concernant la sécurité de la combustion, en raison de la décroissance progressive de la teneur en CH₄ d'un biogaz pendant le cycle de valorisation.

Ce phénomène nécessite d'être vigilant et de disposer de moyens et de dispositions de sécurité adaptés :

- un suivi de l'évolution de la composition du biogaz et/ou des principaux paramètres de la combustion;
- l'utilisation de brûleurs spéciaux adaptés à la combustion du biogaz ou l'injection maîtrisée d'un complément de gaz combustible dans l'installation pour réguler la combustion (dispositif installé à demeure);
- la mise en œuvre d'équipements de protection, de type pare- flamme, sur les canalisations.

IV-10-2. Valorisation électrique des biogaz

La voie classique pour produire de l'électricité à partir de biogaz est d'utiliser une chaudière à gaz suivie d'une turbine à vapeur. Cette voie est techniquement fiable et les contraintes liées à l'épuration du biogaz ne sont pas lourdes.

Une seconde voie consiste à installer des moteurs à gaz, soit à étincelles, soit dual fuel (injection d'un gaz pilote qui est généralement un gazole). Le procédé dual fuel, bien que plus souple et plus durable, exige des spécifications particulières et une teneur en méthane d'au moins 40 %. Les exploitants optent encore souvent pour la voie classique qui évite de traiter le biogaz. A titre d'exemple peut être cité le cas d'une centrale de la société MEG International, filiale de Gaz de France, située à Montréal qui produit 190 GWh/an entièrement vendue au réseau, en utilisant une chaudière à haute pression et une turbine à vapeur, afin d'éviter la phase d'épuration.

IV-10-3. Cogénération

Il s'agit de la production combinée de chaleur et d'électricité. Le besoin d'épurer les biogaz dépend de son utilisation.

Ainsi, dans le cas des installations de cogénération de la station d'épuration de Port Douvot à Besançon, le biogaz sert à alimenter un moteur de 450 KW qui produit environ 6500 kW/jour.

- La chaleur récupérée sur le moteur sert à maintenir le digesteur à température (9000 kW thermiques par jour) et à chauffer les locaux techniques l'hiver ;
- L'électricité est en partie autoconsommée par la station qui couvre ainsi 40 % de ses besoins. Le solde est vendu à EDF [26].

IV-10-4. Injection de biogaz dans le réseau de gaz naturel

Dans différents pays, certains biogaz sont réinjectés dans le réseau de gaz naturel après une épuration plus ou moins poussée. En France, aucun texte réglementaire ne l'interdit, mais les textes existants sur la composition des gaz transportables dans les canalisations de gaz naturel ont été définis dans un autre contexte, aussi n'évoquaient-ils pas à l'époque les éléments traces que l'on retrouve dans le biogaz.

Les Directives suisses soulignent qu'en cas d'injection de biogaz dans le réseau de gaz naturel, il faut s'assurer qu'aucun dommage ni perturbation ou situation dangereuse ne puisse survenir dans le réseau de gaz naturel et aux appareils à gaz raccordés. En particulier, il faut

garantir le transport en tout temps, de gaz conforme aux exigences de qualité du gaz naturel distribué en Suisse.

Les exigences ne peuvent être que très strictes dans le cas de l'injection de biogaz dans un réseau de gaz naturel.

IV-10-5. Production de carburant

Pour cette application, les spécifications de pureté du gaz sont très sévères, puisque le biogaz utilisable comme carburant doit contenir un minimum de 96 % de méthane.

Il faut en outre que le point de rosée soit inférieur à -20°C (ce qui correspond à une teneur en eau inférieure à 15 mg/m^3), que la teneur en H_2S soit inférieure à 100 mg/m^3 et que la teneur en hydrocarbures liquides soit inférieure à 1 %, avec une taille de poussières limitée à 40 microns.

11- Conclusion

Pendant plusieurs années, les traitements biologiques et physico-chimiques ont été considérés comme les procédés les plus appropriés pour le traitement des lixiviats.

Pour les lixiviats jeunes ayant une biodégradabilité moyenne et une charge polluante organique importante, les procédés biologiques sont recommandés pour leur traitement. Avec le temps, les lixiviats deviennent de plus en plus stables et leur biodégradabilité devient très faible dont la nécessité de combiner au traitement biologique un traitement tertiaire (final) tel qu'une filière de traitement par osmose inverse afin de satisfaire aux normes de rejets.

Durant ces deux dernières décennies, de nouvelles techniques de traitements combinées ont démontré de bons résultats de traitement de lixiviats tel que le bioréacteur à membranes (BRM).

Le biogaz contient en plus du méthane, des quantités plus ou moins importantes de gaz carbonique et de sulfure d'hydrogène et renferme également des produits toxiques qui peuvent n'être présents que sous forme de traces. Son utilisation nécessite de procéder à des analyses préliminaires, de le traiter a priori dans la majorité des cas ou de le soumettre à un contrôle régulier. Il est considéré comme une source d'énergie qui peut être épurée et valorisée dans plusieurs domaines en énergie thermique, électricité, cogénération, carburant et peut être injecté dans les réseaux de gaz naturel.

**PARTIE 2 : ETUDE DE CAS (CENTRE
D'ENFOUISSEMENT TECHNIQUE DE HAMICI)**

**CHAPITRE V : PRESENTATION
DE LA ZONE D'ETUDE**

V-1. Introduction

Alger, capitale du pays, comprend les plus importantes concentrations au niveau national de populations, d'activités de services, d'équipements, d'infrastructures, de centres de recherche, d'industries et de grands projets urbains. Elle est aussi la capitale politique, administrative et économique du pays. Elle est le siège de toutes les administrations centrales, des institutions politiques et sociales, des grands établissements économiques et financiers, des grands centres de décisions et de représentations diplomatiques.

Le centre d'enfouissement technique de Hamici reçoit les déchets ménagers et assimilés générés par les 57 communes de la wilaya d'Alger qui s'étend sur une superficie de 810 km² [3].

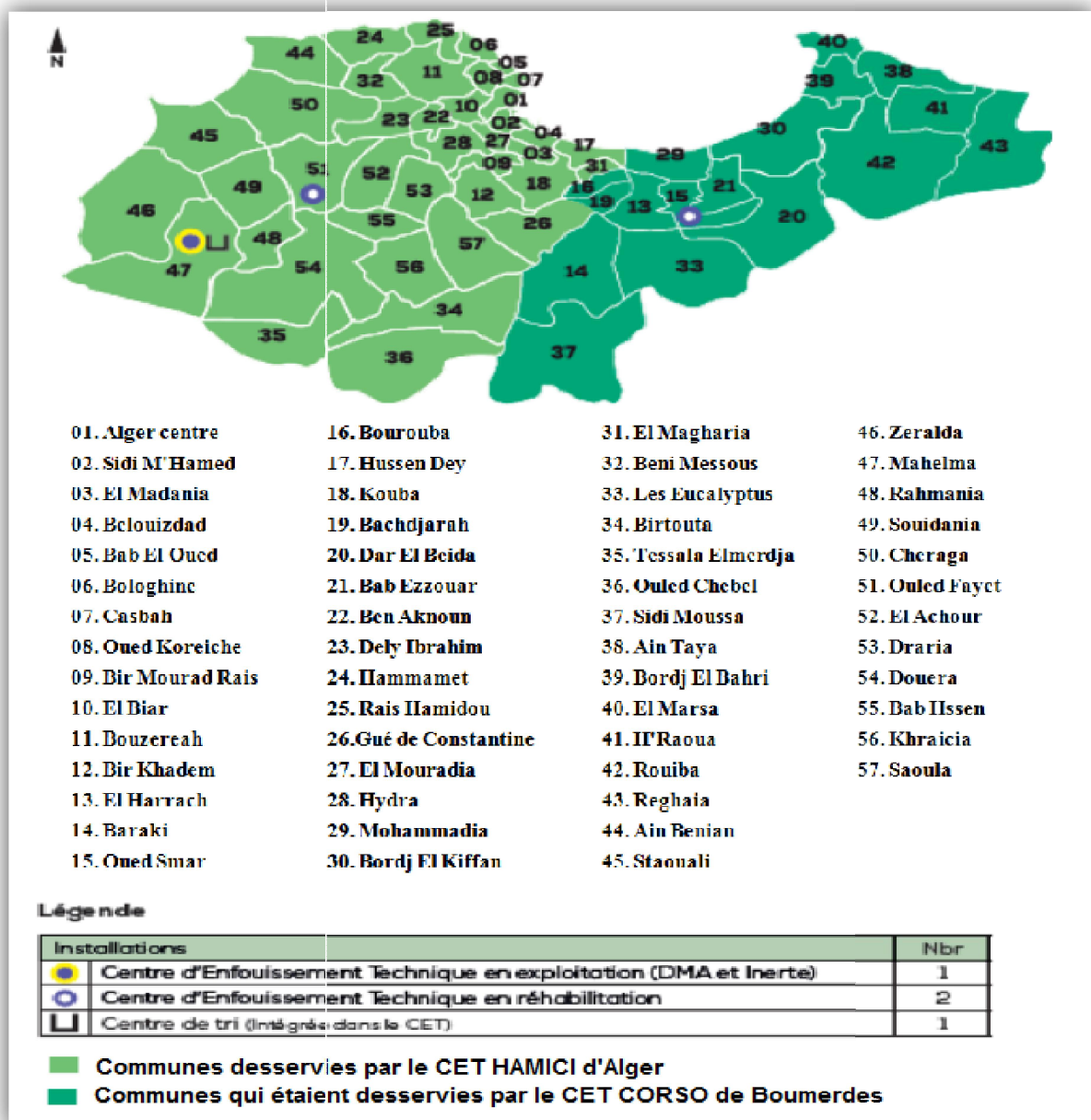


Figure V-1 : Situation des CET de la wilaya d'Alger

V-2. Situation géographique

La Zone d'étude est située dans domaine Hamici Ramdane située au Sud ouest du chef lieu de la commune de Mahelma, daïra de Zeralda, wilaya d'Alger. Elle est limitée par le chef lieu de la commune de Zeralda au Nord, le chef lieu de la commune de Mahelma au Nord-Est, le chef lieu de la commune de Tessala El Merdja à l'Est, la localité de Beni Khelil (wilaya de Blida) au Sud, le chef lieu de la commune de Koléa (wilaya de Tipaza) au Sud Ouest et le chef lieu de la commune de Douaouda (wilaya de Tipaza) à l'Ouest.



Figure V-2 : Situation géographique de la zone d'étude

V-3. Situation démographique

Selon le RGPH de 2008, la wilaya d'Alger totalisait 2 988 145 habitants. Le taux d'accroissement moyen par an dans la wilaya d'Alger est estimé à 1,6%.

L'évolution démographique de la population d'Alger est calculée par la formule des interets composés qui est la donnée comme suit :

$$P_n = P_0 * (1+T)^n \dots\dots\dots (V-1)$$

où :

P_n : population à l'horizon de calcul

P_0 : population de l'année de référence

T : taux d'accroissement naturel de la population

n : nombre d'années séparant l'année de référence et l'horizon de calcul

Les résultats sont présentés dans la figure n°16. Pour l'année 2030, la population dépassera la barre de 4 Millions d'habitants et atteindra 4,24M.hab.

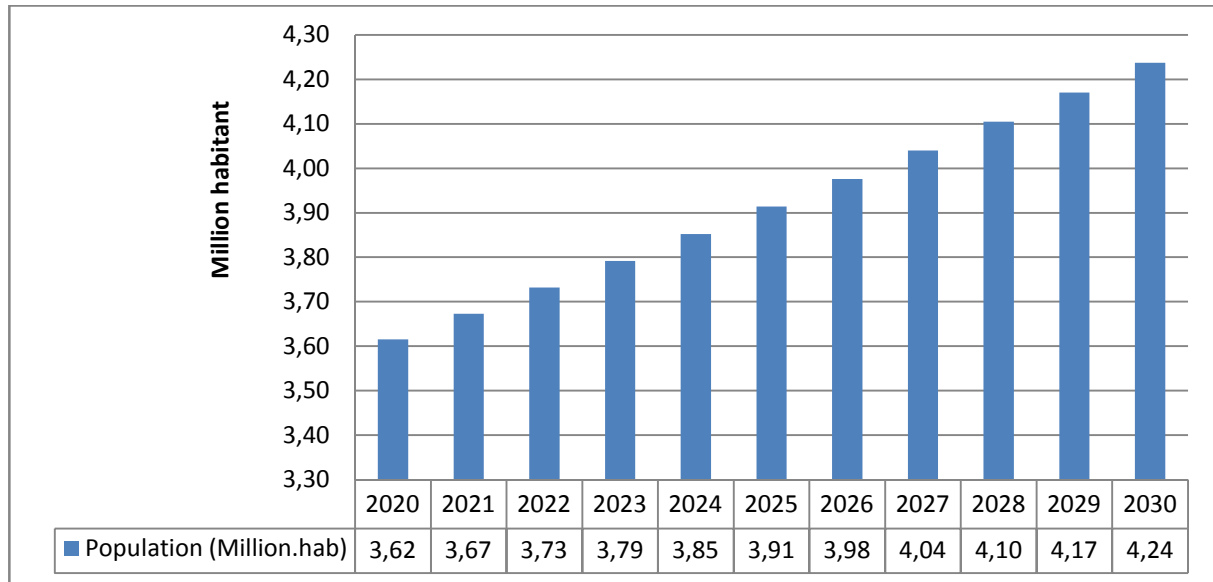


Figure V-3 : Evolution de la population à Alger 2020 - 2030.

V-4. Relief

Le relief est un élément de base pour l'étude et la description des principaux ensembles topographiques dans une région, leur agencement, et leur disposition. Comme il conduit à reconnaître les formes élémentaires qui se combinent à leur tour pour former des ensembles plus au moins complexes.

La région de Mahelma appartient au Sahel d'Alger qui est un ensemble de croupes et de plateaux, surmontant au Sud le synclinal de la Mitidja et la mer méditerranée au Nord.

C'est une unité morphologique caractérisée par une forte inclinaison vers le sud avec des pentes allant de 12.5 à 25%, et une surface ondulée dans laquelle les rivières sont encaissées[31].

V-5. Situation géologique

Le Sahel occidentale est une structure géologique complexe, constituée de terrains métamorphiques anciens et sédimentaires d'âge mio-plio-quaternaire. Les terrains métamorphiques apparaissent dans le massif d'Alger au centre, à Sidi Fredj à l'Ouest, et à Tamenfoust-El-Marsa à l'Est. Ce massif est formé de gneiss, de micaschistes, de marbres, de schistes, et de quartzites. Ce socle est surmonté en discordance par le mio-plio-quaternaire

sédimentaire. Ces séries se prolongent vers le Sud en position synclinale dans le bassin de la Mitidja [31].

V-6. Analyse des facteurs climatiques

Le climat est un facteur fondamental dans la détermination du type d'environnement, de la morphogénèse actuelle et de l'évolution morpho-dynamique de la zone d'étude. Donc il s'avère indispensable d'étudier les principaux éléments liés au climat tels que : Les températures, les vents, et les précipitations. L'irrégularité du régime des précipitations et l'alternance de deux saisons nettement contrastées (saison sèche, saison humide) constituent les éléments fondamentaux du climat de Mahelma. La proximité de la mer par son effet modérateur, confère à cette région un cachet particulièrement atténué. L'étude de ce facteur repose sur les données climatiques récoltées auprès de l'Office Nationale de Météorologie (O.N.M.), et l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (A.N.R.H), sur les deux stations météorologiques de Mahelma et de Koléa.

Tableau V-1 : Caractéristiques des stations météorologiques de Mahelma et de Koléa.

Station	Coordonnées		Altitude (m.NGA)
	X	Y	
Mahelma	2°54'	36°41'	154
Koléa	2°45'	36°37'	180

(Source : ANRH)

V-6-1. Températures

La température est l'un des éléments du climat les plus influents sur la nature du milieu, notamment sur la végétation, la formation et la transformation du sol, et par conséquent, une influence directe sur le phénomène érosif. L'analyse de la moyenne mensuelle des températures figurant sur le tableau V-2.

Tableau V-2 : Variations des températures maximales, minimales et moyennes Mensuelles de la station de Koléa (Période de : 2000-2009)

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Annuelle
T _{max} (°C)	16.8	17.5	20.1	22.0	25.4	29.8	32.3	32.8	29.6	26.8	21.1	17.8	21.64
T _{min} (°C)	4.8	5.0	7.3	9.3	12.8	16.4	19.5	20	17.5	14.5	9.6	6.9	11.96
T _{moy} (°C)	10.8	11.3	13.7	15.6	19.1	23.1	25.9	26.4	23.5	20.7	15.4	12.4	18.6

(Source : ONM)

V-6-2. Les vents :

Un facteur de forte ampleur, qui par son intensité influe non-seulement sur le climat notre région, mais aussi par le transport de particules fines provoquant une dynamique éolienne. Le vent dans notre région est d'une direction Ouest à Nord-Ouest d'Octobre en Mars, et Est à Sud-est d'Avril jusqu'en Septembre. Le tableau suivant indique la moyenne mensuelle des vitesses du vent dans la station de Koléa, période de (1995-2004) [31].

Tableau V-3 : Moyennes des vitesses du vent de la station de Koléa (Période de 1995-2004)

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Moyenne Annuelle
V (Km/h)	9	7,6	7,9	9,7	9,7	10,1	9,7	8,6	9	7,2	9	9	8,9

(Source : ONM)

La région d'Alger est marquée selon le tableau par un vent de vitesse moyenne annuelle de 8.9Km/h, une vitesse maximale de 10.1 Km/h en Juin, et une vitesse minimale de 7,2 Km/h en mois d'Octobre.

V-6-3. Précipitations

Les précipitations sont considérées comme l'un des agents externes responsables du processus de dégradation et de transformation du relief. La fréquence et la nature des précipitations dans une région géographique donnée sont des caractéristiques importantes de son climat. L'analyse des valeurs des précipitations moyennes mensuelles de la région de Mahelma enregistrées durant la dernière décennie (2000-2009) sont représentées dans le tableau V-4 :

Tableau V-4 : Moyennes mensuelles des précipitations de la station de Mahelma (Période de : 2000-2009).

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Annuelle
Précipitation (mm)	85.2	57.5	49.7	41.3	45.8	1.9	1.9	10.3	32.4	48.7	102.3	97.5	574.5

(Source : ANRH)

D'après les enregistrements mentionnés dans le tableau ci-dessus, on remarque que la pluviométrie moyenne annuelle dans cette zone est arrivée jusqu'à 574.5 mm. Les précipitations sont inégalement réparties sur l'année. Le maximum des pluies se concentre du mois d'Octobre (48.7 mm) jusqu'au mois de Mai (45.8 mm), avec une valeur maximale enregistrée au mois de Novembre (102.3 mm), tandis que le minimum de pluies se concentre du mois de Juin (1.9 mm) au mois de Septembre (32.4 mm), avec une valeur minimale enregistrée dans les deux mois de Juin et Juillet (1.9 mm).

Alger qui fait partie du Nord du pays possède un climat méditerranéen, semi-aride avec une sécheresse ne se limitant plus uniquement à la saison estivale mais à une bonne partie de l'année. Les facteurs climatiques intervenant dans les processus de transformation (biodégradation) des matières organiques sont essentiellement la pluie et la chaleur.

Le diagramme ombrothermique distingue deux périodes essentielles; la première, allant de septembre à mi-mai, fraîche avec des températures moyennes oscillant entre 10.8°C et 23.5°C et la seconde, de mai à août, plutôt sèche, avec un pic de température en juillet et en août.

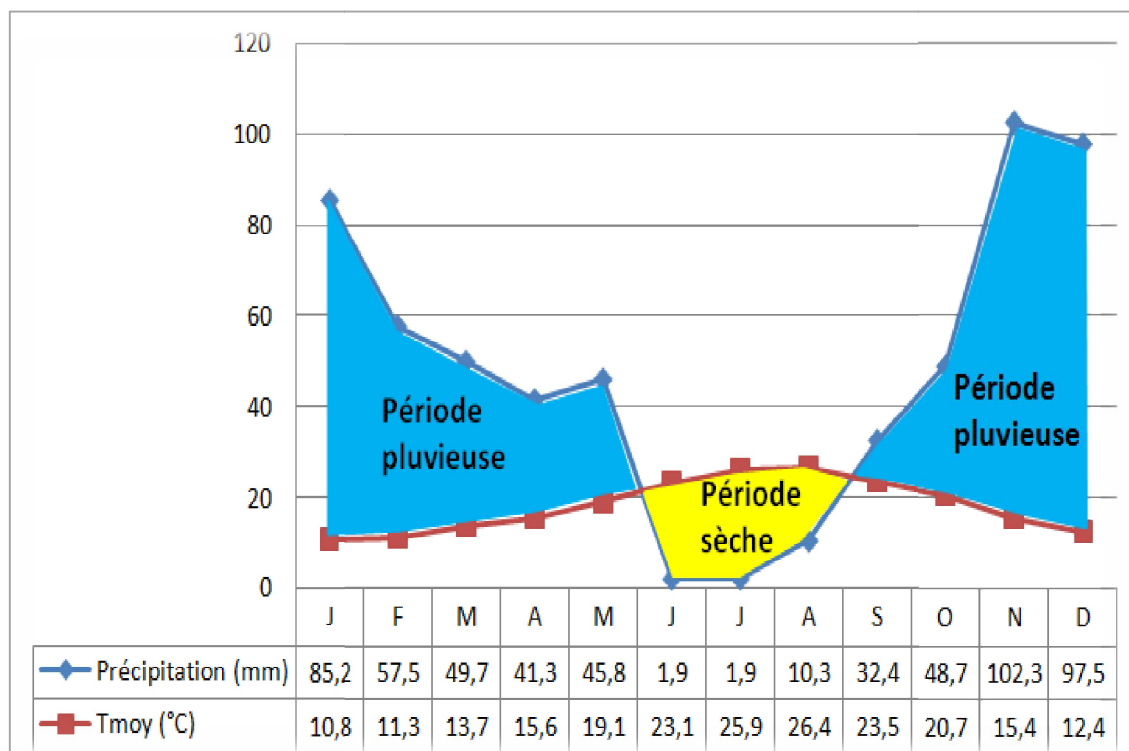


Figure V-4: Diagramme ombrothermique de Gaussen de la station de Mahelma (2000 - 2009)

V-7. Evolution de la quantité des déchets ménagers à l'horizon 2030

Une évolution quantitative et qualitative des déchets produits dans la wilaya d'Alger, proportionnelles à la courbe démographique marquée par un taux d'accroissement nettement élevé. Sur le plan qualitatif, il est à relever, selon les projections élaborées que la composition des DMA, sera conservée jusqu'à l'horizon 2030, ce qui constituera une source d'alimentation des filières de valorisation.

Etant donné un ratio de production de déchets ménagers de 0,95 Kg/j/hab [3], la quantité de DMA générée dans l'agglomération Algéroise atteindra en 2030, 4025 tonnes/j, soit une quantité annuelle de 1.47 Million de tonnes.

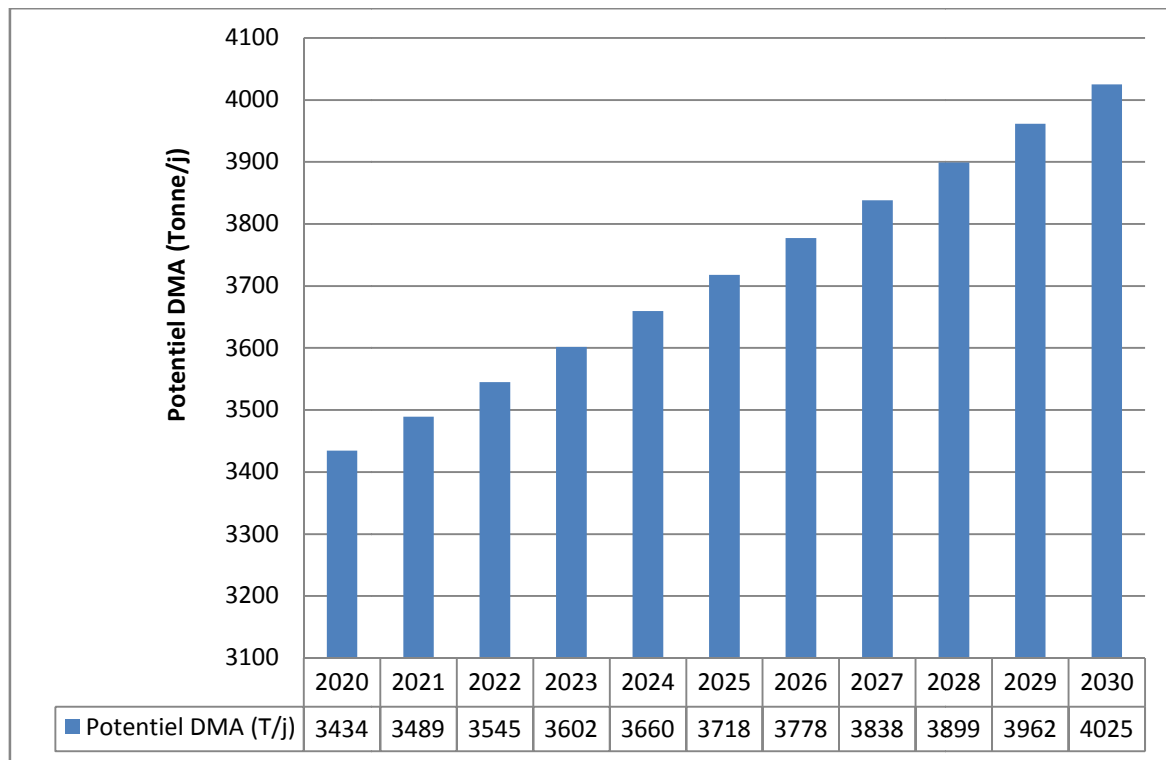


Figure V-5 : Potentiel des DMA de la wilaya d'Algiers à l'horizon 2030

V-8. Caractéristiques des déchets ménagers et assimilés reçus par le CET de Hamici

La composition des déchets ménagers et assimilés reçus dans le CET classe II de Hamici est donnée par la figure :

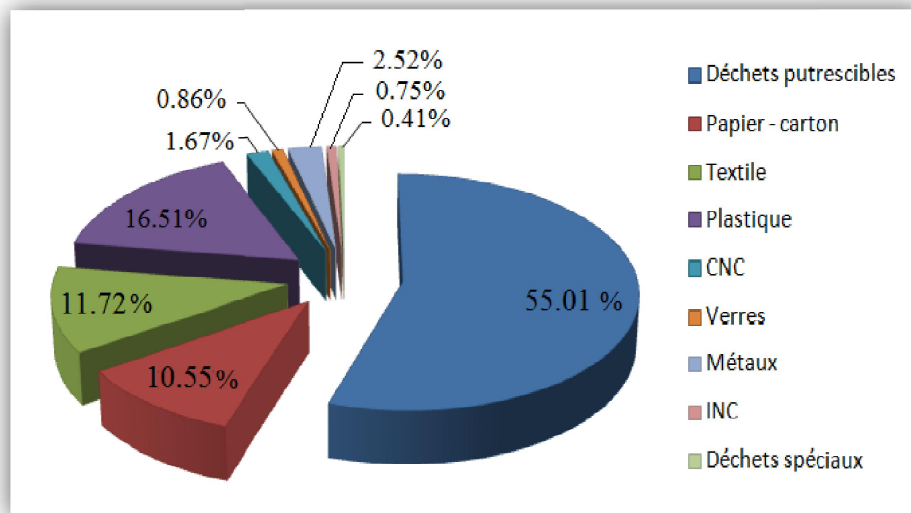


Figure V-6 : Composition des déchets ménagers d'Algiers [2]

Selon une l'étude de caractérisation des DMA réalisée par l'AND en 2014, la composition des déchets ménagers d'Algiers illustre une prédominance de matières organiques.

Dans l'ensemble, la composition des déchets ménagers reçu par le CET de Hamici est dominée par la Matière organique avec 55.01%, le plastiques avec 16.51%, le textile avec 11.76%, le papier et le carton avec 10.65%.

Les déchets valorisables pour être réintroduite dans le circuit économique vers l'industrie, tel que : le papier, le plastique, les métaux et le verre représente une fraction de 30.54% de la quantité globale des DMA reçue par le CET. Pour une quantité moyenne de 2800 tonne/j, soit une quantité de 855 tonne/j de déchets valorisables qui représente un potentiel de valorisation de 312 148 tonne/an.

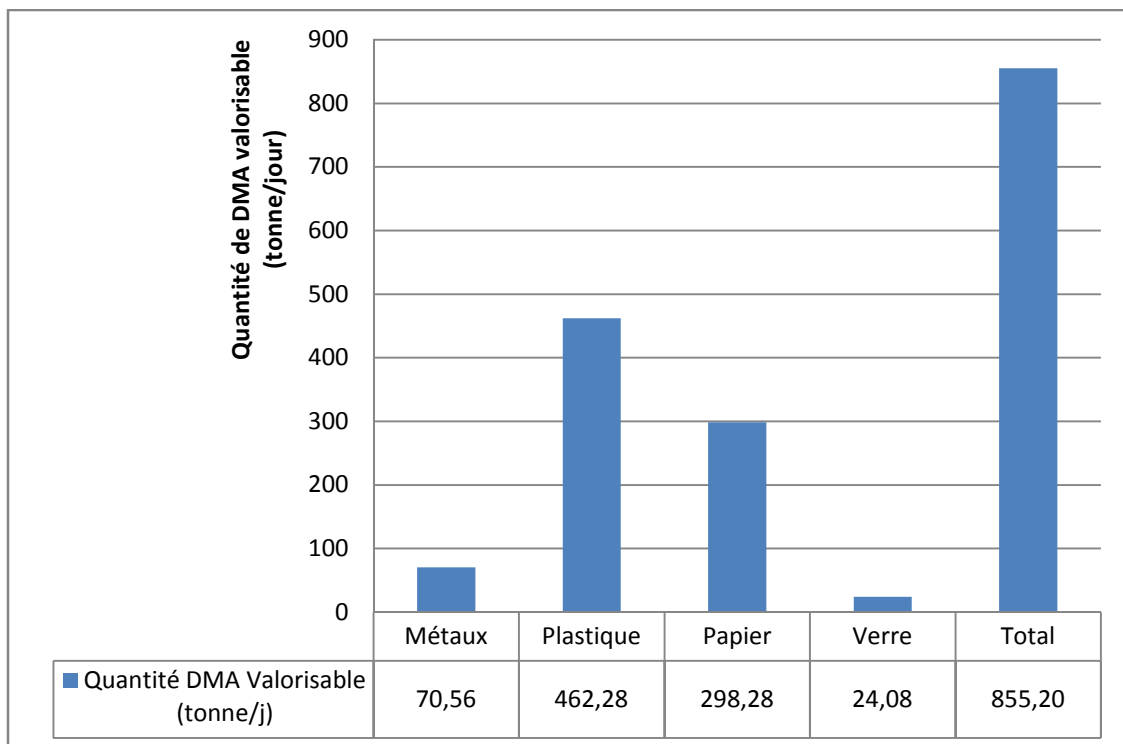


Figure V-7 : Potentiel de valorisation des déchets ménagers de CET de Hamici

Les caractéristiques physiques des DMA reçus par le CET de Hamici sont données par le tableau suivant :

Tableau V-5 : Caractéristiques des déchets ménagers d'Alger

Caractéristiques	Unité	Valeur
Densité	Kg/m ³	257
Humidité	%	65
Rapport Azote/Carbonne	-	30
Pouvoir calorifique	Kcal/Kg	1000
Matière organique	%	55.01

(Source : AND)

V-9. Description du CET de Hamici

Le centre d'enfouissement technique classe II s'étend sur une superficie de 80 hectares a été conçu pour recevoir les déchets ménagers et assimilés de la wilaya d'Alger. Il a été mis en exploitation en février 2013 avec une capacité globale de 10 million de tonnes et une durée de vie de 15 ans [3].

L'organisme chargé de sa gestion est (EPIC - GECETAL) l'établissement public à caractère industriel et commerciale de gestion des centres d'enfouissement techniques de la wilaya d'Alger.

Sur le même site à quelques centaines de mètres, l'établissement public GECETAL gère aussi un CET classe III dédié au déchets inertes d'une capacité de stockage de 2.5 million de tonne et qui s'étend sur 8 hectares. Sa mission principale est de doter le CET classe II de sol de couverture des casiers et son objectif à moyen terme est la valorisation des déchets inertes et leur réutilisation dans le secteur des travaux public.

La collecte et de transport vers le site d'enfouissement sont assurés par les deux opérateurs publics EPIC NETCOM et EPIC EXTRANET.

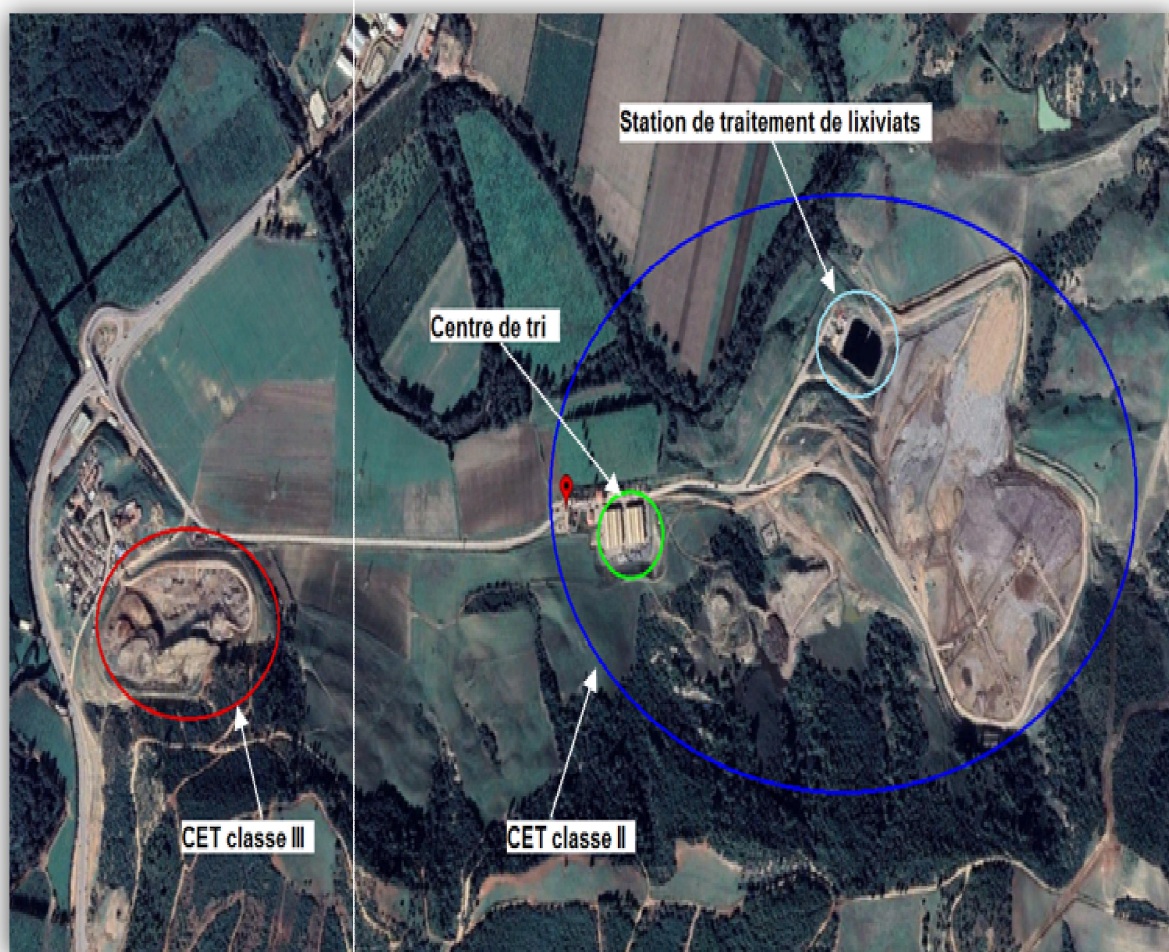


Figure V-8 : Localisation du CET de Hamici

V-9-1. Organisation de l'établissement de gestion des déchets (GECETAL)

La gestion du centre d'enfouissement technique de Hamici est confiée à l'établissement public à caractère industriel et commercial « **GECETAL** ». Il a été créé par arrêté interministériel (Ministères de : l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement, l'Intérieur et des Collectivités Locales et Finances) du 07 juillet 2013. Ces missions sont :

- Mettre en œuvre l'ensemble des moyens nécessaires pour une bonne gestion des centres d'enfouissement techniques des déchets ménagers selon les normes admises dans le domaine.
- Veiller à l'exploitation rationnelle des casiers d'enfouissement en mettant en place des techniques permettant, notamment, la concrétisation des opérations de tri sélectif des déchets en vue de leur recyclage.
- Créer une banque de données relative aux déchets en vue de faciliter le suivi et la planification des interventions.
- Veiller au respect strict des normes de rejets d'effluents liquides (Lixiviats) en milieu naturel (Décret exécutif N°06-141 du 19/04/2006) par un suivi rigoureux de la rentabilité de la station de traitement avec les différentes variations de la qualité des lixiviats.

Le nombre d'effectif global de GECETAL arrêté au 31/07/2020 est de 527 travailleurs; dont : 04 cadres supérieurs, 47 cadres, 44 maîtrises et 432 exécutions.

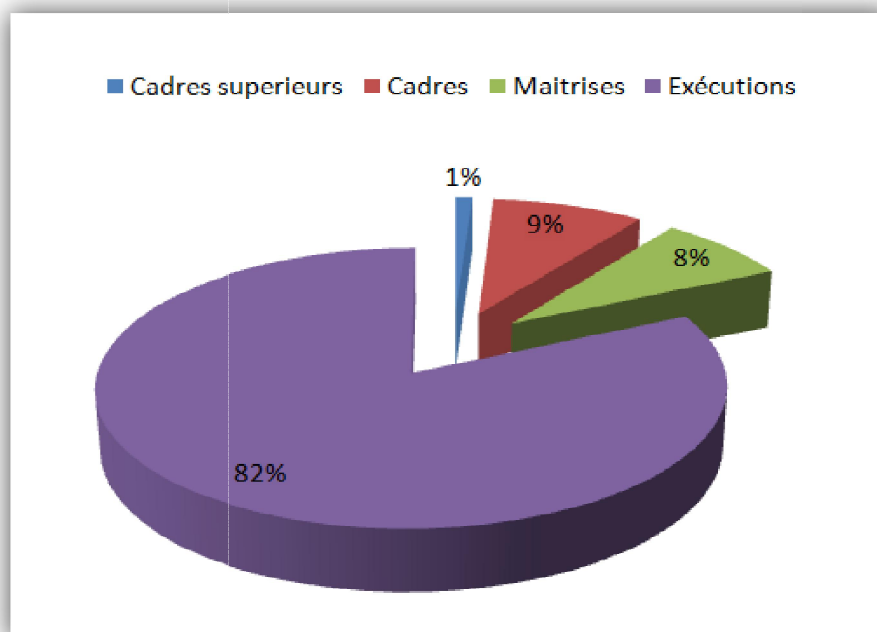


Figure V-9 : Effectif de l'EPIC - GECETAL

L'organisation de GECETAL est assurée par une direction générale soutenue par un service de contrôle, audit et communication et un service HSE et condition de travail, un département technique, un département commerciale et un département d'administration et de finance.

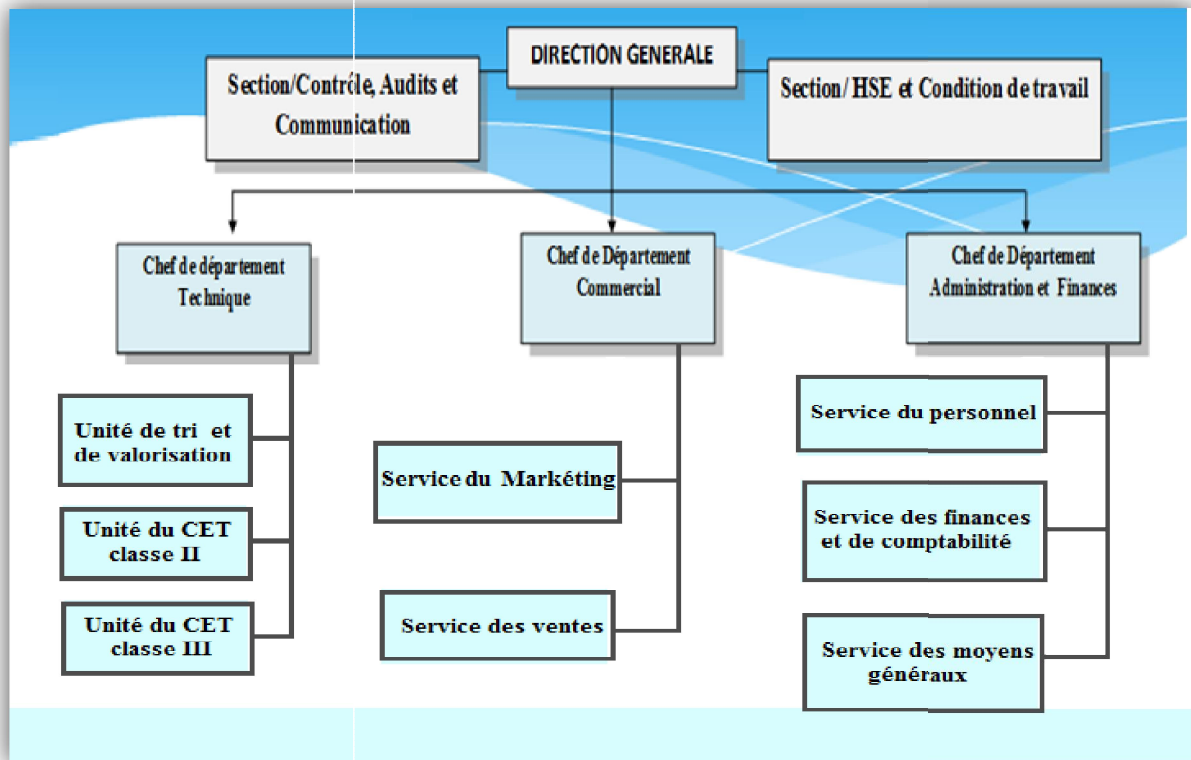


Figure V-10 : Organigramme de l'EPIC - GECETAL

V-9-2. Installations du CET classe II de Hamici

Les principaux installations du CET classe II de Hamici sont :

- Un pont bascule et un poste de contrôle et d'enregistrement des camions,
- Un centre de tri,
- Une station de compostage des déchets verts,
- Les casiers,
- Bassin de rétention de lixiviats,
- Stations de traitements et laboratoire.

a) Pont bascule et poste de contrôle et d'enregistrement des camions

Le CET classe II de Hamici a doté les collecteurs de déchets (principalement les camions de NETCOM et EXTRANET) de cartes magnétiques afin de faciliter la procédure d'accès au site dans le but de constituer une banque de données qui sert à présenter des bilans hebdomadaires et mensuels.

Le CET recevait une moyenne de 1500 T/j les premières années de sa réception, en 2014 par exemple, il a enregistré 510 977 tonne. Mais ce dernières années, à cause du transfert de plusieurs communes de l'Est d'Alger du CET de Corso, le CET de Hamici reçoit ces dernières années plus de 1 million de tonne par an de DMA, soit 1 007 411 T en 2017 et 1 029 000 T en 2018; dont une moyenne de DMA de 2800 T/j.

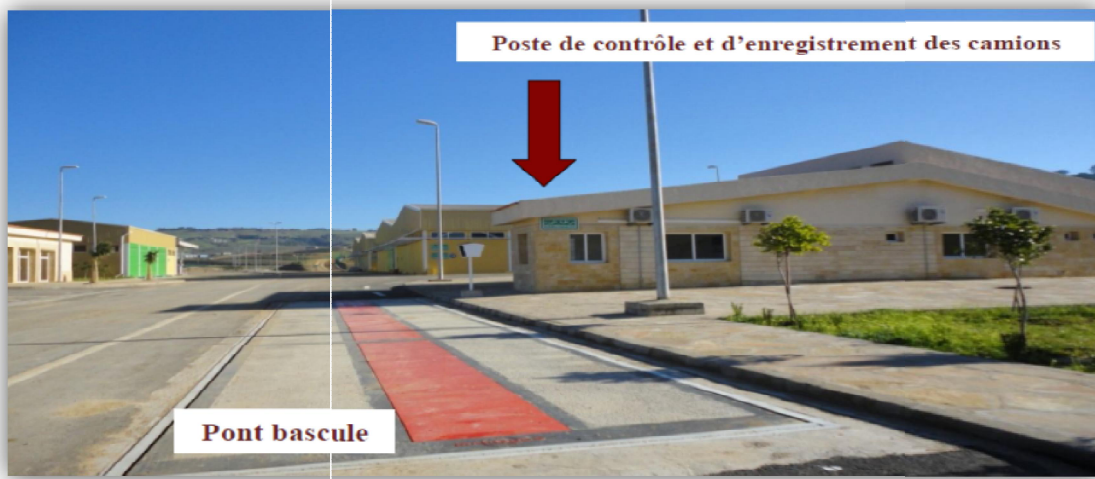


Figure V-11 : Pont bascule et poste de contrôle et d'enregistrement des camions

Le contrôle et l'admission des déchets se font au niveau du poste de contrôle et d'enregistrement des camions à l'entrée du CET et peut être vérifié dans le centre de tri. Si on aperçoit la présence de déchets non admis, un procès-verbal de rejet s'effectuera sur place et sera transmis responsable juridique pour entamer la procédure de poursuite juridique.

b) Centre de tri

Le centre de tri du CET classe II de Hamici est constitué de deux chaînes de Tri avec une capacité globale de 900 T/j. Il dispose d'un nombre d'effectif de 189 travailleurs organisés en trois brigades pour l'exploitation du centre.



Figure V-12 : Centre de tri du CET de Hamici

L'opération de tri se déroule selon les étapes suivantes :

- ❖ Les déchets sont déversés au niveau de la plateforme, ensuite menés via un mini chargeur vers le convoyeur/déchetteur des sachets puis vers le tapis de tri;
- ❖ Les déchets non valorisables sont évacués par un camion à benne vers le casier;
- ❖ Les produits récupérés sont pressés et mis en balles pour faciliter leurs stockages;

Les catégories de déchets récupérés : PET-P, Carton, Aluminium, Fer, PEHD, film plastique et le pain. Le centre de tri a réalisé une production de 2 010.83 tonne en 2019; soit : 166.88 tonne de pain, 284.69 tonne de carton, 1266.20 tonne de PET-P et 158.83 tonne de fer.

Tableau V-6 : Produits valorisés dans le centre de tri - Année 2019

Produits valorisé	Aluminium (Cannettes)	Carton	Pain	Plastique pressé	PEHD	Fer	Film (sachet)	Total
Quantité (tonne) Année 2019	18,28	284,69	166,88	1266,20	113,87	158,83	2,08	2010,83

(Source : GECETAL)

c) Station de compostage des déchets verts

La station de compostage des déchets verts du CET de Hamici a une capacité de 19 272 t/an. En andains retournés sous toiture avec l'aération naturelle des matières pendant le compostage.

La surface de la station sera répartie comme suit:

- L'aire de réception et de stockage des déchets d'une superficie de 5 371 m²
- Une surface réservée à la fermentation des andains de 4 734m²
- Une surface réservée à la maturation de 4 564 m²
- Une surface réservée au stockage de produit fini de 5 144 m²
- Des hangars en charpente métallique pour la zone de fermentation, la zone de maturation et la zone de stockage de produit fini.

d) Les casiers

Le CET classe II de Hamici comporte actuellement un casier en exploitation (Casier 3) d'une capacité de 3 million de m³ et deux casiers fermés (casier 1 et 2) de 1.8 million de m³ et 3 million m³ successivement (la densité des déchets enfouis dans le casier est 0.7 T/m³).

Tableaux V-7 : Etat des casiers du CET classe II de Hamici

Désignation	Capacité		Superficie (m ²)	Taux de remplissage	Etat actuel
	(m ³)	(Tonne)			
Casier 1	1 800 000	2 571 429	100 000	100 %	Saturé
Casier 2	3 000 000	4 285 714	120 000	100 %	Saturé
Casier 3	3 000 000	4 285 714	120 000	10 %	En exploitation

(Source : GECETAL)

La fourniture de matériaux de couverture des casiers remplis, se fait à partir du CET classe III de Hamici.

La sécurité passive est constituée par l'environnement géologique du CET, alors que la sécurité active fait intervenir le déchet, le drainage de lixiviat et la couverture du CET.

La barrière active est constituée du bas vers le haut : d'une géomembrane, ou tout dispositif équivalent, surmontée d'une couche de drainage.

La barrière passive : le terrain naturel doit présenter de haut en bas, une perméabilité (K) inférieure à 10^{-9} m/s sur au moins 1 m et inférieure à 10^{-6} m/s sur au moins 5 m.

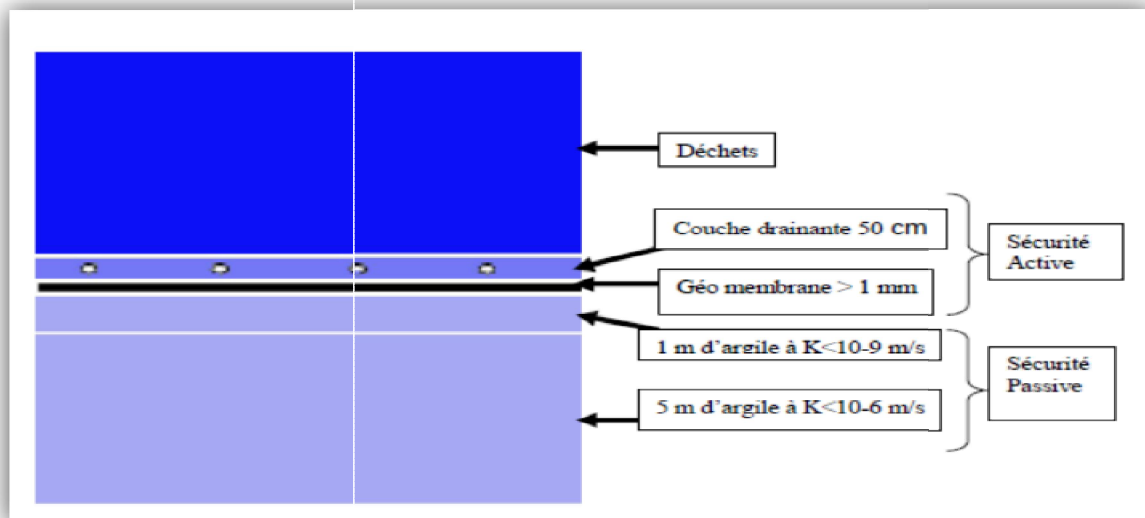


Figure V-13 : Aménagement du fond de casier

Pour les casiers 1 et 2 qui sont remplis à 100% et recouvert en dôme, GECETAL a lancé une étude pour le captage du biogaz dans le but de protection de l'environnement et de valorisation.

e) Bassin de rétention de lixiviats

Le bassin de rétention de lixiviats du CET classe II de Hamici a une capacité de 30 000 m³ et s'étend sur une superficie de 6400 m².



Figure V-14 : Bassin de rétention de lixiviats

f) Station de traitement de lixiviats et laboratoire

Le CET Classe II de Hamici dispose de deux stations de traitement avec une capacité globale de 200 m³/j.

- ✓ **Station de traitement par (BRM) Bioréacteur à membranes (BRM) :** Cette station de capacité de traitement de 80 m³/j se base sur en premier lieu sur un traitement biologique (dénitrification / nitrification) et en deuxième phase sur les techniques membranaires en passant l'effluent sur une filière ultrafiltration succédé par une filière de nanofiltration.



Figure V-15 : Station de traitement de lixiviat par BRM

- ✓ **Station de traitement par osmose inverse (OI) :** C'est une station monobloc de traitement par OI de capacité de 120 m³/j. Elle se base sur un prétraitement de filtration par filtre à sable et microfiltre avant de passer sous haute pression (62 bars) par les membranes d'osmose inverse.

L'eau traitée par les deux stations est stockée au niveau d'une bache à eau et le concentrât est recyclé dans le casier.



Figure V-16 : Monobloc de traitement de lixiviat par OI

✓ Laboratoire d'analyse

Le laboratoire sert à effectuer des analyses de contrôle des lixiviat avant et après le traitement pour les deux filières.

Les analyses effectuées sont : DCO, DBO₅, AZOTE AMONIACAL (NH₄), pH, la température, la conductivité, la turbidité, nitrite (NO₂), nitrate (NO₃) et PO₄.

V-10. Conclusion

Le mode de gestion des déchets ménagers par enfouissement technique une solution simple et moins coûteux pour l'élimination des déchets urbains encombrant les rues et les quartiers et éviter les décharges sauvages.

Pour cela, Il faut faire un bon choix de terrain qui rassemble les conditions suivantes :

- ❖ Une superficie suffisante pour recevoir la quantité de DMA qu'on veut éliminer et pour une durée de vie pas moins de 15 ans.
- ❖ Le site doit être éloigné des agglomérations d'habitats pour éviter le désagrément des mauvaises odeurs.
- ❖ Le site ne doit pas être beaucoup éloigné des zones de collectes des DMA parce que la longue distance parcourue par les camions de collecte acheminés vers le CET induit la détérioration précoce de la flotte.

La présence de centre de tri au niveau du CET peut résoudre beaucoup de problèmes et de contraintes liés au fonctionnement et à la gestion des déchets en préservant la durée de vie du casier mais d'après les bilans d'activités du CET, la production maximale était enregistrée en 2019 avec 2010.83 tonne/an, soit une production de 5.51 tonne/jour qui représente 0.61% de la capacité du centre de tri.

La quantité de déchets reçus par le CET de Hamici augmente d'année à l'autre. Il a reçu en 2014 une quantité de 510 967.16 tonne, soit une moyenne de 1400 T/j par contre, en 2018, il a reçu une quantité de 1 029 000 tonne, soit une moyenne qui avoisine 2800 T/j qui représente le double. Cette augmentation est justifiée par le transfert de plusieurs communes de l'Est de la wilaya d'Alger du CET de Corso (Boumerdes) vers le CET de Hamici et la mise en réhabilitation des deux CET de Ouled Fayet et d'Oued Smar.

Cette augmentation en déchets ménager va influencer directement sur la quantité et la qualité du lixiviat produit dont la nécessité de le quantifier et de prendre en considération pour l'augmentation de la capacité de traitement du CET.

CHAPITRE VI : MATERIELS ET METHODES

VI-1. Introduction

Dans ce chapitre, on va quantifier les lixiviats produits dans le CET de Hamici et les caractériser ainsi évaluer la quantité de biogaz produit. Il n'existe aucun instrument sur site pour mesurer les lixiviats (compteurs ou débitmètres).

Les analyses physico-chimiques sont établies au niveau du laboratoire de la station de traitement du CET de Hamici; à savoir : DCO, DBO₅, AZOTE AMONIAICAL (NH₄), Nitrite (NO₂), Nitrate (NO₃) et PO₄, pH, la température, la conductivité et la turbidité.

VI-2. Etude quantitative des lixiviats du CET de Hamici

VI-2-1. Méthodes

On utilise la méthode du bilan hydrique permet de déterminer la quantité théorique du lixiviat produit au sein du massif de déchets dans le casier n°3 du centre d'enfouissement de Hamici.

On peut déterminer la quantité de lixiviat par la formule suivante :

$$E = P + ED - ETR + \Delta\sigma \dots \dots \dots (VI-1)$$

Où; E : Quantité de lixiviats produits;

ED : Eau de constitution des déchets;

ETR : Evapotranspiration réelle;

$\Delta\sigma$: Variation du stock d'eau dans le massif.

En utilisant la méthode de PEN MANN, on calcule l'évapotranspiration (ETR) à partir des données climatiques de la zone (température minimale, température maximale, l'humidité relative, la vitesse de vent et l'insolation). En utilisant l'application CROOWAT 8.0, on aura :

Tableau VI-1 :Moyennes mensuelles de l'évapotranspiration (2004 - 2013)

Mois	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
ETR(mm)	53.01	53.76	75.33	95.7	117.8	146.4	176.39	167.71	130.8	113.77	73.5	49.91

Etant donné que :

✓ l'humidité de déchets, H=65%

✓ la densité des déchets enfouis, d= 0,7 tonne/m³;

On obtient les résultats suivants (voir ci-dessous le bilan hydrique) :

➤ Ed = 465 010 m³/an, P = 68 940 m³/an et ETR = 150489,6 m³/an

Alors, on a :

➤ E = 465 010 + 68 940 - 150489,6 = 383460,4 m³/an

Donc le débit journalier de lixiviat produit est estimé à :

E = 1050 m³/j

Bilan hydrique du site													
	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Jun	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Totaux / an
Nombre jours	31	29	31	30	31	30	31	31	30	31	30	30	365
Tonnage mensuel	86800	81200	86800	84000	86800	84000	86800	86800	84000	86800	84000	84000	1022000
Production lixiviat par mois (m3)	39494	36946	39494	38220	39494	38220	39494	39494	38220	39494	38220	38220	465010
Surface casier (m3)	Cete 120000	120000	120000	120000	120000	120000	120000	120000	120000	120000	120000	120000	120000
Pluies mensuelles (mm)	85,2	57,5	49,7	41,3	45,8	1,9	1,9	10,3	32,4	48,7	102,3	97,5	574,5
Pluies accumulées (m3) / mois	10224	6900	5964	4956	5496	228	228	1236	3888	5944	12276	11700	68940
Total lixiviat + Pluies (m3/mois)	49718	43846	45458	43176	44990	38448	39722	40730	42108	45338	50496	49920	188,88
Total lixiviat + Pluies (m3/j)	1603,81	1511,93	1466,39	1439,20	1451,29	1281,60	1281,35	1313,87	1403,60	1462,52	1683,20	1664,00	17562,76
Evaporations mensuelles (mm)	53,01	53,76	75,33	95,7	117,8	146,4	176,39	167,71	130,8	113,77	73,5	49,91	1254,08
Evapotranspirations (m3/mois)	6361,20	6451,20	9039,60	11484,00	14136,00	17568,00	21166,80	20125,20	15696,00	13652,40	8820,00	5989,20	150489,6
Evapotranspirations (m3/j)	205,20	222,46	291,60	382,80	456,00	585,60	682,80	649,20	523,20	440,40	294,00	199,64	412,30
Lixiviats à traiter mensuellement (m3)	43356,80	37394,80	36418,40	31692,00	30854,00	20880,00	18555,20	20604,80	26412,00	31685,60	41676,00	43390,80	383460,4
Total lixiviat à traiter par jour (m3/j)	1398,61	1289,48	1174,79	1056,40	995,29	696,00	598,55	664,67	880,40	1022,12	1389,20	1464,36	12629,86
													1051
													1052

Figure VI-1 : Bilan hydrique du CET de Hamici

VI-3. Etude qualitative des lixiviats du CET de Hamici

Le souci majeur engendré par les CET est celui des lixiviats formés lors de la percolation des eaux pluviales avec les déchets en plein décomposition. Ces derniers se chargent au fil du temps en matières organiques et en métaux lourds extrêmement toxiques et représentent un risque permanent de pollution des sols, des rivières et des nappes phréatiques, il est donc nécessaire de les collecter et les traiter avant de les rejeter dans le milieu naturel.

Le plus important est le contrôle de la qualité des lixiviats même après traitement pour s'assurer qu'elle soit conforme aux normes de rejets d'effluents liquides en milieu naturel conformément à la réglementation nationale [35].

VI-3-1. Appareillage et méthodes

a) Appareillage

Les appareils utilisés pour les analyses physico-chimiques sont présentés dans la figure :



Figure VI-2 : Appareillage d'analyses physico-chimiques

b) Méthodes

Les méthodes d'analyses utilisées pour chaque paramètre physico-chimique caractérisant les lixiviats sont listées dans le tableau N°18 et leurs protocoles d'emploi sont donnés dans l'annexe 01.

Tableau VI-2 : Méthodes d'analyses des paramètres physico - chimiques

Paramètres	Méthodes
PH	Mesure in situ avec le pH mètre
Coductivité	Mesure in situ avec le conductivimètre
Température	Mesure in situ avec le thermomètre
DCO	Mesure avec le DCO mètre
DBO ₅	Mesure avec OXiTop
Phosphate (PO ₄)	Mesure avec le spectromètre
Ammonium (NH ₄)	Mesure avec le spectromètre
Nitrite (NO ₂)	Mesure avec le spectromètre
Nitrate (NO ₃)	Mesure avec le spectromètre

VI-3-2. Points de prélèvement

Les échantillons ont été prélevés dans les points suivant :

- ✓ **Le point A** : au niveau de bassin de rétention des lixiviats (Lixiviat brute).
- ✓ **Le point B** : au niveau de la sortie de l'ultrafiltration (Perméat UF)
- ✓ **Le point C** : au niveau de la sortie de la nanofiltration (Perméat NF)
- ✓ **Le point D**: au niveau de la sortie de la filière OI (Perméat OI)

Ils ont été réalisés durant les mois d'Avril et de Mai 2020 pour les points A, B et C mais pour le point D, on a pris les résultats d'analyses pour les mêmes périodes pour l'année 2019 car la station de traitement (monobloc) par osmose inverse est à l'arrêt.

VI-3-3. Résultats d'analyses physico-chimiques des lixiviats du CET de Hamici

Les résultats d'analyse physico-chimiques sont présentés dans les tableaux suivants :

Tableau VI-3 : Résultats d'analyses des lixiviats dans le point A (Lixiviat brute)

Paramètres	Unité	Valeurs mesurées		Valeurs moyennes	Valeurs limites
		Avril.2020	Mai.2020		
Température	°C	18,4	22,1	20,25	30
pH	-	8,16	8,35	8,26	6.5 - 8.5
Conductivité	mS/cm	27	26,5	26,75	/
Turbidité	NTU	976	991	983,50	/
NH ₄ -N	mg/l	2110	2010	2060,00	/
PO ₄ -P	mg/l	21,05	22,7	21,88	/
DCO	mg/l	13493	14633	14063,00	120
DBO ₅	mg/l	3000	3300	3150,00	35

Tableau VI-4 : Résultats d'analyses des lixiviats dans le point B (Perméat UF)

Paramètres	Unité	Valeurs mesurées		Valeurs moyennes	Valeurs limites
		Avril.2020	Mai.2020		
Température	°C	25	25,6	25,30	30
pH	-	6,02	6,23	6,13	6,5 - 8,5
Conductivité	mS/cm	22,9	22,3	22,60	/
Turbidité	NTU	/	/	/	/
NH ₄ -N	mg/l	2,49	1,94	2,22	/
NO ₂ - N	mg/l	0,52	0,37	0,45	/
NO ₃ -N	mg/l	3020	2677	2848,50	/
PO ₄ -P	mg/l	15,5	16,8	16,15	/
DCO	mg/l	2310	2061	2185,50	120
DBO ₅	mg/l	/	/	/	35

Tableau VI-5: Résultats d'analyses des lixiviats dans le point C (Perméat NF)

Paramètres	Unité	Valeurs mesurées		Valeurs moyennes	Valeurs limites
		Avril.2020	Mai.2020		
Température	°C	24,5	28,2	26,35	30
pH	-	6,75	7,05	6,90	6.5 - 8.5
Conductivité	mS/cm	21,2	21,3	21,25	/
Turbidité	NTU	20,5	22,6	21,55	/
NH ₄ -N	mg/l	0,94	0,75	0,85	/
PO ₄ -P	mg/l	7	11	9,00	/
DCO	mg/l	155	162	158,50	120
DBO ₅	mg/l	6	11	8,50	35

Tableau VI-6 : Résultats d'analyses des lixiviats dans le point D (Perméat OI)

Paramètres	Unité	Valeurs mesurées		Valeurs moyennes	Valeurs limites
		Avril.2019	Mai.2019		
Température	°C	23,2	23,7	23,45	30
pH	-	7	6,8	6,90	6.5 - 8.5
Conductivité	mS/cm	9,7	8,5	9,10	/
Turbidité	NTU	20	18,3	19,15	/
NH ₄ -N	mg/l	128	58,7	93,35	/
PO ₄ -P	mg/l	6	9	7,50	/
DCO	mg/l	106	154	130,00	120
DBO ₅	mg/l	13	19	16,00	35

VI-4. Evaluation de la quantité de biogaz produit

Le biogaz produit sur une installation de stockage de déchets non dangereux provient de la fermentation en conditions anaérobies de la part organique des déchets stockés. Ce gaz est généralement constitué d'environ 45 à 55% de méthane (CH₄) puis de dioxyde de carbone (CO₂), d'éléments secondaires (certains étant malodorants) et d'éléments traces. La proportion représentée par le méthane confère au biogaz une forte potentialité à être valorisé ou brûlé.

VI-4-1. Méthodes

La production du biogaz peut être approchée selon deux voies :

- Par une modélisation analytique théorique liée à l'historique du site. Cette méthode consiste à calculer la production du biogaz année par année à partir des informations reçues sur les quantités et la nature des déchets stockés.
- Par des mesures in-situ : débit, composition du gaz collecté, débit de fuite, potentiel méthanogène résiduel sur les échantillons prélevés in-situ.

En générale, on cherche à combiner les deux approches :

- L'approche théorique pour donner une forme de courbe de production du biogaz.
- L'approche par mesures, pour caler cette courbe sur des données réelles.

Dans notre étude, on se contente de l'approche théorique en utilisant un modèle de calcul proposé par l'agence de la transition écologique (ADEME). La formule du modèle permet d'obtenir la production de biogaz en m³ par tonne de déchets reçue [13].

La formule utilisée est la suivante :

$$V = T * P_m * (1 - e^{-K_i * t}) \dots\dots\dots (VI-1)$$

Ce modèle est de cinétique d'ordre multi-phases. L'équation s'écrit :

$$V = \sum i \{P_{mi} * [1 - e^{-K_i * t}]\} \dots\dots\dots (VI-2)$$

Avec :

- V = Volume cumule de gaz produit à la fin de l'année t
- i = fraction de déchets (1, 2, 3 : respectivement lentement, moyennement et rapidement biodégradable)
- P_{mi} = potentiel méthanogène de la fraction i
- k_i = constante cinétique de la fraction i
- t = âge des déchets à partir de la date de leur enfouissement

La production annuelle de gaz, en moyenne au cours de l'année t, se calcule de la façon suivante :

$$P = \sum i P_{mi} * K_i * e^{-K_i * t} \dots\dots\dots (VI-3)$$

On utilise également la notion de " durée de demie dégradation" qui exprime le temps au bout duquel la moitié du potentiel méthanogène est exprimée [13].

Elle est liée à la constante cinétique k par la relation:

$$t_{1/2} = Ln(2)/K \dots\dots\dots (VI-4)$$

Tableau VI-7 : Aptitude à la dégradation des différentes fractions des déchets.

Fraction	t _{1/2} (an)	K	Exemple	P _m (m ³ CH ₄ / tonne brute)
Rapidement dégradable	2 à 3	0.25 à 0.35	Déchets de cuisine	80 - 130
Moyennement dégradable	7 à 10	0.07 à 1.00	Papier - carton	170 - 250
			Feuilles, végétaux	50 - 70
			Boues urbaines déshydratées	40 - 50
Lentement dégradable	15 à 30	0.02 à 0.05	Textiles	100 - 150
			Déchets ligneux	50 - 80
			Plastiques	< 5

(Source : ADEME)

A partir de la production de biogaz, il est ensuite possible d'estimer le débit de biogaz capté par le réseau mis en place. Les taux de captage du biogaz dépendent du type de couverture mise en place.

Tableau VI-8 : Taux de récupération du biogaz selon la couverture

Type de couverture	Taux de captage
Zone en exploitation (pas de couverture et surface réduite de < 5000 m ²)	35 %
Zone avec une couverture semi-perméable (constituées de matériaux naturels de faible perméabilité inférieure à 1.10 ⁻⁶ m/s)	65 %
Zone avec une couverture immédiate naturelle (comprenant des matériaux argileux d'épaisseur d'au moins 50 cm avec un coefficient de perméabilité inférieur à 1.10 ⁻⁹ m/s)	85 %
Zone avec géomembrane	90 %
Captage de biogaz = Production théorique x taux de captage	

(Source : ADEME)

Pour les déchets reçus par le CET de Hamici, on prend :

- ✓ de la période 2021 à 2025 : 1 095 000 tonne par an,
- ✓ de la période 2026 à 2035 : 1 168 000 tonne par an,
- ✓ de la période 2036 à 2045 : 1 277 500 tonne par an.

On a aussi :

Tableau VI-9 : Données de base pour le calcul de la production théorique du biogaz

Type de fraction	Composition	Fraction (%)	P _m (m ³ CH ₄ / tonne brute)	Constante Cinétique (Ki)
Lentement dégradable (1)	Textiles	11.72	120	0.25
	Déchets ligneux	1.67	70	
	Plastiques	16.51	4	
Moyennement dégradable (2)	Papier - carton	10.55	200	0.3
Rapidement dégradable (3)	Déchets de cuisine	55.01	100	0.04

On prend aussi :

- ✓ Le taux de captage de 80%

Les résultats sont présentés dans les tableaux suivants :

Tableau VI-10 : Calcul du potentiel méthanogène des déchets reçus par le CET de Hamici

Année	Déchets reçus (tonne)	Quantité de déchets par fraction (tonne/an)					Potentiel méthanogène (m ³ /an)		
		Fraction 1	Fraction 2			Fraction 3	Fraction1	Fraction2	Fraction3
		Textile	Déchets ligneux	Plastique	Papier - carton	Déchets de cuisine			
2016	511093	59900.10	8535.25	84381.45	53920.31	281152.26	8123005.49	10784062.30	28115225.93
2017	1007411	118068.57	16823.76	166323.56	106281.86	554176.79	16011185.99	21256372.10	55417679.11
2018	1029000	120598.80	17134.30	169887.90	108559.50	566052.90	16354308.60	21711900.00	56605290.00
2019	1029065	120606.42	17135.39	169898.63	108566.36	566088.66	16355341.67	21713271.50	56608865.65
2020	1022000	119778.40	17067.40	168732.20	107821.00	562202.20	16243054.80	21564200.00	56220220.22
2021	1095000	128334.00	18286.50	180784.50	115522.50	602359.50	17403273.00	23104500.00	60235950.00
2022	1095000	128334.00	18286.50	180784.50	115522.50	602359.50	17403273.00	23104500.00	60235950.00
2023	1095000	128334.00	18286.50	180784.50	115522.50	602359.50	17403273.00	23104500.00	60235950.00
2024	1095000	128334.00	18286.50	180784.50	115522.50	602359.50	17403273.00	23104500.00	60235950.00
2025	1095000	128334.00	18286.50	180784.50	115522.50	602359.50	17403273.00	23104500.00	60235950.00
2026	1168000	136889.60	19505.60	192836.80	123224.00	642516.80	18563491.20	24644800.00	64251680.00
2027	1168000	136889.60	19505.60	192836.80	123224.00	642516.80	18563491.20	24644800.00	64251680.00
2028	1168000	136889.60	19505.60	192836.80	123224.00	642516.80	18563491.20	24644800.00	64251680.00
2029	1168000	136889.60	19505.60	192836.80	123224.00	642516.80	18563491.20	24644800.00	64251680.00
2030	1168000	136889.60	19505.60	192836.80	123224.00	642516.80	18563491.20	24644800.00	64251680.00
2031	1168000	136889.60	19505.60	192836.80	123224.00	642516.80	18563491.20	24644800.00	64251680.00
2032	1168000	136889.60	19505.60	192836.80	123224.00	642516.80	18563491.20	24644800.00	64251680.00
2033	1168000	136889.60	19505.60	192836.80	123224.00	642516.80	18563491.20	24644800.00	64251680.00
2034	1168000	136889.60	19505.60	192836.80	123224.00	642516.80	18563491.20	24644800.00	64251680.00
2035	1168000	136889.60	19505.60	192836.80	123224.00	642516.80	18563491.20	24644800.00	64251680.00
2036	1277500	149723.00	21334.25	210915.25	134776.25	702752.75	20303818.50	26955250.00	70275275.00
2037	1277500	149723.00	21334.25	210915.25	134776.25	702752.75	20303818.50	26955250.00	70275275.00
2038	1277500	149723.00	21334.25	210915.25	134776.25	702752.75	20303818.50	26955250.00	70275275.00
2039	1277500	149723.00	21334.25	210915.25	134776.25	702752.75	20303818.50	26955250.00	70275275.00
2040	1277500	149723.00	21334.25	210915.25	134776.25	702752.75	20303818.50	26955250.00	70275275.00

Tableau VI-11 : Calcul de la production théorique de biogaz à 50% de CH₄

Année	Age déchets (an)	Potentiel Méthanogène (m ³ /an)			Production théorique de biogaz à 50% de CH ₄ (m ³ /an)				Débit biogaz (m ³ /h)
		Fraction 1	Fraction 2	Fraction 3	Fraction 1	Fraction 2	Fraction 3	Total	
2016	4	8123005.49	10784062.30	28115225.93	276878.75	974429.14	2585753.40	3837061.29	438.02
2017	5	16011185.99	21256372.10	55417679.11	524354.01	1421881.31	3969357.72	5916593.05	675.41
2018	6	16354308.60	21711900.00	56605290.00	514590.19	1076685.88	3157586.86	4748862.93	542.11
2019	7	16355341.67	21713271.50	56608865.65	494444.05	797678.90	2459286.45	3751409.41	428.24
2020	8	16243054.80	21564200.00	56220220.22	471795.14	586878.03	1902144.85	2960818.02	337.99
2021	9	17403273.00	23104500.00	60235950.00	485674.06	465824.93	1587205.61	2538704.60	289.81
2022	10	17403273.00	23104500.00	60235950.00	466630.51	345091.60	1236116.97	2047839.07	233.77
2023	11	17403273.00	23104500.00	60235950.00	448333.67	255650.14	962688.86	1666672.67	190.26
2024	12	17403273.00	23104500.00	60235950.00	430754.25	189390.28	749742.84	1369887.38	156.38
2025	13	17403273.00	23104500.00	60235950.00	413864.14	140303.77	583900.31	1138068.22	129.92
2026	14	18563491.20	24644800.00	64251680.00	424145.38	110868.90	485058.15	1020072.43	116.45
2027	15	18563491.20	24644800.00	64251680.00	407514.40	82133.70	377763.67	867411.77	99.02
2028	16	18563491.20	24644800.00	64251680.00	391535.53	60846.14	294202.67	746584.31	85.23
2029	17	18563491.20	24644800.00	64251680.00	376183.20	45075.93	229125.25	560384.38	74.24
2030	18	18563491.20	24644800.00	64251680.00	361432.85	33393.07	178442.92	573268.84	65.44
2031	19	18563491.20	24644800.00	64251680.00	347260.86	24738.19	138971.49	510970.55	58.33
2032	20	18563491.20	24644800.00	64251680.00	333644.57	18326.51	108231.10	460202.18	52.53
2033	21	18563491.20	24644800.00	64251680.00	320562.18	18576.61	84290.47	418429.26	47.77
2034	22	18563491.20	24644800.00	64251680.00	307992.76	10057.80	65645.48	383696.04	43.80
2035	23	18563491.20	24644800.00	64251680.00	295916.19	7451.00	51124.75	354491.94	40.47
2036	24	20303818.50	26955250.00	70275275.00	310967.51	6037.32	43548.75	360553.58	41.16
2037	25	20303818.50	26955250.00	70275275.00	298774.30	4472.56	33915.80	337162.65	3849
2038	26	20303818.50	26955250.00	70275275.00	287059.19	3313.35	26413.65	316786.19	36.16
2039	27	20303818.50	26955250.00	70275275.00	275803.44	2454.59	20570.97	198829.00	34.11
2040	28	20303818.50	26955250.00	70275275.00	264989.03	1818.41	16020.69	282828.12	32.29

Tableau VI-12 : Calcul du potentiel méthanogène des déchets reçus par le CET de Hamici

Période	Production théorique de biogaz à 50% de CH ₄ (m ³ /h)	Débit de biogaz capté (m ³ /h)
2016	438,02	350,42
2017	675,41	540,33
2018	542,11	433,69
2019	428,24	342,59
2020	337,99	270,39
2021	289,81	231,85
2022	233,77	187,02
2023	190,26	152,21
2024	156,38	125,10
2025	129,92	103,93
2026	116,45	93,16
2027	99,02	79,22
2028	85,23	68,18
2029	74,24	59,40
2030	65,44	52,35
2031	58,33	46,66
2032	52,53	42,03
2033	47,77	38,21
2034	43,80	35,04
2035	40,47	32,37
2036	41,16	32,93
2037	38,49	30,79
2038	36,16	28,93
2039	34,11	27,29
2040	32,29	25,83
Total	4287,40	3429,92

Tableau VI-13 : Production et débit capté maximum et moyen du biogaz

Production théorique maximale (à 50% CH ₄)	Production théorique moyenne (à 50% CH ₄)	Débit capté théorique maximale (à 50% CH ₄)	Débit capté théorique moyen (à 50% CH ₄)
Année 2017	Moyenne	Année 2017	Moyenne
675,41 m ³ /h	171,50 m ³ /h	540,33 m ³ /h	137,2 m ³ /h
5 916 593,05 m ³ /an	1 502 303,52 m ³ /an	4 733 274,44 m ³ /an	1 201 843,97 m ³ /an

La production totale de biogaz (à 50 % de méthane) jusqu'à l'horizon de 2040 est de **37 557 587,89 m³**.

Les schémas ci-après présentent l'évolution de la production annuelle de biogaz..

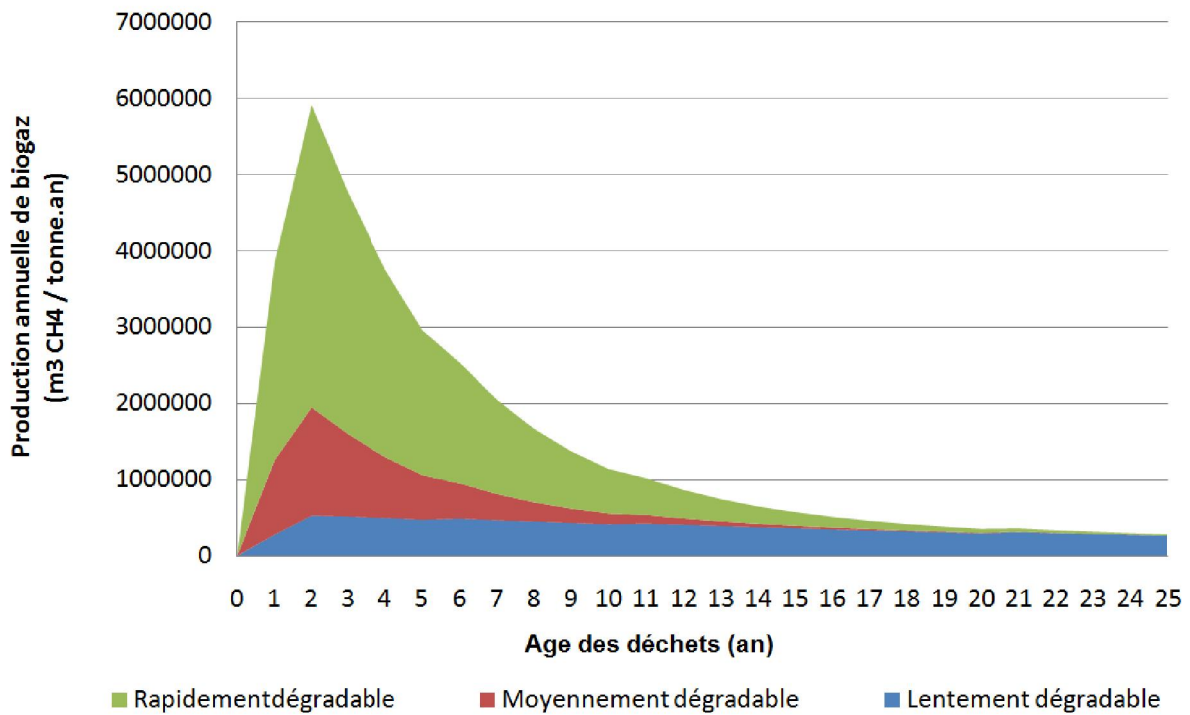


Figure VI-3 : Evolution de la production annuelle de gaz du CET de Hamici

Les schémas ci-après présentent l'évolution temporelle de la quantité de biogaz (à 50% de CH₄) produite et captée par le CET de Hamici jusqu'à 2040 (fin de post-exploitation).

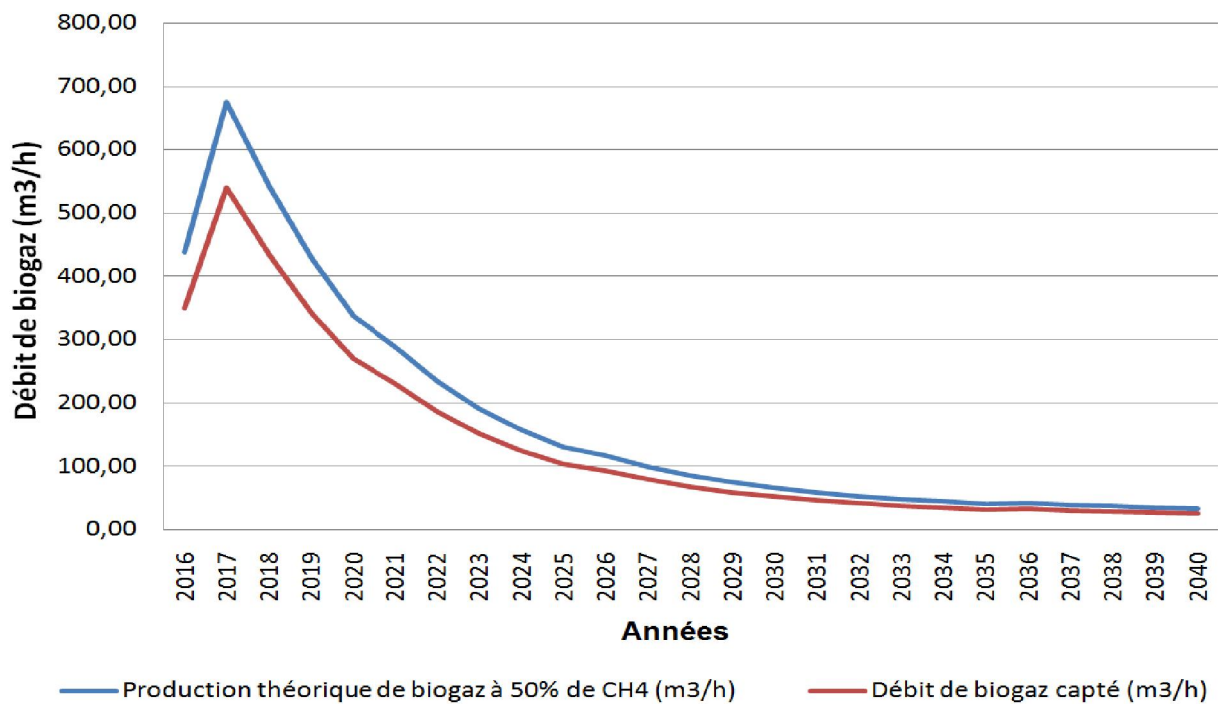


Figure VI-4 : Evolution temporelle de la quantité de biogaz produite et captée (2016-2040).

VI-5. Conclusion

En utilisant la méthode de bilan hydrique pour quantifier théoriquement la quantité de lixiviats produite dans le CET de Hamici, on a trouvé une quantité de 1050 m³/j.

Les résultats d'analyses ont montré que le lixiviat du CET classe II de Hamici est un lixiviat de type intermédiaire caractérisé par une assez faible biodégradabilité.

L'évaluation théorique de la quantité de biogaz produite dans le CET classe II de Hamici est de 171.50 m³/h, donnant un potentiel de 37.56 Million de m³ jusqu'à l'horizon 2040.

CHAPITRE VII : DISCUSSIONS

VII-1. Production de lixiviats

La production des lixiviats dans le CET de Hamici est de 1050 m³/j. Cette quantité dépasse largement la capacité de traitement de lixiviats installés de 200 m³/j et cela est dû à l'augmentation des quantités de déchets ménagers reçues par le CET de Hamici.

Il faut effectuer des campagnes de mesures de débit des lixiviats afin de définir avec exactitude la capacité de traitement à prévoir et vérifier le dimensionnement du collecteur principal des lixiviats.

VII-2. Etude qualitative du Lixiviat du CET de Hamici

VII-2-1. Caractérisation du Lixiviat brute du CET de Hamici

Les caractéristiques du lixiviats brute des centres d'enfouissement technique de Hamici sont présentées dans le tableau suivant :

Tableau VII-1 : Caractéristiques du lixiviat brute du centre d'enfouissement de Hamici

Paramètres	Unité	Valeurs moyennes
Age du lixiviat	an	7
pH	/	8,46
DCO	(mg/l)	14063
DBO ₅	(mg/l)	3150
DBO ₅ /DCO	/	0,22
NH ₄ - N	(mg/l)	2060

Le rapport DBO₅/DCO donne une indication de maturité du lixiviat. En générale, on a :

- ✓ DBO₅ /DCO ≥ 0,3 : lixiviat jeune et instable
- ✓ 0,1 ≤ DBO₅ /DCO < 0,3 : lixiviat intermédiaire (modérément stable).
- ✓ DBO₅ /DCO < 0,1 : lixiviat vieux et stable.

Dans notre cas, le rapport DBO₅/DCO est de l'ordre de 0.22, ce qui indique que le lixiviat du CET classe II de Hamici est un lixiviat intermédiaire (modérément stable) caractérisé par une biodégradabilité assez faible.

VII-2-2. Variabilité de la DBO₅

La DBO₅ est un Critère de pollution organique basé sur la quantité d'oxygène consommée à 20°C et à l'obscurité pendant un temps de référence pour assurer l'oxydation des matières organiques présentes dans l'eau par voie biologique.

D'après les résultats d'analyses observés au niveau des 4 échantillons, nous remarquons que la valeur de la DBO₅ du lixiviat brut (point A) de 3000 à 3300 mg/l est largement élevée

par rapport à la norme de rejet Algérienne qui est de 35 mg. Tandis que, les perméats produits après traitements par BRM et par OI sont nettement inférieurs à la norme; à savoir 8.5 mg/l et 16 mg/l successivement.

Les rendements de traitement de DBO_5 dépassent 99% pour les deux stations; à savoir 99.73% pour le BRM et 99.49% pour l'OI.

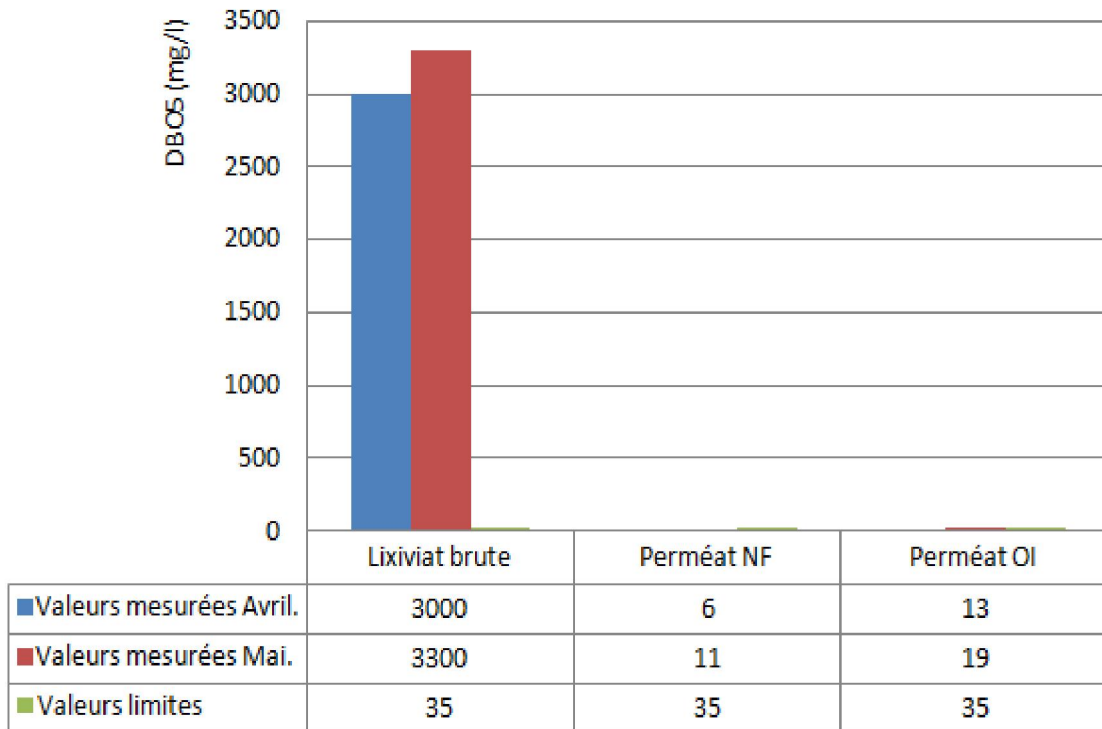


Figure VII-1 : Variation de la DBO5

VII-2-3. Variabilité de la DCO

Contrairement à la DBO_5 , qui ne prend en compte que les matières organiques biodégradables, la DCO est une mesure globale des matières organiques et de certains sels minéraux oxydables (pollution organique totale) présents dans l'effluent.

Les concentrations de la DCO du lixiviat brut varient entre 9000 mg/l et 15000 mg/l. Ces valeurs sont très élevées et dépassent largement le seuil de rejet toléré qui est de 130 mg/l.

Les deux filières présentent des rendements d'abattement de la DCO avoisinant les 99% mais des valeurs de 158.5 mg/l pour le BRM qui dépasse la norme de rejet et de 130 mg/l pour l'OI qui est tolérable.

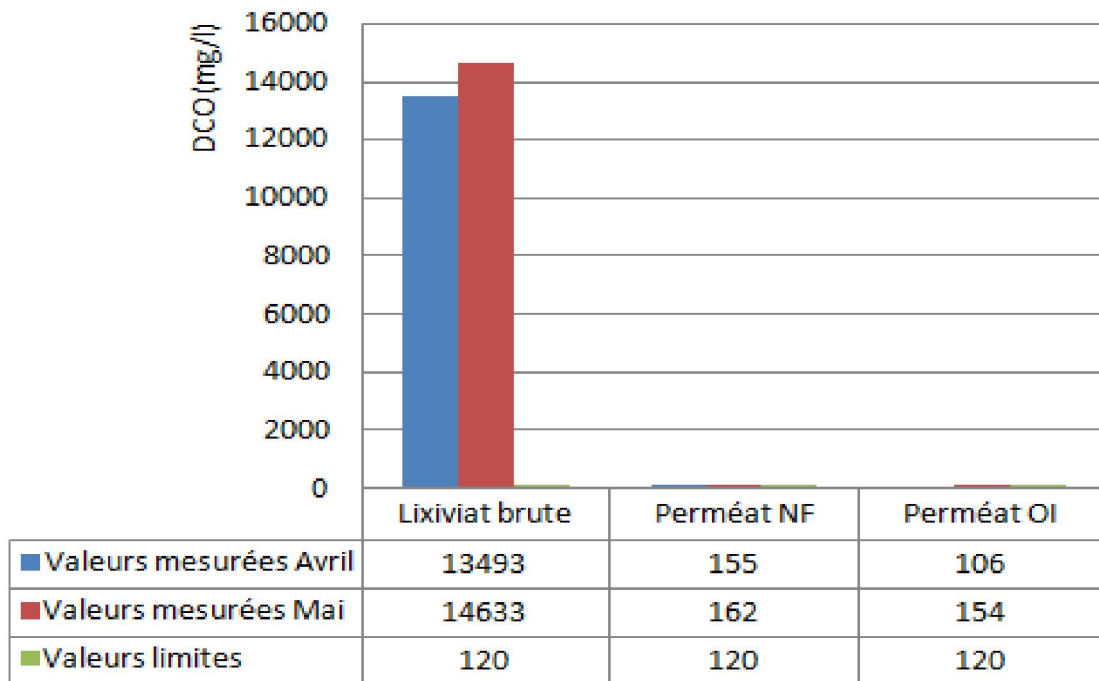


Figure VII-2 : Variation de la DCO

VII-2-4. Etude de la matière organique

La matière organique est définie comme la matière carbonée qui est généralement produite par les êtres vivants, végétaux, animaux, ou micro-organismes. Elle est constituée de composés organiques et est à l'origine de la dégradation de la qualité de l'eau en influençant directement les propriétés organoleptiques de l'eau (odeur et goût). Outre le carbone et l'eau qui sont ses composants essentiels, elle peut contenir aussi de l'hydrogène (H), l'oxygène (O), l'azote (N), le phosphore (P), le soufre (S).

La composition des lixiviats est en fonction de la nature des déchets enfouis, leur taux d'humidité, les conditions climatiques ainsi que l'âge de la décharge.

Dans notre cas, la matière organique est présente sous formes azotées et phosphorées.

a) Matière organique azotée

- ✓ **L'ammonium (NH_4^+)** : L'ammonium est présent dans le lixiviat brut avec des concentrations qui dépassent 2000 mg/l. Son abattement par le BRM est très efficace avec un rendement qui avoisine 100% et par la filière d'osmose inverse, il atteint 95.5 % avec une concentration finale de 93.35 mg/l qui est largement supérieure à la norme de rejet qui est de 35 mg/l.

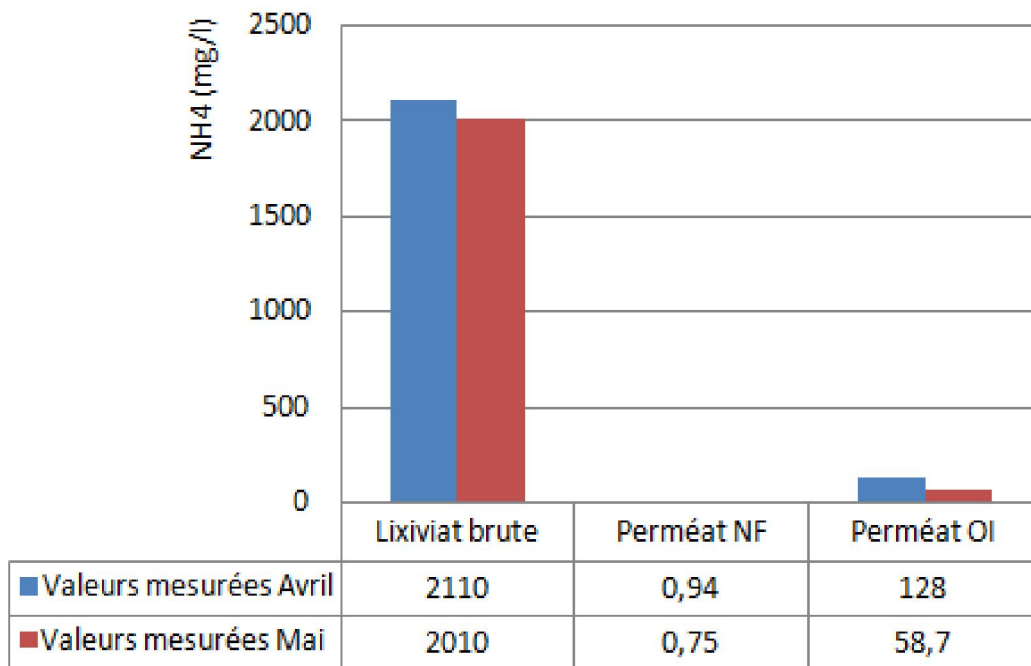
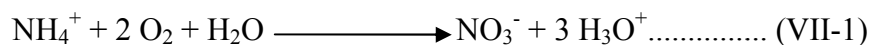


Figure VII-3 : Variation du NH₄

- ✓ **Les nitrates (NO₃⁻)** : Les nitrates sont présents dans l'échantillon (C) qui représente le perméat ultrafiltration avec des concentrations considérables de 2677 à 3020 mg/l suite à la nitrification qui s'effectue dans le bassin biologique en présence d'oxygène par des bactéries AOB et des bactéries NOB en utilisant l'ammonium comme source d'énergie pour produire des nitrates.



Ensuite, grâce à des bactéries hétérotrophes, s'effectue en milieu anaérobie la réaction de dénitrification des nitrates. Elle permet d'abattre jusqu'à 99% de la charge azotée.

- ✓ **Les nitrates (NO₂⁻)** : Les nitrites sont présents dans l'échantillon (C) avec de faibles concentrations de 0.37 à 0.52 mg/l.

b) Matière organique phosphorée

- ✓ **Le phosphate (PO₄⁻³)** : Il est un indicateur de pollution dans les eaux, leur présence en excès contribue notamment aux problèmes de turbidité liés au verdissement des eaux. Selon les résultats d'analyses, on a enregistré au niveau du bassin de rétention des valeurs de 21.05 à 22.7 mg/l et au cours des traitements par le BRM et l'OI, elle diminue à des concentrations admissibles de 6 mg/l et 11 mg/l respectivement qui sont acceptables par rapport à la norme de rejet.

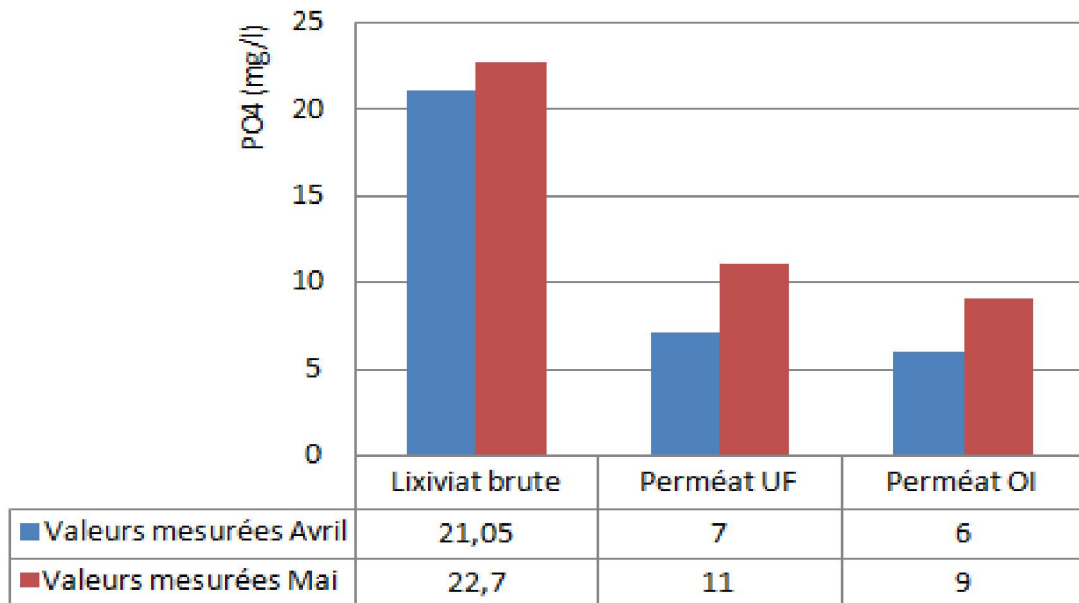


Figure VII-4 : Variation du PO4

VII-2-5. Variation de Température

La température favorise le développement des micro-organismes dans les lixiviats, la température des quatre échantillons varie selon la température ambiante (le temps qu'il fait), elle varie de 18.4 à 28.2°C qui est acceptable par rapport à la norme de rejet (30°C).

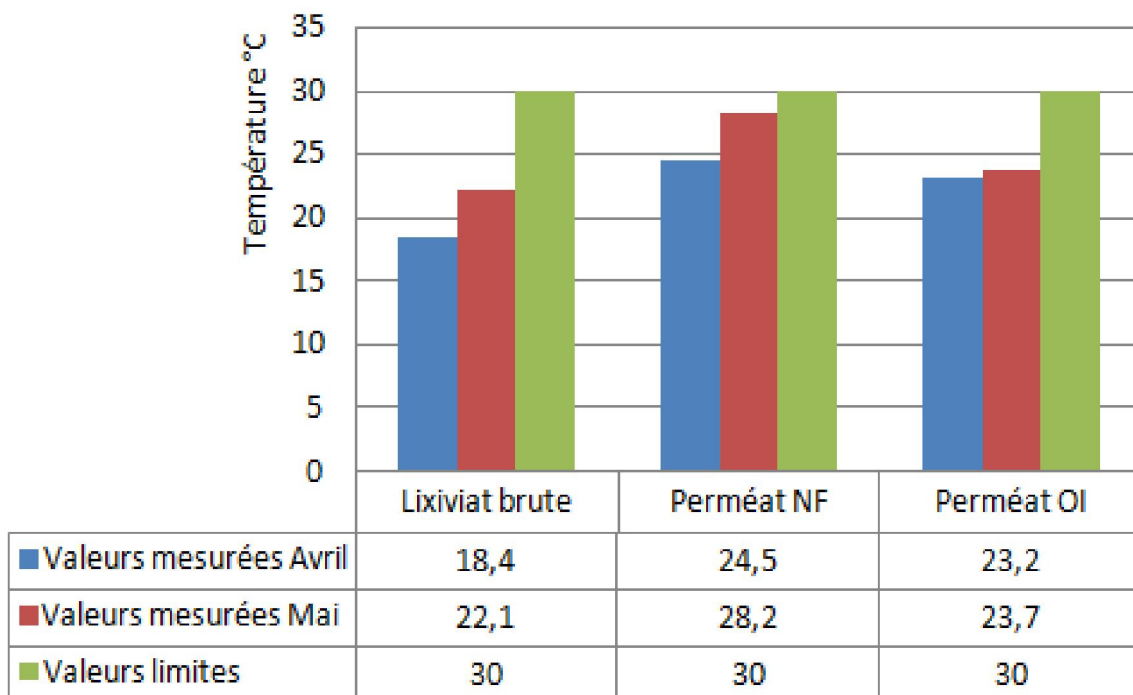


Figure VII-5 : Variation de la température

VII-2-6. Etude du pH

Ce paramètre caractérise un grand nombre d'équilibres physico-chimique et dépend de plusieurs facteurs. Le pH des quatre échantillons est dans les normes (6.5 - 8.5).

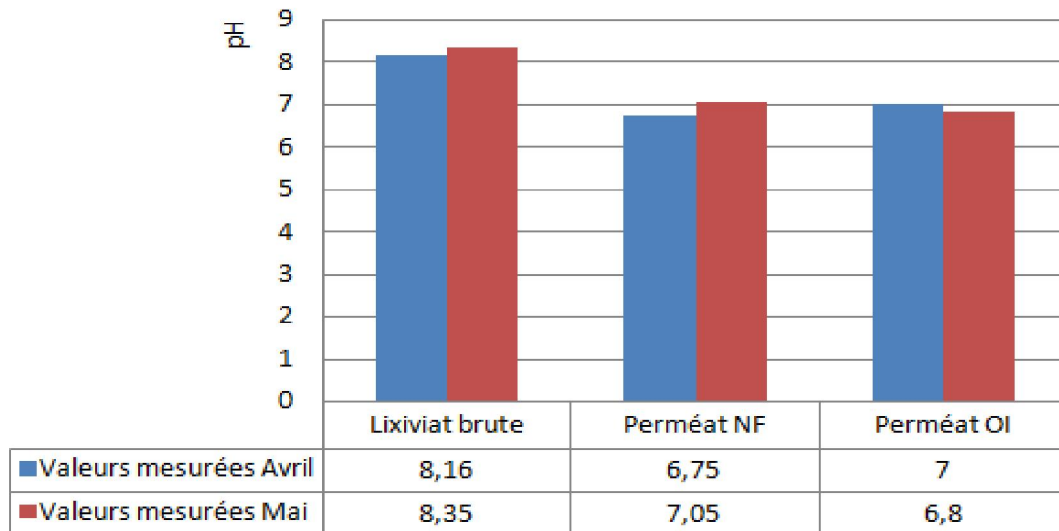


Figure VII-6 : Variation du pH

VII-2-7. Etude de la Conductivité électrique

La mesure de la conductivité apporte une information globale sur la quantité d'espèces chargées présentes dans les différents lixiviats. Elle constitue un paramètre intéressant à suivre pour évaluer la charge minérale présente dans un effluent.

Dans notre cas, la valeur de la conductivité électrique est très élevée au niveau du bassin de rétention où elle varie entre 26.5 et 27.0 mS/cm, et diminue au niveau de l'ultrafiltration pour atteindre des valeurs de 22.3 à 22.9 mS/cm. Cette conductivité diminue de plus en plus au niveau de la nanofiltration pour marquer valeurs de 21.2 à 21.3 mS/cm et de très faibles enregistrements au niveau de l'osmose inverse allant de 8.5 à 9.7 mS/cm.

Nous pouvons conclure donc que les lixiviats sont chargés d'une charge minérale élevée qui tend à diminuer après traitement par le BRM et par l'OI.

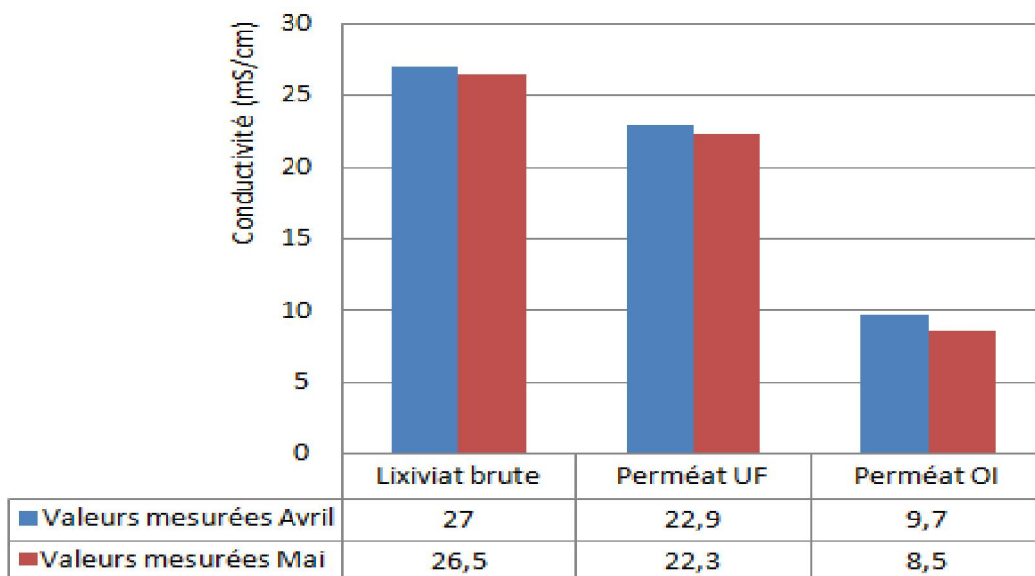


Figure VII-7 : Variation de la conductivité

VII-2-8. Etude de la Turbidité

La turbidité est causée par des particules en matières inorganiques (particule, glaise et argile) alors que sa couleur est imputable à des particules de matière organique et oxyde de métal par exemple le fer.

La turbidité des lixiviats est élevée au niveau du bassin de rétention où elle atteint des valeurs allant de 976 à 991 NTU et diminue au niveau de la nanofiltration en enregistrant des valeurs allant de 20.5 à 22.6 NTU moins élevé au niveau de l'OI en marquant des valeurs de 18.3 et 20.0 NTU.

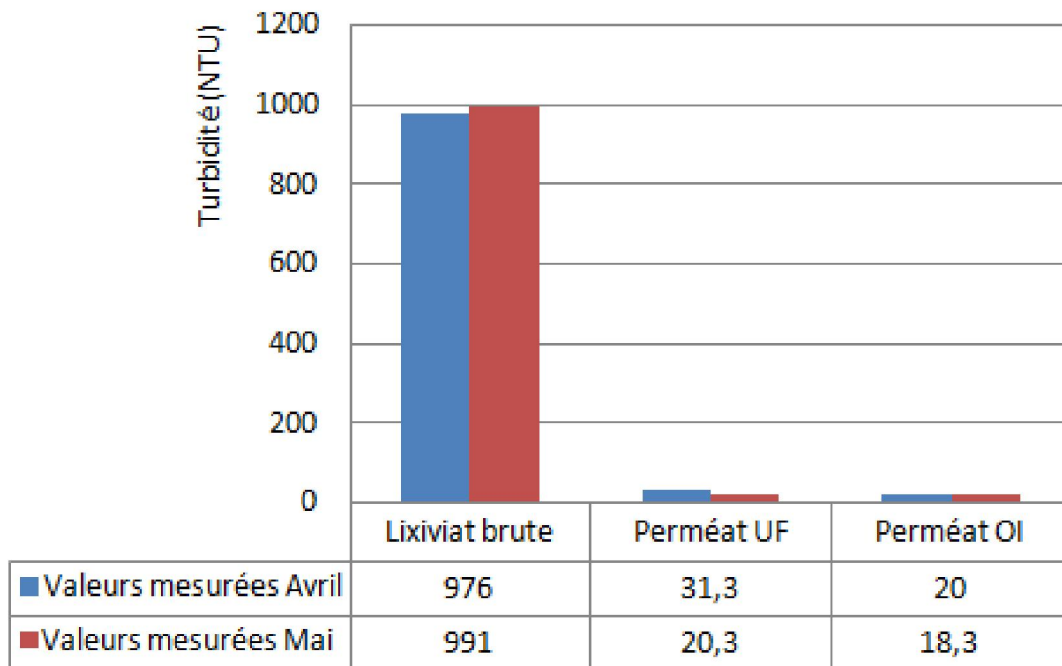


Figure VII-8 : Variation de la turbidité

VII-2-9. Etude comparative des performances de traitement par BRM et OI

Le traitement des lixiviats du CET classe II de Hamici s'effectue dans les deux stations de traitement par BRM (80 m³/j) et par OI (120m³/j). Les perméats issus des deux filières sont transférés vers une bache à eau de 200 m³ pour être utilisé dans le lavage des routes et des hangars et les concentrât (saumure) sont rejetés dans le casier.

a) Traitement par BRM

La station BRM comporte un prétraitement biologique par nitrification/dénitrification, suivi par des installations membranaires d'ultrafiltration de nanofiltration sous une pression de (6 à 30) bars.

Le prétraitement biologique (nitrification/dénitrification) permet d'abattre la charge azotée (NH₄⁺) jusqu'à 99.95%, l'ultrafiltration permet d'abattre la DCO jusqu'à 85% et la

nanofiltration permet de filtrer les métaux lourds et la DCO dure pour atteindre un rendement final de 99% avec une concentration moyenne de 158.5 mg/l qui est en dessus de la norme de rejet. Le rendement de traitement de la DBO₅ est très efficace 99.73% avec une concentration moyenne acceptable de 8.5mg/l.

b) Traitement par OI

La station monobloc par osmose inverse, comporte un prétraitement physique par filtre à sable suivi par un filtre à cartouche et enfin par une installation membranaire d'osmose inverse sous une pression de (40 à 80) bars.

- Le rendement de traitement de la DCO par OI est très efficace 99.08% avec une concentration moyenne de 130 mg/l qui est acceptable. L'inconvénient de ce procédé est le colmatage rapide des membranes à cause de la grande charge de la DCO à traiter.
- Le rendement de traitement de la DBO₅ est très efficace 99.49% avec une concentration moyenne acceptable de 16mg/l.
- Le rendement de traitement de la charge azotée est de l'ordre de 95.47% avec une concentration moyenne de 93.35mg/l en dessus de la norme de rejet (Annexe 2).
- Un abattement considérable de la charge minérale par la réduction de la conductivité de 26.76 à 9.1 mS/cm.

Tableau VII-2 : Comparaison entre les résultats de traitement par BRM et par OI

Paramètres	Valeurs moyennes mesurées			Valeurs limites	Rendement (%)	
	Lixiviât brut	Perméat NF	Perméat OI		BRM	OI
Température (°C)	20,25	26,35	23,45	30	/	/
pH	8,46	6,65	6,9	6.5 - 8.5	/	/
Conductivité (mS/cm)	26,75	21,25	9,1	/	20.56	65,98
Turbidité (NTU)	983,50	21,55	19,15	/	97.81	98,05
NH ₄ -N (mg/l)	2060,00	0,95	93,35	/	99.95	95,47
PO ₄ -P (mg/l)	21,88	9	7,5	/	58.86	65,71
DCO (mg/l)	14063,00	158,5	130	120	98,87	99,08
DBO ₅ (mg/l)	3150,00	8,5	16	35	99,73	99,49

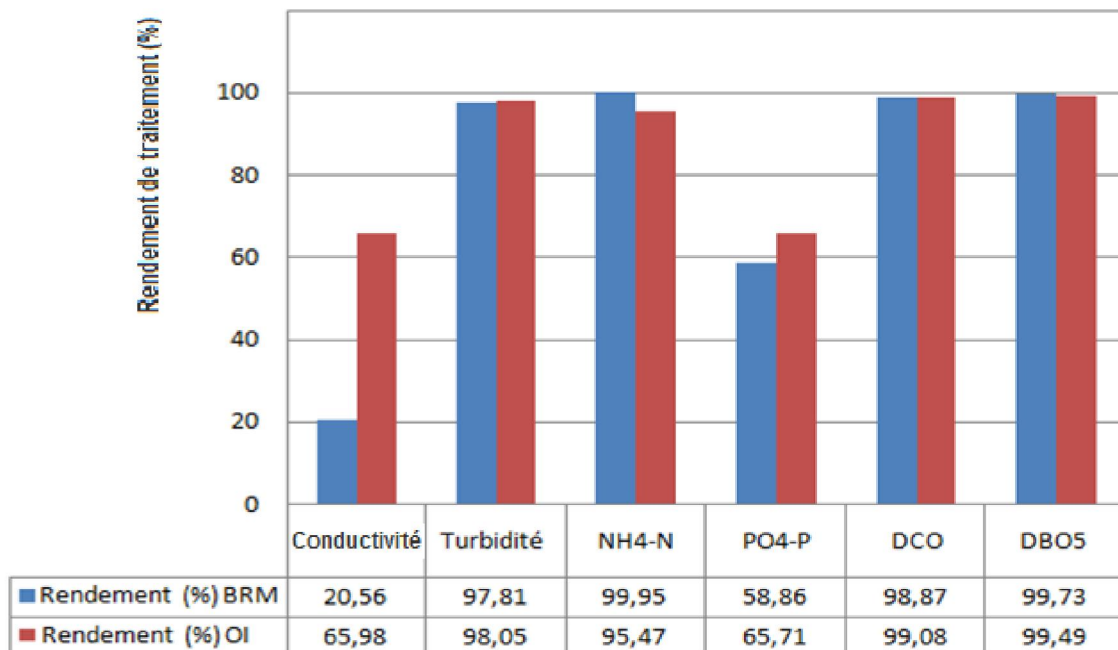


Figure VII-9: Rendements de traitement de lixiviat

Le traitement du lixiviat du CET de Hamici par le BRM présente de très bons résultats pour l'ammonium (NH_4^+), le phosphate (PO_4^{3-}) et la DBO_5 .

Le traitement du lixiviat du CET de Hamici par la station monobloc d'osmose inverse présente de très bons résultats pour DCO, la DBO_5 , les métaux lourds et la charge minérale dissoute.

Pour éviter le colmatage rapide des membranes osmotiques, il est conseillé de procéder à un prétraitement biologique (nitrification/dénitrification) pour abattre la charge azotée et réduire la DCO.

Pour le bon fonctionnement du CET classe II Hamici, nous recommandons ce qui suit :

- ❖ Opter au choix d'une filière de traitement combinée entre les deux filières traitées BRM et OI en maintenant le prétraitement biologique (nitrification / dénitrification) et l'ultrafiltration du BRM et le combiner avec l'osmose inverse. Ce choix va nous assurer une bonne qualité de traitement de la pollution organique, les sels minéraux et des métaux lourds.
- ❖ Récupérer la capacité de traitement existante qui est de 80 m³/j en combinant la station BRM avec la monobloc OI.
- ❖ Réaliser une station de traitement de capacité 1000 m³/j par le même procédé de traitement et un réservoir de 1000 m³ pour le stockage du perméat.

- ❖ La saumure résidu du traitement doit être traitée par incinération qui consiste à concentrer les polluants dans la phase solide, résidu de la combustion, la température du four étant de 850 °C et 1100 °C, les vapeurs avant d'être rejetées en milieu naturel sont traitées afin d'éliminer les polluants résiduels.

VII-3. Evaluation de la production du biogaz

En utilisant le modèle de calcul proposé par l'ADEME dans son guide technique « Gérer le gaz de décharge » (2001), on a déterminé le besoin prévisionnel en capacité de traitement de biogaz produit dans le site qui est de 171.50 m³/h, totalisant une quantité de 1.5 Million de m³/an et un potentiel de 37.56 Million de m³ jusqu'à l'horizon 2040.

Cette méthode tient donc compte de la composition des déchets apportés mais ne tient toutefois pas compte des conditions climatiques.

Il s'agit d'un modèle permettant une approche macroscopique de la production de biogaz, sans tenir compte des conditions de fermentation hétérogènes à l'intérieur d'un casier, dans l'espace et dans le temps. Cette méthode permet seulement d'estimer de manière théorique la production de biogaz.

Dont la nécessité d'effectuer des mesures in-situ : débit, composition du gaz collecté, débit de fuite, potentiel méthanogène résiduel sur les échantillons prélevés in-situ afin de caler la courbe de production théorique de biogaz sur des données réelles.

CONCLUSION GENERALE

CONCLUSION GENERALE

Le problème des déchets est devenue un souci très préoccupant de tous les pays dont la gestion reste complexe : les installations de traitement arrivent à saturation, leur incinération, leur stockage ou leur traitement participent à la pollution atmosphérique, des sols, des ressources en eau et émettent des gaz à effet de serre.

L'enfouissement technique est considéré comme solution par défaut dans les pays en développement et en particulier l'Algérie pour l'élimination des déchets mais il doit aussi assurer le traitement après drainage et récupération des deux effluents qui sont lixiviats et les biogaz qui présentent une menace permanente pour l'environnement (air, sol et ressources en eaux) et la santé humaine.

Outre les objectifs économiques, la présence de centre de tri au niveau du CET peut résoudre beaucoup de problèmes et de contraintes liés au fonctionnement et à la gestion des déchets en préservant la durée de vie du casier. Malheureusement, il est très mal exploité, soit une production moyenne de 5.51 tonnes/j sur une capacité de tri installée de 900 tonnes/j qui ne représente même pas 1%.

Le CET de Hamici est mis en exploitation en Février 2013 pour une capacité de traitement de 1700 tonnes/jour de DMA. Il recevait en 2014 une moyenne de 1400 tonnes/jour mais depuis 2018, il reçoit une moyenne de 2800 tonnes/j. Cette augmentation est justifiée par le transfert de plusieurs communes de l'Est de la wilaya d'Alger du CET de Corso (Boumerdes) vers le CET de Hamici et la mise en réhabilitation des deux CET de Ouled Fayet et d'Oued Semar.

L'étude quantitative des lixiviats par la méthode du bilan hydrique dans le casier N°3 en exploitation, nous a donné une production de 1050 m³/j et l'évaluation de la production du biogaz a donné une moyenne de 171.50 m³/h équivalent à une production de 1.5 Million de m³/an, dont un potentiel de production de biogaz de 37,56 Million de m³ jusqu'à 2040.

L'étude caractéristiques des lixiviats des centres d'enfouissement technique de Hamici a démontré que le lixiviat brute du centre est de type intermédiaire caractérisé par une assez faible biodégradabilité, une DCO très importante de l'ordre de 14063mg/l, une DBO₅ de 3153 mg/l, une conductivité de 26750 µs/cm, une turbidité de 983.5 NTU et des substances

nutritives NH_4^+ de 2060 mg/l et PO_4^{3-} de 21.88 mg/l nécessite outre le traitement biologique un traitement de finition (tertiaire) par des technique membranaires.

Le traitement des lixiviats du CET de Hamici par le Bioréacteur à membranes présente de très bons résultats pour l'ammonium (NH_4^+), le phosphate (PO_4^{3-}) et la DBO_5 et celui par la station monobloc d'osmose inverse présente de très bons résultats pour DCO, la DBO_5 et la conductivité (qui représente la charge minérale dissoute).

Pour le choix du procédé adéquat pour le traitement du lixiviats intermédiaire du CET de Hamici, on opte pour un prétraitement biologique (nitrification/dénitrification) pour abattre les substances nutritives azotées et réduire la DCO combiné à un traitement par ultrafiltration et un traitement finale par osmose inverse.

Pour le dimensionnement de la station de traitement des lixiviats, il est recommandé de :

- Combiner les deux stations de traitement existantes par BRM et OI pour récupérer une capacité de traitement de 80 m^3/j .
- Réaliser une station de traitement de capacité 1000 m^3/j par le procédé de traitement recommandé et un réservoir de stockage de 1000 m^3 . La saumure résidu du traitement (concentrât) doit être traité par incinération qui consiste à concentrer les polluants dans la phase solide, résidu de la combustion avec une température du four étant de 850°C et 1100°C, les vapeurs avant d'être rejetées en milieu naturel sont traitées afin d'éliminer les polluants résiduels.

Pour la valorisation du biogaz, la cogénération est la technique la plus adéquate pour le centre d'enfouissement de Hamici en assurant une autonomie en électricité et de l'énergie thermique pour les locaux en période hivernale.

BIBLIOGRAPHIE

Bibliographie

- [1] : Abderrezak, S. (2000), Gestion des déchets solides en Algérie. Séminaire sur la gestion intégrée des déchets solide, Alger.31-34p.
- [2] : AND (2014), Caractérisation des déchets ménagers et assimilés dans les zones nord, semi-aride et aride d'Algérie, 24 pages.
- [3] : AND, Rapport sur la gestion des DMA dans la wilaya d'Alger, Mais 2017, 23P.
- [4] : AOUANE, M., BRADAI, H., (2016), Analyse bactériologique de lixiviat issu du centre d'enfouissement technique de corso avant et après traitement par osmose inverse, Mémoire Master, Université M'hamed Bouguerra, Boumerdes, 99p.
- [5] : BELLE E,2008 - Évolution de l'impact environnemental des lixiviats d'ordures ménagères sur les eaux superficielles et souterraines, approche hydro biologique et hydrogéologique. Site d'étude : décharge d'Étueffont (Territoire de Belfort – France). Thèse de Doctorat, Université de Franche-Comté,250 p.
- [6] : Bennadir, S., Fantiz, S. (2013). La gestion des déchets ménagers : cas d'étude du centre d'enfouissement technique de « Bamendil » Ouargla. Mémoire master : analyse et contrôle de la qualité. Université Kasdi- Merbah. Ouargla, 6-10p
- [7] : BERTHE C, 2006 - Etude de la Matière Organique contenue dans des lixiviats issus de différentes filières de traitement des déchets ménagers et assimilés. Thèse de Doctorat, Université de Limoges.196 p.
- [8] : Broz, J., (2006), Etude comparative des dangers et des risques liés au biogaz et au gaz naturel, Rapport d'étude N°46032, INRIS, Paris, 40p.
- [9] : DEBABES & BENOUARRED M, 2012 - Contribution au traitement des lixiviats du centre d'enfouissement technique d'El Ançor - Oran, Université des Sciences et de la Technologie d'Oran Mémoire de Master, 125p.
- [10] : Dia, O., (2017), Combinaison des procédés de biofiltration d'électrocoagulation pour le traitement du lixiviat des sites d'enfouissement sanitaires, Thèse Doctorat, Université de Quebec, 377p.
- [11] : Djemaci, F. (2012), La gestion des déchets municipaux en Algérie : Analyse prospective et éléments d'efficacité, Thèse de doctorat : sciences économiques, Université de Rouen
- [12] : Djouder, K., Hamasse, L., (2018), Gestion des déchets ménagers en Algérie : état des lieux et perspective, Mémoire Master, Université de Bejaïa, 118 pages
- [13] : Eric, P., Isabelle, H., (2001) , Gérer le gaz de décharge : Techniques et recommandations, ADEME, Edition centre Angers, Toulouse, France, 136p.
- [14] : Ferhi, H. (2013). Le recyclage des déchets en Algérie. Une filière en gestation in Magreb émergent

[15] : GLANDIER S, 2002 - Risques sanitaires liés aux fuites de lixiviats des centres de stockage des déchets ménagères et assimilés, Mémoire de fin d'études, l'École Nationale de la Santé Publique, 92 p.

[16] : GOPLAN, 2006 - Rapport technique environnementale analyse des lixiviats de diverses décharges en Algérie et proposition des mesures de traitement.

[17] : Imam A., Mohammed B., Wilson DC. et al (2008). Solid waste management in Abuja, Nigeria, Waste Management 28,468-472.

[18] : KHATTABI H, 2002 - Intérêts de l'étude des paramètres hydrogéologiques et hydro biologiques pour la compréhension du fonctionnement de la station de traitement des lixiviats de la décharge d'ordures ménagères d'Etuefont (Belfort, France), Thèse de Doctorat, Institut des Sciences de l'Environnement, Université de Franche Comté. 167p.

[19] : Khemissi, R., Medafer, F. (2014), Caractérisation et choix d'une filière de traitement des déchets ménagers et assimilés de la ville d'Oran (Région Ouest), Mémoire master : Université des sciences et de la Technologie d'Oran « Mohamed Boudiaf », 92p.

[20] : KIHAL M, Contribution à l'étude de décharge de Saf Saf(Tlemcen), Thèse de Master, Univ Tlemcen - Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, des Sciences de la Terre et de l'Univers-Département d'Ecologie et Environnement, 2015, 79 pages.

[21] : Lamraoui, T. (2015), Evaluation de mode de traitement des déchets au niveau du centre d'enfouissement technique de Oued Alli, université de Mouloud Maameri, Tizi ousou, 71p.

[22] : Lokbani, O., Bensouna, M., (2017), Les risques de la pollution du milieu naturel par les lixiviats de décharges contrôlées : cas du CET de Maghnia, Mémoire Master, Université de Tlemcen, 104p.

[23] : Lucien, C., (2008), Les déchets ménagers solides de ville Bujumbura à Bourandi : quelles perspectives pour une gestion durable, Mémoire Master en sciences de gestion, Institut de l'environnement et d'aménagement du territoire, Université libre de Bruxelles, 113p.

[24] : Mezouari, F. (2011), Conception et exploitation des centres de stockage des déchets en Algérie et limitation des impacts environnementaux, Univ Limoges, 261p.

[25] : Mohammedi, D., (2016), Les risques de pollution du milieu naturel par les lixiviats de décharges contrôlées : cas du CET de Tlemcen, Mémoire Master Université de Tlemcen

[26] : Ouadjenia, F., (2004), Caractérisation des déchets ménagers de la ville de Mostaganem pour une meilleure filière de valorisation, Thèse de Magister, Université de Mostaganem

[27] : Pouleau, J. (2002), Caractérisation des biogaz, Rapport final n°316b-Jpo, AIRE, INERIS DRC, 31p.

[28] : Sharholy, M., Kafeel, A., Gauhar, M. et al (2008). Municipal solidwaste management in Indian cities-A review, waste Management, n°28,459-467.

[29] : Souidi, B. (2001). Compostage des déchets ménagers et valorisation du compost. Cas des petites et moyennes communes au Maroc. (Actes édition).102p.

[30] : Turlan, T. (2013). Les déchets (collecte. Traitement. Tri. Recyclage). Paris, Dunod.121p.

[31] : Zerrouki, M., Balkadi, M., (2015), Etude de la géomorphologie du SAHEL d'Alger (cas de la région de Mahelma), mémoire de master, USTHB, Alger, 71p.

Textes réglementaires Algériens

[32] : Décret n° 84 – 378 du 15 décembre 1984 fixant les conditions de nettoyage, d'enlèvement et du traitement des déchets solides Urbains.

[33] : Loi n°01–19 du 27 Ramadhan 1422 correspondant au 12 décembre 2001, Journal Officiel n°77.

[34] : Loi n° 03 – 10 du 19 Joumada ElOula 1424 correspondant au 19 juillet 2003 relative à la protection de l'environnement dans le cadre du développement durable.

[35] : Décret exécutif n°06-141 du 20 Rabie El Aouel correspondant au 19 avril 2006 définissant les valeurs limites des rejets d'effluents liquides industriels

[36] : Décret exécutif n°09-2009 du 17 Joumada Elthania 1430 correspondant au 11 juin 2009 fixant les modalités d'octroi de l'autorisation de déversement des eaux usées autres domestiques dans les réseaux publics d'assainissement ou dans les station d'épuration

Textes réglementaires Algériens

[37] : Directives n° 99 / 31 : CE du 26 avril 1999, concernant la mise en décharge des déchets (JOCE L 182 du 16 juillet 1999, JOCE L 282 du 5 novembre 1999). 19 pages.

[38] : Décret n° 84-378 du 15 décembre 1984 fixant les conditions de nettoyage, d'enlèvement et du traitement des déchets solides urbains

[39] : Arrêté du 9 septembre 1997 relatif aux installations de stockage des déchets ménagers et assimilés (JO du 2 octobre 1997), modifié par l'arrêté du 31 décembre 2001 (JO du 2 mars 2002), modifié par l'arrêté du 3 avril 2002 (JO du 19 avril 2002), 27 pages.

[40] : Arrêté du 19/01/2006 relative aux installations de stockages des déchets non dangereux

ANNEXES

ANNEXES 1

1- Détermination de la demande biochimique en oxygène DBO5**Système de mesure OxiTop**

Les mesures de la DBO5 ont été effectuées au niveau du laboratoire de la station de traitement des lixiviats du CET de Hamici.

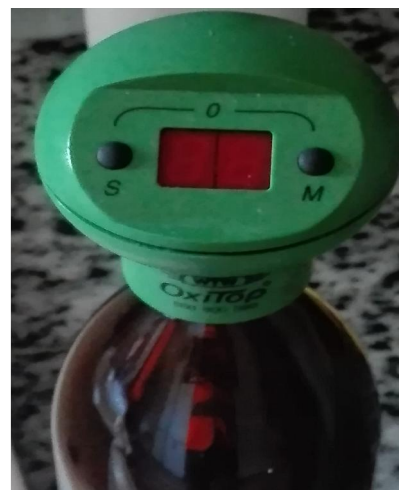
La demande biochimique en oxygène (DBO) est une expression pour indiquer la quantité d'oxygène qui est utilisée pour la destruction de matières organiques décomposables par des processus biochimiques.

Ce paramètre est exprimé en milligramme d'oxygène nécessaire pendant cinq jours (DBO5) pour dégrader la matière organique contenue dans un litre d'eau.

On opte pour l'utilisation d'un système de mesure OxiTop pour la raison que ce système est plus pratique, rapide et donne des résultats probants.

a. Instruments et produits nécessaires

- Système de mesure OxiTop,
- Système d'agitation à induction,
- Armoire thermostatique (T° à 20 °C),
- Flacons bruns et fiole jaugée,
- Godets en caoutchouc,
- Extracteur magnétiques et barreaux aimantés,
- Pastilles de soude (NaOH).

**b. Sélection du volume d'échantillon**

- Estimer la valeur de la DBO5 à 80 % de la valeur de la DCO,
- Déterminer la plage de mesure correspondante dans le tableau.

Volume d'échantillon (ml)	Portée de mesure (mg/l)	Facteur
432	0-40	1
365	0-80	2
250	0-200	5
164	0-400	10
97	0-800	20
43.5	0-2000	50
22.7	0-4000	100

c. Mode opératoire

- Introduire le volume V correspondant à la gamme d'estimation de la DBO5 par rapport à

- la DCO du même échantillon dans un flacon brun en verre contenant un barreau magnétique,
- Placer un godet en caoutchouc contenant deux pastilles de soude (NaOH) servant à absorber le CO₂ produit lors de la consommation de l'oxygène (les pastilles ne doivent jamais être en contact avec l'échantillon),
- Visser l'OxiTop directement sur le flacon,
- Lancer la mesure en appuyant sur S et M simultanément (deux secondes) jusqu'à ce que l'afficheur indique 00,
- Maintenir, dans une armoire thermostatique, le flacon de mesure avec l'OxiTop à 20 °C pendant 5 jours. Après que la température de mesure soit atteinte (au maximum après 1 heure), l'OxiTop lance automatiquement la mesure de la consommation de l'oxygène,
- l'échantillon est agité en continu pendant 5 jours. L'OxiTop mémorise automatiquement une valeur toutes les 24 heures sur 5 jours. Pour connaître la valeur courante, il faut appuyer sur la touche M.

d. Expression des résultats

La DBO₅ s'exprime en mg d'O₂/L et s'obtient par la multiplication de la valeur affichée par l'OxiTop après 5 jours d'incubation à 20°C par le facteur correspondant au volume échantillonné qui est donné par la gamme d'estimation dans le tableau ci-dessus.

La différence entre la DCO et la DBO₅ vient des substances présentes dans l'eau qui ne peuvent pas être décomposées microbiologiquement. Parce que tous les polluants ne sont pas totalement décomposables, la valeur de la DBO₅ se situe en dessous de celle de la DCO.

2- Détermination de la demande chimique en oxygène DCO

a) Définition

La DCO permet d'apprécier la concentration en matières organique ou minérale, dissoute ou en suspension dans l'eau, au travers de la quantité d'oxygène nécessaire à leur oxydation chimique totale.

Ainsi, par la mesure de la DCO, on pourra évaluer la charge polluante d'une eau usée en matières organiques avant et après un traitement physique, chimique ou biologique.

b) Principe

La détermination de la DCO se fait essentiellement par oxydation avec le dichromate de potassium « K₂Cr₂O₇ » en milieu acide dans une solution portée à ébullition à reflux pendant 2 heures en présence d'ions Ag⁷⁺ comme catalyseurs d'oxydation et d'ions Hg permettant de complexer les ions chlorures.

L'oxygène consommé en mg/L est calculé après détermination de l'excès de dichromate de potassium par titrage avec du sulfate de fer ferreux et d'ammonium (sel de Mohr).

c) Matériel nécessaire

Un réacteur pour le chauffage à 105°C ECO6, les équipements nécessaires sont les suivants :



- Pipette graduée double trait,
- Matras à goulot large,
- Ballons gradués,
- Burette,
- Cylindres gradués.

d) Réactifs

- Solution de dichromate de potassium ($K_2Cr_2O_7$) à 0,04 mol/L et contenant du sulfate de mercure,
- Solution d'acide sulfurique,
- Solution sulfate d'argent,
- Solution sulfate de fer ferreux et d'ammonium (sel de Mohr) $[(NH_4)_2Fe(SO_4)_2 \cdot 6H_2O]$ à 0,12 mol/L,
- Solution indicateur Féroïen.

e) Préparation des réactifs

1. Solution de dichromate de potassium ($K_2Cr_2O_7$) à 0,040 mol/L contenant du sulfate de mercure (II) :
 - Dissoudre 80 g de sulfate de mercure dans 800 ml d'eau déminéralisée,
 - Ajouter avec précaution 100 ml d'acide sulfurique (H_2SO_2) concentré ($n = 1,84$),
 - Laisser refroidir et ajouter 11,767g de dichromate de potassium préalablement séché à 105°C pendant 2 h.
 - Transvaser dans une fiole jaugée d'un litre et compléter au volume avec de l'eau distillée.
2. Solution d'acide sulfurique et sulfate d'argent :
 - Ajouter 10 g de sulfate d'argent (Ag_2SO_4) à 40 ml d'eau distillée ;
 - Mélanger avec 960 ml d'acide sulfurique (H_2SO_2) concentré ($n = 1,84$) ;
 - Agiter et laisser refroidir.
 - Laisser reposer 1 à 2 jours.

3. Solution de sulfate de fer (II) et d'ammonium (sel de Mohr) $[(\text{NH}_4)_2\text{Fe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}]$ 0,12 mol/L :
 - Dissoudre 47 g de sulfate de fer (II) et d'ammonium dans de l'eau déminéralisée (24.4g de d'ammonium 13.9 g de sulfate de fer),
 - Ajouter 20 ml d'acide sulfurique (H_2SO_4) concentré ($n = 1,84$),
 - Laisser refroidir et diluer à 1000 ml.
4. Solution d'indicateur coloré (Ferroïne) :
 - Dissoudre 0,7 g de sulfate de fer (II) dans de l'eau distillée,
 - Ajouter 1,50 g de phénanthroline-1,10 monohydraté,
 - Diluer à 100 ml.

f) Mode d'opérateur

1. Digestion de l'échantillon
 - Transvaser 10 ml de l'échantillon pour l'analyse (diluer si nécessaire) dans le tube de l'appareil, ajouter 5 ml de solution de dichromate de potassium,
 - Ajouter avec précaution 15 ml d'acide sulfurique et sulfate d'argent et raccorder immédiatement le tube au réfrigérant,
 - Répéter les deux étapes précédentes pour tous les échantillons à analyser mais aussi pour deux échantillons à blanc (10 ml d'eau distillée),
 - Amener le mélange réactionnel à l'ébullition pendant 120 minutes à 150°C ,
 - Rincer les réfrigérants à l'eau distillée et refroidir les tubes.
2. Titrage de l'échantillon
 - Transvaser le contenu de chaque éprouvette en matras à goulot large, rincer avec l'eau distillée 3 ou 4 fois,
 - Ajouter 5 ou 6 gouttes de l'indicateur coloré Féroïen,
 - Après le refroidissement titrer avec une solution de sulfate de fer ferreux et ammonium jusqu'au moment où la couleur de la solution change de vert bleu à orangé.

g) Expression des résultats

La DCO exprimé en mg d' O_2 /L est donnée par la formule suivante :

$$\text{DCO} = 8000 \cdot C_{\text{Fe}} \cdot (\text{VT} - \text{VE}) / E$$

C_{Fe} : Concentration de la solution de sel Mohr déterminée par étalonnage, soit dans le cas présent 0,12 mol/L,

E : Volume de la prise d'essai en ml,

VT : Volume en ml de la solution de sulfate de fer (II) et d'ammonium titré pour l'essai à blanc,

VE : Volume en ml de la solution de sulfate de fer (II) et d'ammonium titré pour l'échantillon,
8000 : Masse molaire en mg/L de 1/2 O₂.

3- Détermination de l'Ammoniaque

a) Réactifs nécessaires

HI 93700A-0 et HI 93700B-0

b) Procédures de mesure

- Sélectionner la méthode de mesure Ammonia LR
- Remplir une cuvette avec 10ml de l'échantillon et reboucher
- Placer cette cuvette dans la cellule de mesure et fermer le clapet
- Appuyer sur la touche ZERO. Lorsque l'instrument indique «-0.0-» il est prêt pour la mesure
- Oter la cuvette
- Ajouter 4 gouttes de réactifs FIRST HI93700A-0 reboucher et mélanger soigneusement
- Ajouter 4 gouttes de réactifs SECOND HI93700B-0 reboucher et mélanger soigneusement
- Placer cette cuvette dans la cellule de mesure et fermer le clapet
- Appuyer sur la touche TIME. L'instrument affiche un chronométré de 3 mn et 30 secondes suivi de l'affichage de la concentration d'azote ammoniacal (NH₃-N)
- Pour afficher les autres formes chimiques, appuyer sur ▲ ou ▼ puis **ChemFrm**.
L'ammoniaque peut être affichée en NH₃-N ou en ammonium (NH₄⁺)

4- Détermination des Nitrates (NO₃⁻)

a) Réactifs nécessaires

- HI 93728-0

b) Procédures de mesure

- Sélectionner la méthode Nitrates
- A l'aide d'une pipette, remplir une cuvette avec 6 ml de l'échantillon et reboucher
- Placer cette cuvette dans la cellule de mesure et fermer le clapet
- Appuyer sur la touche ZERO. Lorsque l'instrument indique « -0.0-»
- Oter la cuvette
- Ajouter un sachet de réactif HI93728-0.

- Reboucher le capuchon puis immédiatement secouer vigoureusement de haut en bas pendant 10 secondes, continuer à mélanger en inversant doucement la cuvette pendant 50 secondes. La poudre ne se dissoudra pas complètement. Le temps et la manière de secouer peut affecter la mesure
- Remettre la cuvette dans l'instrument en veillant à ne pas la secouer
- Appuyer sur la touche TIME. L'instrument affiche un chronomètre de 4 mn et 30 secondes, suivi de l'affichage d'azote nitreux (NO_3^-) en mg/L
- Pour afficher les autres formes chimiques, appuyez sur ▲ ou ▼ puis **ChemFrm**. Pour convertir le résultat en mg/l de nitrate (NO_3^-)

5- Déterminer les Nitrites (NO_2^-)

a) Réactifs nécessaires

- HI 93708-0

b) Procédures de mesure

- Sélectionner la méthode de mesure Nitrites HR
- Remplir une cuvette avec 10 ml de l'échantillon et reboucher
- Placer cette cuvette dans la cellule de mesure et fermer le clapet
- Appuyer sur la touche ZERO. Lorsque l'instrument indique « -0.0- » il est prêt pour la mesure
- Oter la cuvette
- Ajouter un sachet de réactif HI93708-0. Reboucher et agiter délicatement jusqu'à complète dissolution de la poudre
- Insérer la cuvette dans l'instrument
- Appuyer sur la touche TIME. L'instrument affiche un chronométré de 10 mn, suivi de l'affichage de la lecture en mg/L de nitrites

6- Déterminer les Phosphate

a) Réactifs nécessaires

HI 93717A-0 et HI 93717B-0

b) Procédures de mesure

- Sélectionner la méthode de mesure Phosphate HR
- Remplir une cuvette avec 10 ml de l'échantillon et reboucher
- Placer cette cuvette dans la cellule de mesure et fermer le clapet

- Appuyer sur la touche ZERO. Lorsque l'instrument indique «-0.0-» il est prêt pour la mesure
- Oter la cuvette
- Ajouter 10 gouttes de réactif HI 93717A-0
- Ajouter un sachet de réactif HI93717B-0. Boucher mélanger délicatement jusqu'à dissolution complète
- Insérer la cuvette dans la cellule de mesure, fermer le clapet
- Appuyer sur la touche TIME. L'instrument affiche un chronométré de 5 mn, suivi de l'affichage de la concentration des phosphate en mg/L (PO_4^{3-})

ANNEXE 2

Normes Algériennes de rejet d'effluents liquides industriels en milieu naturel, définies dans le décret exécutif n°06-141 du 20 Rabie El Aouel correspondant au 19 avril 2006.

24 Rabie El Aouel 1427 23 avril 2006		JOURNAL OFFICIEL DE LA REPUBLIQUE ALGERIENNE N° 26		5
ANNEXE I				
VALEURS LIMITES DES PARAMETRES DE REJETS D'EFFLUENTS LIQUIDES INDUSTRIELS				
N°	PARAMETRES	UNITE	VALEURS LIMITES	TOLERANCES AUX VALEURS LIMITES ANCIENNES INSTALLATIONS
1	Température	°C	30	30
2	PH	-	6,5 - 8,5	6,5 - 8,5
3	MES	mg/l	35	40
4	Azote Kjeldahl	"	30	40
5	Phosphore total	"	10	15
6	DCO	"	120	130
7	DBO5	"	35	40
8	Aluminium	"	3	5
9	Substances toxiques bioaccumulables	"	0,005	0,01
10	Cyanures	"	0,1	0,15
11	Fluor et composés	"	15	20
12	Indice de phénols	"	0,3	0,5
13	Hydrocarbures totaux	"	10	15
14	Huiles et graisses	"	20	30
15	Cadmium	"	0,2	0,25
16	Cuivre total	"	0,5	1
17	Mercure total	"	0,01	0,05
18	Plomb total	"	0,5	0,75
19	Chrome Total	"	0,5	0,75
20	Etain total	"	2	2,5
21	Manganèse	"	1	1,5
22	Nickel total	"	0,5	0,75
23	Zinc total	"	3	5
24	Fer	"	3	5
25	Composés organiques chlorés	"	5	7

PH : Potentiel d'hydrogène
DBO₅ : Demande biologique en oxygène pour une période de cinq (5) jours
DCO : Demande chimique en oxygène
MES : Matière en suspension

ANNEXE 3

Valeurs limites maximales de la teneur en substances nocives des eaux usées autre domestiques au moment de leur déversement dans un réseau public d'assainissement ou dans une station d'épuration des eaux usées (décret exécutif n°09/2009 du 17 Joumada Elthania 1430 correspondant au 11 juin).

Paramètres	Valeurs limites maximales (mg/l)
Azote globale	150
Aluminium	5
Argent	0.1
Arcenic	0.1
Bérylium	0.05
Cadmium	0.1
Chlore	3
Chrome trivalent	2
Chrome hexavalent	0.1
Chromates	2
Cuivre	1
Cobalt	2
Cyanure	0.1
DBO5	500
DCO	1000
Etain	0.1
Fer	1
Fluorure	10
Hydrocarbures totaux	10
MES	600
Magnésium	300
Mercure	0.01
Nickel	2
Nitrites	0.1
Phosphore total	50
Phénol	1
Plomb	0.5
Sulfures	1
Sulfates	400
Zinc et composés	2

ملخص :

تحت تأثير النمو الديموغرافي، التوسع العمراني و التطور الإقتصادي، أصبح تسيير النفايات المنزلية من أولويات كل دول العالم. حالياً، لا يزال الردم التقني الأكثر استخداماً للتخلص من النفايات المنزلية، و الذي من سلبياته إنتاج كميات معتبرة من عصارة النفايات المحملة بالملوثات العضوية، غير العضوية و الميكروبية و التي من شأنها تلويث التربة، المياه الجوفية و المياه السطحية، و كذا إنتاج كميات هائلة من الميثان و من ثاني أكسيد الكربون المسماة بالغاز الحيوي، الذي يؤثر على الهواء و يساهم في زيادة تأثير الاحتباس الحراري. الهدف من دراستنا هو تحديد كمية و تشخيص العصارة الخام المجمعة في حوض التخزين لمركز الردم التقني لحميسي، و تقييم فعالية معالجة العصارة للمحطتين الموجودتين في المركز (بواسطة المفاعل الحيوي الغشائي و بواسطة التناضح العكسي) و دراسة إمكانية الجمع بين التقنيتين للحصول على نتائج أفضل من أجل تلبية متطلبات معايير صرف النفايات السائلة في البيئة الطبيعية و إعادة استعمال المياه المعالجة في التنظيف و السقي. كمية الغاز الحيوي المنتج في المركز مقدرة ب 1,5 مليون م³ في السنة، بما يعادل قدرة إنتاج حوالي 37,56 مليون م³ إلى غاية 2040. هذه الكمية الهائلة من الغاز الحيوي، تمثل مخزون طاقتي معتبر و يجب معالجته و تثمينه بتقنية التوليد المشترك للطاقة الحرارية و الكهربائية.

الكلمات الدالة : النفايات المنزلية، الردم التقني، العصارة، الغاز الحيوي، المفاعل الحيوي الغشائي، التناضح العكسي، مركز الردم حميسي.

Résumé

Sous l'effet de la croissance démographique, de l'urbanisation galopante et du développement économique, la gestion des déchets ménagers devient l'une des priorités à l'échelle planétaire.

A l'heure actuelle, l'enfouissement technique est encore la méthode la plus utilisée pour l'élimination des déchets ménagers. Un des inconvénients liés à l'enfouissement est la production des eaux de percolation appelées lixiviats qui sont de polluants organiques, inorganiques et microbiens susceptibles de polluer le sol, les eaux souterraines et les eaux de surfaces et la production d'énormes quantités de biogaz susceptibles à impacter l'air et contribuent à l'augmentation de l'effet de serre.

L'objectif de notre étude est de quantifier et de caractériser les lixiviats brutes stockés dans le bassin de rétention du CET de HAMICI; d'évaluer les performances de traitement des deux stations existantes (par BRM) et (par OI) pour faire le choix du procédé adéquat pour leur traitement afin de réutiliser l'eau traitée dans le nettoyage (voiries et hangars) et l'arrosage.

La quantité du biogaz produit dans le CET est évaluée à 1.5 Million de m³/an, dont un potentiel de production de biogaz de 37,56 Million de m³ jusqu'à 2040. Cette énorme quantité de biogaz nécessite une installation de traitement et de valorisation par cogénération qui consiste en une production combinée de chaleur et d'électricité.

Mots clés : déchets ménagers, enfouissement technique, lixiviat, biogaz, bioréacteur à membranes, osmose inverse, centre d'enfouissement Hamici.

Abstract

Under the influence of demographic growth, urban expansion and economic development, household waste management has become a priority for all countries of the world.

Currently, the technical backfill is still the most used for household waste disposal, one of the disadvantages of which is the production of leachate laden with organic, inorganic and microbial pollutants that would pollute the soil, groundwater and surface water. as well as produce huge quantities of methane and of carbon dioxide which are called biogas that affects the air and contributes to the increase in the greenhouse effect.

The objective of our study is to quantify and to characterize the raw leachate collected in the storage basin, to assess the efficiency of the two leachate treatment plants from the landfill center (MBR and RO) and to choose the appropriate process for their treatment in order to meet the requirements of the standards for the discharge of effluents into the natural environment and for the reuse of treated water for cleaning and irrigation purposes.

The quantity of biogas produced is evaluated at an average of 1.5 Million m³/year, including a biogas production potential of 37.56 Million m³ until 2040. This huge amount of biogas needs to be treated and valued by the cogeneration technique into thermal and electrical energy.

Key words : household waste, technical backfill, leachate, biogas, membranes bioreactor, reverse osmosis, Hamici landfill center.