



*République Algérienne Démocratique Et Populaire
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche
scientifique*



*Université Abbès Laghrou- Khenchela
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie
Département d'Ecologie et Environnement*

MEMOIRE DE FIN D'ETUDE

En vue de l'obtention du diplôme de Master Académique

Filière : Ecologie et Environnement

Spécialité : Protection des Ecosystèmes

Présenté par :


M^{elle} Bourmada Ahlem & M^{elle} Saci Rabab

*Caractérisation des lixiviats d'ordures ménagères
du centre d'enfouissement technique de Baghaï -
Khenchela*


Jury de soutenance :

Président : Mme Ouanes Miyada	M.C.B. Université Abbès Laghrou. Khenchela
Promotrice : Mme Bensouici Karima	M.A.A Université Abbès Laghrou. Khenchela
Examinatrice : Mme Berkani Cherifa	M.C.B Université Abbès Laghrou. Khenchela

Année Universitaire 2020-2021



Remerciements



On remercie *Dieu* le tout puissant de nous avoir donné la santé et la volonté d'entamer
et de terminer ce mémoire.

Tout d'abord, ce travail ne serait pas aussi riche et n'aurait pas pu avoir le jour sans
l'aide et l'encadrement de Mme *Bensouici Karima*, on la remercie pour la qualité de
son encadrement exceptionnel, pour sa patience, sa rigueur et sa disponibilité durant
notre préparation de ce mémoire.

Nous tenons à remercier énormément Mme *Ouanes Miyada* pour avoir accepté de
présider ce jury

Un grand merci à Mme *Berkani Cherifa* pour avoir accepté de juger ce travail.

Nos remerciements s'adressent également à tous nos *Professeurs* pour leurs
générosités et la grande patience dont ils ont su faire preuve malgré leurs charges
académiques et professionnelles.

Nous remercions M^r *Hoggas Charef Eddine*, chef du bureau de gestion des mini-
CET, Khenchela, pour son aide précieuse en nous procurant toutes les informations
nécessaires pour notre étude. On remercie aussi tous les travailleurs de ce département,
Dekhiel Mayssoun, Boudjhine Zahra, Arrouf Salima.

Nous remercions également toute l'équipe de travail du centre d'enfouissement technique
de Baghai, *Hafienne Sabrina, Gessoum Fares, Jaref Khaled, Hasad Hanafi, Dhib
Saleh*, qui nous a aidé et facilité notre travail.

Ce mémoire n'aurait jamais pu voir le jour sans le soutien actif des membres de notre
famille, surtout nos parents qui nous ont toujours encouragé moralement et
matériellement et à qui on tient à remercier.

Enfin, nous tenons à exprimer notre profonde gratitude à toutes les personnes qui ont
directement ou indirectement contribué à la réalisation de ce mémoire, car un projet ne
peut être le fruit de deux personnes.



Dédicaces

A mon très cher père

*Tu as toujours été à mes côtés pour me soutenir et m'encourager.
Tu as été mon compagnon tout au long de mon stage et tu ne m'as
jamais quitté un instant.*

J'espère que ce travail reflète ma gratitude et mon affection.

A ma très chère mère

*Quoi que je fasse ou que je dise, je ne saurai point te remercier
Comme il se doit. Ton affection me couvre, ta bienveillance me
guide et ta présence à mes côtés a toujours été ma source de force
Pour affronter les différents obstacles.*

*A mes très chers frères Housseem et Nour El Isslam et mes
chères sœurs Ikram et Ibtissem*

*A ma grande famille, mes proches et à ceux qui me donnent de
l'amour et de la*

Vivacité

*A Tous mes amis qui m'ont toujours encouragé et spécialement
Mon amie Dekhil Manel, et à qui je souhaite plus de succès*

Puisse Dieu vous donne santé, bonheur, courage et surtout

Réussite

A tous ceux que j'aime

Ahlem

Dédicaces

Je remercie « ALLAH » mon dieu le tout grand et le tout puissant pour m'avoir donné la volonté, la patience, le bonheur de lever mes mains vers le ciel et de dire « Alhamdoulilleh » et le courage pour finir mon étude universitaire et réaliser ce Modeste travail, fruit de plusieurs années d'études.

Je dédie ce modeste travail.

A mes parents.

A tous mes proches et à toute ma famille.

A une personne qui vive dans ma mémoire et qui m'a été cher et qui n'a pas pu être présente avec moi aujourd'hui : " ma grande mère Messacouda " ALLAH yarhamha.

A mes professeurs.

A toute personne qui me connaisse et me considère comme une amie.

A tous ce qui m'ont aidée de près ou de loin dans la réalisation de ce travail.

Merci à tous.

Rabab

Liste des tableaux

Numéro	Titre	Page
01	Principales classes de CET selon le coefficient de perméabilité K	15
02	Principales caractéristiques des lixiviats des différents types de lixiviats (Baig <i>et al.</i>, 1999)	19
03	Analyses physicochimiques et microbiologiques des lixiviats	41
04	Relation entre minéralisation et conductivité selon la réglementation française.	43

Liste des figures

Numéro	Titre	Page
01	Différents modes de traitement des déchets ménagers et assimilés	11
02	Bassins de décantation de lixiviats	16
03	Situation géographique de la W. Khenchela	27
04	Surface par commune au 31/12/2017	28
05	Densité de population par commune au 31/12/2017	28
06	Moyennes mensuelles des températures, de l'évaporation et des précipitations pendant la période allant de l'année 2008 jusqu'à 2018 (ONM)	29
07	Situation géographique du CET Baghai (Hoggas, 2020)	31

08	Fiche technique des mini CET – Khenchela –	32
09	Bloc administratif du centre d'enfouissement technique de Baghai (EPWG)	33
10	Quantité de déchets Ménagers et assimilés réceptionnés par le CET et nombre de camions issus des communes durant l'année 2020	34
11	Quantités de déchets hospitaliers réceptionnés par le CET de Baghai et nombre de camions durant l'année 2020.	34
12	Quantité des déchets réceptionnés par le CET de Baghai et nombre de camions issus des citec universitaires durant l'année 2020	35
13	Image prise par satellite et sur plan CAD du casier d'enfouissement de Baghai (Hoggas, 2020)	36
14	Le poste de contrôle et le pont bascule. (EPWG)	36
15	Déversement et assemblage des déchets dans des alvéoles (CET Baghai)	37
16	Processus de l'exploitation du CET (Martin, 2006)	38
17	Drainage de lixiviat vers les bassins de décantation	38
18	Installation d'osmose inverse du CET Baghai	40
19	Station de traitement des déchets hospitaliers de Baghai (EPWG)	40
20	Echantillon de lixiviat	41

Liste des abréviations

AGV : Acides Gras Volatils

CET : Centre d'enfouissement technique

DASRI : Déchets d'Activités de Soins à Risque Infectieux

DBO₅ : Demande Biochimique en Oxygène pendant 5 jours

DCO : Demande Chimique en Oxygène

DIB : Déchets Industriels Banals

DIS : Déchets Industriels Spéciaux

DMA : Déchets Ménagers et Assimilés

DMS : Déchets Ménagers Spéciaux

EPWG : Etablissement Public de Wilaya de Gestion des Centres d'Enfouissement

FTAM : La flore totale aérobie mésophile

ICPE : Installations Classées pour la Protection de l'Environnement

ISO : Organisation internationale de normalisation

NTK : L'azote total Kjeldahl

OI : L'Osmose Inverse

ONM : Office Nationale de la Météorologie

PAM : phosphate d'ammonium magnésien

PCI : pouvoir calorifique inférieur

PED : Pays en voie de Développement

pH : potentiel hydrique

PNUD : Programme des Nations Unies pour le développement

SHF : Substances humiques et fulviques et substances de haut poids moléculaire

STEP : Station d'Épuration des eaux usées

UFC : Unité Formant Colonie

Table des matières

Remerciements

Dédicaces

Liste des tableaux

Liste des figures

Liste des abréviations

Résumés

Introduction1

Partie I : Synthèse bibliographique

Chapitre I : Généralités sur les déchets ménagers solides

1	Définition et notions de déchet.....	3
1.1	Aspect économique	3
1.2	Aspect juridique.....	3
2	Classification des déchets ménagers.....	4
2.1	Classification selon l'origine du déchet	4
2.1.1	Les déchets ménagers et assimilés ou municipaux	4
2.1.2	Les déchets industriels	4
2.1.3	Les déchets agricoles	5
2.1.4	Les déchets de station d'épuration des eaux usées	5
2.1.5	Les déchets hospitaliers	5
2.2	Classification des déchets selon leur danger	6
2.2.1	Les déchets dangereux	6
2.2.2	Les déchets banals	6
2.2.3	Les déchets inertes.....	6
2.2.4	Les déchets ultimes.....	6
3	Caractéristiques des déchets	7
3.1	La densité.....	7
3.2	L'humidité.....	7
3.3	Le pouvoir calorifique	7
3.4	Rapport Carbone / Azote (C/N)	7

4	Impacts des déchets solides sur l'environnement	8
4.1	La pollution de l'air	8
4.2	La pollution des eaux.....	8
4.3	La pollution des sols	8
4.4	Effets sur la santé publique.....	9
4.5	Effets sur la faune et la flore.....	9
4.6	Impacts sur la chaine alimentaire	9
5	La gestion intégrée des déchets ménagers	10
5.1	La collecte.....	10
5.2	Le transfert.....	10
5.3	Hierarchie des modes de traitement	11
5.3.1	Prévention	11
5.3.2	Réduction	11
5.3.3	Valorisation.....	11
5.3.3.1	Valorisation matière	12
5.3.3.2	Valorisation organique.....	12
5.3.3.3	La valorisation énergétique	13
5.3.4	La mise en décharge.....	14
5.3.4.1	Décharge sauvage ou non contrôlée	14
5.3.4.2	Décharge contrôlée	14

Chapitre II : les lixiviats

1	Définition du lixiviat	16
2	Formation et genèse des lixiviats	16
2.1	Etape de l'hydrolyse (biodégradation aérobie).....	16
2.2	Étape d'acidogenèse	17
2.3	Étape d'acétogenèse.....	17
2.4	Étape de méthanogenèse	17
2.5	Etape de maturation.....	17
3	Composition des lixiviats	17
4	Types de lixiviats	18
4.1	Les lixiviats jeunes	18
4.2	Les lixiviats intermédiaires	18
4.3	Les lixiviats stabilisés.....	18
5	Quantification des lixiviats.....	19

6	Types des polluants présents dans les lixiviats	20
6.1	Les acides gras	20
6.2	Les composées ligno-cellulosiques	20
6.3	Les pesticides	20
6.4	Les phénols	21
6.5	Les métaux lourds.....	21
6.6	Les composés associés aux matières plastiques.....	21
6.7	Les microorganismes	21
7	Impact des lixiviats sur l'environnement.....	22
7.1	Pollution par la matière minérale et organique	22
7.2	Pollution par les métaux lourds.....	22
7.3	Pollution par les microorganismes	22
8	Méthodes de Traitement des lixiviats.....	22
8.1	Traitements physicochimiques	23
8.1.1	Coagulation-floculation	23
8.1.2	Flottation	23
8.1.3	Adsorption.....	23
8.1.4	Précipitation chimique.....	24
8.2	Traitements membranaires	24
8.2.1	L'osmose inverse	24
8.2.2	Nanofiltration	24
8.3	Traitements biologiques	25
8.3.1	Traitement aérobie	25
8.3.2	Traitement anaérobie.....	25
8.3.3	Traitement par phytoremédiation	26

Partie II : Matériel et méthodes

1	Description de la wilaya de Khenchela	27
1.1	Situation géographique	27
1.2	Conditions climatiques	29
1.2.1	Températures.....	29
1.2.2	Précipitations et évaporation.....	29
1.2.3	Indice d'aridité	30
2	Présentation et description du CET de Baghai	30
2.1	Origines et quantités de déchets réceptionnés par le CET	33

2.2	Etat des casiers du CET de Baghai	35
2.3	Processus d'exploitation du CET	36
2.3.1	Contrôle de la qualité et la quantité des déchets réceptionnés.....	36
2.3.2	Mise en place des déchets autorisés dans les casiers	37
2.3.3	Compactage des déchets	37
2.3.4	Mise en place des matériaux pour la couverture des déchets	37
2.3.5	Collecte des lixiviats	38
2.3.6	Le traitement des lixiviats.....	39
2.4	Station d'incinération des déchet à risque infectieux.....	40

Partie III : Résultats et Discussion

1	Echantillonnage.....	41
2	Paramètres physicochimiques et microbiologiques	41
2.1	Détermination du pH.....	42
2.2	Conductimétrie (CE)	42
2.3	Charge en matière organique (DBO5 et DCO).....	43
2.3.1	DBO (Demande Biochimique en Oxygène).....	43
2.3.2	DCO (Demande Chimique en Oxygène)	44
2.3.3	Détermination du rapport DBO5 / DCO.....	44
2.4	Dénombrement de la flore mésophile aérobie totale et des staphylocoques.....	45
	Conclusion.....	46
	Références bibliographiques.....	47

Caractérisation des lixiviats d'ordures ménagères du centre d'enfouissement technique de Baghai - Khenchela

Résumé

Ce travail vise à étudier quelques caractères physico-chimiques et microbiologiques des lixiviats du centre d'enfouissement technique classe 2 de Baghai à Khenchela. Les résultats de la caractérisation physico-chimique du percolât, ont montré une forte pollution organique. La concentration de la DCO est de 195 mg/l et de la DBO5 est de 790 mg/l. Le rapport DBO5/DCO est évalué à 0,24, ainsi que le pH légèrement acide et proche de la neutralité indiquent qu'il s'agit des lixiviats intermédiaires et que la décharge approche de la phase méthanogénèse. La conductivité électrique est de l'ordre de 39500 $\mu\text{s}/\text{cm}$. Elle montre la présence d'une matière minérale dissoute importante. Tous ces résultats montrent des concentrations largement supérieures aux normes nationales. Le dénombrement de la flore totale aérobie mésophile et des staphylocoques, indiquent une charge importante respectivement de 8.10^7 UFC/ml et de 2.10^4 UFC/ml. Cela montre un taux de pollution microbienne grave pouvant affecter les écosystèmes hydriques avoisinant la décharge. Ces lixiviats présentent un risque potentiel de dégradation de l'environnement et nécessite la mise en service urgente de l'installation de traitement par osmose inverse.

Mots clés : Lixiviat, Décharge, Pollution, Baghai, Physico-chimie, FTAM, Staphylocoque

خصائص عصارة النفايات المنزلية لمركز الردم التقني بغاي خنشلة

ملخص

يهدف هذا العمل الى دراسة بعض الخصائص الفيزيوكيميائية والميكرو بيولوجية لعصارة من مركز الردم التقني فئة 2 بغاي خنشلة. أظهرت نتائج الخاصية الفيزيوكيميائية للبروتوكول تلوثا عضويا قويا. تركيز DCO عند 195 مغ/ل وDBO5 بقيمة 790 مغ/ل وDBO5/DCO يشير الى 0.24، إضافة الى pH حمضي قليلا قريب من الحياد مما يدل على أن هذه الرواسب وسيطة وأن مكب النفايات يقترب من مرحلة تكوين الميثان. الوصلة الكهربائية في حدود 39500 $\mu\text{s}/\text{cm}$. يظهر وجود مادة معدنية ذائبة كبيرة. كل هذه النتائج تظهر تركيزات أعلى بكثير من المعايير الوطنية.

يشير تعداد النباتات الهوائية المتوسطة الكلية والمكورات على التوالي الى معدل تلوث $8*10^7$ UFC و $2*10^4$ UFC* وهذا يوضح مقدار تلوث جرثومي خطير يمكن أن يؤثر على النظم البيئية المائية المحيطة بمكب النفايات.

تمثل هذه العصارة خطرا محتملا لتدهور بيئي وتتطلب التكليف العاجل لمحطة معالجة بتقنية التناظف العكسي .

الكلمات المفتاحية: الراشح، المكب، التلوث، فيزيوكيميائية، FTAM، المكورات العنقودية .

Characterization of household waste leachate from the engineered landfill Baghai - Khenchela

Summary

This work aims to study some physicochemical and microbiological characteristics of leachate from the Baghai class 2 technical landfill in Khenchela. The results of the physico-chemical characterization of the percolate showed a strong organic pollution. The COD concentration is 195 mg / l and the BOD5 is 790 mg / l. The BOD5 / COD ratio is evaluated at 0.24, as well as the slightly acidic pH close to neutrality indicate that these are intermediate leachates and that the landfill is approaching the methanogenesis phase. The electrical conductivity is of the order of 39500 $\mu\text{s} / \text{cm}$. It shows the presence of a significant dissolved mineral matter. All these results show concentrations much higher than national standards. The enumeration of the total aerobic mesophilic flora and of the staphylococci indicates a significant load of 8.107 CFU / ml and 2.104 CFU / ml respectively. This shows a serious microbial pollution rate that can affect the water ecosystems surrounding the landfill. These leachates present a potential risk of environmental degradation and require the urgent commissioning of the reverse osmosis treatment plant.

Keywords: Leachate, Landfill, Pollution, Baghai, Physico-chemistry, FTAM, Staphylococcus

Introduction

Introduction

L'urbanisation, la modernisation et la croissance démographique sont principalement responsables de la forte augmentation du taux de déchets solides. En Algérie, la quantité de déchets ménagers et assimilés (DMA), estimée à 13 millions de tonnes en 2018, devra dépasser les 20 millions de tonnes en 2035, selon une étude récente réalisée par le ministère de l'environnement. Une mauvaise gestion de ces déchets peut entraîner de graves problèmes de santé et de sérieux problèmes environnementaux (**Nekkoub *et al.*, 2020**). La mise en décharge reste la méthode la plus utilisée pour l'élimination finale des déchets municipaux dans de nombreux pays en développement. Néanmoins, l'enfouissement de ces déchets provoque de nombreuses menaces environnementales, paysagères, sanitaires et hygiéniques (**Abdulrahman *et al.*, 2016**).

L'un des problèmes majeurs associés à cet enfouissement est la production d'effluents liquides riches en matières organiques et minérales appelés lixiviats ou communément "jus de décharge". Ils proviennent de la percolation des eaux de pluie à travers les dépôts ainsi que les eaux contenues dans les déchets et celles de leur dégradation (**Saadali *et al.*, 2019**). En effet, dès la phase de dépôts, les déchets sont soumis à des processus de dégradation liés à des réactions biologiques et physico-chimiques complexes. L'eau s'y infiltre et produit des lixiviats chargés de substances organiques ou minérales qui engendrent une pollution essentiellement de type organique et inorganique, en relation avec la biodégradation naturelle des déchets confinés. Ces lixiviats constituent donc une source de contamination des milieux environnants (**Hakkou, 2001**). La composition des lixiviats varie d'une décharge à une autre selon la nature et l'âge de la décharge, le type des déchets, la méthode d'enfouissement, les conditions climatiques et la topographie du site. De par leur composition variable dans le temps, ils doivent subir différents traitements d'épuration avant d'être rejetés dans le milieu récepteur (**Khatabi, 2002**).

Plusieurs études ont démontré la toxicité aiguë, la génotoxicité et la reprotoxicité du lixiviat. (**Takigami *et al.*, 2002 ; Koshy *et al.*, 2007 ; Senese *et al.*, 2010 ; Toufexi *et al.*, 2013**). Une autre étude a démontré également que le lixiviat déversé directement dans la nature, sans aucun processus de traitement adopté, présente un risque potentiel, en particulier pour les cours d'eau et pour le captage d'eau d'irrigation et d'alimentation du bétail (**Baali *et al.*, 2007, 2015 ; Besser *et al.*, 2018**).

Les travaux de **Mokhtaria et al. en 2007** sur la décharge de Tiaret en Algérie, ont montré que les lixiviats renferment de nombreux contaminants organiques et métalliques (Pb, Zn, Cd, Ni, Cr+6) supérieures aux normes admises. Ceux de **Bennama et al. en 2010** sur la décharge d'El Kerma ont montré des résultats similaires. Au Maroc, les études menées par **Saadi et al en 2013** sur les lixiviats du Centre d'Enfouissement Technique (CET) de la ville d'Oujda ont révélé de fortes teneurs en matières organiques biodégradables, en métaux lourds, en matières minérales et en suspension.

Opérationnelle depuis 2011, le centre d'enfouissement technique de la commune de Baghai, dans la wilaya de Khenchela, reçoit de grandes quantités de déchets urbains provenant de six communes. Ces déchets proviennent principalement des ménages, des centres hospitaliers et des cités universitaires. Ils sont tous sans un traitement préalable. Le CET de Baghai génère un lixiviat à forte charge polluante, drainé vers des bassins de décantation.

Le présent travail a pour objectif une caractérisation physicochimique et microbiologique des lixiviats générés par le CET de Baghai. Ce mémoire est composé de trois parties :

La première partie est une synthèse bibliographique qui se compose de deux chapitres : Le premier fait état de la problématique des déchets ménagers et assimilés ainsi que les différents modes de leur élimination en insistant plus particulièrement sur le thème de l'enfouissement. Le deuxième chapitre résume les différents types de lixiviats, leur impact sur l'environnement et les différents modes de leur traitement.

La seconde partie est une partie expérimentale qui décrit d'abord le centre d'enfouissement technique de Baghai, puis présente les différents paramètres physico-chimiques (température, pH, conductivité électrique, DBO₅, DCO) et microbiologiques (coliformes totaux et coliformes totaux) analysés, ainsi que leur protocole expérimental.

La troisième partie de ce mémoire est consacré aux résultats issus des analyses physico-chimiques et microbiologiques des paramètres analysés et à leur discussion.

Partie I
Synthèse
bibliographique

Chapitre I : Généralités sur les déchets ménagers solides

1 Définition et notions de déchet

Un déchet est un bien que son propriétaire destine à l'abandon. Étymologiquement, déchet vient de déchoir, du latin cadere (tomber). La racine « dis » traduit l'éloignement et la séparation ; c'est bien là l'esprit qui entoure tous les objets qui sont considérés comme des déchets. Dans le même champ lexical, nous retrouvons « détrit », « ordure », « résidu », termes également employés pour désigner ces objets ou restes que l'on ne veut plus (**Turlan, 2013**).

Selon le **PNUD (2009)** et l'article 3 de la Loi du 12 décembre 2001 relative à la gestion, au contrôle et à l'élimination des déchets, définit le déchet comme suit : « 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 »

Toutefois, le terme de déchet peut faire l'objet de nombreuses définitions, selon l'aspect considéré. Du point de vue juridique et économique, le terme « déchet » prend des significations différentes.

1.1 Aspect économique

Sur le plan économique, un déchet traduit la diminution de la valeur économique d'un bien, d'une matière ou d'un objet jusqu'au point où il devient inutilisable pour son propriétaire (la perte de compétence) en un lieu et en un moment donné, elle est relative dans l'espace, dans le temps et suivant les individus. Ce bien dont la valeur économique est nulle ou négative reste relative car les déchets des uns offre une matière première secondaire pour la fabrication d'autres produits pour les autres (le meilleur exemple sont les pays développés et les pays en développement ou les résidus des uns font le bonheur des autres (**Maystre, 1994**).

1.2 Aspect juridique

Du point de vue juridique, la définition du déchet permet de distinguer une conception subjective et une conception objective.

- Selon la conception subjective, un bien devient un déchet lorsque son détenteur a la volonté de s'en débarrasser, ce bien devient une propriété de la municipalité lorsqu'il est déposé sur la voie publique ou dans une poubelle.

- Selon la conception objective, un bien devient un déchet lorsqu'il n'est pas aucune possibilité de réutiliser ou de traiter, un déchet est un bien après un contrôle par la gestion des déchets pour

protéger la santé publique et l'environnement et ne dépend pas de la volonté du détenteur (Aloueimine, 2006).

2 Classification des déchets ménagers

Les déchets peuvent être classés de différentes manières selon les objectifs que l'on cherche et selon l'intérêt des informations qui peuvent en être tirées et sur tout pour une bonne gestion des déchets et pour optimiser le choix de mode de traitement. On peut classer les déchets selon leur origine ou selon la nature du danger

2.1 Classification selon l'origine du déchet

2.1.1 Les déchets ménagers et assimilés ou municipaux

D'après **Andrieu (2012)**, cette catégorie regroupe tous déchets issus des ménages (domestique) ainsi que les déchets similaires provenant des activités industrielles, commerciales, artisanales, d'un service de restauration, les déchets des marchés et d'abattoirs et autres qui, par leur nature, leur composition et leur volume, sont assimilables aux déchets ménagers. Les DMS se composent de :

- * Ordures ménagères collectées dans le cadre des tournées de ramassage organisées par les municipalités.
- * Déchets volumineux ou "encombrants" soit collectés en porte à porte, soit réceptionnés dans une installation mise à la disposition des ménages.
- * Déblais et gravats produits par les ménages réceptionnés dans des déchetteries ou des dépôts réservés aux seuls déchets inertes.
- * Déchets ménagers spéciaux (DMS), ne pouvant en raison de leur danger être éliminés sans risques avec les déchets ménagers. Ils sont réceptionnés dans des déchetteries équipées à cet effet.
- * Déchets de l'automobile (huiles, épaves, batteries, pneus, ...).
- * Déchets des espaces publics (rues, marchés, égouts, espaces verts) ou des établissements publics (administrations, écoles, hôpitaux, casernes)
- * Déchets artisanaux et commerciaux

2.1.2 Les déchets industriels

Les industries productrices de ce type des déchets sont classées par le secteur industriel comme suit : Industrie du ciment, industrie du verre, industrie de la céramique, industrie du

textile, sidérurgie, industrie agroalimentaire, extraction de produits de carrière, industrie chimique de base, industrie pharmaceutique et autres secteurs (**Balet, 2016**).

Selon Kirat (2015), les déchets industriels sont classés selon leur caractère polluant en trois grandes catégories :

* **Les déchets industriels spéciaux (D.I.S.)** contiennent des éléments polluants en concentration plus ou moins forte. Ils présentent certains risques pour la santé de l'homme et l'environnement. Cette particularité oblige leur collecte et stockage (choix des matériaux approprié) dans des endroits autres que ceux des déchets municipaux. Il s'agit notamment de déchets organiques (hydrocarbures, goudrons, solvants...), des déchets minéraux solides (sables de fonderie, sels de trempe cyanurés...)

* **Les déchets industriels banals (D.I.B.)** sont constitués de déchets non dangereux et non inertes. Ils contiennent effectivement les mêmes composants que les déchets ménagers mais en proportions différentes

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

2.1.3 Les déchets agricoles

Ce sont des déchets fermentescibles qui proviennent de l'agriculture, de la sylviculture, de l'élevage et de l'industrie agro-alimentaire, contenant des déchets organiques (gazon, épilures de fruits et légumes, déchets de viande, papiers et cartons, bois non traité et les textiles naturels), en plus de déchets plus dangereux comme les produits phytosanitaires, et les engrais (**Addou, 2009**).

2.1.4 Les déchets de station d'épuration des eaux usées

Ces déchets sont issus de résidus du traitement des effluents liquides par une STEP, constitués de matières organiques et minérales et caractérisés par un taux important de matière sèche, la qualité des déchets qui sortent dépend du type du procédé de traitement.

2.1.5 Les déchets hospitaliers

Les déchets hospitaliers sont ceux produits au niveau des unités et services de soins : les hôpitaux, mais aussi les cliniques, les cabinets médicaux et dentaires, les établissements pour handicapés et pour les personnes âgées, de services vétérinaires, etc. Ces déchets sont fortement infectieux et peuvent constituer une menace sérieuse pour la santé publique s'ils ne sont pas bien gérés. Il s'agit de matériaux jetables, de produits chimiques, d'objets tranchants,

de seringues jetables, de tiges, de bandages, d'excréta humains, d'éléments radioactifs, de petits membres amputés, et de petits déchets anatomiques (Kirat, 2015).

2.2 Classification des déchets selon leur danger

D'après Andrieu (2012), les déchets sont classés, selon les dangers qu'ils présentent, en 3 catégories :

2.2.1 Les déchets dangereux

Ils contiennent, en quantité variable, des éléments toxiques ou dangereux qui présentent des risques pour la santé humaine et l'environnement à travers leurs effets directs ou indirects à court, moyen ou long terme. C'est pourquoi ils sont soumis à une réglementation particulière pour leur gestion et leur valorisation. Ils sont définis comme suit : explosif, comburant, inflammable, irritant, nocif, toxique, cancérigène, corrosif, infectieux, mutagène et écotoxique.

2.2.2 Les déchets banals

Ces déchets ne présentent aucune des propriétés qui rendent un déchet dangereux. Ils sont donc considérés comme des déchets non dangereux pour notre l'environnement ou notre santé. Ils sont constitués de plastiques (d'emballages, de canalisations...), de bois (de palettes, de charpentes...), de plâtre (de faux plafonds, de cloisons...), de produits mélangés issus de chantiers de réhabilitation, de métaux ferreux et non ferreux (de réseaux électriques, d'équipements de chauffage...).

2.2.3 Les déchets inertes

Ce sont des déchets qui présentent un caractère polluant très faible et qui n'ont aucune possibilité d'évolution physique, chimique ou biologique, Ils ne brûlent pas, ne se décomposent pas, ne produisent aucune réaction et ne sont pas biodégradables. Il s'agit exclusivement des déchets minéraux issus de secteur des bâtiments et des travaux publics constitués de déblais et gravats, des restes de construction (béton, tuiles, briques...).

2.2.4 Les déchets ultimes

Un déchet ultime est un déchet qui n'est plus susceptible d'être réutilisé ou valorisé dans les conditions techniques et économiques du moment, notamment par extraction de la part valorisable ou par réduction de son caractère polluant ou dangereux.

3 Caractéristiques des déchets

Selon **Ngnikam et Tanawa (2006)**, les déchets sont caractérisés par quatre paramètres essentiels : la densité, le degré d'humidité, le pouvoir calorifique, le rapport des teneurs en carbone et azote (C/N).

3.1 La densité

La densité ou la masse volumique est un paramètre qui fixe la relation entre le poids et le volume de déchets. Cette caractéristique est d'une grande influence sur les capacités des moyens de collecte et de mise en décharge des ordures. Comme les déchets sont compressibles, la densité n'a un sens que si on définit les conditions dans lesquelles on la détermine. C'est pourquoi on peut avoir une densité en poubelle, une densité en benne, une densité en décharge, une densité en fosse, etc. La densité en poubelle est mesurée en remplissant les ordures fraîches dans un récipient de capacité connue sans tassement.

3.2 L'humidité

L'humidité donne la valeur de l'eau présente dans la matière. La quantité d'eau varie suivant les saisons, la température et les conditions sociales et économiques. Plus la valeur d'eau présente dans les déchets est importante, plus elle est riche en produit organique et son humidité atteint 80%. Le taux d'humidité a une influence majeure sur le pouvoir calorifique des déchets. Ainsi il permet d'apprécier l'aptitude des déchets au compostage quand leur taux d'humidité varie de 50% à 70%.

3.3 Le pouvoir calorifique

Le pouvoir calorifique est défini comme la quantité de chaleur dégagée par la combustion de l'unité de poids en ordures brutes. Il s'exprime en millithermie par kilogramme d'ordures (mth/Kg). On utilise généralement le pouvoir calorifique inférieur (PCI) qui se définit en supposant que toute l'eau du combustible de combustion est sous forme de vapeur au stade final. Plus la valeur de l'eau présente dans les déchets est élevée, plus le PCI est faible, et à contrario, ce dernier augmente quand les déchets contiennent de grandes quantités de cellulose et de matières plastiques. Lorsque les ordures ménagères contiennent plus de 50% d'humidité, elles sont impropres à l'incinération et le compostage est plus approprié.

3.4 Rapport Carbone / Azote (C/N)

Il permet d'apprécier l'aptitude des déchets solides à la biodégradation. En effet, les matières organiques présentes dans les déchets se décomposent en plein air, sous l'effet de millions de micro-organismes, et donnent un compost riche en azote et pauvre en carbone. Ce

rapport permet d'ailleurs de déterminer la qualité du compost. On peut dire d'un compost qu'il est de bonne qualité quand les déchets de départ ont un rapport C/N qui varie de « 20 – 35% », ce qui donne un compost avec un rapport C/N de « 15 – 18% ».

4 Impacts des déchets solides sur l'environnement

Les déchets peuvent engendrer l'émission de certains polluants dans le milieu naturel (air, eau, sol) et de ce fait, créer un impact sur la santé humaine, sur la faune et la flore et sur la chaîne alimentaire (**Desachy, 2001**).

4.1 La pollution de l'air

Une des causes principales de la pollution de l'air est causée par l'existence de décharges non contrôlées, qui sont responsables d'émissions gazeuses toxiques. Il s'agit d'un gaz composé de biogaz, et de composés volatiles qui résultent de la décomposition des déchets organiques par les micro-organismes. Le biogaz est composé principalement de méthane et de gaz carbonique, considérés comme gaz à effet de serre. Les ordures ménagères peuvent aussi participer indirectement à la pollution atmosphérique lorsque leur traitement par incinération est réalisé dans de mauvaises conditions. La combustion incontrôlée et incomplète de déchets solides peut provoquer le dégagement dans l'atmosphère de polluants indésirables comme les métaux lourds qui ont de graves conséquences sur l'environnement (**Ngô et Regent, 2012**).

4.2 La pollution des eaux

La percolation des lixiviats constitue la première source de pollution des eaux. En effet, suite aux pluies, l'eau passe à travers les déchets des décharges et descend dans le sol jusqu'à ce qu'elle atteigne les nappes phréatiques. Ainsi, les eaux souterraines qui contribuent à l'alimentation en eau destinée à la boisson, sont contaminées avec différentes polluants à la fois organiques et inorganiques auxquels s'ajoutent des métaux lourds (**Ouali Alami et al., 2013**). Les déchets industriels constituent la deuxième source de contamination des écosystèmes hydriques. Ces déchets toxiques sont rejetés dans les lacs, les rivières et les mers, par différentes industries comme les industries pétrolières ou métallurgiques. Les substances polluantes peuvent affecter la faune et la flore aquatique et causer de nombreux problèmes environnementaux (**Mokhtaria et al., 2007**).

4.3 La pollution des sols

La mise en décharge sauvage des déchets peut être une source importante de pollution des sols. En fait ces déchets riches en matière organique contiennent des éléments indésirables

tels que les déchets dangereux et les déchets d'équipements électriques et électroniques qui peuvent contenir des éléments traces métalliques (Gbèdo, 2010). Ces éléments traces métalliques ou métaux lourds peuvent s'incorporer dans la chaîne alimentaire. Parmi ces métaux, certains comme le Manganèse (Mn), le zinc (Zn), le bore (Br.) et le cuivre (Cu) constituent des oligo-éléments bénéfiques aux êtres vivants. Mais ils deviennent toxiques à des concentrations très élevées. D'autres par contre comme le Cadmium (Cd), le Mercure (Hg) et le Plomb (Pb) sont toxiques à faibles doses pour de nombreuses espèces animales et végétales, aquatiques et terrestres (Matech *et al.*, 2014)

4.4 Effets sur la santé publique

L'accumulation de déchets urbains ainsi que l'absence de gestion peut engendrer des atteintes à la santé humaine d'une manière directe ou indirecte. En effet, les ordures ménagères attirent plusieurs animaux tels que les chiens errants, les chats, les rats, les souris etc., les insectes nuisibles comme les moustiques, les mouches et les cafards qui sont responsables de nombreuses maladies comme le paludisme, l'hépatite, la fièvre jaune, la fièvre typhoïde, la diarrhée, le choléra » (Tahraoui, 2006).

4.5 Effets sur la faune et la flore

Les déchets urbains jetés dans les espaces naturels causent de véritables dangers pour la faune et la flore. Par exemple, les bouteilles se transforment en redoutables pièges pour les petits mammifères qui pénètrent à l'intérieur et se retrouvent prisonniers, les morceaux de verre brisés peuvent créer un effet loupe et provoquer un incendie, même les chewing-gums sont nocifs, car les animaux les avalent. Concernant les écosystèmes marins, la communauté mondiale considère la pollution marine provoquée par les plastiques et les microplastiques comme une préoccupation prioritaire, qui nécessite davantage d'efforts pour diminuer la quantité et les sources de pollution et en atténuer les conséquences négatives. Les problèmes les plus largement reconnus sont généralement associés à l'enchevêtrement, l'ingestion, la suffocation et l'affaiblissement général, et sont souvent liés à des événements d'échouage et à la perception du public (Gregory, 2009).

4.6 Impacts sur la chaîne alimentaire

La chaîne alimentaire joue un rôle important dans le transfert des substances polluantes qui se trouvent dans les déchets grâce au phénomène de bioamplification. En effet, lorsque les déchets sont déposés sur le sol, les polluants toxiques qu'ils contiennent sont absorbés par les végétaux et augmentent d'un niveau trophique à une autre. Les métaux lourds s'accumulent au

niveau des cellules hépatiques, les molécules liposolubles s'accumulent dans les graisses... L'homme qui se trouve au sommet de la chaîne alimentaire accumule dans son organisme ses substances polluantes en quantités. La bioaccumulation est responsable de beaucoup de cancers. Ce risque de contamination tout au long de la chaîne alimentaire existe aussi pour les denrées animales issues de l'élevage et de la pêche (**Ngô et Regent, 2012**).

5 La gestion intégrée des déchets ménagers

La gestion des déchets se définit au sens de l'article 541-1-1 du Code de l'Environnement comme étant : « La collecte, le transport, la valorisation et, l'élimination des déchets et, plus largement, toute activité participant de l'organisation de la prise en charge des déchets depuis leur production jusqu'à leur traitement final » (**Hatik, 2015**).

5.1 La collecte

La collecte est toute action de ramassage des déchets par la commune, et toute opérations à les acheminer vers un lieu de transfert de tri de traitement de valorisation ou vers une décharge Les déchets ainsi triés, séparés sont récupérés par les services communaux selon deux modes de ramassages : Le ramassage par apport volontaire et le ramassage en porte à porte (**Teixeira et al., 2014**).

5.2 Le transfert

Les stations de transfert sont un élément important dans la gestion des déchets solides. L'emplacement des stations de transfert a traditionnellement été motivé par le désir de minimiser les coûts de transport. Les stations de transfert sont utilisées pour combiner de nombreuses petites charges de véhicules de collecte en quelques grandes charges dans des véhicules de transport. Les installations de récupération des matières sont un type particulier de station de transfert, utilisée pour traiter les matières recyclables ou compostables avant de les transférer vers des véhicules long-courriers (**Teixeira et al., 2014**)

5.3 Hiérarchie des modes de traitement

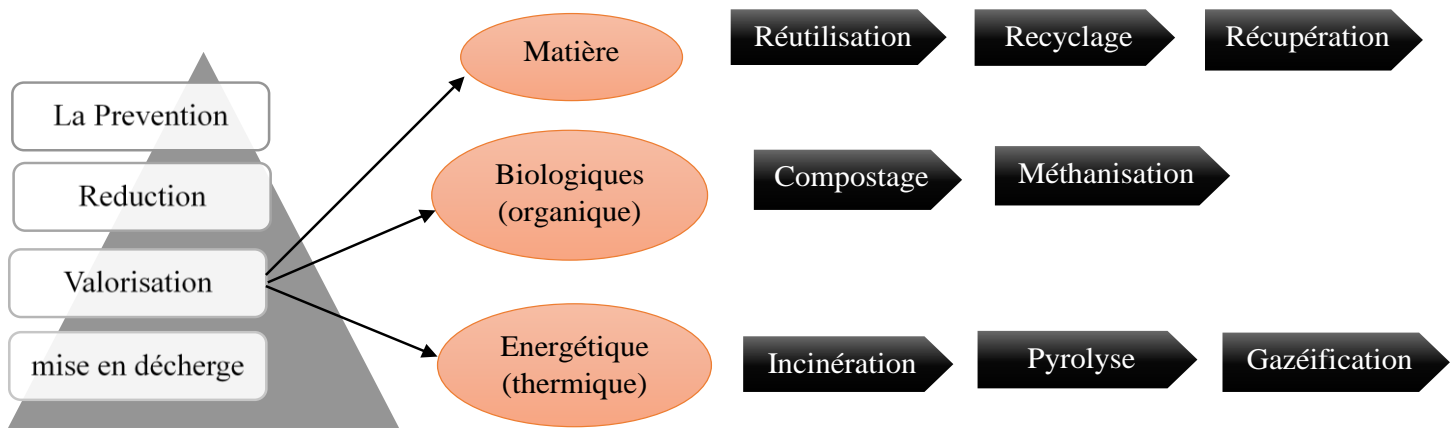


Figure 01 : Différents modes de traitement des déchets ménagers et assimilés

5.3.1 Prévention

La prévention est définie comme l'ensemble des mesures prises avant qu'une substance, un matériau ou un produit ne devienne un déchet. Elle consiste à réduire la quantité ou la nocivité des déchets produits, en intervenant à la fois sur leur mode de production et de consommation. Elle présente un fort enjeu en permettant de réduire les impacts environnementaux et les coûts associés à la gestion des déchets, mais également les impacts environnementaux dus à l'extraction des ressources naturelles, à la production des biens et services, à leur distribution et à leur utilisation (Nessi *et al.*, 2013)

5.3.2 Réduction

Cette étape consiste à réduire à la source la production des déchets, l'opération peut se faire par exemple en faisant le tri à la source, ou bien en limitant l'utilisation des produits d'emballage. La réduction vise à avoir une quantité de déchet minimum à éliminer (Kirat, 2015).

5.3.3 Valorisation

Selon Maystre (1994), valoriser un déchet recoupe toute action qui permet d'en tirer de l'énergie, de trouver un nouvel usage à la matière qui le compose, de tirer une matière première secondaire utile à la fabrication du même bien et de trouver un nouvel usage ou qui permet à

un déchet de redevenir utile pour d'autres. La valorisation se subdivise en : valorisation matière, valorisation organique et valorisation énergétique.

5.3.3.1 Valorisation matière

D'après **Hot (2010)**, la valorisation matière consiste à utiliser une partie ou la totalité de la matière du déchet dans un nouveau processus de production. Elle permet de faire des économies dans la production et l'achat de matières premières. La valorisation matière englobe : le réemploi, la réutilisation, le recyclage et la régénération.

- **Le réemploi**

Toute opération par laquelle des substances, matières ou produits qui ne sont pas des déchets sont utilisés de nouveau pour un usage identique à celui pour lequel ils avaient été conçus.

- **La réutilisation**

Toute opération par laquelle des substances, matières ou produits qui sont devenus des déchets sont utilisés de nouveau. Par exemple, utiliser des pneus de voiture pour protéger la coque des barques ou chalutiers.

- **Recyclage**

Tout processus par lequel les matériaux qui ont été éliminés par un utilisateur (entreprise ou consommateur domestique final) sont collectés et retraités ou réutilisés à d'autres fins productives, c'est-à-dire qu'une valeur supplémentaire est extraite des produits qui ont été éliminés (**Alex, 2014**).

- **La régénération**

Procédé, en général physique ou chimique, ayant pour but de redonner à un déchet les caractéristiques qui permettent de le réutiliser comme matière première. Exemples : filtration et traitement chimique des huiles de vidange (avec 3 litres d'huile usagée, on obtient 2 litres d'huile régénérée pouvant être réutilisée).

5.3.3.2 Valorisation organique

La valorisation organique ou biologique désigne l'ensemble des modes de gestion, et de valorisation des déchets biodégradables comme les déchets alimentaires, les déchets verts, les boues urbaines, les déchets agricoles, etc. Ces déchets peuvent être valorisés via deux grands modes de traitement différents : le compostage et la méthanisation.

- **Le compostage**

Dans le processus de compostage, les micro-organismes aérobies utilisent la matière organique comme substrat et la transforment en matière organique plus stable, qui ressemble chimiquement et biologiquement aux substances humiques appelée compost. Ce dernier est utilisé comme amendement biologique pour les sols (**Paré et al., 1999**).

- **La méthanisation**

La digestion anaérobie (ou méthanisation) peut être définie comme le processus naturel de dégradation de la matière organique par des microorganismes en l'absence d'oxygène. Ce phénomène se déroule selon plusieurs étapes biochimiques produisant un biogaz composé principalement de méthane (CH₄) et de dioxyde de carbone (CO₂) (**Ezziyani, 2020**).

5.3.3.3 La valorisation énergétique

Ce procédé permet la réduction du volume des déchets et donc des quantités à mettre en centre de stockage. La valorisation des déchets par processus thermique résulte de la récupération d'une partie de leur contenu énergétique. La pratique la plus courante consiste à utiliser la chaleur des gaz de combustion pour produire de la vapeur qui sera alors employée pour alimenter un réseau de chauffage ou un processus industriel (valorisation thermique) ou pour faire fonctionner un turboalternateur qui produira du courant électrique (valorisation électrique) (**ADEME, 2000**).

- **L'incinération**

L'incinération est un procédé thermique de traitement des déchets qui consiste à brûler les déchets hétérogènes dans des fours en fonction de leurs caractéristiques, par oxydation chimique à une température élevée en présence d'oxygène de l'air, avec production de chaleur qui est transformée en eau chaude alimentant le réseau de chauffage urbain ou en électricité, de gaz de combustion chauds (**Youcai, 2004**). L'incinération concerne les déchets ménagers et assimilés, les déchets d'activités commerciales ainsi que les déchets d'activités de soins à risque infectieux (DASRI) (**Kirat, 2015**).

- **La pyrolyse**

La pyrolyse est une décomposition endothermique du déchet en atmosphère réductrice (moins de 2% d'O₂) sous l'effet de la chaleur (à partir de 300°C à 850°C). Ce procédé permet la décomposition de la matière organique solide en trois phases : solide (coke de pyrolyse ou char), liquide (constituée de condensables lourds – huiles de pyrolyse ou goudrons – ou légers – H₂O -) et gazeuse (CO, H₂, CO₂, CH₄, C₂H₄, C₂H₆) (**kpls, 2015**).

- **La gazéification**

Le terme gazéification signifie la transformation des déchets solides en gaz, à haute température (800 - 900 °C), dans une atmosphère qui est en défaut d'air et enrichie en vapeur d'eau et dioxyde de carbone, Ce gaz est un gaz combustible dont les principaux constituants sont du monoxyde de carbone, du dihydrogène, du méthane, du dioxyde de carbone, de l'azote et de la vapeur d'eau. Il gaz sert à alimenter un moteur à gaz ou une turbine à gaz (**Antonini et Hazi, 2004**).

5.3.4 La mise en décharge

La mise en décharge constitue l'étape ultime dans la chaîne de traitement et de gestion intégrée des déchets, elle est choisie pour sa facilité et son faible coût. C'est une méthode non écologique car le déchet n'est ni réutilisé, ni valorisé. Les décharges contiennent des contaminants importants qui peuvent polluer les aquifères souterraines et les eaux de surface, de plus, ils abritent de grandes quantités de dioxyde de carbone, de méthane et d'autre gaz toxiques qui contribuent à l'effet de serre. On distingue deux grands types de décharge : les décharges sauvages et les décharges contrôlées (**Aina, 2006**).

5.3.4.1 Décharge sauvage ou non contrôlée

Ce type de décharge est le plus rencontrées dans les pays en développement. Les déchets ménagers sont déposés sans tri préalable et représentent des caractéristiques variables (**Aina, 2006**). Les décharges sauvages ont de forts impacts sur l'environnement, comme l'attraction des différents animaux porteurs de maladies (chiens et rats), la pollution des eaux des rivières et des nappes phréatiques (infiltration des lixiviats), mais surtout la production du biogaz (gaz composé de méthane et de dioxyde de carbone) lors de la fermentation (**Kirat, 2015**).

5.3.4.2 Décharge contrôlée

C'est une décharge conçue pour le stockage de déchets solides, de façon à ce qu'ils ne représentent pas de risque de pollution ou de contamination de l'environnement. La décharge contrôlée est également appelée centre d'enfouissement technique ou centre de stockage. Cette appellation de CET reflète mieux les hautes exigences techniques auxquelles sont actuellement soumis tant l'aménagement des sites que la gestion des déchets lors de l'élimination des déchets sur ou dans le sol (**Marcoen et al., 2000**).

Un CET est une installation classée qui réceptionne les déchets pour les enfouir dans des fosses appelées « casiers d'enfouissement ». Il permet de maîtriser les phénomènes de fermentation en contrôlant la nature et le flux de déchets enfouis et les flux liquides (lixiviats)

et gazeux (biogaz), grâce à la présence de couches d'argile ou des bâches plastiques, ainsi qu'un système d'extraction des gaz lors de la décomposition des déchets solides. Ces gaz appelés biogaz sont valorisés puisque leur combustion permet d'obtenir de l'électricité et du carburant (Kirat, 2015).

Les CET sont administrativement classées sur la base du coefficient de perméabilité K du substrat, on distingue 3 types de centres d'enfouissement technique (Directives Européennes 31/12/2001 N° 1999/31/CE) (**Tab. 01**) :

Tableau 01 : Principales classes de CET selon le coefficient de perméabilité K

Catégorie	Déchets admissibles	Perméabilité K	Caractérisation de site
Classe I	Déchets spéciaux	$K < 10^{-9}$ m/s Sur 5m Site imperméable	<ol style="list-style-type: none"> 1. Fond imperméable. 2. Conception de l'alvéole garantissant les écoulements vers un point bas. 3. Implantation d'un ouvrage, de contournement évitant l'entrée des eaux superficielles. 4. Couverture en pente, favorisant le ruissellement.
Classe II	Ordures ménagères et déchets assimilés	$10^{-9} < K < 10^{-6}$ m/s Sur 1 m Site semi imperméable	<ol style="list-style-type: none"> 1. Capacité du site à s'assurer une épuration des lixiviats. 2. Infiltrations modérées, écoulements vers un point bas. 3. Protection des eaux souterraines contre les risques de pollution.
Classe III	Déchets inertes	$K > 10^{-6}$ m/s Sur 1m Site perméable	Migration trop rapide des lixiviats constituant un risque élevé de la pollution des nappes phréatiques.

Chapitre II : les lixiviats

1 Définition du lixiviat

Le lixiviat est un liquide résiduel qui provient de la percolation de l'eau à travers un matériau, il désigne tous les jus issus de décharges sauvages ou contrôlées. Le lixiviat résulte de la percolation des eaux des précipitations à travers un massif de déchets, ou des eaux contenues dans les déchets eux même issus de leur biodégradation. Ces effluents complexes sont composés de variétés minérales et organiques dissoutes ou en suspension (**El Bada et al., 2010**). Ces lixiviats sont généralement récoltés dans des bassins de décantation (**fig. 02**).



Figure 02 : Bassins de décantation de lixiviats

2 Formation et genèse des lixiviats

Les lixiviats sont produits lorsque la teneur en humidité dépasse la valeur maximale de rétention, qui représente la valeur maximale de liquide que peut retenir un milieu poreux sans produire de percolât (**El Fadel et al., 2002**). D'après **Wagner et Vasel (1997)**, les lixiviats sont de nature différente selon l'âge de la décharge. Il existe cinq étapes caractéristiques de l'évolution d'une décharge :

2.1 Etape de l'hydrolyse (biodégradation aérobie)

C'est une étape de courte durée pendant laquelle les composés organiques complexes sont hydrolysés sous l'action d'enzymes extracellulaires produites par des microorganismes aérobies et aérobies facultatifs. Cette phase est caractérisée par une élévation de la température entre 50 et 70 °C. Elle dure de quelques jours à quelques semaines.

2.2 Étape d'acidogenèse

La décharge entre progressivement en dégradation anaérobie. Les produits solubilisés au cours de l'étape précédente (sucres, acides aminés...) sont dégradés en alcools et en acides gras volatils. Cette étape est caractérisée par la chute du pH des lixiviats, ce qui provoque une solubilisation accrue des minéraux contenus dans les déchets, et par une augmentation de la DCO (demande chimique en oxygène, proportionnelle à la concentration en matière organique).

2.3 Étape d'acétogenèse

Les acides gras volatils sont transformés sous l'action de microorganismes acétogènes en acétates, hydrogène et dioxyde de carbone. Les lixiviats produits durant cette période possèdent de fortes valeurs en DBO (demande biochimique en oxygène) et un pH acide. Ces propriétés agressives facilitent la dissolution d'autres composés tels que le fer, le manganèse, le zinc, le calcium et le magnésium.

2.4 Étape de méthanogenèse

Cette étape de biodégradation de la matière organique correspond à la production de méthane et de dioxyde de carbone par des bactéries méthanogènes. Pendant de cette étape, la concentration en acide acétique (substrat principal de la méthanogénese) diminue rapidement conduisant à une augmentation des valeurs de pH. Le lixiviat présente une faible DCO représentative d'une matière organique difficilement biodégradable

2.5 Étape de maturation

C'est la phase finale de maturation et de stabilisation de la matière organique, elle s'accompagne d'une chute de la production de gaz. Cette phase est marquée par une entrée progressive d'air au sein du milieu. Les produits moins dégradables peuvent être métabolisés très lentement avec la production possible de molécules de haut poids moléculaire, de type substances humiques et fulviques.

3 Composition des lixiviats

Selon **Ross (1990)** ; **El Fadel et Massoud (2000)**, les lixiviats présentent une composition chimique et biochimique très variable dans le temps et dans l'espace, cette variation dépend de plusieurs facteurs et paramètres :

- Les caractéristiques des déchets : nature et origine, composition, degré de compaction, taux d'humidité, ...
- Les variations climatiques saisonnières : précipitations, évaporation, température, ...

- Les particularités du centre de stockage : géométrie, gestion du site, âge, ...
- Les mécanismes intervenant dans le processus de dégradation des déchets.

D'après **Kjeldsen *et al.*, (2000)** ; **Foo et Hameed (2009)**, les lixiviats sont généralement composés de :

- Matières organiques dissoutes ou en suspension : Ce sont des éléments biodégradables (acides gras volatiles ...) issus de la biomasse (composés de type fulvique et humique...). Cette matière organique est issue de déchets ménagers et assimilés enfouis.
- Composés organiques anthropiques : Il s'agit d'hydrocarbures aromatiques, de phénols, d'hydrocarbures aliphatiques chlorés, de pesticides...
- Composés minéraux majeurs sous forme ionique : magnésium, sodium, potassium, ammonium, fer, calcium, manganèse, chlorure, sulfate, hydrogénocarbonate...
- Cations de métaux lourds à l'état de traces : cadmium, chrome, cuivre, plomb, nickel, zinc...

4 Types de lixiviats

Suivant le stade d'évolution biologique des déchets, trois types de lixiviats ont été distingués.

4.1 Les lixiviats jeunes

Les lixiviats dont l'âge est inférieur à 5 ans sont considérés comme des lixiviats jeunes. Ils se caractérisent par une charge organique élevée, sont relativement biodégradables ($DBO_5/DCO > 0,1$) et sont constitués principalement d'acides gras volatils. Ces lixiviats peuvent être chargés en métaux (jusqu'à 2g/l) du fait de leur pH relativement bas ($< 6,5$). Ils correspondent aux premières phases de l'évolution d'une décharge (**Kulikowska *et al.*, 2008**).

4.2 Les lixiviats intermédiaires

Au fur et à mesure que la décharge vieillit et que les déchets se stabilisent, la charge organique diminue et les acides gras volatils se raréfient (20 à 30% de la charge de lixiviats) au profit de composés de hauts poids moléculaires. L'apparition de ces composés tend à diminuer la biodégradabilité de lixiviats (seuil de biodégradabilité DBO_5/DCO compris entre 0,1 et 0,5) et à augmenter le pH qui s'approche généralement de la neutralité. Ces lixiviats d'un âge entre 5 et 10 ans correspondent globalement à la phase méthanogène stable (**Goplan, 2006**).

4.3 Les lixiviats stabilisés

Ces lixiviats d'un âge supérieur à 10 ans, sont qualifiés de lixiviats vieux, ils sont caractérisés par une faible charge organique, composée essentiellement de substances humiques

(acides fulviques et humiques) de hauts poids moléculaires qui sont réfractaires à la biodégradation ($DBO_5/DCO < 0,1$). Ces lixiviats stabilisés possèdent un pH légèrement basique, ils correspondent à la phase de maturation de la décharge (**Goplan, 2006**).

Tableau 02 : Principales caractéristiques des lixiviats des différents types de lixiviats (**Baig et al., 1999**)

Types de lixiviats	Lixiviats Jeunes	Lixiviats intermédiaires	Lixiviats Stabilisés
Caractéristiques			
Age de la décharge	< 5 ans	5 - 10 ans	> 10 ans
PH	< 6,5	6.5 à 7.5	> 7,5
DCO (g.L ⁻¹)	> 20	3 – 15	< 3
DBO ₅ /DCO (Biodégradabilité)	> 0,1 Bonne	0,1 - 0,5 Assez faible	< 0,1 Très faible
Matière organique	70 - 90 % AGV	20 - 30 % AGV	SHF
Azote NTK (la somme de l'azote ammoniacal et de l'azote organique)	100 - 2000 mg. L ⁻¹	-	-
Métaux (g.L ⁻¹)	2	< 2	< 2

5 Quantification des lixiviats

Les méthodes de calcul du volume des lixiviats s'articulent autour de deux démarches : la simulation en laboratoire sur des casiers ou lysimètres, ou la détermination du bilan hydrique du CET. Les études en lysimètres permettent d'une part de maîtriser les différents paramètres du bilan hydrique et d'autre part de déterminer l'influence du mode d'exploitation de la décharge (déchets en vrac, déchets compactés, déchets déchiquetés, recirculation du lixiviat, couverture.). **Ham et Bookter (1982)** a démontré que les déchets déchiquetés entraînent une diminution du volume des lixiviats au détriment d'une pollution concentrée. **Ehrig (1983)** a noté également que le degré de compactage et donc la densité des déchets limite l'infiltration des pluies réduisant ainsi de 50 % la quantité de lixiviats produits. La méthode du bilan hydrique représente une évaluation plus réaliste du volume des lixiviats. Elle constitue une "balance comptable" des entrées et sorties d'eau sur le site, pendant une durée déterminée. L'équation de base du bilan hydrique peut s'écrire : (**Mansouri, 2006**).

$$P + ED + R1 = I + E + E_{TR} + R2$$

Où :

P : volume des précipitations.

ED : volume d'eau apporté par les déchets.

R1 : volume d'eau apporté par ruissellement.

I : volume de lixiviats infiltrés dans le sous-sol à travers le fond de la décharge.

E : volume de lixiviats collectés.

E_{TR} : volume d'eau éliminé par évapotranspiration réelle.

R2 : volume d'eau exporté de la décharge par ruissellement.

6 Types des polluants présents dans les lixiviats

Les effluents de percolation de décharges sont chargés bactériologiquement et surtout chimiquement de substances minérales et organiques qui, au-delà des sols, risquent de contaminer les eaux de surfaces et les eaux souterraines.

6.1 Les acides gras

Les acides gras sont les principaux constituants du monde animal et végétal. Ils se répartissent en trois grands groupes selon le nombre de doubles liaisons éthyléniques : les acides gras saturés ramifiés ou non (aucune double liaison), les acides gras moins saturés (avec une seule double liaison) et les acides gras polyinsaturés (avec deux doubles liaisons ou plus (Trabelsi, 2012)). Les principaux acides gras sont : l'acide acétique ou Acétate, l'acide propionique ou Propionate et l'acide butyrique ou Butyrate, alors que les AGV mineurs sont composés d'acide isobutyrique ou Isobutyrate, d'acide valérique ou Valérate, d'acide isovalérique ou Isovalérate, de 2-méthyl butyrate, d'acide caproïque ou Caproate (Sakaki, 2014).

6.2 Les composés ligno-cellulosiques

Les composés ligno-cellulosiques constituées de cellulose, d'hémicellulose et de lignine sont retrouvés dans les décharges. Leur présence est principalement due aux 12% de déchets verts à raison d'environ 20 % (bois, herbe, feuilles) et aux 25% de papiers, cartons et journaux entreposés (ADEME, 2000).

6.3 Les pesticides

Les pesticides sont utilisés en quantité considérable depuis plus d'un demi-siècle par l'agriculture intensive. On retrouve des résidus de pesticides partout même dans les lixiviats.

Les pesticides les plus retrouvés dans ces eaux de percolation sont : le lindane, le bentazone, le 2,6- dichlorobenzamide, l'atrazine et bien d'autres (**Trabelsi, 2012**).

6.4 Les phénols

Les phénols ont été identifiés dans plusieurs lixiviats. Ils sont principalement utilisés dans l'industrie des matières plastiques (résines phénoliques, bisphénol A...), ou dans la fabrication de plastifiants, d'adhésifs, de durcisseurs, de dissolvants et d'isolants (**Trabelsi, 2012**).

6.5 Les métaux lourds

Plusieurs métaux lourds ont été identifiés dans les lixiviats à de faibles concentrations comme le Mg, Fe, As, Cd, Cr, Co, Cu, Pb, Ni et le Zn. Ces métaux présents dans les déchets, ont la capacité de migrer pendant plusieurs années dans les décharges (**Jensen et al., 1999**). Cette aptitude de migration peut être améliorée par la formation de complexes très stables avec la matière organique ainsi que la matière colloïdale existante dans les lixiviats (**Christensen et al., 1996**).

6.6 Les composés associés aux matières plastiques

Les ordures ménagères se composent d'environ 11% (poids humide) de matières plastiques particulièrement non biodégradables en décharge. Cependant, le lessivage permanent de ces déchets permet tout de même la libération de certains constituants de ces matières. Parmi ces dernières, on retrouve les plastifiants comme les phtalates et les stabilisants comme le bisphénol qui sont les principaux composés ajoutés aux résines pour leur conférer diverses propriétés chimiques, physiques et mécaniques du plastique. Les lixiviats de décharges peuvent capter ces composés en lessivant les déchets (**ADEME, 2000**).

6.7 Les microorganismes

Le CET est un milieu riche en microorganismes caractérisées par une variété en nombre et en espèces, mais seule une faible part est considérée comme pathogène pour l'homme (**Fedorak et Rogers, 1991**). Les lixiviats peuvent contenir certains microorganismes mésophiles pathogènes, en particulier *Clostridium perfringens*, *Pseudomonas aeruginosa* et *Staphylococcus aureus* (**Delolme et Jabob, 1998**).

7 Impact des lixiviats sur l'environnement

7.1 Pollution par la matière minérale et organique

La fraction minérale des lixiviats est essentiellement constituée de chlorures, sulfates, bicarbonates, potassium, sodium et ammonium. La partie organique est liée à l'âge des déchets et elle peut se retrouver dans les eaux de surface et souterraines quand les conditions minimales d'enfouissement de déchets ne sont pas respectées. La durée de vie de ces matériaux est mal connue vu qu'ils sont soumis à l'agressivité chimique des lixiviats. Une éventuelle fuite dans ces membranes peut occasionner la contamination de la nappe. (Trabelsi, 2012).

7.2 Pollution par les métaux lourds

A cause des eaux de percolation des décharges, les métaux lourds migrent dans les sols et s'infiltrent vers les eaux souterraines. Plusieurs phénomènes sont mis en jeu : solubilisation à pH acide, complexation par la matière organique de type humique, précipitation à pH basique, rétention des matières en suspension sur des particules de sol, adsorption des ions ou des molécules à la surface des grains de matrice poreuse, phénomène d'échange d'ions... (Lagier, 2000).

7.3 Pollution par les microorganismes

La consommation d'eau contaminée par les lixiviats qui contiennent des microorganismes pathogènes, est responsable de plusieurs maladies hydriques. Le nombre de bactéries trouvées dans le lixiviat brut oscille entre $0,04 \times 10^6$ et $0,34 \times 10^6$ bactéries mL⁻¹ et la biomasse bactérienne varie entre 8,78 et 77,51 $\mu\text{g C L}^{-1}$. Durant les dix dernières années, les problèmes relatifs aux eaux contaminées, sont devenus de plus en plus vastes, avec l'émergence de nouvelles maladies infectieuses et la réémergence d'autres qui sont déjà connues comme la salmonellose, le choléra et la shigellose (Kehila *et al.*, 2007).

8 Méthodes de Traitement des lixiviats

Les lixiviats de décharge ont un pouvoir très polluant et ils représentent des sources potentielles de contamination des eaux de surface et des eaux souterraines. Leur évacuation dans le milieu naturel sans traitement préalable peut engendrer des perturbations potentielles. Par conséquent plusieurs méthodes physico-chimiques et biologiques sont utilisées dans le traitement de ces eaux usées fortement polluées.

8.1 Traitements physicochimiques

8.1.1 Coagulation-floculation

La coagulation-floculation est un procédé à double action, elle est utilisée pour le traitement des vieux lixiviats (Silva *et al.*, 2004). Elle permet l'élimination des matières en suspension colloïdales et aussi une partie de la matière organique par adsorption sur le floc. Ce traitement se déroule en trois étapes successives :

- * La coagulation qui consiste à déstabiliser les particules par actions de réactifs chimiques (sulfate d'aluminium, sulfate ferreux, chlorure ferrique et chloro-sulfate ferrique) sous une agitation vive.
- * La floculation, sous agitation lente qui entraîne une agglomération des colloïdes « électriquement neutralisés » en flocons.
- * Une décantation afin de séparer les flocons et le surnageant clair.

L'efficacité de traitement dépend de la nature du lixiviat à traiter ; elle sera assez faible de l'ordre de 10 à 20 % sur des lixiviats « jeunes » fortement biodégradables et de l'ordre de 70 % sur des percolats stabilisés. La coagulation-floculation entraîne parallèlement une décoloration du lixiviat et aussi une production de boues (Zouboulis *et al.*, 2004).

8.1.2 Flottation

Elle est basée sur l'élimination des colloïdes, des ions, des macromolécules, des micro-organismes et des fibres. Des études ont opté pour l'utilisation d'une colonne de flottation comme une étape de post-traitement pour éliminer l'acide humique résiduel (composés non biodégradables) des lixiviats de décharges. Sous les conditions optimales, près de 60% d'acide humique a été éliminé (Zouboulis *et al.*, 2003).

8.1.3 Adsorption

L'adsorption est la méthode la plus appliquée pour le déplacement des composés organiques récalcitrants du lixiviat de décharge. Les substances polluantes sont transférées à partir de la phase liquide vers la surface d'un solide. L'adsorbant le plus utilisé est le charbon actif. Il possède des propriétés physiques inhérentes, une grande superficie, une structure microporeuse, une capacité élevée d'adsorption et une réactivité de surface. Le charbon actif se trouve sous forme granulaire ou en poudre. L'adsorption des polluants sur charbon actif sous forme de poudre donne un bon taux d'abattement de la DCO par rapport aux méthodes chimiques et ce, quelle que soit la concentration initiale de la solution en matière organique. Il

a également été prouvé que le charbon actif est l'adsorbant le plus efficace pour le déplacement des métaux lourds comme le Cd, le Cu, le Cr, le Mn, le Pb et le Zn (**Lim, 2009**).

8.1.4 Précipitation chimique

Cette méthode simple et peu coûteuse, est utilisée pour éliminer les métaux lourds, les Pendant cette opération, les ions dissous dans la solution se transforment en matière insoluble et les métaux se précipitent sous forme d'hydroxydes. Le phosphate d'ammonium magnésien (PAM) ou la chaux sont les précipitants les plus couramment utilisés. Mais cette technique présente plusieurs inconvénients comme la forte dose de précipitant, la sensibilité du processus au pH et la production de boue (**Kurniawan et al., 2006**).

8.2 Traitements membranaires

8.2.1 L'osmose inverse

L'Osmose Inverse (OI) est une méthode utilisée pour traiter le lixiviat stabilisé. Elle repose sur la purification des lixiviats par un système de filtration très fin qui utilise des membranes denses laissant passer le solvant (l'eau dans la majeure partie des cas) en arrêtant les sels ou les composés dissous dans ce dernier (**Ushikoshi et al., 2002**). L'osmose inverse utilise une membrane semi-perméable afin de séparer les solides dissous, la matière organique et inorganique de taille entre 0.01 et 1nm, les virus et bactéries de l'eau. Le procédé est dit "inverse" car il nécessite une pression suffisante (de l'ordre de 30 à 80 bars), selon la concentration en sels de l'effluent, pour forcer l'eau pure à passer à travers la membrane. Dans le traitement des lixiviats par IO, les taux d'abattement de la DCO et des métaux lourds sont respectivement supérieurs à 98 et 99%. En dépit de ses avantages, l'osmose inverse présente plusieurs inconvénients qui sont : la faible rétention des petites molécules qui passent à travers la membrane et la possibilité de dépôt de substances dissoutes ou en suspension à la surface externe de la membrane (**Choo et Lee, 1996**).

8.2.2 Nanofiltration

La nanofiltration a montré ses preuves dans l'élimination des composés organiques récalcitrants et des métaux lourds provenant des lixiviats (**Linde et Jönsson, 1995 ; Chaudhari et Murthy, 2010**). Ce traitement a la capacité d'éliminer les particules d'un poids moléculaire supérieur à 300 Da ainsi que les substances inorganiques par le biais des interactions électrostatiques entre les ions et les membranes. La nanofiltration utilise généralement des membranes en polymère moléculaire de coupure entre 200 et 2000 Da (**Pronost et Matejka, 2000**). Elle a été utilisée en combinaison avec des méthodes physiques et il s'est avéré que les

résultats obtenus sont satisfaisants. En effet, le taux d'abattement de la DCO obtenu est de l'ordre de 70-80% (**Trebouet et al., 2001**)

8.3 Traitements biologiques

Les méthodes biologiques sont très utilisées dans le traitement des lixiviats qui contiennent des concentrations élevées en DBO, grâce à leur fiabilité, leur simplicité et leur efficacité (**Kargi et Pamukoglu, 2003**). La biodégradation des composés organiques est effectuée par des micro-organismes qui peuvent donner différents produits selon les conditions de biodégradation : du dioxyde de carbone et boues dans des conditions aérobies, ou du biogaz (contient principalement du CO₂ et du CH₄) dans des conditions anaérobies. Ces processus biologiques ont prouvé leur efficacité dans l'élimination des matières organiques et azotées des jeunes lixiviats avec un rapport DBO / DCO élevé de l'ordre de > 0,5 (**Gálvez et al., 2009**).

8.3.1 Traitement aérobie

L'élimination des polluants organiques et de l'ammoniac présents dans les lixiviats, par des traitements aérobies, se sont révélés efficaces. Cette biodégradation aérobie est effectuée par des micro-organismes naturellement présents dans le milieu naturel. Elle est réalisée soit dans les petites installations de lagunage où l'apport d'oxygène peut être naturel (vent ou système de cascade ou artificiel (turbine ou diffusion de microbulles), soit dans les stations d'épuration de type "boues activées". Les bactéries peuvent être libres (boue activée, lagunage) ou fixées (lit bactérien, filtres plantés, filtres à sable, bio-filtre) ou même sous forme de biodisques (**Bae, 1999 ; Mehmood, 2009**). Malgré son efficacité, le traitement aérobie présente beaucoup d'inconvénients : Parmi ces inconvénients on cite :

- * La demande d'une grande période d'aération (**Loukidou et al., 2001**) ;
- * La haute demande énergétique et l'excès de la production de boues (**Hoilijoki et al., 2000**) ;
- * Une inhibition microbienne due à la haute teneur en azote ammoniacal (**Lema et al., 1988**).

8.3.2 Traitement anaérobie

La digestion anaérobie permet l'élimination des polluants qui se trouvent dans les lixiviats très jeunes (**Edeline, 1993**). En outre, la quantité de méthane formée est suffisante pour assurer une production énergétique satisfaisant les besoins de l'installation. Avec une température du digesteur maintenue à 37 °C, le rendement d'élimination de la DCO est compris entre 92,9 et 94,3 %. Il est également possible de coupler une digestion anaérobie suivie d'un traitement par biodisques en aérobose. **Borzacconi et al., (1999)** ont obtenu une efficacité de 80 % sur la DCO avec la première étape du traitement et de 94% sur l'ensemble de la filière sur

un lixiviat jeune ($DCO = 18500 \text{ mg O}_2\cdot\text{L}^{-1}$ et $DBO_5/DCO = 0,57$). L'avantage de cette combinaison est la diminution du volume de boues produites et la bonne décantabilité de la biomasse en fin de traitement. Selon **Welanden et Henrysson (1998)**, un traitement biologique ou la combinaison de traitement biologique aérobie et anaérobie ne suffit pas pour atteindre un niveau d'épuration satisfaisant pour le rejet au milieu naturel.

8.3.3 Traitement par phytoremédiation

La phytoremédiation ou phytoépuration est un procédé d'épuration écologique, propre et non polluant qui repose sur des écosystèmes dans lesquels les végétaux prennent une place importante (**Allouche, 2006**). C'est une option d'assainissement potentielle pour le lixiviat (**Haarstad et Maehlum, 1999**). La phytoremédiation est réalisée grâce à des bassins successifs, étanches, remplis de graviers et plantés de diverses espèces aquatiques, appelés macrophytes, (roseaux, joncs, iris, phragmites, massette, salicaire). Ces macrophytes ont un rôle de structuration et d'aération du massif, tout en servant de support aux bactéries qui font l'essentiel du travail. Les végétaux fixent les colonies de bactéries sur la base de leurs tiges et leurs rhizomes, ce qui améliore les performances des organismes épurateurs. Par ailleurs, ils absorbent par leurs racines une partie (10 % environ) des sels minéraux – nitrates et phosphates – issus de la décomposition de la matière organique présente dans les lixiviats. La plupart des macrophytes sont capables d'assimiler les métaux lourds, toujours présents dans ces eaux polluées et nocifs pour l'environnement (**Allouche, 2006**). L'application de la phytoremédiation aux décharges associées au traitement des lixiviats présente plusieurs avantages potentiels (**Nagendran et al., 2006**) :

- * fournir une source d'eau et de nutriments pour une meilleure performance des plantes ;
- * l'élimination des contaminants dans le lixiviat et donc l'amélioration de la qualité du lixiviat.

Partie II
Matériel
Et
Méthodes

1 Description de la wilaya de Khenchela

1.1 Situation géographique

La wilaya de Khenchela se situe dans les Aurès au Nord-est Algérien. Elle est entourée par les wilayas d'Oum el Bouaghi au Nord, Batna et Biskra à l'ouest, El Oued au Sud et Tébessa à l'Est. Elle s'étend sur une superficie de 9 811 km². Sa population est estimée à 469 510 habitants, avec une densité équivalente à 48,33 habitants par km². Selon l'annuaire des statistiques 2017 de la wilaya, elle est composée de 08 Daïras : Khenchela, Babar, Bouhmama, Cherchar, El Hamma, Kais, Ouled Rechache et AinTouila (**fig. 03**) et de 21 communes. Selon la (**fig. 04**), on constate que la commune de Babar représente la plus grande commune avec une superficie de 3935 km². Par ailleurs, c'est la commune de Khenchela qui compte le plus grand nombre d'habitants et la densité la plus importante (**fig. 05**).

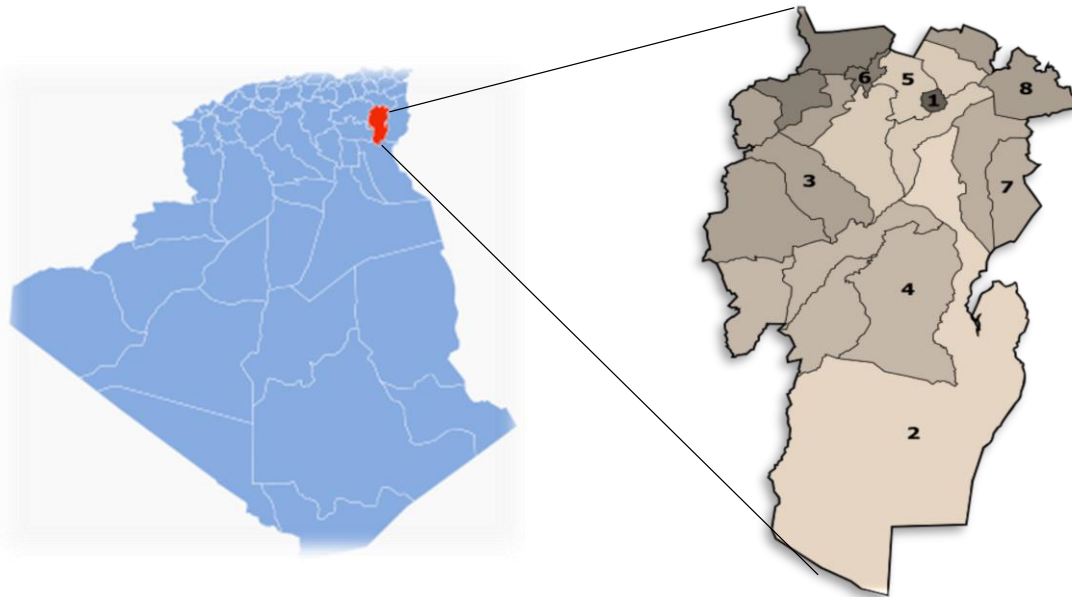


Figure 03 : Situation géographique de la wilaya de Khenchela

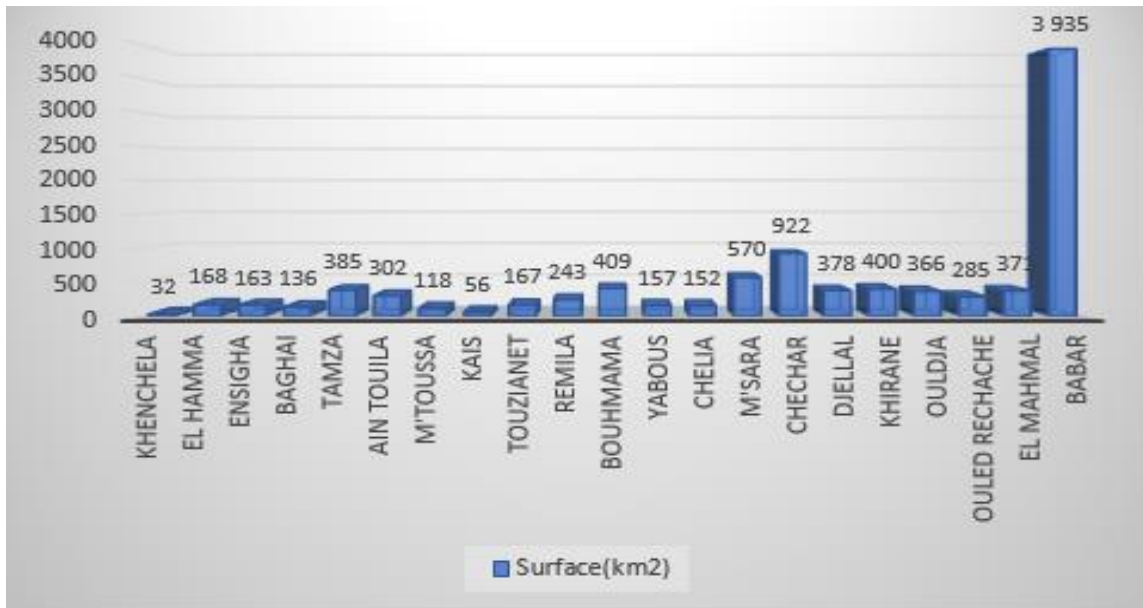


Figure 04 : Surface par commune au 31/12/2017

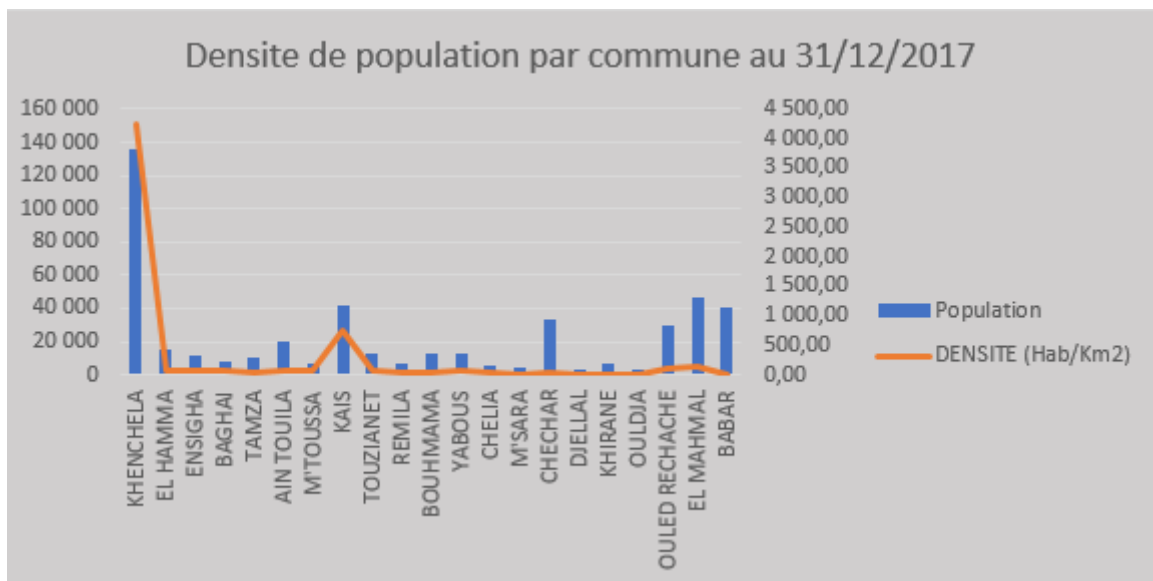


Figure 05 : Densité de population par commune au 31/12/2017

1.2 Conditions climatiques

La wilaya de Khenchela est caractérisée par un climat semi-aride sec et froid. Le diagramme ombrothermique ci-dessous représente les moyennes des températures, de l'évaporation et des précipitations mensuelles sur une période de dix ans (2008/2018).

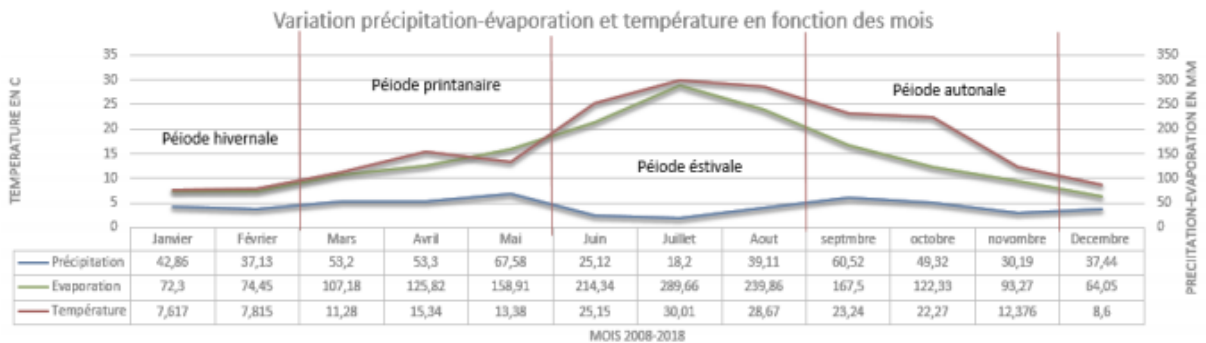


Figure 06 : Moyennes mensuelles des températures, de l'évaporation et des précipitations pendant la période allant de l'année 2008 jusqu'à 2018 (ONM)

1.2.1 Températures

D'après le diagramme ombrothermique, on observe que les moyennes mensuelles des températures varient entre 7,6 C° au mois de Janvier et de 30,01 C° au mois de Juillet. Selon la courbe des données relatives aux températures, le mois de Juillet est le mois le plus chaud avec un pic de 30,01C°. Le mois le plus froid est le mois de Janvier, il affiche la température moyenne la plus basse avec 7,6 C°.

1.2.2 Précipitations et évaporation

La figure ci-dessus montre que la région de Khenchela présente un bilan hydrique négatif à cause de la période sèche qui s'étale sur toute l'année. La période qui a connu un déficit important est remarquée pendant la période estivale à cause des températures élevées surtout pendant le mois de de juillet avec 30 C°. Il y a une forte corrélation entre l'évaporation /température et les précipitations. Lorsque la température augmente, la moyenne d'évaporation augmente et la valeur des précipitations diminue (période estivale), et lorsque la température diminue, la moyenne d'évaporation diminue et la valeur des précipitations augmente (période hivernale).

1.2.3 Indice d'aridité

L'indice d'aridité est une formule climatologique proposé par **Emmanuel De Martonne en 1926**. Cet indice est en fonction de la température et des précipitations, il permet de déterminer le type de climat qui caractérise la zone d'étude. Ce paramètre se calcule selon la formule suivante :

$$Ia = P / (T + 10)$$

Avec :

Ia : indice d'aridité

P : précipitations moyennes annuelles (mm).

T : températures moyennes annuelles (°C).

Les valeurs de l'indice permettent de déterminer le climat selon le classement suivant :

Quand :

- $Ia < 5$ le climat est hyperaride ;
- $5 < Ia < 7.5$ le climat est désertique ;
- $7.5 < Ia < 10$ le climat est steppique ;
- $10 < Ia < 20$ le climat est semi-aride ;
- $20 < Ia < 30$ le climat est tempéré ;
- $Ia > 30$ le climat est humide.

Pour la wilaya de Khenchela :

La moyenne des précipitations : $P = 42,830$ mm

La moyenne des températures : $T = 17,14$ °C

L'indice d'aridité $Ia = 42,830 / 17,14 + 10 = 12,49$

Selon l'indice d'aridité obtenu, le climat de la zone la wilaya de Khenchela est semi-aride avec un écoulement temporaire.

2 Présentation et description du CET de Baghai

Le centre d'enfouissement technique (CET) de la commune de Baghai (Khenchela) est le premier équipement du genre dans cette wilaya. Il est entré en service en décembre 2010 en même temps que la fermeture de cinq décharges sauvages à Baghaï, El-Hamma, N'sigha et El-Mehmel. Il est situé à 8 km du chef-lieu de wilaya (**fig. 07**). Ce CET classe II offre à ces clients

les six communes : Khenchela, El Hamma, Mahmel, Baghai, Mtoussa et N'sigha un service de traitement des déchets ménagers et assimilés, dans les normes environnementales et en plein respect avec la loi 01-19 du 12-12-2001 relative à la gestion au contrôle et à l'élimination des déchets. Cette décharge contrôlée est réglementée par le décret exécutif n°07-144 du 19 mai 2007 fixant la nomenclature des installations classées pour la protection de l'environnement, Elle est soumise à l'autorisation du wali sous la rubrique (ICPE : 2719-c) de la nomenclature. L'année 2015 est marquée par l'ouverture des mini CET : kais, Ain Touila, Ouled Rechache, Babar, Chechare, Tamza, Bouhmama, Yabous (**fig. 08**).

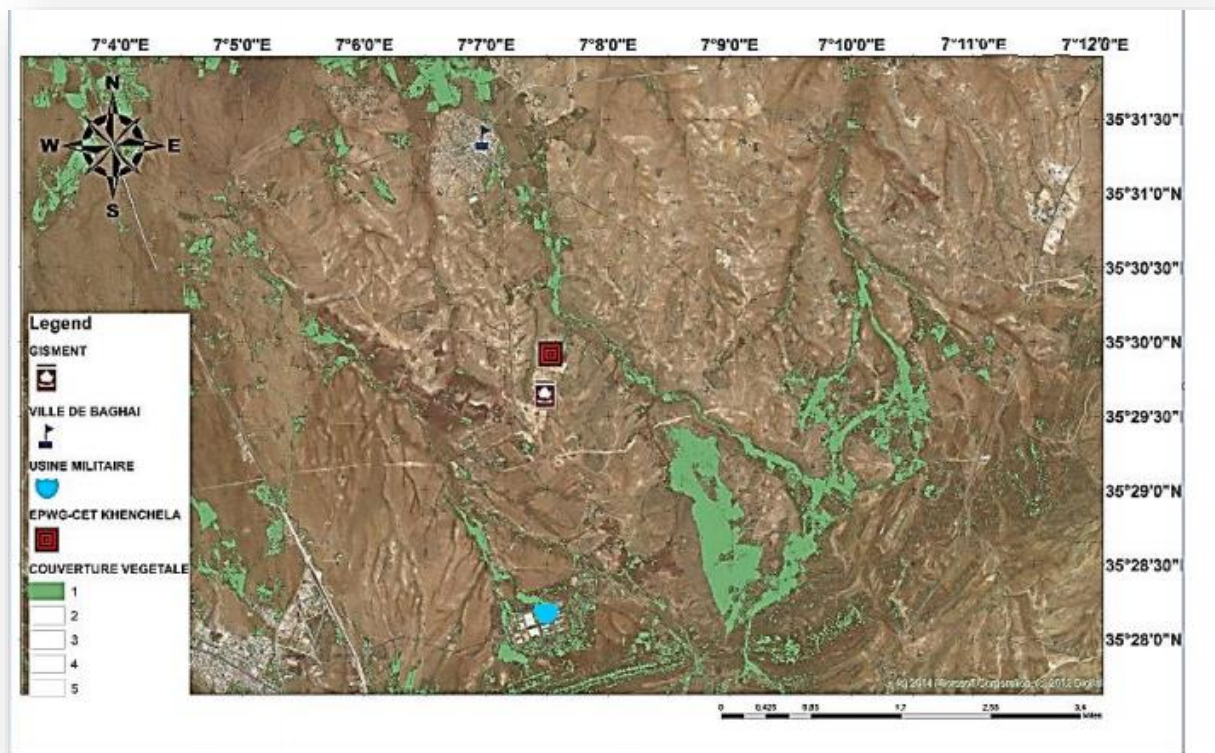


Figure 07 : Situation géographique du CET Baghai (**Hoggas, 2020**)

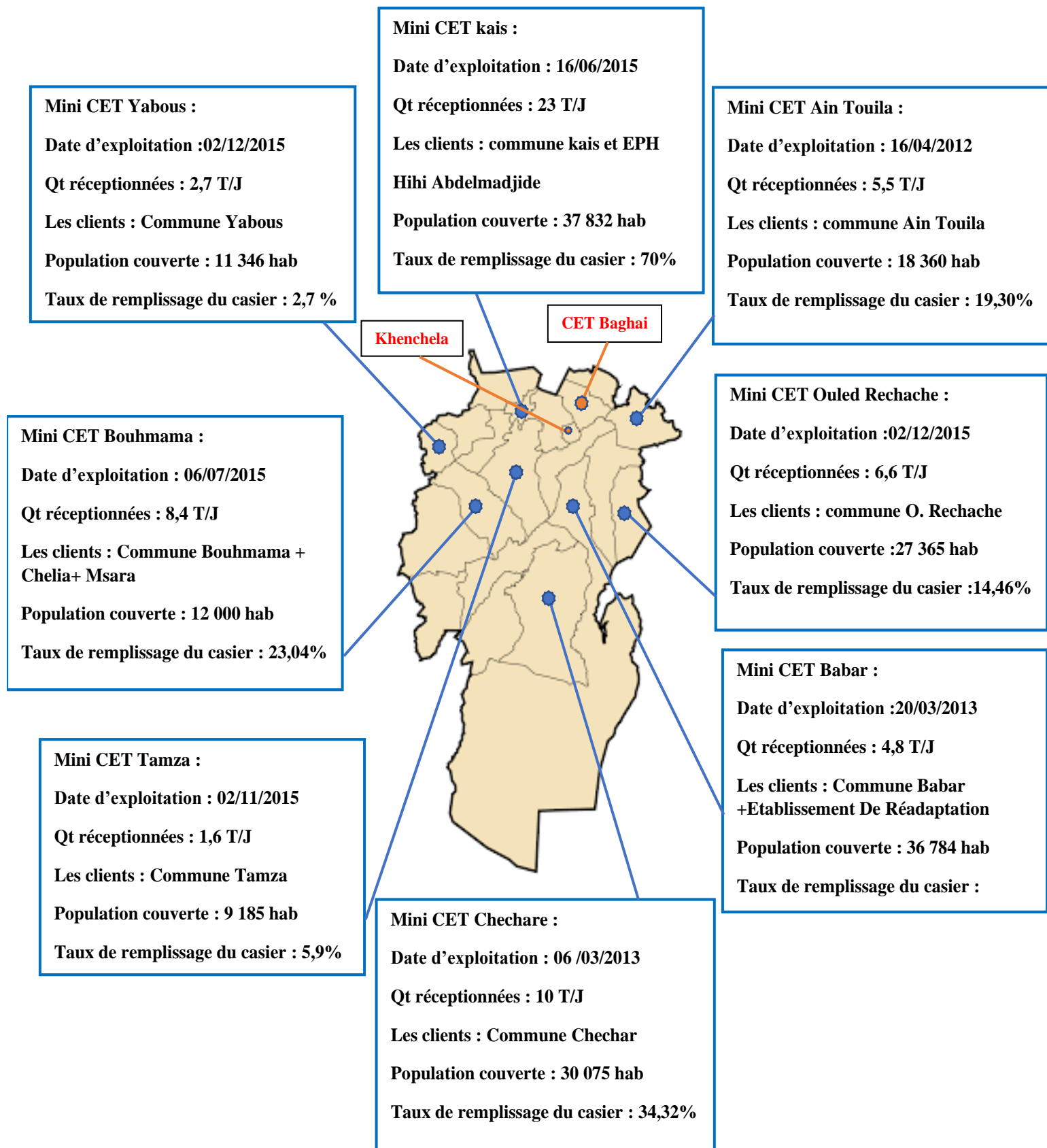


Figure 08 : Fiche technique des mini CET – Khenchela -

L'établissement est équipé d'un bloc administratif (**fig.9**), bâtiment d'accueil, parking, ateliers d'entretien, garage mécanique, pont bascule, hangar de tri, 02 casiers d'enfouissement, trois bassins de traitement des lixiviats, des équipements d'exploitation (engins) et une station d'incinération des DASRI. Cette installation utilise des équipements et des techniques modernes de traitement des déchets ménagers, à travers plusieurs étapes dont le pesage, le compactage et l'enfouissement.



Figure 09 : Bloc administratif du centre d'enfouissement technique de Baghai (EPWG)

2.1 Origines et quantités de déchets réceptionnés par le CET

Selon les données recueillies auprès de l'établissement Public de Wilaya de Gestion des Centres d'Enfouissement- Khenchela (EPWG CET) de Baghai, Appelé « NADHIF Khenchela » le CET de Baghai permet de traiter entre 120 et 140 tonnes d'ordures ménagères dont 40 tonnes provenant de la seule ville de Khenchela. Il réceptionne chaque jour plus de 60 tonnes des déchets ménagers et assimilés des six communes : Khenchela, El Hamma, Mahmel, Baghai, M'toussa et N'sigha, pour une population de 222870 habitants. Durant l'année 2020, c'est la commune de Khenchela qui a enregistré la plus grande quantité d'ordures par rapport aux autres communes avec 2295.10 tonnes et 704 camions (**fig. 10**). Ces déchets proviennent des ménages, des cités universitaires, des casernes, des usines et des établissements hospitaliers. Selon la **figure 11** et durant l'année 2020, l'hôpital Ahmed ben Bella est à l'origine de 13.75 tonnes de déchets hospitaliers transportés avec environ 9 camions. La figure 12 montre que la cité universitaire de Abbas Laghrour produit plus de déchets que les deux autres cités avec 2.60 tonnes et avec plus de trois camions.



Figure 10 : Quantité de déchets Ménagers et assimilés réceptionnés par le CET et nombre de camions issus des communes durant l'année 2020

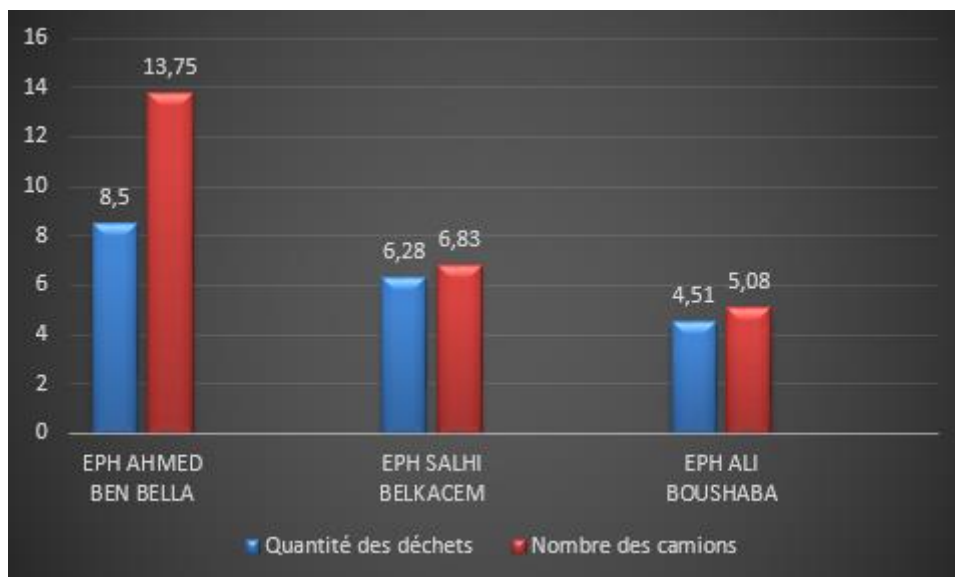


Figure 11 : Quantités de déchets hospitaliers réceptionnés par le CET de Baghai et nombre de camions durant l'année 2020.

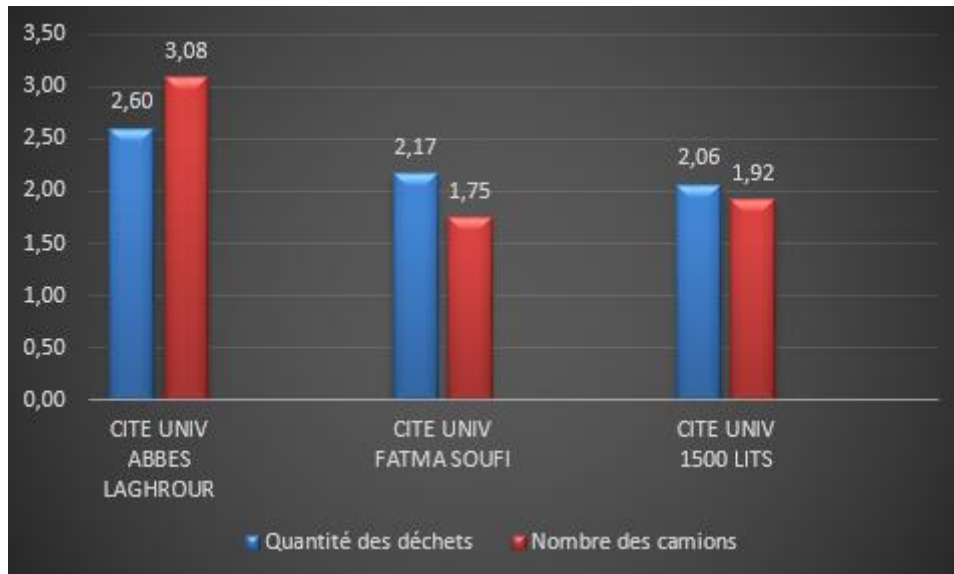


Figure 12 : Quantité des déchets réceptionnés par le CET de Baghai et nombre de camions issus des citec universitaires durant l'année 2020

2.2 Etat des casiers du CET de Baghai

Le casier d'enfouissement est une fosse étanche occupée par un système de drainage des lixiviats (**fig.13**). Le casier N° 1 dont volume est de 180 000 m³, est en cours d'exploitation. Le premier étage (5m d'hauteur) a été rempli en mois de juin 2011, ce premier étage occupe un volume de : 60000m³ ; avec une quantité de 10 000 tonnes des déchets, il est rempli et recouvert avec une couche de TUFF d'une épaisseur de 20 cm. A partir du mois de janvier 2012 jusqu'au mois de décembre 2012, la cinquième alvéole du deuxième étage a été exploitée avec une quantité des déchets de 31 991,17 tonnes.

En 2013 la 5^{ème} alvéole du premier casier a été remplie, suivie de l'exploitation en surface du casier avec 35 672.38 tonnes de déchets réceptionnés. La 6^{ème} alvéole du casier est n'a pas été exploité pendant la mauvaise saison, à cause des difficultés de passage des véhicules dans le casier.

En 2014, le remplissage de la 6^{ème} alvéole a été achevé pour continuer l'exploitation en surface avec 36 888.4 tonnes de déchets.

En 2015, l'exploitation en surface a été poursuivie avec une hauteur 2.5 mètres et avec une quantité de 40 449.16 tonnes d'ordures.

La quantité des déchets enfouis au niveau du casier à la fin de l'année 2016 a atteint 21850.20 tonnes avec un taux de remplissage 120 %.



Figure 13 : Image prise par satellite et sur plan CAD du casier d'enfouissement de Baghai (Hoggas, 2020)

2.3 Processus d'exploitation du CET

2.3.1 Contrôle de la qualité et la quantité des déchets réceptionnés

La quantité de déchets réceptionnée par le centre d'enfouissement est déterminée par l'agent qui travaille au niveau du poste de contrôle (**fig.14**). A l'aide d'un pont bascule, il détermine le des camions chargés d'ordures au niveau de l'entrée de la décharge, puis le poids des camions vides à la sortie pour obtenir le poids net des déchets reçus. La qualité des déchets est suivie par un agent au niveau du de casier d'enfouissement, à partir d'une liste qui détermine les déchets conventionnés ; le décret exécutif n°06-104 détermine les types des déchets et leur caractérisation.



Figure 14 : Le poste de contrôle et le pont bascule du CET (EPWG)

2.3.2 Mise en place des déchets autorisés dans les casiers

Une fois les déchets sont pesés, ils sont transportés par des camions vers des casiers, puis déversés sur une aire de tri compacté. Après un tri d'environ 10 minutes par les agents de tri, les déchets sont poussés à l'aide du chargeur sur chenille jusqu'au secteur de mise en place, étalés en couches fines et pré-compactés par plusieurs passages successifs du véhicule (**fig. 15**). A l'aide des bulldozers, les déchets déversés sont assemblés dans des alvéoles de 20x20 mètres. L'exploitation de casier s'effectue en deux phases selon six (6) alvéoles disposés en deux (2) étages.



Figure 15 : Déversement et assemblage des déchets dans des alvéoles (**EPWG**)

2.3.3 Compactage des déchets

Le compactage est une opération très importante dans l'exploitation, il fait partie du contrôle de la densité des déchets. Son but est d'économiser le volume des déchets stockés et de favoriser leur fermentation.

2.3.4 Mise en place des matériaux pour la couverture des déchets

Après l'opération du compactage, et à l'aide d'un chargeur pneumatique, la surface supérieure de l'alvéole est recouverte avec une couche de 20 cm de tuf. Ce matériau approprié et disponible permet d'éviter l'envol des déchets, la dispersion des poussières, les mauvaises odeurs et la prolifération des animaux errants.

Le processus d'exploitation du centre d'enfouissement technique de Baghai des déchets ménagers et assimilés est récapitulé dans la figure ci-dessous.

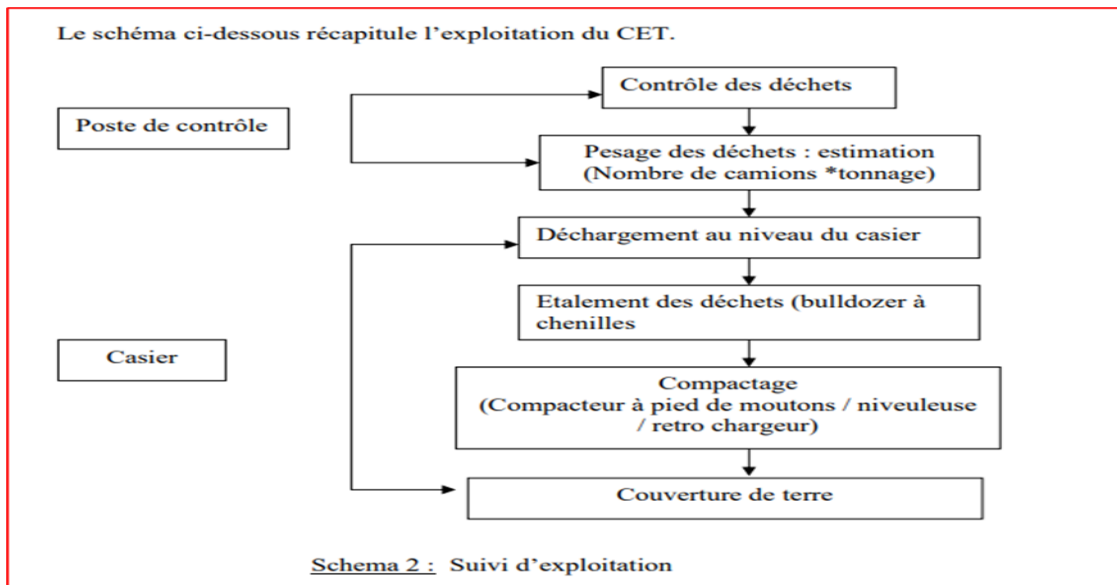


Figure 16 : Processus de l'exploitation du CET (Martin, 2006)

2.3.5 Collecte des lixiviats

Les lixiviats issus du casier en cours d'exploitation du centre d'enfouissement de Baghai, sont collectés par des drains puis dirigés et stockés dans des bassins de décantation. Ces bassins étanchés et constitués d'une géo-membrane résistent aux attaques des substances présentes dans les lixiviats (fig. 17).



Figure 17 : Drainage de lixiviat vers les bassins de décantation

En sachant que la quantité de déchets enfouis au niveau du casier est 21850,20 tonnes, le volume de lixiviat produit dans le bassin de décantation est calculé par l'agence nationale des déchets suivant la méthode suivante :

01 tonne de déchet \longrightarrow 300 L lixiviat

21850,20 tonnes \longrightarrow X

$$X = 300 \times 21850,20 = 6555,06 \text{ L} = \boxed{6555,06 \text{ m}^3}$$

2.3.6 Le traitement des lixiviats

Actuellement, les lixiviats du CET de Baghai ne subissent aucun traitement par les services concernés, leur volume diminue par évaporation naturelle. L'établissement est équipé par une station de traitement par osmose inverse qui n'est pas encore fonctionnelle (**fig.18**).

L'osmose inverse est une méthode de filtration tangentielle utilisant des membranes denses laissant passer le solvant (l'eau dans la majeure partie des cas) en arrêtant les sels ou les composés dissout dans ce dernier. Cette technique présente un seuil de coupure en poids moléculaire très bas. Elle retient tous les sels dissous, les molécules inorganiques et les molécules organiques dont la taille est comprise entre 0,01 et 1 nm. La technique consiste à filtrer l'eau par son passage à travers une membrane semi perméable, d'un milieu concentré vers un milieu dilué par l'action d'une pression (exercée côté solution concentrée) supérieure à la pression osmotique du système. Les pressions appliquées sont élevées (de 10 à 80 bars selon les applications) (**Choo et Lee, 1996**).



Figure 18 : Installation d'osmose inverse du CET Baghai

2.4 Station d'incinération des déchets à risque infectieux

Le CET de Baghai comporte une station d'incinération des déchets à risque infectieux (sans récupération d'énergie) équipé de deux incinérateurs de 900°C et 1200°C (**fig. 19**). Cette station n'est pas dotée de filtre de purification des gaz libérés de l'incinération. Les déchets reçus sont préalablement séparés et stockés dans des récipients de couleurs différentes, leur stockage ne dépasse pas 48h.



Figure 19 : Station de traitement des déchets hospitaliers de Baghai (EPWG)

Partie III
Résultats
Et
Discussion

1 Echantillonnage

La couleur et l'odeur des échantillons de lixiviats prélevés à partir du CET de Baghai constituent le premier indicateur de pollution. Ce percolât présente un couleur brunâtre (**fig. 20**) et une odeur fétide indiquant l'influence des déchets sur la qualité des eaux.



Figure 20 : Echantillon de lixiviat

2 Paramètres physicochimiques et microbiologiques

Le tableau ci-dessus donne les valeurs des paramètres physicochimiques et microbiologiques analysés des lixiviats du CET de Baghai de Khenchela.

Tableau 03 : Analyses physicochimiques et microbiologiques des lixiviats

Analyses physico-chimiques				
Eléments analysés	Unités	Résultats	Valeurs légales algérienne	Normes
pH		6,81	6,5 - 8,5	Multi paramètre
Conductivité électrique	µs/cm	39500	2800	Multi paramètre
DBO ₅	Mg/l	195	35	ISO 6060 :1989
DCO	Mg/l	790	120	ISO 5815-1 :2003
Analyses microbiologiques				
Eléments analysés	Unités	Résultats	Valeurs légales algérienne	
Germes aérobies totaux à 37°C	UFC/ml	8*10 ⁷	Absence	ISO 6222 : 1998
Staphylocoques	UFC/ml	2*10 ⁴	Absence	ISO 7218

2.1 Détermination du pH

Le potentiel d'hydrogène (pH) mesure la concentration en ions H^+ de l'eau et traduit ainsi la balance entre acides et bases sur une échelle logarithmique de 0 (très acide) à 14 (très alcalin), la valeur médiane 7 correspond à une solution neutre à 25°C (**Abboudi et al., 2014**). Il nous donne une indication sur le niveau de pollution de l'eau. La variation du pH dépend de plusieurs facteurs tels que le mode d'exploitation de la décharge, les conditions climatiques et essentiellement la nature des déchets et l'âge de la décharge. Ainsi, des pH faibles augmentent notamment le risque de présence de métaux sous une forme ionique plus toxique. Des pH élevés augmentent les concentrations d'ammoniac (**Dessachy, 1994**).

Les données relatives au pH montrent que le lixiviat produit par le centre d'enfouissement de Baghai présente un caractère neutre dirigé vers l'acidité avec une valeur égale à 6.81. Les valeurs du pH obtenues dans les lixiviats pourraient être liées à la faible concentration de composés organiques volatiles. En effet, lors de la fermentation acide, première phase de la décomposition anaérobie des déchets, les percolâtes jeunes sont riches en composés organiques volatiles. Au cours de cette phase, les valeurs de pH enregistrées sont généralement inférieures à 4 (**Tchobanoglous et al., 1993**). Au fur et à mesure du vieillissement de la décharge, le lixiviat s'appauvrit en composés organiques volatiles. Ceci va alors entraîner une montée du pH à 7 ou plus (**Kjeldsen et al., 2002**). Le résultat obtenu du pH reste dans les normes Algériennes qui recommandent un potentiel d'hydrogène compris entre 6,5 et 8,5.

2.2 Conductimétrie (CE)

La conductivité électrique est une expression numérique de la capacité d'une solution à conduire le courant électrique. La conductivité électrique standard s'exprime généralement en millisiemens ou microsiemens par centimètre (mS ou $\mu S/cm$) à 20 °C. La plupart des matières dissoutes dans l'eau se trouvent sous forme d'ions chargés électriquement. La mesure de la conductivité permet d'apprécier la quantité de sels dissous dans l'eau, elle augmente avec la concentration des ions en solutions et la température (**Dib, 2009**). La conductivité électrique dépend des charges de matière organique endogène et exogène, génératrice de sels après décomposition et minéralisation et également avec le phénomène d'évaporation qui concentre ces sels dans l'eau, elle varie aussi suivant le substrat géologique traversé (**Belghiti, 2013**).

Durant cette investigation, la valeur de la conductivité électrique enregistrée au niveau de notre site d'étude est de l'ordre de 39500 $\mu S/cm = 39.5 mS/cm$ (tab.), cette valeur dépasse la

norme algérienne qui est fixée par 2800 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Selon la réglementation française (**tab.04**), le lixiviat du CET Baghai est très minéralisé.

Tableau 04 : Relation entre minéralisation et conductivité selon la réglementation française.

Conductivité	Minéralisation
0 – 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$	Minéralisation très faible
100 – 200 $\mu\text{S}/\text{cm}$	Minéralisation faible
200 – 333 $\mu\text{S}/\text{cm}$	Minéralisation moyenne accentuée
333 – 666 $\mu\text{S}/\text{cm}$	Minéralisation accentuée
666 – 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$	Minéralisation importante
> 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$	Minéralisation élevée

Les fortes valeurs de la conductivité électrique ont été enregistrées pendant la saison sèche de l'année 2021, sont la conséquence du phénomène d'évaporation des lixiviats du aux fortes températures qui ont caractérisées cette période de l'année. D'après **Kouamé (2007)**, les faibles conductivités sont obtenues en saison pluvieuse qui pourrait être expliqué par le phénomène de dilution des eaux. En revanche, pendant la saison sèche, les lixiviats s'évaporent entraînant une augmentation considérable des éléments chimiques en présence.

2.3 Charge en matière organique (DBO₅ et DCO)

La demande biochimique en oxygène (DBO) et la demande chimique en oxygène (DCO) sont deux méthodes qui permettent d'évaluer la quantité en matière organique présente dans l'eau. Ces méthodes se basent sur la différence entre la teneur en oxygène dissous initiale et la teneur en oxygène dissous finale après l'oxydation de la matière organique présente dans l'échantillon.

2.3.1 DBO (Demande Biochimique en Oxygène)

C'est la quantité d'oxygène utilisée par les microorganismes pour minéraliser en 5 jours la matière organique présente dans 1 litre d'eau polluée. C'est un indicateur de la pollution organique des eaux. (**Rodier et al., 2009**).

La valeur élevée de DBO5 montre qu'il y a une corrélation entre l'augmentation de la température et la diminution de la DBO5 (**Khattabi et al., 2002**). En effet, on note un réchauffement des eaux des lixiviats permettant ainsi une intensification de l'activité des bactéries. Celles-ci seront à la base de la dégradation de la matière organique présente dans le percolât.

Dans cette étude, la valeur obtenue de la DBO5 est de l'ordre de 195 mg/L (**tab. 03**). Cette valeur est largement supérieure aux normes nationales, qui sont de 35 mg O₂/l dans les eaux de rejet. Ces résultats qui ne s'accordent pas avec ceux de **Khattabi et al., (2002)** peuvent être la conséquence de facteurs environnementaux et climatiques, comme les fluctuations des températures durant la journée et la nuit. Il serait donc nécessaire de réaliser des investigations dans ce sens.

2.3.2 DCO (Demande Chimique en Oxygène)

Elle correspond à la quantité d'oxygène nécessaire pour la dégradation de la matière organique biodégradable ou non par voie chimique, effectuée à l'aide d'un oxydant puissant. Elle peut être réalisée plus rapidement que la DBO (oxydation forcée) et donne une image de la matière organique présente. Le résultat s'exprime en mg/l d'O₂. (**Makhoukh et al., 2011**).

Les analyses de notre échantillon montrent une charge organique très élevée exprimée par des teneurs en DCO de l'ordre de 790 mg/l (**tab. 03**). Cette valeur dépasse les normes nationales fixées à 120mg/l. Elle est comparable à celles rapportées sur la décharge de Tiaret en Algérie (**Mokhtaria et al., 2007**). Ce résultat pourrait être lié à l'âge, la nature et la quantité des déchets ainsi que les différents facteurs climatiques tels que la pluviométrie, l'humidité de l'air et la température qui agissent sur la vitesse de décomposition des déchets (**Wreford et al., 2000**). D'après **Kjeldsen et al. (2002)**, il s'avère que les déchets enterrés dans les régions arides se décomposent moins lentement par rapport aux déchets enfouis dans un sol qui reçoit beaucoup de précipitations.

2.3.3 Détermination du rapport DBO₅ / DCO

L'étude du rapport DBO₅/DCO permet de caractériser l'âge et l'état de la décomposition des déchets. Il faut rappeler que DBO₅/DCO est un rapport qui évolue dans le temps. Il indique le degré de biodégradabilité d'un effluent et donne des informations sur la nature des transformations biochimiques qui se produisent dans la décharge (**Kerbachi, 1994**). Selon (**Millot, 1986**) :

- DBO5 / DCO est supérieur à 0,3 : le lixiviat est qualifié de jeune ;
- DBO5 / DCO est compris entre 0,1 et 0,5 : le lixiviat est intermédiaire ;
- DBO5 / DCO est inférieur à 0,1 : le lixiviat est stabilisé ;

La valeur de 0.24 issue de la moyenne du rapport DBO5 / DCO indique que pour notre cas, la décharge de Baghai est qualifiée d'intermédiaire, cela signifie que les molécules organiques contenues dans les lixiviats n'ont pas encore atteint le stade final de leur dégradation. A ce stade, ils sont caractérisés par une phase instable de fermentation méthanique ; ce qui favorise le phénomène d'anaérobiose et le maintien de la décharge dans une phase de dégradation active qui approche de la phase de la méthanogénèse (**Ahel et al., 1998**).

2.4 Dénombrement de la flore mésophile aérobie totale et des staphylocoques

La flore totale aérobie mésophile (FTAM) est utilisée comme indicateur de pollution global. Ces germes sont capables de se multiplier à des températures optimales de croissance située entre 25 et 40°C. La FTAM renseigne de la grande diversité microbienne et sur la microflore autochtone apportée par la pollution. L'évolution des germes totaux est fortement influencée par l'évolution du pH, c'est-à-dire qu'une augmentation du pH favorise fortement le développement de ces germes. Lorsque les valeurs de pH sont comprises entre 6 et 8, alors on conclut que les bactéries neutrophiles seront les plus dominantes dans ces milieux, comme par exemple *Escherichia coli*, dont la croissance n'est pas affectée par la concentration en oxygène moléculaire (**Hart et Shears, 1997**).

Les staphylocoques trouvés dans l'eau peuvent être provenir d'une pollution fécale. Ils sont parmi les organismes asporulés les plus difficiles à éliminer. En effet, ils résistent à une température de 60 °C pendant 30 minutes ou à 1 % de phénol pendant 15 minutes. Ils démontrent également une résistance au chlore et aux autres agents de désinfection (**Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec, 2016**).

L'examen des résultats de caractérisation bactériologique des lixiviats de la décharge de Baghai (**tab. 03**) affichent une très mauvaise qualité microbiologique loin des normes en vigueur vu les taux élevés de la flore mésophile aérobie et de staphylocoques avec des valeurs respectives de $8 \cdot 10^7$ UFC/ml et $2 \cdot 10^4$, ce qui rend ces lixiviats extrêmement toxiques et présentent ainsi un danger permanent pour l'environnement et le milieu aquifère souterrain et qui nécessitent donc un traitement.

Conclusión

Conclusion et perspectives

L'étude de quelques paramètres physico-chimiques des lixiviats générés par le centre d'enfouissement technique de Baghai (Khenchela) montre qu'il s'agit de lixiviats intermédiaires à forte charge polluante faiblement ou non biodégradable, véhiculant une importante charge organique et minérale. La forte pollution organique, est confirmée par les valeurs élevées de la DBO5 (195 mg d'O₂/l) et de la DCO (790 mg d'O₂/l). La pollution minérale, est traduite par une forte conductivité (39500µs/cm), qui prouve la présence des ions suite à une forte minéralisation de la matière organique.

Après plus de 10 ans d'exploitation de cette décharge, les résultats montrent que cette dernière entre dans une phase de fermentation méthanique. Cela est confirmé par le rapport de la demande biologique en oxygène sur la demande chimique en oxygène qui est de (0.24). L'âge du CET est également confirmé par son pH légèrement acide proche de la neutralité de (6.81). Ces résultats alarmants, ne répondent pas aux normes de rejet des lixiviats. Cette charge polluante élevée, constitue un risque de contamination organique et minérale des eaux de surface, souterraines et même celles de la nappe phréatique, avoisinant cette décharge. Ces impuretés sous l'effet de différents phénomènes écologiques (ruissèlement, débordement par exemple), peuvent même toucher les niches écologiques les plus éloignés du site de contamination.

Les analyses microbiologiques partielles, montrent un taux de contamination élevé par la flore aérobie mésophile avec une population de 8.10^7 UFC/ml. Les Staphylocoques sont les seuls marqueurs de germes pathogènes étudiés dans ces investigations. Ils sont dénombrés à un taux élevé de 2.10^4 UFC/ml. Les nombres importants de la flore aérobie mésophile et des Staphylocoques montrent que ces lixiviats peuvent être une source très importante de la contamination microbienne des différentes sources hydriques proches de cette décharge.

L'état actuel de cette décharge est très préoccupant. Il présente des risques potentiels de dégradation de l'environnement. Il est par conséquent urgent et impératif de mettre en service la station de traitement de ces eaux par osmose inverse qui est déjà installée mais pas encore fonctionnelle. Il serait également très intéressant de continuer nos investigations sur l'étendue de cette pollution sur les écosystèmes telluriques et hydriques avoisinant cette décharge.

*Références
bibliographiques*

Références bibliographiques

Abboudi A., Tabyaoui H., El Hamichi F., Benaabidate L., Lahrach A., (2014), Etude de la qualité physico-chimique et contamination métallique des eaux de surface du bassin versant de Guigou, Maroc, *European Scientific Journal*, vol.10, No.23.

Abdulrahman A., Nawawi M., Saad R., Abu-Rizaiza AS., Yusoff MS., Khalil AE., Ishola KS., (2016) Characterization of active and closed landfill sites using 2D resistivity/IP imaging: case studies in Penang, Malaysia. *Environmental Earth Sciences* 75(4) :347.

Addou A. (2009). Livre de développement durable : traitement des déchets/ valorisation, élimination. Edition Marketing S.A : Ellipse ISBN 978-2-7298-4.

ADEME (2000). In : Déchets municipaux. ADEME (Ed), 2ème édition, Paris, p 11.

Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (ADEME). (2017). Déchets. Chiffres. Edition ADEME.

Agence Nationale De Dechets. (2019). Journée D'études Lixiviat. Stations Osmose Inverse. Présentation, Exploitation, Entretien & Optimisation, PP.6-7.

Ahel M., Mikac N., Cosovic B., Prohic E., Soukup V. (1998). The impact of contaminant from a municipal solid waste landfill (Zagreb, Croatie) on underlying soil, *Water Sci. Technol.*, Vol 37, n°8, 203-210.

Aina M. (2006). Expertises des centres d'enfouissement techniques de déchets urbains dans les PED : contributions à l'élaboration d'un guide méthodologique et à sa validation expérimentale sur sites, Université de limoges, p.80, 154.

Alami O F-Z, El Abidi A., Mouhir L., Fekhaoui M., Serghini A., El Morhit M. *ScienceLib*. (2013). Editions Mersenne. 5, 130305: 2111-4706.

Alex C., Michalos. (2014). *Encyclopedia of Quality of Life and Well-Being Research*.

Allouche, F.N., Alloune R., Cheknane, B. (2006). Possibilité d'introduction d'un système d'épuration par phyto-épuration pour l'assainissement urbain dans les zones semi-aride et subhumide. Séminaire International des géosciences au service du Développement durable.

Aloueimine S.O. (2006). Méthodologie de caractérisation des déchets ménagers à Nouakchott (Mauritanie) : contributions à la gestion des déchets et outils d'aide à la décision. Thèse de doctorat, Université de Limoges, 195 p.

Andrieu M., Ghewy X., Mathery C., Nicklaus D. (2012). Lexique à l'usage des acteurs de la gestion des déchets. Edition ADEME

Antonini G. et Hazi M., (2004). Pyrolyse, "Gazéification de déchets solides, Etat de l'art des procédés existants, Faisabilité de traitement d'un déchet par Pyrolyse ou Gazéification," Etude ADEME / PROCEDIS

Baali F, Fehdi C, Rouabhia A, Mouici R, Carlier E. (2015). Hydrochemistry and isotopic exploration for a karstic aquifer in a semi-arid region: case of Cheria Plain, Eastern Algeria. Carbonates and evaporites 30(1) :99–107.

Baali F, Rouabhia A, Kherici N, Djabri L, Bouchaou L, Hani A. (2007). Qualité des eaux souterraines et risque de pollution en milieu semiaride. Cas de la cuvette de Chéria (NE Algérien). Estudios Geológicos 63(2) :127–133.

Bae B.U., Jung E.S., Kim W.R., Shin H.S. (1999). Treatment of landfill leachate using activated sludge process and electron-beam radiation, Water Res. 33, 2669-2673.

Baig S., Coulomb I., Courant P., Liechti P. (1999). Treatment of landfill leachates: Lapeyrouse and Starod case studies, Ozone Science and Engineering, Vol. 21, No. 1, pp. 1-22.

Balet j. (2016). Gestion des déchets. 5^{ème} Edition DUNOD. 371 pages.

Belghiti M.L., Chahlaoui A., Bengoumi D., EL Moustaine R., (2013), Etude de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux souterraines de la nappe plio-quadernaire dans la région de Meknès (Maroc), Larhyss Journal, ISSN 1112-3680, n°14, pp.21-36.

Bennama T., Younsi A., Zoubir D., Debab A. (2010). Caractérisation et traitement physico-chimique des lixiviats de la décharge publique d'El- Kerma (Algérie) par adsorption en discontinu sur de la sciure de bois naturelle et activée chimiquement, *Water Qual. Res. J. Can.* Vol 45, n°1, 81-90 pp.

Besser H, Mokadem N, Redhaounia B, Hadji R, Hamad A, Hamed Y. (2018). Groundwater mixing and geochemical assessment of lowenthalpy resources in the geothermal field of southwestern Tunisia. *Euro-Mediterranean Journal for Environmental Integration* 3(1) :16.

Borzacconi L., Lopez I., Ohanian M., Vinas M. (1999). Anaerobic-aerobic treatment of municipal solid waste leachate, *Environmental Technology*, Vol. 20, No. 2, pp. 211-217.

Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec, (2016). Recherche et dénombrement de *Staphylococcus aureus* : Méthode par filtration sur membrane. MA. 700 – STA 1.0, Rév. 5, Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques, 18 p.

Chaudhari L.B., Murthy Z.V.P. (2010). Treatment of landfill leachates by nanofiltration, *J. Environ. Manage.* 91: 1209-1217.

Choo K.H., Lee C.H. (1996). Membrane fouling mechanism in the membrane-coupled anaerobic bioreactor, *Water Res.* 30:1771–1780.

Christensen J.B., Jensen D.L., Christensen T.H. (1996). Effect of dissolved organic carbon on the mobility of cadmium, nickel and zinc in leachate polluted groundwater, *Water Res.* 30, 3037–3049.

Delolme C., Jabob F. (1998). Impact of liming of waste on landfill activity and leachate characteristics : a laboratory and field-scale approach, *Waste Management and Research*, Vol.16, No. 2, pp. 160-174.

Desachy C. (1994). Les déchets en 1994. Techniques, sciences et méthodes. Leau, 11, 603- 609.

- Desachy C. (2001). Les déchets : sensibilisation à une gestion écologique 2^{ème} Éd. AGHTM 70 p.
- Dib I., (2009). L'impact de l'activité agricole et urbaine sur la qualité des eaux souterraines de la plaine de gadaïne- Ain Yaghout, Mémoire de magister en hydrolique, construction hydro-technique et environnement, Université Haj lakhdar, Batna, 127 pages.
- Edeline F. (1993). L'épuration des lixiviats de décharge, Tribune de l'Eau, Vol. 46, No. 566, pp. 57-65.
- Ehrig, H. J. (1983). Quality and quantity of sanitary landfill leachate, Waste Management and Research, Volume 1, Issue 1, Pages 53-68.
- El Bada N., Assobhei O., Kebbab A., Mhamdi R. et Mountadar M. (2010). « Caractérisation et prétraitement du lixiviat de la décharge de la ville d'Azemmour », Déchets, sciences et techniques. N° 58, 2^{ème} TRIMESTRE : 30-36.
- El Fadel M. et Massoud M. (2000). Emission from landfill: A methodology comparative assesment. Environmental Technology 21(9) :965-978.
- El Fadel M., Bou-Zeid E., Chahine W., Alayli B. (2002). Temporal variation of leachate quality from pre-sorted and baled municipal solide waste with hight organic and moisture content. Waste Management 22(3):269-82.
- Ezziyyani M. (2020). Advanced Intelligent Systems for Sustainable Development (AI2SD'2019). Volume 3, Advanced intelligent systems for sustainable development applied to environment, industry and economy.
- Fedorak P.M., Rogers R.E. (1991). Assesment of the potontial health risks associated with the dissemination of microorganisms from a landfill site. Waste Management & Research. Volume 9, Issue 6, pages 537-563.
- Foo K.Y., Hameed B. H. (2009). An overview of landfill leachate treatement via activated carbon adsorption process. Journal of Hazardous Materials, 15; 171(1-3):54-60.

Gálvez A., Giusti L., Zamorano M., Ramos-Ridao A.F. (2009). Stability and efficiency of biofilms for landfill leachate treatment, *Bioresource. Technol.* 100, 4895-4898.

Gbedo V. (2010). Problématique de la valorisation des déchets plastiques à Cotonou : approche pour une maîtrise des aspects techniques et socio-économique. Thèse de doctorat, Université d'Abomey-Calavi.

Goplan. (2006). - Rapport technique environnementale analyse des lixiviats de diverses décharges en Algérie et proposition des mesures de traitement.

Gregory, M. R. (2009). Environmental implications of plastic debris in marine settings, entanglement, ingestion, smothering, hangers-on, hitch-hiking and alien invasions. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 364(1526), 2013-2025.

Haarstad K., Maehlum T. (1999). Aspects importants de la production et du traitement à long terme des lixiviats de déchets solides municipaux *Gestion des déchets. Res.*, 17, pp. 470-477

Hakkou R. (2001). La décharge publique de Marrakech : caractérisation des lixiviats, étude de leur impact sur les ressources en eau et essai de leur traitement. Thèse de doctorat d'état, université de CAPI AYYAD, Maroc, 150 p.

Ham, R.K. et Bookter T.J. (1982). Decomposition of solid waste in test lysimeters, *Journal of Environmental Engineering Division ASCE*, 108 p. 1147- 1170.

Hart T. et Shears P. (1997). Atlas de poche de Microbiologie. Edition FLAMMARION Médecine-Sciences, collection Atlas de poche, 2ème édition. 314 pages.

Hatik Ch. (2015). Proposition de scénarios de gestion raisonnée des déchets en vue de leur valorisation énergétique », Thèse de doctorat, Université de la Réunion.

Hoggas C.E. (2020). Evaluation de l'impact de choix du site de centre d'enfouissement technique sur l'environnement et sur la communauté de Baghai. Diplôme de Brevet Technicien

Supérieur En Gestion et Recyclage des Déchets. Institut national spécialisé de la formation professionnelle : CHAHID AMRANI ELHADI, 51p.

Hoilijoki T.H., Kettunen R.H., Rintala J.A. (2000). Nitrification of anaerobically pretreated municipal landfill leachate at low temperature, *Water Res.* 34, 1435-1446.

Jensen D.L., Ledin A., Christensen T.H. (1999). Speciation of heavy metals in landfill-leachate polluted groundwater, *Water Res.* 33, 2642-2650.

Kargi F., Pamukoglu M.Y. (2003). Aerobic biological treatment of pre-treated landfill leachate by fed-batch operation, *Enzyme. Microb.Tech.* 33: 588-595.

Kehila Y., Aina M., Mezouari F., Matejka G., Mamma D. (2007). Quelles perspectives pour l'enfouissement technique et le stockage éco-compatible des résidus solides dans les ped vis-à-vis des impacts sur l'hydrosphère urbaine ? Actes des JSIRAUF, Hanoi.

Kerbachi R. et Belkacemi M., (1994), Caractérisation et évolution des lixiviats de la décharge d'Oued-Smar à Alger, techniques, Sciences et Méthodes – L'eau, N°11, pp. 615-618.

Khattabi H. (2002). Intérêts de l'étude des paramètres hydrogéologiques et hydrobiologiques pour la compréhension du fonctionnement de la station de traitement des lixiviats de la décharge d'ordures ménagères d'Etueffont (Belfort, France). Thèse, Université de Franche-Comté, France.

Khattabi H., Lotfi A., Mania J., (2002), Evaluation de l'impact des lixiviats d'une décharge d'ordures ménagères sur la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux d'un ruisseau de Franche Comté. *Déchets-Sciences et techniques* 24, pp.1- 4.

Kirat A., (2015). La prolifération des déchets solides municipaux et leur impact sur le paysage. 2015. Diplôme de Magistère en architecture. Université el hadj Lakhdar, Batna.

Kjeldsen P., Barlaz M.A., Rooker A.P., Baum A., Ledin A., Christensen T.A. (2002). Present and long-term composition of MSW landfill leachate, *Crit. Rev., Environ. Sci. Technol.*, Vol. 32, n°4, 297-336.

Kjeldsen P., Morton A., Barlaz, Alix P., Rooker, Baun A., Ledin A., et Thomas H. Christensen. (2000). Present and Long-Term Composition of MSW Landfill Leachate: A Review. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 32(4):297-336.

Koshy L, Paris E, Ling S, Jones T, BéruBé K. (2007). Bioreactivity of leachate from municipal solid waste landfills—assessment of toxicity. *Science of the total Environment* 384(1-3):171–181.

Kouamé K.I. (2007). Pollution physico-chimique des eaux dans la zone de la décharge d'Akouedo et analyse du risque de contamination de la nappe d'Abidjan par un modèle de simulation des écoulements et du transport des polluants, Université d'Abobo Adjamé, Côte d'Ivoire, p.212.

kpls, M. (2015). Etude des voies de valorisation des déchets ménagers au Bénin cas de la ville d'Abomey - Calavi. Thèse de Doctorat. Université d'Abomey-Calavi et Université de Lorraine.

Kulikowska D., Klimiuk E. (2008). The effect of landfill age on municipal leachate composition, *Bioresour. Technol.* 99, 5981-5985.

Kurniawan T.A., Chan G.Y.S., Wai-Hung Lo, Babel S. (2006). Physico-Chemical Treatment Techniques for Wastewater Laden with Heavy Metals. *Chemical Engineering Journal* 118(1) : p 83-98.

Lagier T. (2000). Étude des macromolécules de lixiviat : Caractérisation et comportement vis-à-vis des métaux. Thèse de Doctorat en Chimie et microbiologie de l'eau. Université de Limoges. France.

Lema J.M., Mendez R., Blazquez R. (1988). Characteristics of landfill leachates and alternatives for their treatment: a review, *Water. Air. Soil. Pollut.* 40, 223-250.

- Lim Y.N., Ghazaly Shaaban M., Yin C.Y. (2009). Treatment of landfill leachate using palm shellactivated carbon column: Axial dispersion modeling and treatment profile, *J. Chem. Eng.* 146: 86-89.
- Linde K., Jönsson A.S. (1995). Nanofiltration of salt solution and landfil leachate, *Desalination.* 103: 223–232.
- Loukidou M.X., Zouboulis A.I. (2001). Comparaison of two biological treatment process using attached-growth biomass for sanitary landfill leachate treatment, *Environ. Pollut.* 111 : 273–281.
- Makhoukh M., Sbaa M., berrahou A., Van Clouster M. (2011). Contribution à l'étude physico-chimique des eaux superficielles de l'Oued Moulouya (Maroc oriental), *Larhyss journal*, ISSN 1112-3680, n° 09, 149169.
- Mansouri L. (2006). Caractérisation et dégradation des contaminants organiques dans les lixiviats par photolyse, *Laboratoire de traitement et recyclage des eaux usées, Tunisie.*
- Marcoen J.M., Thorez J., Monjoie A. (2000). Manuel relatif aux matières naturelles pour barrières argileuses ouvragées pour CET (centres d'enfouissement technique) et réhabilitation de dépotoirs en région wallonne. Edition, Office wallon des déchets.
- Martin P. A. (2006). Expertises des centres d'enfouissement techniques de dechets urbains dans les ped : contributions à l'elaboration d'un guide methodologique et à sa validation experimentale sur sites, Thèse N°46 – 2006, P 154.
- Martonne E. Mai (1926). L'indice d'aridité. In : *Bulletin de l'Association de géographes français*, N°9, 3e année, pp. 3-5.
- Matech F., Zaakour F., Moustarhfer K., Chemsî Z., Benazzouz I. & Saber N. (2014). Concentrations en éléments traces métalliques dans les sols irrigués par les eaux usées versées dans l'oued merzeg (casablanca –maroc). *European Scientific Journal*, vol.10, n°29, pp. 1857-7881.

Maystre L. Y. (1994). Déchets urbains : nature et caractérisation, Lausanne, Presses polytechniques et universitaires Romandes, 219 p.

Mehmood M.K., Adetutu E., Nedwell D.B., Ball A.S. (2009). In situ microbial treatment of landfill leachate using aerated lagoons, *Bioresource. Technol.* 100, 2741-2744.

Millot N. (1986). Les lixiviats de décharges contrôlées. Caractérisation analytique et études des filières de traitement », Thèse de doctorat en gestion et traitement des déchets, INSA Lyon.

Mokhtaria M.M., Eddine B.B., Larbi D., Azzedine H., Rabah L. (2007). Caractéristiques de la décharge publique de la ville de Tiaret et son impact sur la qualité des eaux souterraines, *Courrier du savoir*, n°8 : 93-99.

Nagendran, R. Selvam, A. Joseph, K. Chiemchaisri C. (2006). Phytoremediation and rehabilitation of municipal solid waste landfills and dumpsites: A brief review. *Waste Manag.* ; 26(12):1357-69.

Nekkoub A., Baali F., Hadji R., Hamed Y. (2020). The EPIK multi-attribute method for intrinsic vulnerability assessment of karstic aquifer under semi-arid climatic conditions, case of Cheria Plateau, NE Algeria. *Arabian Journal of Geosciences* 13(15):1–15.

Nessi S., Rigamonti L. et Grosso M. (2013). Discussion on methods to include prevention activities in waste management LCA. *Int J Life Cycle Assess* **18**, 1358–1373.

Ngnikam E., Tanawa E. (2006). Les Villes D’Afrique Face à leurs Déchets. Edition : Pôle éditorial de l’université de technologie de Belfort-Montbéliard, Pp 23-24.

Ngô C., Regent A. (2012). Déchets, effluents et pollution - Impact sur l'environnement et la santé. 3^{ème} Éd. UniverSciences, Dunod. 216p.

Ozturk I., Altinbas M., Koyuncu I., Arikan O., Gomec-Yangin C. (2003). Advanced physicochemical treatment experiences on young municipal landfill leachates, *Waste. Manage.* 23. 441–446.

P.N.U.D. (2009). Guide des techniques communales pour la gestion des déchets ménagers et assimilés. M.A.T.E.T. 51p.

Paré T., Dinel H., Schnitzer M. (1999). Extractability of trace metals during co-composting of biosolids and municipal solid wastes. *Biology and Fertility of Soils*, pages 31-37.

Pronost R., Matejka G. (2000). Les lixiviats de décharges d'ordures ménagères. Production, caractérisation, traitement. *Environnement & Technique*. 196 : 25-29.

Rodier, J., Legube, B., Merlet, N. (2009). L'Analyse de l'eau 9e édition. Dunod, Paris.

Ross W.R. (1990). Factor influencing the chemical characteristics of landfill leachate, *Water SA*. 16, 275-280.

Saadali B., Zerrouki H., Hamzi A., Bouhdid C., Khiari A. (2019). Geochemical assessment of water quality and its suitability for agricultural use in the Djedra wadi subwatershed, northeast Algeria. *Euro-Mediterranean Journal for Environmental Integration* 4(1) :33.

Saadi S., Sbaa M., El Kharmouz M. (2013). Caractérisation physico- chimique de lixiviats du centre d'enfouissement technique de la ville d'Oujda (Maroc oriental), *Science Lib.*, Editions Mersenne, Vol. 5, n° 130517, ISSN 2111-4706, 1-12.

Sakaki S. (2014). Étude de la production des acides gras volatils à partir de la fermentation acidogène des boues d'épuration des effluents issus d'une usine de pâtes et papiers. Mémoire. Québec, Université du Québec, Institut national de la recherche scientifique, Maîtrise en sciences de l'eau, 100 p.

Senese V., Boriani E., Baderna D., Mariani A., Lodi M., Finizio A., Testa S., Benfenati E. (2010). Assessing the environmental risks associated with contaminated sites: definition of an ecotoxicological classification index for landfill areas (ECRIS). *Chemosphere* 80(1):60–66.

Silva A.C., Dezotti M., Sant'Anna Jr G.L. (2004). Treatment and detoxication of a sanitary landfill leachate, *Chemosphere*. 55 : 207–214.

Tahraoui D.N. (2006). Analyse des déchets ménagers solides de la ville de Chlef. Mémoire de magistère. Université Hassiba Ben Bouali de Chlef.

Takigami H., Matsui S., Matsuda T., Shimizu Y. (2002). The *Bacillus subtilis* rec-assay: a powerful tool for the detection of genotoxic substances in the water environment. Prospect for assessing potential impact of pollutants from stabilized wastes. *Waste Management* 22(2) :209–213.

Tchobanoglous G., Theisen H., Vigil S. (1993). *Integrated Solid Waste Management*, McGraw-Hill International Edition, New York, 978 p.

Teixeira C. a, Russo M., Matos C., et Bentes I. (2014). Evaluation of operational, economic, and environmental performance of mixed and selective collection of municipal solid waste: Porto case study. *Waste Management & Research*, 32(12), 1210– 1218.

Toufexi E., Tsarpali V., Efthimiou I., Vidali MS., Vlastos D., Dailianis S. (2013). Environmental and human risk assessment of landfill leachate: an integrated approach with the use of cytotoxic and genotoxic stress indices in mussel and human cells. *Journal of hazardous materials* 260 :593–601.

Trabelsi S. (2012). Etudes de traitement des lixiviats des déchets urbains par les Procédés d'Oxydation Avancée photochimiques et électrochimiques. Application aux lixiviats de la décharge tunisienne "Jebel Chakir". Thèse de doctorat. Sciences de la Terre. Université Paris-Est. 189 p.

Trebouet D., Schlumpf J.P., Jaouen P., Quemeneur F. (2001). Stabilized landfill leachate treatment by combined physicochemical-nanofiltration processes. *Water Res* ; 35(12) :2935-42.

Turlan T. (2013). *Les déchets. Collecte. Traitement. Tri. Recyclage*. Dunod, 287 p.

Youcai Z., Stucki S., Ludwig Ch., Wochele J. (2004). Impact of moisture on volatility of heavy metals in municipal solid waste incinerated in a laboratory scale simulated incinerator. *Waste Management (New York, N.Y.)*, 24(6):581-587.

Ushikoshi K., Kobayashi T., Uematsu K., Toji A., Kojima D., Matsumoto K. (2002). Leachate treatment by the reverse osmosis system, *Desalination*. 150: 121-129.

Wagner G., Vassel J.-L. (1997). Tests de lixiviation/percolation en colonnes sur ordures ménagères en vue de la caractérisation des lixiviats d'un centre d'enfouissement technique, *Tribune de l'Eau*, No. 590/591, pp. 35-48.

Welanden U., Henrysson T. (1998). Degradation of organic compounds in a municipal landfill leachate treated in a suspended-carrier biofilm process, *Water Environment Research*, Vol. 70, No. 7.

Wreford, K., Atwater, J.M., Lavkulich, L.M. (2000). The effects of moisture inputs on landfill gas production and composition and leachate characteristics at the Vancouver Landfill Site at Burns Bog. *Waste Manage. Res.*18. 386-392.

Zouboulis A., Chai X., Katsoyiannis I. (2004). The application of bioflocculant for the removal of humic acids from stabilized landfill leachates, *J. Environ. Manage.* 70: 35–41.

Zouboulis A., Jun W., Katsoyiannis A. (2003). Removal of humic acids by flotation, *Colloids Surf. A, Physicochem. Eng. Aspects*. 231 : 181–193.