

*République Algérienne Démocratique Et Populaire*  
*Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique*  
*Université Abbès Laghrour- Khenchela*  
*Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie*  
*Département d'Ecologie et Environnement*



**Mémoire de fin d'étude**  
**Présenté en vue de l'obtention du diplôme de**  
**Master Académique**

**Filière : Ecologie et Environnement**  
**Spécialité : Ecologie Fondamentale et Appliquée**

## **Thème**

*Caractérisation physico-chimique du lixiviat issu du centre  
d'enfouissement technique de Baghai à Khenchela  
(Bilan de l'année 2015)*

*Soutenu : le 15/09 /2020*

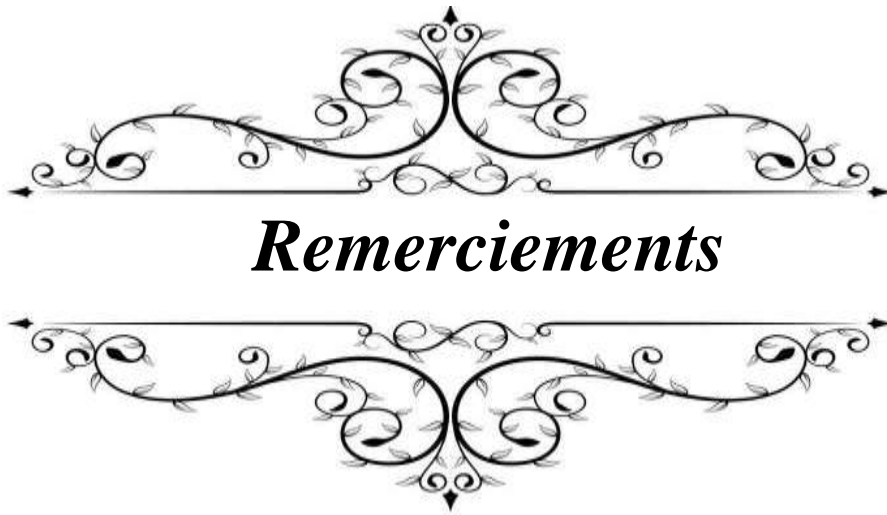
*Présenté par :*

***HANTACHE SIHAM      AYEB IKHLASS***

**Jury de soutenance :**

**Président : Melle Della Yasmina      M.C.B. Université Abbès Laghrour. Khenchela**  
**Examinatrice : Mme Dib Dounia      M.C.B Université Abbès Laghrour. Khenchela**  
**Promotrice : Mme Bensouici Karima      M.A.A Université Abbès Laghrour. Khenchela**

***Année Universitaire 2019-2020***



## **Remerciements**



*Nous remercions ALLAH qui nous a aidé et nous a donné la patience et le courage durant ces longues années d'étude.*

*Le Tout Puissant créateur de l'Univers, qui m'a donné du courage dans mes études et m'a permis de réaliser ce mémoire malgré les difficultés rencontrées.*

*Toute notre gratitude vers notre encadreur, Madame Bensouici Karima, pour la confiance qu'elle nous a accordée en acceptant d'encadrer ce travail, de nous avoir guidé tout au long de la réalisation de ce mémoire, pour ces conseils, ces orientations, sa patience et son aide très précieuse.*

*Je tiens à remercier énormément Melle Delaa Yasmína pour avoir accepté de présider ce jury.*

*Un grand merci à Mme Dib Dounia pour avoir accepté de juger ce travail.*

*Mes reconnaissances vont également vers la direction du centre d'enfouissement de Khenchela .*

*A tous ceux qui nous ont aidé de près ou de loin, par un geste, une parole ou un conseil, nous leurs disons merci*



**Je dédie ce travail à tous ceux qui me sont chers en particulier**

A celle qui s'est toujours dévouée et sacrifiée, celle qui m'a aidée du mieux qu'elle pouvait pour réussir, celle qui m'a accompagnée durant toutes les années d'étude ; qui a toujours été là dans mes moments de détresse, Autant de phrases aussi expressives soient-elles ne sauraient montrer le degré d'amour et d'affection que j'éprouve pour toi.

Tu n'as jamais cessé de me soutenir et de m'encourager durant toutes les années de mes études, tu as toujours été présente à mes côtés pour me consoler quand il fallait.

En ce jour mémorable, pour moi ainsi que pour toi, reçoit ce travail en signe de ma vive reconnaissance et ma profonde estime.

*Ma très chère mère. « ZEHYIA »*

A celui qui m'a toujours encouragée et soutenue moralement et matériellement, celui qui m'a donné de la force pour persévérer et pour prospérer dans la vie.

Tu as su te montrer patient, compréhensif et encourageant. Ta chaleur paternelle a été et sera toujours pour moi d'un grand réconfort

*Mon très cher père « AHMED »*

*Que dieu vous garde et vous protège*

Au battement de mon cœur

*Mon frère « RAMZI »*

Au terme de notre mémoire de fin d'étude de Master, je tiens à exprimer mes sentiments de respect et de gratitude à toutes mes collègues.

*A mon binôme « IKHLASS »*

*A tous mes proches et à toute ma famille*

*A la promotion de l'écologie et environnement*

*Siham*



**J'ai l'honneur de dédier ce modeste travail à**

*Ma mère « Meliha »*

Une maman merveilleuse que j'ai toujours rêvé d'être. Merci maman pour tes prières, pour ton affection, ta patience, ta compréhension, ta disponibilité, ton écoute permanent et ton soutien sans égal dans les moments les plus difficiles de ma vie.

*Mon père, « Chérif »*

Un papa qui m'a souvent motivé et qui m'a offert la liberté de choisir et m'a donné cette confiance sans cesse renouvelée. Je lui dédie avec fierté ce mémoire qui reflète le fruit de l'éducation et de l'attention qu'il m'a tant réservé, je suis très reconnaissant et j'aurai tant aimé partager la joie de ma réussite avec lui. A ceux qui m'ont toujours encouragé et soutenu durant toutes mes années d'étude.

*A mon frère Nourí »*

*Mes sœurs « Dounia » « Werda » Nada*

A tous mes proches et toute ma famille

A mon binôme «*Siham*» et sa famille.

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

A tout

*mes amis* (es) sans exception.

A la promotion de *l'écologie et environnement*

*A mon oiseau ma vie "knoun"*

*Ikhlass*



## Liste des tableaux

<b>Numéro</b>	<b>Titre</b>	<b>Page</b>
<b>01</b>	<b>Comparaison des lixiviats selon l'âge de la décharge</b>	<b>15</b>
<b>02</b>	<b>Caractéristiques des lixiviats d'ordures ménagères</b>	<b>18</b>
<b>03</b>	<b>Quantités de déchets réceptionnés au niveau du CET de Baghai durant l'année 2015</b>	<b>32</b>
<b>04</b>	<b>Analyses physico-chimiques des lixiviats issu du CET de Baghai durant l'année 2015</b>	<b>33</b>

## Liste des figures

<b>Numéro</b>	<b>Titre</b>	<b>Page</b>
<b>01</b>	<b>Pont de bascule du CET</b>	<b>28</b>
<b>02</b>	<b>Déchets déversés et assemblés dans des alvéoles</b>	<b>29</b>
<b>03</b>	<b>Opération de couverture des alvéoles</b>	<b>29</b>
<b>04</b>	<b>Bassin de décantation des lixiviats</b>	<b>30</b>
<b>05</b>	<b>Etat du casier CET de Baghai durant l'année 2015</b>	<b>31</b>
<b>06</b>	<b>Variation des valeurs trimestrielles du pH des lixiviats issus du CET de Baghai durant l'année 2015</b>	<b>34</b>

<b>07</b>	<b>Variation des valeurs trimestrielles de la DBO<sub>5</sub> des lixiviats issus du CET de Baghai durant l'année 2015</b>	<b>35</b>
<b>08</b>	<b>Variation des valeurs trimestrielles de la DCO des lixiviats issus du CET de Baghai durant l'année 2015</b>	<b>36</b>
<b>09</b>	<b>Variation des valeurs trimestrielles de la MES des lixiviats issus du CET de Baghai durant l'année 2015</b>	<b>37</b>
<b>10</b>	<b>Variation des valeurs trimestrielles de la conductivité électrique des lixiviats issus du CET de Baghai durant l'année 2015</b>	<b>38</b>
<b>11</b>	<b>Variation des valeurs trimestrielles des éléments traces métalliques dans les lixiviats issus du CET de Baghai durant l'année 2015</b>	<b>41</b>

## Liste des abréviations

**μS/cm : Micro siemens par centimètre**

**3R : Récupération, Réutilisation et Recyclage**

**3R-VE : Réduction, Récupération, Réutilisation, Valorisation et Elimination**

**Ag: Argent**

**AGV : Acides Gras Volatiles**

**Ca: Calcuim**

**Cd : Cadmium**

**CET : Centre d'Enfouissement Technique**

**CH<sub>4</sub> : Méthane**

**Cl : Chlore**

**CO<sub>2</sub> : Dioxyde de carbone**

**COT : Le Carbone Organique Total**

**Cr: Chrome**

**CSDUS : Centre de Stockage des Déchets Ultimes Stabilisés**

**Cu : Cuivre**

**DBO<sub>5</sub> : Demande Biochimique en Oxygène pendant cinq jours**

**DCO : Demande Chimique en Oxygène**

**DIB : Déchets Industriels Banals**

**DIS : Déchets Industriels Spéciaux**

**EPWG CET: Etablissement Public de la Wilaya de Gestion des Centres d'Enfouissement Techniques**

**Fe : Fer**

**H<sub>2</sub>: Hydrogène**

**H<sub>2</sub>S : Sulfure d'hydrogène**

**HCO<sub>3</sub> : Bicarbonate**

**Hg: Mercure**

**K : Potassium**

**MAP : phosphate d'ammonium magnésien**

**Mg : Magnésium**

**Mn : Manganèse**

**MO : Matière Organique**

**Na: Sodium**

**Ni: Nickel**

**NO<sub>2</sub>: Dioxyde d'azote**

**NO<sub>3</sub>: Nitrate**

**NTK : L'Azote Total Kjeldahl**

**O<sub>2</sub>: Oxygène**

**OI : Osmose Inverse**

**OMS : Organisation Mondiale de la Santé**

**Pb: Plomb**

**pH : potentiel d'Hydrogène**

**PO<sub>4</sub> : Phosphate**

**PROGDEM : Programme National de Gestion intégrée des Déchets Solides municipaux**

**Zn: Zinc**

## Table des matières

Remerciements

Dédicaces

Liste des tableaux

Liste des figures

Liste des abréviations

Résumés

Introduction.....1

### *Synthèse bibliographique*

#### Chapitre I : Les déchets ménagers solides

1 Définition du terme "déchet" .....	3
2 Catégories de déchets .....	3
2.1 Les déchets agricoles.....	3
2.2 Les déchets ménagers et assimilés .....	4
2.3 Les déchets industriels.....	4
3 Impacts des déchets solides sur l'environnement .....	5
3.1 Pollution de l'eau .....	5
3.2 Pollution du sol.....	5
3.3 Pollution de l'air.....	6
3.4 Effets sur la chaîne alimentaire .....	6
3.5 Impacts sur la faune et la flore .....	7
3.6 Effets sur la santé publique.....	7
3.7 Impact sur l'économie .....	8
4 La gestion intégrée des déchets ménagers.....	8
4.1 La prévention ou le principe des 3R (Récupération, Réutilisation et Recyclage).....	8
4.1.1 Réduction .....	8
4.1.2 Réemploi ou réutilisation.....	9
4.1.3 Recyclage.....	9
4.2 Valorisation.....	9
4.2.1 La valorisation en matière .....	10

4.2.2	La valorisation organique.....	10
•	Le compostage .....	10
•	La biométhanisation.....	11
4.2.3	La valorisation énergétique .....	11
4.3	Elimination.....	11
4.3.1	Incinération.....	11
4.3.2	Mise en décharge .....	12
•	Décharge sauvage ou non contrôlée.....	12
•	Décharge contrôlée.....	12

## Chapitre II: Les lixiviats

1	Définition .....	14
2	Formation et composition des lixiviats .....	14
2.1	Formation des lixiviats .....	14
2.2	Composition des lixiviats.....	15
2.3	Types des lixiviats .....	16
2.3.1	Les lixiviats jeunes (<5 ans).....	16
2.3.2	Les lixiviats intermédiaires.....	16
2.3.3	Les lixiviats stabilisés ou âgés de plus de 10 ans.....	16
4	Types des polluants présents dans les lixiviats .....	17
4.1	Acides gras.....	17
4.2	Composés ligno-cellulosiques.....	18
4.3	Composés associés aux matières plastiques.....	18
4.4	Les phénols.....	19
4.5	Les pesticides .....	19
4.6	Les métaux lourds.....	19
4.7	Les microorganismes .....	19
5	Principaux paramètres caractérisant les lixiviats.....	19
6	Genèse des lixiviats .....	21
6.1	Mécanismes biologiques .....	21
6.1.1	Hydrolyse .....	21
6.1.2	Acidogenèse.....	21
6.1.3	Acétogenèse.....	21
6.1.4	Méthanogenèse.....	21
6.1.5	Maturation .....	22

6.2 Mécanismes physico-chimiques .....	22
6.3 Traitements des lixiviats.....	22
6.3.1 Méthodes physico- chimiques.....	22
6.3.1.1 Coagulation et floculation.....	22
6.3.1.2 Adsorption.....	23
6.3.1.3 Flottation.....	23
6.3.1.4 Précipitation chimique.....	23
6.3.1.5 Osmose inverse .....	24
6.3.2 Méthodes biologiques .....	24
6.3.2.1 Procédés aérobies .....	24
6.3.2.2 Procédés anaérobies .....	25
7 Impacts des lixiviats sur l'environnement.....	25
7.1 Pollution par les microorganismes .....	26
7.1.1 Les salmonelles.....	26
7.1.2 Vibrio cholerae.....	26
7.1.3 Legionelles ou Legionella .....	26
7.1.4 Shigella ou shigelles .....	27
7.1.5 Escherichia coli (E. coli) .....	27
7.2 Pollution par les métaux lourds .....	27
7.3 Pollution par les matières organiques et minérales .....	28

## *Methodologie*

1 Introduction .....	29
2 Description du site d'étude .....	29
3 Procédés de l'enfouissement des déchets.....	30
3.1 Réception des déchets .....	30
3.2 Enfouissement des déchets .....	30
3.2.1 Mise en place des déchets autorisés dans les casiers .....	30
3.2.4 Collecte des lixiviats produits dans le CET .....	32
4 Etat des casiers du CET depuis son ouverture jusqu'à l'année 2015 .....	32
5 Bilan des activités du centre d'enfouissement technique des déchets ménagers de Baghai durant l'année 2015.....	33
5.1 Quantité des déchets réceptionnés .....	33
5.2 Préservation de la santé et l'environnement .....	34
5.2.1 Contrôle des odeurs.....	34

- **THERMO NEBULISATEUR K-30 et K-10..... 34**
- **NOFAR-2 ..... 34**
- **DELTAMETHRIN TERMINATOR 25 PW-EC ..... 34**
- 5.2.2 **Contrôle des lixiviats ..... 35**

## *Discussion*

- 1 pH..... 36**
- 2 Matière organique..... 37**
- 2.1 Demande Biochimique en Oxygène (DBO<sub>5</sub>) ..... 37**
- 2.2 Demande Chimique en Oxygène (DCO) ..... 38**
- 3 Matières en suspension ..... 39**
- 4 Conductivité électrique..... 40**
- 5 Eléments traces métalliques ..... 41**
- Conclusion..... Erreur ! Signet non défini.**
- Références bibliographiques ..... 47**

## Résumé

Ce travail porte sur la caractérisation physico-chimique du lixiviat du centre d'enfouissement technique de Baghai à Khenchela durant l'année 2015. Ce centre reçoit des déchets solides urbains sans traitement préalable. Les résultats des analyses du lixiviat généré par cette décharge ont montré qu'il s'agit d'un percolât en phase de transition entre le lixiviat jeune et le lixiviat stabilisé. Le rapport  $DBO_5/DCO$  évalué à 0,18 ainsi que le pH alcalin de 8,72 indiquent qu'il véhicule une charge polluante importante. La charge organique présente de fortes valeurs de la DCO de 1300 à 5200 mg/l et de la  $DBO_5$  de 20 à 1850 mg/l. La charge minérale montre des concentrations élevées des matières en suspension avec une moyenne de 1286.09 mg/l. Les valeurs de la conductivité électrique sont importantes, elles oscillent entre 5.7  $\mu S/cm$  et 63.7  $\mu S$ , ce qui indique une forte minéralisation du lixiviat. Tous ces résultats montrent des concentrations largement supérieures aux normes nationales surtout pendant la saison estivale. Concernant la charge métallique, les concentrations du fer sont de loin les plus importantes comparativement aux valeurs du cuivre, du nickel et du chrome, mais les concentrations de ces derniers restent en dessus des normes Algériennes.

**Mots clés :** Lixiviat, Décharge, Pollution, Baghai, Physico-chimie

## ملخص

يهدف هذا العمل على التوصيف الفيزيائي والكيميائي للمادة المرشحة من مركز النفايات التقني في باغاي في خنشلة خلال عام 2015. يستقبل هذا المركز النفايات الحضرية الصلبة دون معالجة مسبقة. أظهرت نتائج تحليلات المادة المرشحة الناتجة عن هذا المركز أنها عبارة عن ترشيح في المرحلة الانتقالية بين العصارة الفتية والمادة المرشحة المستقرة. تشير نسبة  $DBO_5 / DCO$  التي تم تقييمها عند 0.18 بالإضافة إلى درجة الحموضة القلوية البالغة 8.72 إلى أنها تحمل حمولة ملوثة كبيرة. يظهر الحمل العضوي قيم عالية من DCO ما بين 1300 و 5200 ملغ / لتر أما  $DBO_5$  بين 20 و 1850 ملغ / لتر. يظهر الحمل المعدني تركيزات عالية من المادة المعلقة بمتوسط 1286.09 ملغ / لتر. تعتبر قيم التوصيل الكهربائي مهمة ، فهي تتأرجح بين 5.7 و 63.7  $\mu S / cm$  ، مما يشير إلى تمعدن قوي للمادة المرشحة. كل هذه النتائج تظهر تركيزات أعلى بكثير من المعايير الوطنية ، خاصة خلال فصل الصيف. فيما يخص التلوث المعدني فتعتبر تركيزات الحديد أعلى بكثير مقارنة بقيم النحاس والنيكل والكروم لكن تركيزات الأخيرة تظل فوق المعايير الجزائرية.

**الكلمات المفتاحية:** الراشح ، المكب ، التلوث ، باغاي ، فيزيائي-كيميائي

## Summary

This work focuses on the physico-chemical characterization of the leachate from the Baghai technical landfill center in Khenchela during 2015. This center receives urban solid waste without prior treatment. The results of the analyzes of the leachate generated by this landfill showed that it is a percolate in the transition phase between the young leachate and the stabilized leachate. The  $BOD_5 / COD$  ratio evaluated at 0.18 and the alkaline pH of 8.72 indicate that it carries a significant pollutant load. The organic load shows high COD values from 1300 to 5200 mg/l and  $BOD_5$  from 20 to 1850 mg/l. The mineral load shows high concentrations of suspended matter with an average of 1286.09 mg/l. The values of the electrical conductivity are important, they oscillate between 5.7  $\mu S/cm$  and 63.7  $\mu S$ , which indicates a strong mineralization of the leachate. All these results show concentrations much higher than national standards, especially during the summer season. About the metal pollution, the iron concentrations are by far the highest compared to the values of copper, nickel and chromium but the concentrations of the latter remain above Algerian standards.

**Keywords:** Leachate, Landfill, Pollution, Baghai, Physico-chemical

## Introduction

En raison de l'augmentation de la population mondiale et l'évolution des habitudes de consommation, la gestion des déchets municipaux solides (DMS) est devenue un problème environnemental sérieux. La mise en décharge est l'une des méthodes les plus utilisées par nombreux pays dans le monde pour l'élimination finale des DSM (Stańczyk-Mazanek *et al.*, 2019). La tendance mondiale à la mise en décharge s'applique non seulement aux grandes villes industrielles avec des milliers de tonnes de déchets mis en décharge chaque jour (Krzykawska, 2019 ; Singh, 2019), mais aussi aux zones rurales où des quantités similaires de déchets sont mises en décharge chaque année.

Les DMS éliminés dans les décharges contiennent des produits dégradables et non dégradables. Ce sont généralement des composés organiques, des substances humiques, de l'azote ammoniacal, des métaux lourds et des sels chlorés (Shen *et al.*, 2018). Ils sont sujets à des réactions chimiques, physiques et biologiques de transformations au cours desquelles des nutriments, des éléments et des gaz sont libérés (Zornoza *et al.*, 2016 ; Koda *et al.*, 2013). Ceux-ci entrent en contact avec l'eau et crée un lixiviat. Le lixiviat des décharges peut devenir une potentielle source de contamination qui menace le sol, les eaux de surface et les eaux souterraines, s'il n'est pas collecté avec soin et non déchargé en toute sécurité. Par conséquent, le lixiviat de décharge est reconnu comme un problème environnemental vital par les sociétés modernes (Deng, 2007). Il est donc essentiel pour protéger les eaux souterraines et de surface ainsi le sol de la contamination due au lixiviat percolation dans et autour des décharges. La de la qualité des lixiviats sera utile pour la planification et pour fournir des mesures correctives, telles que des systèmes de revêtement appropriés et les traitements des lixiviats. connaissance La qualité du lixiviat peut varier de temps en temps et d'un site à l'autre en raison de certains variables telles que la nature des déchets, la composition, la température, la teneur en humidité, les changements climatiques, etc. (Alkalay *et al.*, 1998).

En Algérie, dans la ville de Khenchela, les déchets municipaux solides sont mis en décharge dans un centre d'enfouissement technique situé au niveau de la commune de Baghai. Opérationnelle depuis 2011, ce centre reçoit des déchets urbains sous une forme mixte (domestiques, industriels et hospitaliers) sans traitement préalable. Cette décharge génère un lixiviat à forte charge polluante, drainé vers des bassins de décantation.

Les travaux de Mokhtaria *et al.*, (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.*, (2010) sur la décharge d'El Kerma (Oran) ont montré des résultats similaires.

Le présent travail a pour objectif une caractérisation physicochimique des lixiviats générés par le centre d'enfouissement technique de Baghai dans la wilaya de khenchela. Ce mémoire sera structuré comme suit :

- La première partie est une revue bibliographique qui se compose de deux chapitres : le premier comporte une synthèse sur les déchets municipaux solides et leur mise en décharge. Le deuxième résume les lixiviats et leurs traitements.
- La deuxième partie est consacrée à l'interprétation du bilan d'activité de l'établissement Public de Gestion des Centres d'Enfouissement EPWG CET Khenchela. Ce bilan comprends des données concernant certaines analyses physico-chimiques des lixiviats du CET de Baghai durant l'année 2015.

*Synthèse*  
*bibliographique*

# **CHAPITRE I : LES DECHETS MENAGERS SOLIDES**

## **1 Définition du terme "déchet"**

Le terme déchet désigne, dans le langage courant, une ordure, une immondice, une chute, un reste et tout autre résidu rejeté par ce qu'il n'est plus consommable ou utilisable et donc, n'a pas de valeur.

L'article 3 de la loi algérienne N°01-19 du 12 décembre 2001 relative à la gestion, au contrôle et à l'élimination des déchets (arrête officiel) définit un déchet « tout résidu d'un processus de production, de transformation ou d'utilisation et plus généralement toute substance, ou produit et tout bien meuble dont le propriétaire ou le détenteur se défait, projette de se défaire, ou dont il a l'obligation de se défaire ou de l'éliminer ».

La directive du Conseil Européen du 18 mars 1991 reprend la notion de « substance ou objet dont le détenteur se défait ou dont il a l'intention ou l'obligation de se défaire ». D'après cette définition, un objet est un déchet non pas seulement lorsque son détenteur le destine volontairement à l'abandon, mais également si, pour une raison de santé publique, son élimination est nécessaire (Huber, 2001).

## **2 Catégories de déchets**

Les déchets sont regroupés en trois grandes catégories (Addou, 2009)

- Les déchets agricoles.
- Les déchets ménagers et assimilés.
- Les déchets industriels.

### **2.1 Les déchets agricoles**

Ils proviennent des exploitations agricoles, des élevages ou des industries agro-alimentaires artisanales. On distingue :

\* Les déchets liés à l'exploitation comme les déjections d'élevages (fumiers, lisiers..), déchets de cultures et d'exploitation des forêts,....

\* Déchets des industries agro-alimentaires comme les rejets et des déchets de triage, carcasses et déchets des abattoirs, rebuts de conserverie, refus des laiteries et fromageries, déchets scieries, pulpes et mélasse des sucreries,...

\* Déchets induits par l'exploitation agricole comme les matières plastiques (emballages), huiles usagées et pneus, pièces mécaniques,...

\* Déchets agricoles toxiques en quantité dispersée comme les contenants des pesticides, ...

## 2.2 Les déchets ménagers et assimilés

Dans cette catégorie de déchets, on distingue :

\* **Les ordures ménagères** composées essentiellement de matières organiques (déchets ordinaires provenant de la préparation des aliments), papiers-carton, verres, plastiques, métaux, textiles, composites (bois, cuir, caoutchouc), cendres,...

\* **Les déchets encombrants** caractérisés par le fait qu'ils ne peuvent pas être facilement évacués avec les ordures ménagères tels que les appareils ménagers, matelas, sommiers, meubles...

\* **Les déchets de jardinage** comme les tontes de pelouse, tailles, feuilles mortes, tailles de haies, branchage...

\* **Les déchets spéciaux des ménages** qui présentent un danger certain sur l'environnement. Il s'agit des piles, des restes des produits chimiques ménagers, des médicaments périmés, des chlorofluorocarbures (réfrigération, climatisation, bombes aérosols.....)

\* **Les déchets de l'automobile** comme les huiles, les épaves, les batteries, les pneus, ...).

\* **Les déchets assimilables** aux ordures ménagères qui sont de même nature que les ordures ménagères tels que les emballages papiers-carton, plastiques...

\* **Les déchets des espaces publics** (rues, marchés, égouts, espaces verts) ou des établissements publics (administrations, écoles, hôpitaux, casernes).

\* **Les déchets artisanaux et commerciaux**

## 2.3 Les déchets industriels

Ils sont classés, selon leurs caractères plus ou moins polluants 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. Ils comprennent les laques de vernis, les peintures, les colorants, les déchets des laboratoires...

\* **Les déchets industriels banals (D.I.B.)**, appelés quelquefois déchets industriels assimilés aux déchets ménagers, 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.

### **3 Impacts des déchets solides sur l'environnement**

Les déchets sont à la fois un risque et une ressource, mais lorsqu'ils sont éliminés sans précautions, ils risquent de dégrader les paysages, de polluer l'environnement et d'exposer l'homme à des nuisances et des dangers dont certains peuvent être très graves (Desachy., 2001).

#### **3.1 Pollution de l'eau**

L'eau est le principal vecteur de la pollution générée par les déchets abandonnés ou éliminés dans des conditions peu satisfaisantes. Cette pollution se fait à travers les eaux de percolation qui sont en contact avec des déchets qui atteignent les nappes phréatiques ou les eaux de surface. Ainsi, la pollution des eaux souterraines qui contribuent à l'alimentation en eau destinée à la boisson apparaît comme le résultat de l'infiltration et de la diffusion de lixiviats en sous-sol perméable ou fissuré. Quant à la pollution des eaux de surface, elle peut résulter du débordement et de l'écoulement des bassins de stockage des lixiviats dans le réseau hydrographique. Les eaux de ruissellement qui entraînent une partie des déchets en dépôts dans des cours d'eau sont régulièrement consommées ou utilisées par une partie de la population et des animaux dans les pays en voie de développement est la cause de la mortalité de 14 000 personnes par jour dans le monde (CNIID, 2001).

#### **3.2 Pollution du sol**

Les sols, vu la position qu'ils occupent dans les échanges avec les autres éléments de biotope, constituent des ensembles vulnérables et sont souvent exposés à la pollution par différentes particules toxiques, ils sont en effet des lieux de passage de nombreux flux de matière. Les activités humaines sont à l'origine de nombreuses contaminations localisées ou diffuses des sols et sous-sols et cela par :

- Les activités industrielles suite à des accidents lors de l'extraction, la transformation, le stockage le transport de matière première et de produits de déchets dangereux ;
- Les dépôts de déchets sur les sites (Ngo et Regent, 2004)

### **3.3 Pollution de l'air**

L'une des pollutions auxquelles l'homme est le plus sensible est certainement la pollution atmosphérique. Certains déchets sont susceptibles de polluer directement au contact de l'air ou de l'eau ou d'un acide qui dégage un gaz toxique. Mais ils 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. D'autres émissions gazeuses sont générées par les décharges. Il s'agit d'un gaz composé de biogaz, d'air 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. Les composés volatiles sont responsables des mauvaises odeurs (ils contiennent des dérivés soufrés) et de la toxicité du gaz de décharge : dérivés soufrés, dioxines, ou autres polluants atmosphériques liés à certains processus d'incinération (Ngô et Regent, 2012).

Des études épidémiologiques réalisées dans certains pays développés avaient indiqué que la malformation congénitale des nouveau-nés était le risque le plus élevé pour la santé des populations à côté des décharges. Il semble également qu'une mauvaise qualité de l'air peut tuer bon nombre d'organismes, y compris l'homme. Ce genre de pollution provoque des complications respiratoires, des maladies cardiovasculaires (dus à des particules fines présentes dans les déchets) ; il entraîne des lésions cutanées et endommage les systèmes nerveux et immunitaire (dus à des pluies acides) ; des troubles respiratoires (dus à certains gaz polluants tels que le dioxyde de soufre et l'oxyde d'azote), l'inflammation de la trachée, les douleurs abdominales et la congestion (Fielder *et al.*, 2000; Elliot *et al.*, 2001).

### **3.4 Effets sur la chaîne alimentaire**

Les substances polluantes qui se trouvent dans les déchets sont transférés à travers la chaîne alimentaire grâce aux phénomènes de bioaccumulation et bioamplification. Ainsi, les déchets déposés à même le sol transmettent des polluants et substances dangereuses qui s'infiltrent par l'intermédiaire des eaux pluviales, qui les entraînent vers les profondeurs. Ainsi, les végétaux les absorberaient, ensuite ces produits toxiques migrent jusqu'à l'homme qui consomme ces végétaux devenus toxiques. Ce risque de migration 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).

### **3.5 Impacts sur la faune et la flore**

Les effluents riches en azotes et les eaux de ruissellement transportant des engrais tendent à stimuler la croissance des algues dans les eaux côtières, pouvant causer une réduction d'oxygène capable d'entraîner la mort des poissons en eau profonde et de réduire la diversité biologique marine par la compétition (PNUD, 1999). Ces dépôts de déchets peuvent entraîner la destruction des éléments utiles pour l'homme et pour les animaux. Dans les pays industrialisés, la faune ichthyologique est surtout menacée par la pollution industrielle : les engrais azotés et phosphatés avec les phénomènes d'eutrophisation qu'ils provoquent, les déchets ménagers, les influents industriels et nombreux toxiques rejetés quotidiennement dans les milieux aquatiques rendent ces derniers inhabitables par les poissons. Quant aux dépotoirs, ils sont des cadres propices à la prolifération de la flore cryptogamique (champignons). L'action d'une décharge sur la flore s'évalue à travers les réponses des habitants de la localité sur la réduction du feuillage des arbres sous l'effet des gaz toxiques comme le sulfure d'hydrogène, le méthane, etc., émis par cette décharge (Abdelli, 2005).

### **3.6 Effets sur la santé publique**

La mauvaise gestion des déchets constitue l'une des sources irréfutables des nuisances sur la santé de l'homme. En effet, les substances comprises dans les déchets ménagers sont susceptibles d'engendrer des effets néfastes ou des atteintes à la santé humaine. Lorsqu'ils ne sont pas bien gérés, ils attirent les animaux tels que les chiens errants, les chats, les rats, les souris etc., des insectes nuisibles comme les moustiques, les mouches et les cafards mais aussi nuire à la santé de la population. Comme disait Diabaté (2010) : « Ces insectes constituent le facteur dominant de création de nids de production des vecteurs offrant des conditions bioécologiques favorables au développement de germes pathogènes (virus, bactéries, parasites) responsables de nombreuses maladies et causent plusieurs maladies dont le paludisme, l'hépatite, la fièvre jaune, la fièvre typhoïde, la diarrhée, le choléra ». Plusieurs travaux établissent un rapport entre une mauvaise gestion des déchets, la santé de la population et la qualité de l'environnement. Les recherches d'Abdelli (2005), Coulibaly (2006), et Toure, (2010) confirment que « la prolifération des déchets est source de nuisances visuelles, de morbidité animale et de maladies pulmonaires et cancérigènes ».

### **3.7 Impact sur l'économie**

La dégradation de l'environnement entraîne une dégradation au niveau sanitaire et sociale, cela engendrera des coûts importants pour la collectivité. Plus ces coûts s'avèreront importants plus le développement économique. La contamination des sols entraîne une diminution de la productivité agricole et en conséquence le manque de produits alimentaires, cela va induire le gouvernement à importer plus et par conséquent, l'augmentation des dépenses.

### **4 La gestion intégrée des déchets ménagers**

La gestion des déchets est devenue une préoccupation majeure en matière d'environnement, le code de l'environnement français a défini les dispositifs relatifs à la gestion durable des déchets par quatre objectifs appelés principes. Il s'agit de la prévention, de la valorisation, de l'élimination et de la transparence. Ces principes sont connus actuellement sous l'appellation des 3R-VE qui signifient : réduction, récupération, réutilisation, valorisation et élimination (MDDEP, 2010).

#### **4.1 La prévention ou le principe des 3R (Récupération, Réutilisation et Recyclage)**

La prévention est la phase la plus vertueuse dans la hiérarchie de gestion des déchets. Appelé le principe des 3R, la prévention permet de réduire la production des ordures ménagères nécessitant un traitement collectif. Il permet de produire moins ou de valoriser des déchets par :

- la réduction de la production des déchets (choix de matériaux recyclables non polluants, choix de produits à emballage limité ....) ;
- la réutilisation des déchets;
- le recyclage des déchets (compost, ...)

##### **4.1.1 Réduction**

La réduction peut être définie comme l'ensemble des mesures et des actions prises en amont pour réduire la nocivité des déchets par réduction des quantités produites et l'amélioration des matériaux valorisables. C'est-à-dire, qu'il faut réduire la consommation des produits, réutiliser par le recyclage les matériaux déjà extraits et limiter le cycle naturel des déchets. Cette réduction des déchets passe par un changement de comportement dans les habitudes de consommation et d'achat de chacun de nous. Nous pouvons éviter ce gaspillage par de simples gestes comme acheter ce dont on a vraiment besoin lors de nos achats, éviter

les produits sur emballés ou tout autre comportement nous conduisant à produire beaucoup de déchets, ne prendre des sachets que lorsque cela est nécessaire (Addou, 2009).

#### **4.1.2 Réemploi ou réutilisation**

Le réemploi ou la réutilisation est un nouvel emploi d'un objet/déchet pour un usage analogue à celui de sa première utilisation. C'est en quelque sorte, prolonger la durée de vie du produit avant qu'il ne devienne un déchet en le réparant ou en lui affectant une nouvelle place. Mais le produit garde toujours sa fonction initiale. Par exemple, les bouteilles consignées qui peuvent être de nouveau utilisées après nettoyage (Addou, 2009).

#### **4.1.3 Recyclage**

Le recyclage est un procédé par lequel les matériaux qui composent un produit en fin de vie (généralement des déchets industriels ou ménagers) sont réutilisés en tout ou en partie. Le recyclage consiste à récupérer les divers déchets ménagers. Ceux-ci sont collectés et triés en différentes catégories pour que les matières premières qui les composent soient recyclées. Il permet d'abord d'économiser de la matière première et donc de préserver les ressources naturelles de notre planète. Il permet également de réduire le volume et le poids de nos poubelles et donc de limiter les risques de pollution de l'air et des sols. Selon Ta thu thuy (1998), la récupération de matériaux recyclables réduit la quantité de déchets à traiter de 20 à 25%. Dans les pays industrialisés, les articles de consommation les plus couramment recyclés sont les canettes en aluminium, le fer, les boîtes de conserves, les bombes aérosol, les bouteilles en plastique, les bouteilles et pots en verre, le carton, les journaux, et les magazines (Alouiemine, 2006).

### **4.2 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 :

- la valorisation matière dont le recyclage et la récupération ;
- la valorisation organique dont le compostage et la méthanisation ;
- et la valorisation énergétique, c'est-à-dire l'incinération du déchet avec à la clé, la récupération de l'énergie sous forme de chaleur ou d'électricité. Le dernier type de traitement dans la hiérarchie est l'élimination qui correspond à la mise en décharge et l'enfouissement des matières des déchets (ultimes).

#### **4.2.1 La valorisation matière pour obtenir de nouveaux produits**

On distingue différentes formes de valorisation des matières liées aux conditions économiques, sociales et culturelles. Ces formes sont : le réemploi comme la réutilisation des bouteilles en verre, des emballages, etc. ; le recyclage qui permet d'obtenir de nouveaux produits en intégrant ces matières « premières secondaires » dans un nouveau cycle de production. La valorisation matière englobe donc : le recyclage et la récupération des déchets. Une grande partie du secteur informel est basée sur cette activité avec la récupération de carcasse de véhicules, de plastiques et de métal (Aloueimine, 2006).

#### **4.2.2 La valorisation organique**

La valorisation organique est une sorte de valorisation qui concerne les déchets biodégradables (fermentescibles). Elle est considérée « comme une valorisation matière, car de la matière est produite » (Lupton, 2011) par dégradation. Dans le milieu naturel, cette dégradation de la matière organique peut se faire par deux voies différentes :

- en conditions aérobies, c'est-à-dire en présence d'oxygène, pour former un amendement organique appelé humus ou compost. Il s'agit alors de compostage, qui se fait naturellement dans les litières forestières (Gouilliard et Legendre, 2003)
- en conditions anaérobies, c'est-à-dire en absence d'oxygène pour produire du gaz. Il s'agit de la méthanisation qui se déroule dans le milieu naturel, elle peut avoir aussi lieu spontanément au fond des eaux stagnantes (Gouilliard et Legendre, 2003).

- **Le compostage**

Le compostage est un processus microbiologique aérobie de décomposition de la matière organique par une microflore qui conduit à la synthèse d'amendement organique : l'humus aussi appelé compost. C'est un mode de traitement/valorisation des déchets ménagers qui concerne les déchets de scieries, les déchets d'industries agro-alimentaires, les boues de stations d'épuration, les déjections animales. Le compostage permet de traiter les ordures organiques et de lutter contre la pollution de l'environnement et d'obtenir les engrais organiques. Le compostage permet aussi d'améliorer la structure du sol et de réduire l'érosion. C'est une méthode intéressante du point de vue environnemental, car elle ne produit pas de déchets si ceux-ci sont préalablement triés correctement (Albrecht, 2007).

- **La biométhanisation**

La biométhanisation (ou digestion anaérobie) est un processus biologique de dégradation de la matière organique sous l'action de populations microbiennes appropriées qui, en l'absence d'oxygène, produit un mélange de méthane et de gaz carbonique ( $\text{CH}_4 + \text{CO}_2$ ) appelé biogaz. Elle s'applique à la plupart des déchets organiques, qu'ils soient d'origine municipale, industrielle ou agricole, solide ou liquide. La matière biodégradable est transformée en un compost désodorisé et hygiénisé et en biogaz (biométhane) énergétique, composé d'environ 60% de méthane, de 40% de  $\text{CO}_2$  et de composés gazeux à l'état de traces ( $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{NH}_3$ ...) (Moletta, 2008).

#### **4.2.3 La valorisation énergétique**

Ce type de valorisation est envisageable dans le cadre de la production de l'énergie. La valorisation consiste à utiliser les calories contenues dans les déchets, en les brûlant et en récupérant l'énergie ainsi produite pour chauffer des immeubles ou produire de l'électricité par exemple. Cette forme de valorisation consiste à brûler les déchets ménagers hétérogènes dans des fours aménagés à cet effet. La valorisation énergétique est un mode d'exploitation des déchets par traitement thermique ; elle a pour objectif de récupérer une partie de leur contenu énergétique. Cette combustion peut avoir lieu dans plusieurs types d'installations :

- les incinérateurs à déchets ménagers et assimilés
- les cimenteries, et
- les chaudières (pour le bois essentiellement) (Kaibouchi, 2004).

### **4.3 Elimination**

#### **4.3.1 Incinération**

L'incinération est un mode de traitement et d'élimination des ordures ménagères très répandu qui permet la réduction d'environ 90 % du volume et 75 % de la masse des déchets et la destruction complète des bactéries (Damien, 2009). Elle conduit à la formation de scories, appelés mâchefers d'incinération des ordures ménagères qui ont l'avantage de pouvoir être valorisées, sous certaines conditions, en travaux publics (remblai et autres). Elle consiste à brûler les ordures dans un four spécialement adapté à une température d'environ 850 °C en libérant de la chaleur et de la vapeur, des effluents gazeux (fumées), des mâchefers (30 %) et des cendres volantes (3 - 4 %). L'un des inconvénients majeurs de cette technologie est que ses rejets nécessitent un traitement très onéreux (Alouiemine, 2006).

### **4.3.2 Mise en décharge**

C'est la méthode la plus traditionnelle de stockage des déchets et la pratique la plus courante dans la plupart des pays, elle est choisie pour sa facilité et son faible coût. Historiquement, les décharges étaient souvent établies dans des carrières, des mines ou des trous d'excavation désaffectés (PNUD, 1999). Nous pouvons distinguer deux grands types de décharge : décharges sauvages et décharges contrôlées.

- **Décharge sauvage ou non contrôlée**

Ce type de décharge est sans doute le mode d'élimination terrestre le plus couramment appliqué dans les pays en développement. Il n'est précédé d'aucune étude d'impact ni analyse environnementale et les déchets sont mélangés sans tri d'où le nom de la « décharge non contrôlée » ou « décharge à ciel ouvert » ou « décharge sauvage ».

- **Décharge contrôlée**

C'est une décharge aménagée et exploitée de telle sorte qu'elle permet de stocker les déchets ménagers sans dommage sur l'environnement naturel et sans nuire à l'environnement humain (ANPE, 1997). Elle se caractérise par un site d'implantation choisi après une évaluation environnementale, une définition claire des déchets qui y sont admis ou refusés, une technologie adaptée au terrain pour réduire la pollution des milieux récepteurs, une gestion continue pour respecter les interdits (incendies, brûlages, explosions etc.), lutter contre les vecteurs de maladies et les nuisances, pour le contrôle, le drainage et le traitement des rejets de la décharge. Pour Koller (2004), une décharge contrôlée (également appelée centre d'enfouissement technique ou centre de stockage) est un site de qualité géologique convenable où les déchets sont disposés en couches minces, recouvertes de terre ou compactées par des engins spéciaux. Cette meilleure utilisation du terrain peut cependant entraîner la production de gaz et d'un liquide, les lixiviats qu'il faut traiter selon des techniques aujourd'hui bien maîtrisées. Il existe une classification des installations de stockage de déchets, réparties en 3 classes. Cette classification repose sur la valeur du coefficient de perméabilité du sol choisi pour accueillir une décharge. Ce coefficient définit la vitesse de percolation des eaux dans un sous-sol (Aina, 2006).

- **CET de classe I ou Centre de Stockage des Déchets Ultimes Stabilisés**

Les CSDUS reçoivent les déchets industriels spéciaux ultimes provenant des industries, des commerces, des services... Ces déchets nécessitent une stabilisation physico-

chimique préalable afin d'éviter le relargage d'éléments nocifs et toxiques dans l'environnement : la perméabilité à l'eau et de la fraction lixiviable sont réduites, la tenue mécanique est améliorée. Les déchets industriels spéciaux qu'on peut rencontrer sont :

- les déchets industriels spéciaux de catégories A qui sont : les résidus de l'incinération; les résidus de la sidérurgie : poussières, boues d'usinage; les résidus de forages; les déchets minéraux de traitement chimique : sels métalliques, sels minéraux, oxydes métalliques.

- les déchets de catégories B qui sont : Les résidus de traitement d'effluents industriels et d'eaux industrielles, de déchets ou de sols pollués; Les résidus de peinture: déchets de peinture solide, de résine de vernis; Les résidus de recyclage d'accumulateurs et de batteries: par exemple les résidus d'amiante; les réfractaires et autres matériaux minéraux usés et souillés.

- **CET de classe II**

Ces centres sont habilités à stocker les déchets ménagers ultimes dont on a préalablement extrait la fraction valorisable, les DIB et les résidus de traitement et de valorisation des ordures ménagères. Il s'agit des ordures ménagères, des déchets ménagers encombrants, des déblais et gravats, des déchets commerciaux, artisanaux et industriels banals assimilables aux ordures ménagères, des déchets d'origine agricole ne présentant pas de danger pour la santé humaine et l'environnement et des boues en provenance de l'assainissement urbain. Dans ces centres, l'exploitation est organisée en casiers, eux-mêmes subdivisés en alvéoles qui permettent ainsi de limiter la zone en exploitation.

- **CET de classe III**

Ces installations classées reçoivent exclusivement les déchets inertes (gravats, ciment,). La Directive exige en outre que les CET soient étanches aux émanations gazeuses et liquides. Le biogaz piégé et valorisé, le système de drainage doit permettre la récupération des lixiviats et la mise en place d'un système de traitement pour décontaminer les lixiviats.

## Chapitre II : Les lixiviats

### 1 Définition

Le lixiviat est défini comme étant l'eau qui percole à travers les déchets en se chargeant de différents germes et de substances minérales et organiques polluantes (Obbard *et al.*, 1999). Appelé également « jus de décharge », c'est le résultat de la solubilisation de composés lors de la percolation de l'eau à travers les quantités de déchets. Ce percolât est donc un effluent complexe caractéristique de la décharge dont il est issu. Il doit donc être traité avant d'être rejeté dans l'environnement (El Bada *et al.*, 2010).

Selon la législation européenne, le lixiviat peut être définie comme « tout liquide filtrant par percolation des déchets mis en décharge et s'écoulant d'une décharge ou contenu dans celle-ci ». Plus habituellement, le lixiviat se produit de l'eau qui s'infiltré à travers les déchets et se charge en microbes, en produits chimiques, en substances organiques et minérales dissoutes ou en suspension (Kulikwaska *et al.*, 2008)

### 2 Formation et composition des lixiviats

#### 2.1 Formation des lixiviats

Lorsque les eaux des précipitations ou celles de fonte de neige s'infiltrent à travers les strates des déchets enfouis, il y a formation de lixiviat. Ces eaux de percolation entraînent avec elles de la matière organique décomposée et des matières inorganiques. Les déchets contiennent également un taux d'humidité qui peut s'ajouter aux eaux infiltrées qui influencent la quantité des lixiviats produits, ainsi que leurs qualités en termes de contaminants. La formation des lixiviats dans les cellules d'enfouissement met en jeu plusieurs phénomènes qui joueront plus ou moins en fonction de la nature des déchets, l'âge de la décharge, les conditions climatiques et géologiques ainsi que le mode d'exploitation du centre de stockage (El Fadel *et al.*, 2002). Ces phénomènes peuvent être répartis en deux catégories :

\* **Les mécanismes physico-chimiques** : évolution du pH, du pouvoir tampon, de la salinité et du potentiel d'oxydoréduction des solutions qui percolent à travers les déchets. Ces solutions mettent en œuvre des mécanismes chimiques de solubilisation, oxydoréduction, adsorption, neutralisation, transfert de matière etc., (Colin, 1984).

\* **Les mécanismes biologiques** : les déchets enfouis servent de substrats aux micro-organismes responsables de la dégradation de la fraction organique fermentescible en présence ou en absence d'oxygène. Les effets de cette activité microbiologique peuvent être multiples, directes ou indirectes et peuvent déclencher des phénomènes physico-chimiques secondaires (Belle, 2008).

Il en résulte alors une modification des conditions du milieu (pH, température, potentiel d'oxydoréduction (Colin, 1984).

## 2.2 Composition des lixiviats

Les principaux paramètres qui influencent la composition du lixiviat sont (Jordening et Winter, 2005).

- La composition des déchets enfouis
- Leur degré de décomposition
- Leur taux d'humidité
- La température
- Taux d'infiltration de l'eau dans les déchets
- Les conditions climatiques

Selon Pronost et Matijka, les lixiviats sont composés de:

- La matière organique dissoute ou en suspension, qui est le résultat issue de la biomasse, exprimée généralement en DCO (les acides gras volatiles (AGV), les substances humiques et fulviques...).
- Les micropolluants organiques composés essentiellement d'hydrocarbures, de composés aromatiques...).
- Les composés minéraux majeurs sous forme ionique ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^{2+}$ ,  $\text{K}^{+}$  ...) ainsi que d'autres composés tels que les borates, les sulfites ... (Xu *et al.*, 2006). Les cations de métaux lourds à l'état de traces, majoritairement sous forme liées aux ligands minéraux ( $\text{HCO}^{-3}$ ,  $\text{Cl}^{-}$ ,  $\text{SO}_4^{-2}$ ) ou organiques (macromolécules de type humique et fulvique).
- Plusieurs familles de composés organiques ont pu être identifiées dans de nombreuses études sur la caractérisation de lixiviat des décharges (Oman et Junestedt, 2008 ; Oman et Hynning, 1993). Parmi eux, des composés carbonés cycliques ou aromatiques, des composés benzéniques mais aussi des alcools éthers, cétones, acides, phénols, et enfin des composés azotés soufrés et phosphorés. Parmi toutes ces molécules certaines, comme le chloro- et di chlorobenzène, le toluène, le styrène, le naphthalène et le xylène, sont reconnues comme des

polluants prioritaires et représentent une menace sérieuse pour l'environnement. Les lixiviats peuvent aussi contenir certains micro-organismes pathogènes (Silliet *et al.*, 2001).

## **2.3 Types des lixiviats**

Le facteur temps constitue un élément important de distinction des types de lixiviats. En effet, suivant le stade d'évolution biologique des déchets on distingue trois types de lixiviats.

### **2.3.1 Les lixiviats jeunes (<5 ans)**

Ce genre de lixiviat possèdent une charge organique élevée qui se traduit par une DCO > 20000 mg/l (Kulikowska et Klimiuk , 2008) et une biodégradabilité moyenne de DBO5 et DCO > 0,3. Ces lixiviats sont composés principalement d'acides gras volatils et sont chargés en métaux (jusqu'à 2 g/L), leurs pH est par conséquent acide de l'ordre de 6,5 (Barres *et al.*, 1990).

### **2.3.2 Les lixiviats intermédiaires**

C'est une phase de transition entre le lixiviat jeune et le lixiviat stabilisé. Le pH s'approche généralement de la neutralité et la charge organique est nettement plus faible que celle du jeune (entre 3 000 et 15 000 mg/L). Le rapport DBO5/DCO avoisine les 0,2. Le pourcentage en acides carboxyliques est faible (20 à 30%). Ce genre de lixiviat est faiblement biodégradable et c'est plutôt les procédés physico-chimiques qui sont préconisés pour son traitement (Barres *et al.*, 1990).

### **2.3.3 Les lixiviats stabilisés ou âgés de plus de 10 ans**

Ils sont aussi appelés les lixiviats vieux. La DCO ne dépasse pas les 2 000 mg/ L et le pH est légèrement basique (7,5 à 8,5), les acides carboxyliques et les métaux n'existent presque pas dans ces eaux, mais la teneur des composés à haut poids moléculaire est importante Ce sont des lixiviats composés d'une faible charge organique, représenté essentiellement de substances humiques (acides fulviques et humiques) de haut poids moléculaire (DBO dépasse 3000 mg/L) (Kulikowska et Klimiuk, 2008). Le tableau 1 présente une comparaison des lixiviats selon l'âge de la décharge.

**Tableau1** : Comparaison des lixiviats selon l'âge de la décharge (Millot, 1986)

	<b>Lixiviats Jeunes</b>	<b>Lixiviats intermédiaires</b>	<b>Lixiviats Stabilisés</b>
<b>Age de la décharge</b>	<b>&lt; 5 ans</b>	<b>5 à 10 ans</b>	<b>&gt; 10 ans</b>
<b>pH</b>	<b>&lt; 7</b>	<b>=7</b>	<b>&gt; 7</b>
<b>DCO (mg O<sub>2</sub>/L)</b>	<b>&gt; 20000</b>	<b>3000 à 15000</b>	<b>&lt; 2000</b>
<b>DBO5/DCO (biodégradabilité)</b>	<b>Moyenne &gt; 0,3</b>	<b>Assez faible 0,1 à 0,3</b>	<b>Très faible &lt; 0,1</b>
<b>Concentration en acides organiques</b>	<b>-</b>	<b>Moyenne 20 à 30 % du DCO</b>	<b>Nulle</b>
<b>Charge organique</b>	<b>Prédominance des acides gras volatils</b>	<b>Réduction des acides gras volatils</b>	<b>Prédominance des macromolécules</b>

#### **4 Types des polluants présents dans les lixiviats**

Les lixiviats d'une vieille décharge sont donc globalement moins chargés que ceux d'une jeune décharge mais plus difficiles à traiter. Les principaux polluants rencontrés dans les lixiviats sont d'origines physico-chimiques et biologiques, elles sont énumérées ci-dessous

##### **4.1 Acides gras**

Les acides gras font partie des constituant majeurs des animaux et des végétaux. Selon le nombre des doubles liaisons éthyléniques, ils se répartissent en trois grands groupes: les acides gras saturés (aucune doubles liaisons) ramifiés ou non, les mono insaturés (une seule double liaison) et les polyinsaturés (au moins deux doubles liaisons) (Ademe, 2000).

## 4.2 Composés ligno-cellulosiques

Les composés ligno-cellulosiques (cellulose, hémicellulose et lignine) font références au règne végétal. Leurs présences dans les centres d'enfouissements techniques sont principalement dus aux 12% de déchets verts à raison d'environ 20 % ils sont représentés par le bois, l'herbe et les feuilles. 25% sont le résultat de la présence de papiers de cartons et de journaux entreposés (Ademe, 2000).

## 4.3 Composés associés aux matières plastiques

Dans les déchets ménagers par exemple, on retrouve environ 11% de matière plastiques non biodégradable (Ademe, 2000). Les plastifiants et les stabilisants sont les principaux composés ajoutés aux résines pour leur conférer diverses propriétés chimiques, physiques et mécaniques du plastique. Ces composés sont instables grâce aux lessivages. Les lixiviats peuvent par conséquent capter ces composés et même passer dans les eaux naturelles. Les stabilisants sont des additifs introduits dans les matières plastiques, ils assurent une protection contre l'altération des matériaux provoquée par la chaleur, l'oxydation ou les rayonnements solaires. Le principal stabilisant qu'on trouve dans les lixiviats est le bisphénol A (Li *et al.*, 2006).

Concernant les plastifiants, ce sont des esters organiques ajoutés au plastique afin d'améliorer sa flexibilité et sa robustesse. Les principaux plastifiants utilisés sont les esters d'acides dicarboxyliques de haut point d'ébullition appelés "phtalates". Ils sont principalement utilisés dans la fabrication du polychlorure de vinyle souple (80%) (Bauer *et al.*, 1997). Ils sont aussi utilisés dans le revêtement de sol, les emballages alimentaires, les garnitures des voitures..., ils peuvent aussi être incorporés dans les encres, les pigments et les peintures. Ils se retrouvent donc dans plusieurs produits d'usage courants. L'exposition aigue et à long terme à ces produits cause des atteintes au niveau du foie et des testicules chez les mammifères et peut même conduire à la mort des animaux aquatiques. Les phtalates peuvent aussi engendrer des modifications dans la mobilité et la biodiversité de certaines substances toxiques comme les biphényles polychlorés et les ions métalliques (Moder *et al.*, 1998). Ils ont été identifiés dans les lixiviats des décharges et dans plusieurs écosystèmes (Bauer *et al.*, 1997). Ce sont des produits faiblement biodégradables et peuvent donc persister dans la nature et contaminer les eaux souterraines et superficielles.

#### **4.4 Les phénols**

Les composés phénoliques et les polyphénols sont des molécules spécifiques de règne végétal. Ces molécules peuvent être de structure monomères, polymères ou complexes. Ils ont été retrouvés dans plusieurs études dans les lixiviats de décharge.

#### **4.5 Les pesticides**

Les pesticides sont utilisés en quantité immense depuis plusieurs années dans l'agriculture. On retrouve des résidus de pesticides dans les lixiviats. Les composés phytosanitaires les plus retrouvés dans les lixiviats sont le lindane, le bentazone, le 2,6-dichlorobenzamide, l'atrazin et bien d'autres (Oman *et al.*, 1993).

#### **4.6 Les métaux lourds**

Neuf éléments ont été énumérés dans le rapport 42 de l'Académie des sciences (1998), comme étant des éléments traces à risques pour la santé humaine. Il s'agit du cuivre (Cu), du chrome (Cr), de l'arsenic (As), du cadmium (Cd), du plomb (Pb), du mercure (Hg), du nickel (Ni), du sélénium (Se), et du zinc (Zn). Ces éléments ont été retrouvés dans les lixiviats de décharges (Rollin et Quiot, 2006).

#### **4.7 Les microorganismes**

Les bactéries servent de nourriture à de nombreux organismes comme les protozoaires par exemple. Elles favorisent aussi la fixation d'algues ou de larves sur certains substrats surtout par le phénomène de la formation de biofilms. Elles permettent également la dégradation de certains polluants et xénobiotiques. Ces contaminants bactériens peuvent être véhiculés à l'homme par les eaux. Les percolats peuvent contenir certains microorganismes mésophiles pathogènes, en particulier *Clostridium perfringens*, *Pseudomonas aeruginosa* et *Staphylococcus aureus* (Delolme et Jabob, 1998).

### **5 Principaux paramètres caractérisant les lixiviats**

Les principaux paramètres qui caractérisent un lixiviat sont :

- \* La demande Chimique en Oxygène (DCO) ;
- \* la demande Biologique en Oxygène (DBO<sub>5</sub>) ;
- \* Le carbone Organique Total (COT) ;

\* La teneur en matière azotée et phosphorée (azote organique,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NO}_2^-$ , phosphore total,  $\text{PO}_4^{3-}$ ) ;

\* Le pH, la conductivité ;

\* La concentration en métaux lourds (Fe, Zn, Cu, Cd, Pb, Ni, Hg, Ag) ;

\* La teneur en micropolluants organiques (hydrocarbures, phénols, pesticides et solvants) ;

\* Acides gras volatiles (AGV) ;

\* Les micro-organismes pathogènes (coliformes totaux) (Aloueimine, 2006)

Le Tableau ci-dessous donne les valeurs extrêmes qui peuvent être retrouvées dans un lixiviat.

**Tableau 2** : Caractéristiques des lixiviats d'ordures ménagères (Berthe, 2006)

	<b>Paramètres</b>	<b>Valeurs limites</b>
<b>Paramètres globaux</b>	pH	4,5-9
	Conductivité	2500-25000 $\mu\text{S}/\text{cm}$
	COT	30-27700 mg/L
	DBO5	20-57000 mg O <sub>2</sub> /L
	DCO	140-9000 mg O <sub>2</sub> /L
	NTK	14/2500 mg N/L
<b>Principaux ions (mg/L)</b>	Ammonium	50-1800
	Calcium	10-7200
	Fer	1-5
	Manganèse	0,03-1400
	Potassium	50-3700
	Sodium	70-7700
	Carbonate	610-7320
	Chlorure	150-4500
	Sulfate	8-7750

## **6 Genèse des lixiviats**

Les mécanismes de la genèse des lixiviats sont très complexes, ils sont de natures biologique et physico-chimique. Ils impliquent la connaissance de l'âge de la décharge, la nature des déchets enfouis, le mode d'exploitation du centre de stockage des déchets et les interactions entre l'eau et les déchets (Kulikowska et Klimiuk, 2008).

### **6.1 Mécanismes biologiques**

On distingue pour les décharges d'ordures ménagères cinq phases d'évolution (Wagner et Vassel, 1997).

#### **6.1.1 Hydrolyse**

Au début de cette étape, les molécules hydrolysées sont utilisées par les bactéries aérobies. Ces réactions conduisent à l'épuisement rapide de l'oxygène et provoquent le passage en dégradation anaérobie. Il en résulte une chute du potentiel d'oxydoréduction, apparition d'acides carboxyliques et augmentation rapide de la charge organique. L'attaque de la matière organique par les enzymes bactériennes conduit à un mélange de sucres simples (osides) et d'acides aminés libres qui pourront servir de nutriments dans la phase suivante.

#### **6.1.2 Acidogenèse**

Les produits solubilisés au cours de l'étape précédente (sucres, acides aminés...) sont dégradés en alcools et en acides gras volatils. Le pH des lixiviats chute, ce qui provoque une solubilisation accrue des minéraux contenus dans les déchets, une consommation de l'azote et du phosphore pour la croissance de la biomasse avec production de CO<sub>2</sub> et de H<sub>2</sub>.

#### **6.1.3 Acétogenèse**

Les acides gras volatils sont transformés sous l'action de microorganismes acétogènes en acétates, hydrogène et bioxyde de carbone. Le pH du lixiviat augmente.

#### **6.1.4 Méthanogenèse**

Les bactéries méthanogènes transforment les métabolites intermédiaires à savoir l'acide acétique, l'acide formique, le méthanol, le dihydrogène en CH<sub>4</sub> et CO<sub>2</sub>. Le pH remonte sous le contrôle de la capacité tampon des carbonates. Le potentiel redox est à sa valeur minimale, les espèces métalliques sont complexées et précipitées. La charge organique diminue fortement en liaison avec l'augmentation de la production de biogaz.

### **6.1.5 Maturation**

La phase de méthanogène est suivie d'une maturation finale de la décharge. C'est la fin des phénomènes de biodégradation, avec stabilisation de la matière organique et chute de la production de biogaz jusqu'à permettre progressivement l'infiltration d'air dans le massif. Ceci a pour conséquence de voir réapparaître des conditions oxydantes qui engendrent une production de dioxyde de carbone résultant de la réaction d'oxydation du méthane résiduel ainsi qu'une métabolisation très lente des produits peu biodégradables avec formation des molécules complexes de type acides humiques.

### **6.2 Mécanismes physico-chimiques**

Les principaux mécanismes sont :

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

### **6.3 Traitements des lixiviats**

Les lixiviats de décharge représentent des sources potentielles de contamination des eaux de surface et des eaux souterraines. Par conséquent plusieurs méthodes physico-chimiques et biologiques sont utilisées dans le traitement de ces eaux usées fortement polluées.

#### **6.3.1 Méthodes physico- chimiques**

##### **6.3.1.1 Coagulation et floculation**

Le but principal de la coagulation-floculation est de déstabiliser les particules en suspension, c'est-à-dire de faciliter leur agglomération (Renou *et al*, 2008). Ce procédé est caractérisé par l'injection et la dispersion de produits chimiques (coagulants). La coagulation consiste à ajouter des sels métalliques qui se lient aux colloïdes et les neutralisent. La floculation a pour but de favoriser le contact entre les particules déstabilisées qui s'agglomèrent pour former un flocc qu'on pourra éliminer par décantation. On peut distinguer les flocculants minéraux comme la silice activée et la silicoaluminates des flocculants

organiques comme les alginates et les amidons. Ce processus permet d'éliminer la turbidité, MES, couleur, dureté (Kurniawan *et al.*, 2006).

#### **6.3.1.2 Adsorption**

L'adsorption est la méthode la plus généralement appliquée pour le déplacement des composés organiques récalcitrant 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 se trouve sous forme granulaire ou en poudre. 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 granulaire 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 s'est avéré également 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 (Dégrémont, 1989).

#### **6.3.1.3 Flottation**

Le principe de cette méthode est d'éliminer les colloïdes, les ions, les macromolécules, les micro-organismes et les fibres (Rubio *et al.*, 2002). 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 a été étudiée. Sous les conditions optimales, près de 60% d'acide humique a été éliminé (Zouboulis *et al.*, 2003).

#### **6.3.1.4 Précipitation chimique**


C'est une méthode simple et peu coûteuse. Elle est utilisée pour éliminer les métaux lourds, les composés organiques et l'azote ammoniacal à partir des lixiviats (Ozturk *et al.*, 2000 ; Cecen *et al.*, 2000). 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 (MAP) 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).

### 6.3.1.5 Osmose inverse

L'Osmose Inverse (OI) est un traitement physico-chimique alternatif pour le lixiviat stabilisé. Elle utilise les propriétés de membranes semi-perméables à travers lesquelles l'eau migre, alors que tous les solutés sont rejetés, à l'exception de quelques molécules organiques très voisines de l'eau (faible masse molaire, forte polarité). Dans l'application d'OI, n'importe quel liquide qui contient des cations en métal peut passer par une membrane de telle manière que les concentrations en métal soient réduites. 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).

### 6.3.2 Méthodes biologiques

Le traitement biologique est le procédé qui permet la dégradation des polluants grâce à l'action de micro-organismes. Plusieurs micro-organismes sont associés à cette dégradation. Parmi eux, on trouve généralement des bactéries, des algues, des champignons et des protozoaires. Cette microflore, extrêmement riche, peut s'adapter à divers types de polluants qu'elle consomme sous forme de nourriture (substrats). Il est ainsi possible d'utiliser cette microflore dans un processus contrôlé pour réaliser l'épuration des lixiviats des décharges dont le principe général s'écrit comme suit :

Lixiviat à traiter + Biomasse épuratrice + O<sub>2</sub>  Lixiviat traité + Biomasse décantable + CO<sub>2</sub>

Les traitements biologiques, sont surtout efficaces sur les lixiviats jeunes ou non stabilisés. Les composés organiques sont soit dégradés en conditions aérobies sous forme de CO<sub>2</sub> avec production de boues, soit en conditions anaérobies sous forme de biogaz (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>) qu'il sera possible de valoriser (Dhaouadi, 2008).

#### 6.3.2.1 Procédés aérobies

Les procédés aérobies restent les plus nombreux. Leur principe est de provoquer en présence d'oxygène une prolifération plus au moins contrôlée de micro-organismes capables de dégrader les matières organiques apportées par l'effluent à traiter. Il s'agit, en fait, d'un véritable transfert d'une forme non accessible de la pollution (matières colloïdales et dissoutes) en une forme manipulable (suspension de microorganismes). Les micro-organismes

responsables de l'épuration biologique s'agglomèrent sous forme de floccs et se développent en utilisant la pollution comme substrat nécessaire à la production d'énergie vitale et à la synthèse de nouvelles cellules vivantes. Une partie des éléments polluants qui n'est pas dégradée biologiquement peut être adsorbée et incorporée aux floccs de boues biologiques (Dhaouadi, 2008). La biomasse constituée de micro-organismes hétérotrophes peut être libre, en suspension plus au moins agrégée, en floccs, c'est le cas des bassins d'aération à boues activées et les lagunages (Mehmood *et al.*, 2009). Elle peut aussi être fixée sur un support à travers lequel percole le lixiviat à traiter, on parle alors des lits bactériens fixes, des bio-filtres, ou des filtres à pierre (Lyberatos, 2006). Ce type de traitement est efficace pour éliminer les polluants organiques et de l'ammoniac, mais il a des inconvénients tels que :

\*La nécessité de grande période d'aération (Zouboulis, 2001)

\* Grande demande énergétique et la production de boue en excès (Hoilijoki *et al.*, 2000)

\*La concentration élevée d'azote ammoniacal inhibe l'activité microbienne (Lema *et al.*, 1988).

### **6.3.2.2 Procédés anaérobies**

Les traitements anaérobies restent réservés aux cas de pollution fortement concentrée, pour laquelle l'apport d'O<sub>2</sub> en quantité suffisante pose un problème. Ce traitement produit peu de matière et consomme peu d'énergie, dont on peut aussi utiliser le méthane produit pour réchauffer le digesteur, ce procédé est sensible aux matières toxiques (Sung Sung *et al.*, 1997).

Selon Welanden et Henrysson (1998), un traitement biologique ou la combinaison de traitements biologiques aérobie et anaérobie ne suffit pas pour atteindre un niveau satisfaisant pour le rejet au milieu naturel. Les lixiviats seront traités efficacement en combinant un procédé microbiologique à un procédé chimique ou physique.

## **7 Impacts des lixiviats sur l'environnement**

La présence des lixiviats non traités et chargés en polluants et substances toxiques entraîne une pollution des milieux touchés. Cette pollution se traduit par une détérioration de la qualité des eaux mettant en danger la vie des végétaux, des animaux qui les ingèrent et, au sommet de la chaîne alimentaire, l'homme. La contamination des eaux peut être soit par infiltration directe dans les sols et polluer les nappes phréatiques, et causer un problème d'alimentation en eau potable par pollution des captages d'eau, soit par rejet des effluents, traités ou non, dans le réseau hydrographique de surface ce qui a pour conséquence une

détérioration des écosystèmes aquatiques, en particulier liée au problème d'eutrophisation qui menace la vie piscicole par asphyxie (Belle, 2008). Les lixiviats des décharges engendrent trois types de pollution:

## **7.1 Pollution par les microorganismes**

Les lixiviats peuvent contenir des agents pathogènes responsables de nombreuses maladies à transmission hydrique d'origine bactérienne. Les principales bactéries qu'on peut trouver dans les lixiviats sont :

### **7.1.1 Les salmonelles**

Les salmonelles ou *Salmonella typhi*, *S. para typhi A* et *S. para typhi B*, sont les agents causales de la typhoïde appelée aussi fièvre typhoïde. Ces bactéries retrouvées dans l'eau et même dans certains aliments contaminés, se disséminent à partir des intestins pour s'installer dans les différents tissus humains, causant des cas de septicémies graves et une mort des sujets atteints (Bengaibona, 2010). Chez l'homme la plupart des autres sérotypes de *Salmonella* provoquent des gastroentérites aiguës avec diarrhée. Environ 12 millions de personnes sont infectées par la typhoïde chaque année (OMS, 2000).

### **7.1.2 Vibrio cholerae**

*Vibrio cholerae* est l'agent pathogène du choléra, une maladie épidémique contagieuse. La transmission du vibriion se fait par les eaux polluées, les produits marins contaminés, ou les fruits et légumes arrosés. L'infection résulte de la sécrétion de toxine cholérique dans l'intestin, causant une importante déshydratation avec une évolution mortelle sans réhydratation et antibiothérapie. Les signes cliniques le plus caractéristiques sont la diarrhée aqueuse et les vomissements abondants (Sack *et al.*, 2004).

### **7.1.3 Legionelles ou Legionella**

Legionella est une bactérie ubiquitaire qu'on retrouve essentiellement dans les environnements aquatiques. Elle est transmise directement de l'environnement à l'homme. L'inhalation d'aérosols infectieux issus de réservoirs hydriques contenant la bactérie constitue l'unique voie de contamination aujourd'hui décrite (Fields *et al.*, 2002). Legionella est l'agent causal de la maladie du légionnaire, c'est une infection pulmonaire aiguë qui débute par un état grippal avec fièvre, toux sèche, céphalées, avant qu'apparaisse un tableau plus sévère associant une température élevée, des malaises et douleurs abdominales parfois accompagnés

de troubles neurologiques. Les complications peuvent être un choc, une insuffisance respiratoire et/ou rénale (Jarraud et Freney, 2006).

#### **7.1.4 Shigella ou shigelles**

Les shigelles sont des bactéries strictes des humains. Elles se propagent directement par voie féco-orale de l'homme malade à son entourage par les mains sales ou par l'eau de boisson contaminée et les aliments souillés (lait, crèmes glacées, salades, produits carnés, etc.) ou indirectement par des déjections contenant *Shigella* (Aumaître *et al.*, 2004). Ces bactéries provoquent une inflammation de la muqueuse de l'estomac ou de l'intestin appelée gastro-entérite. La forme dysentérique aiguë typique de l'adulte se caractérise par des douleurs abdominales, souvent accompagnées de vomissements, d'épreintes et de l'émission permanente de selles innombrables, glairo-sanglantes et purulentes, voire parfois hémorragiques. La fièvre est élevée, avec altération de l'état général. Le malade guérit le plus souvent spontanément en quelques jours et plus rapidement après administration d'antibiotiques (Xavier *et al.*, 2007).

#### **7.1.5 Escherichia coli (E. coli)**

*Escherichia coli* (*E. coli*) est une entérobactérie commensale du tube digestif de l'homme et des grands mammifères herbivores, qui nous protègent de l'implantation de bactéries pathogènes (flore de barrière). C'est une bactérie indicatrice de la pollution fécale d'animaux à sang chaud (Ashbolt *et al.*, 2001). Certaines souches dites « pathogènes » sont capables de provoquer chez l'hôte des infections que l'on classe en deux catégories : infections intestinales (diarrhées), et infections extra-intestinales (infections urinaires, bactériémies, méningites néonatales) (Trabulsi *et al.*, 2002). La transmission à l'homme passe principalement par la consommation ou la manipulation d'aliments contaminés, des produits laitiers non pasteurisés crus, des légumes crus et des graines germées, des produits d'origine végétale non pasteurisés (tels que les jus) et de l'eau de boisson (Ashbolt *et al.*, 2001).

## **7.2 Pollution par les métaux lourds**

Les lixiviats des décharges contiennent des concentrations élevées en métaux lourds. La migration des métaux dans les sols et leur infiltration vers les eaux souterraines participe dans plusieurs phénomènes : la solubilisation à pH acide, la complexation par la matière organique humique, la rétention de MES sur les particules de sol, les précipitations à pH basique, et le phénomène d'échange d'ions (Lagier, 2000).

### **7.3 Pollution par les matières organiques et minérales**

Si les conditions d'enfouissement des déchets ne sont pas respectées, la matière organique migre vers les eaux de surface et souterraines, et provoque leur contamination par la fraction organique et minérale qui se trouve dans les lixiviats des centres d'enfouissement techniques. La fraction minérale est constituée principalement de chlorures, sulfates, bicarbonates, sodium, potassium et ammonium, alors que la partie organique est liée à l'âge des déchets (Christensen *et al.*, 2001).

# *Méthodologie*

# **I. Bilan des activités de l'année 2015**

## **1 Introduction**

Dans le cadre de la nouvelle politique environnementale recommandée par le gouvernement Algérien et le programme national de gestion intégrée des déchets ménagers et assimilés (PROGDEM), la wilaya de Khenchela a confié la gestion des traitements des déchets ménagers au Centre d'enfouissement Technique. L'ouverture d'un centre d'enfouissement technique (CET) à Khenchela, constitue un pas important dans la réalisation des objectifs de la wilaya dans le cadre du développement durable, il s'agit des fermetures de cinq décharges sauvages, préservation de l'hygiène publique, la propreté des agglomérations, l'élimination saine, écologique et rationnelle des déchets, la valorisation des déchets recyclables et la création d'emplois verts. Les informations et les données recueillis dans cette partie du mémoire nous ont été procurées par l'établissement Public de Gestion des Centres d'Enfouissement EPWG CET Khenchela de Baghai, Appelé « NADHIF Khenchela ».

## **1 Description du site d'étude**

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. Ce CET offre à ces clients les six Communes : Khenchela, El Hamma, Mahmel, Baghai, Mtoussa et N'sigha un service de traitement des déchets 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.

Le CET de Baghai occupe un site de 20 hectares permet de traiter 110 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 pour une population de 200 000 habitants et permet de traiter 17 tonnes d'ordures par jour. 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.

L'établissement est équipé d'un bloc administratif, bâtiment d'accueil, parking, ateliers d'entretien, garage mécanique, pont bascule, hangar de tri, 02 casiers, trois bassins de traitement des lixiviats et des équipements d'exploitation (engins).

## 2 Procédés de l'enfouissement des déchets

### 2.1 Réception des déchets

Pour être admis dans l'installation de stockage les déchets doivent satisfaire :

\* **Au contrôle de la qualité** : C'est-à-dire la vérification des déchets autorisés. Il s'agit des ordures ménagères et assimilées, les déchets de service de nettoyage, les déchets des écoles, les déchets des bâtiments publics, les déchets des services d'administration et les déchets encombrants. Les déchets interdits sont : les déchets de soins, les déchets inertes (gravats) les cadavres d'animaux, les carcasses des véhicules, les déchets contaminés, les déchets industriels dangereux et les déchets liquides.

\* **Au contrôle de la quantité** : C'est-à-dire le pesage, l'enregistrement et la délivrance d'un accusé de réception écrit pour chaque livraison admise sur le site.

### 2.2 Enfouissement des déchets

#### 2.2.1 Mise en place des déchets autorisés dans les casiers

Une fois les déchets sont pesés par pont de bascule au niveau du poste de contrôle (**Fig.1**), 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.2**). 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 1 : Pont de bascule du CET**



**Figure 2 : Déchets déversés et assemblés dans des alvéoles**

### **2.2.2 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. Il permet également de minimiser les odeurs, les risques d'incendie et la prolifération d'organismes nuisibles.

### **2.2.3 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 (**Fig. 3**). Ce matériau approprié et disponible permet d'éviter :

- L'envol des déchets;
- La dispersion des poussières;
- Les mauvaises odeurs;
- La prolifération des animaux errants.



**Figure 3 : Opération de couverture des alvéoles**

#### 2.2.4 Collecte des lixiviats produits dans le CET

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.4**).



**Figure 4 : Bassin de décantation des lixiviats**

### 3 Etat des casiers du CET depuis son ouverture jusqu'à l'année 2015

Un casier est une fosse étanche contenant les alvéoles destinées à recevoir les déchets ménagers. Il est doté d'un système de drainage des lixiviats pour leurs traitements. Le premier étage (5m de hauteur) a été rempli en mois de juin 2011. Ce premier étage occupe un volume de 60000 m<sup>3</sup>; avec une quantité de 10 000 tonnes de déchets. Il est rempli et recouvert avec une couche de tuf 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<sup>ème</sup> 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<sup>ème</sup> alvéole du casier est n'a pas été exploitée pendant la mauvaise saison, à cause des difficultés de passage des véhicules dans le casier.

En 2014, le remplissage de la 6<sup>ème</sup> 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.

Le taux de remplissage du casier N°1 a atteint 97 % avec une quantité de 174 625.69 tonnes de déchets enfouis dans un volume de 180000 m<sup>3</sup> (Fig.5).

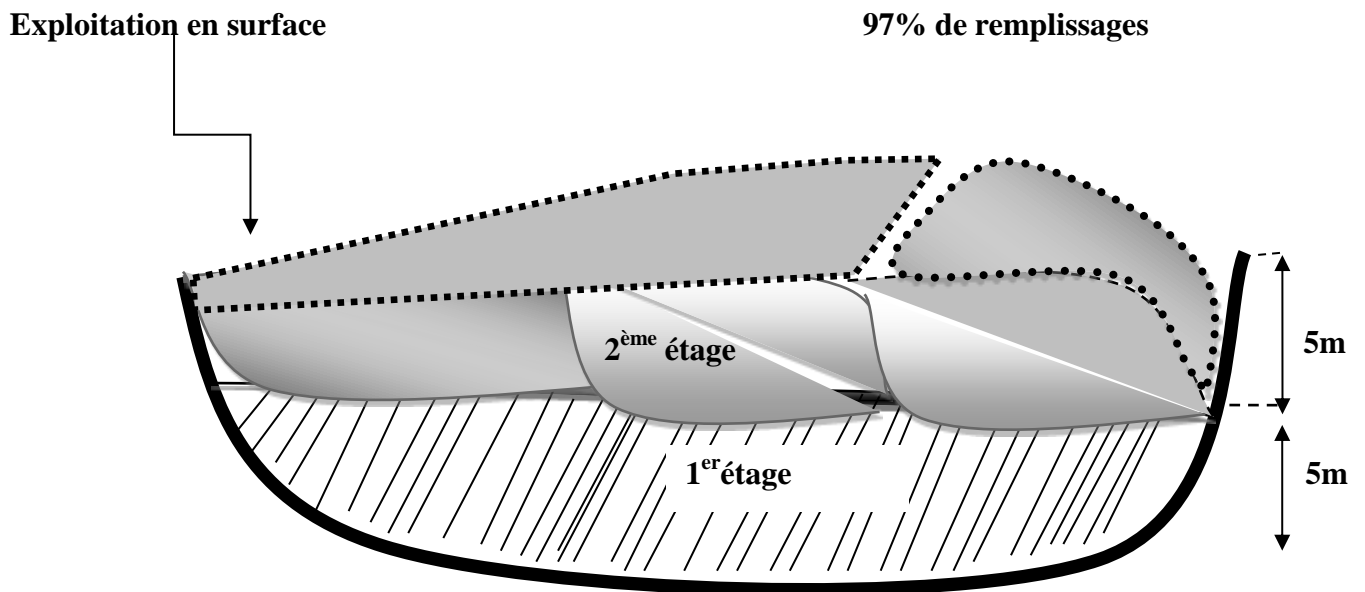


Figure 5 : Etat du casier CET de Baghai durant l'année 2015

#### 4 Bilan des activités du centre d'enfouissement technique des déchets ménagers de Baghai durant l'année 2015

##### 4.1 Quantité des déchets réceptionnés

Selon les données récoltées auprès de L'EPIC EPWG-CET Khenchela, depuis le début du mois de janvier 2015 jusqu'au mois de décembre de la même année, la quantité de déchets ménagers réceptionnés est très variable (tab.3). Avec une moyenne journalière de 107.93 tonnes soit 3237,9 tonnes par mois qui arrivent de six communes de la wilaya: Khenchela, N'sigha, Elhamma, Elmahmel, Baghai et Metoussa ainsi que les divers clients.

.La saison sèche est la période où la quantité de déchets réceptionnée est la plus importante avec une moyenne journalière de 125,64 tonnes soit 3769,2 par mois. C'est le mois de juin qui a enregistré le taux de déchets mensuel le plus élevée avec 44190,6 tonnes.

**Tableau 3 : Quantités de déchets réceptionnés au niveau du CET de Baghai durant l'année 2015**

	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
<b>Quantité de déchets/ tonne/ jour</b>	76,5	75,22	108,62	103,14	115,92	147,32	125,78	113,68	142,84	96,4	94,6	95,16

## **4.2 Préservation de la santé et l'environnement**

### **4.2.1 Contrôle des odeurs**

EPWG-CET de Khenchela utilise beaucoup de moyens afin de préserver l'environnement. Pour cela, un programme établi par la commission d'hygiène et de sécurité s'effectue quotidiennement. En 2015 l'EPWG-CET a acquis des techniques et des matériaux homologués par l'organisation mondiale de la santé (OMS), utilisé pour la désinfection et la neutralisation des odeurs et du biogaz, à savoir :

- **THERMO NEBULISATEUR K-30 et K-10**

Ils sont utilisés pour la lutte contre les moustiques et autres insectes nuisibles. Ils représentent la solution parfaite pour traiter des larges surfaces et espaces de déchets ménagers avec une quantité minimum de solution à base de pesticides tout en ayant le moins de travail possible et en étant le moins nocif pour l'environnement (moins de retombées résiduelles, aucune pénétration dans le sol).

- **NOFAR-2**

C'est un rodenticide anticoagulant qui sert à éliminer tous types de rongeurs (rats, souris...).

- **DELTAMETHRIN TERMINATOR 25 PW-EC**

C'est une nouvelle formulation d'insecticides pour la lutte contre la leishmaniose et le paludisme. Elle est utilisée pour lutter contre les insectes volants et rampants néfastes pour la santé publique (teigne, charançons, fourmis, cafards, etc..). DELTAMETHRIN est moyennement toxique et ne présente aucun effet secondaire sur l'homme et les animaux lorsqu'il est utilisé selon les recommandations.

#### 4.2.2 Contrôle des lixiviats

Pendant l'année 2015, le volume des lixiviats produits et collectés dans les bassins de décantation du CET varie selon les saisons. Il est plus élevé durant le mois de janvier à cause des retombés des pluies et de neige, par apport à la saison sèche à cause de l'évaporation des bassins. Des analyses physico-chimiques sont réalisées chaque trimestre pour évaluer leur risque sur l'environnement. Les résultats des analyses sont présentés dans le tableau ci-dessous.

**Tableau 4** : Analyses physico-chimiques des lixiviats issus du CET de Baghai durant l'année 2015

Paramètres	Unités	Sem 1	Sem 2	Sem3	Sem4	Normes	Limites Algériennes
<b>pH</b>	-	8,43	8,62	8,95	8,9	<b>Multi paramètre</b>	<b>6,5 - 8,5</b>
<b>DBO<sub>5</sub></b>	mg/l	1850	2500	105	20	<b>ISO 6060:1989</b>	<b>35</b>
<b>DCO</b>	mg/l	5200	/	/	1300	<b>ISO 5815-1:2003</b>	<b>120</b>
<b>MES</b>	mg/l	212,5	1088	3555	288.88	<b>ISO 11923: 1997</b>	<b>35</b>
<b>Conductivité</b>	µS/cm	8,7	40,1	63,7	5,7	<b>Multi paramètre</b>	-
<b>Cr</b>	mg/l	0,3	< 0,5	1,03	< 0,5	<b>ISO 9174: 1998</b>	<b>0.5</b>
<b>Cu</b>	mg/l	< 0,1	< 0,5	1,062	< 0.5	<b>ISO 8288: 1986</b>	<b>0.5</b>
<b>Fe</b>	mg/l	4,2	< 0,5	8,65	4,432	<b>FD T90-112</b>	<b>3</b>
<b>Ni</b>	mg/l	< 0,2	< 0,5	2,6	0,987	<b>ISO 5666: 1999</b>	<b>0.5</b>

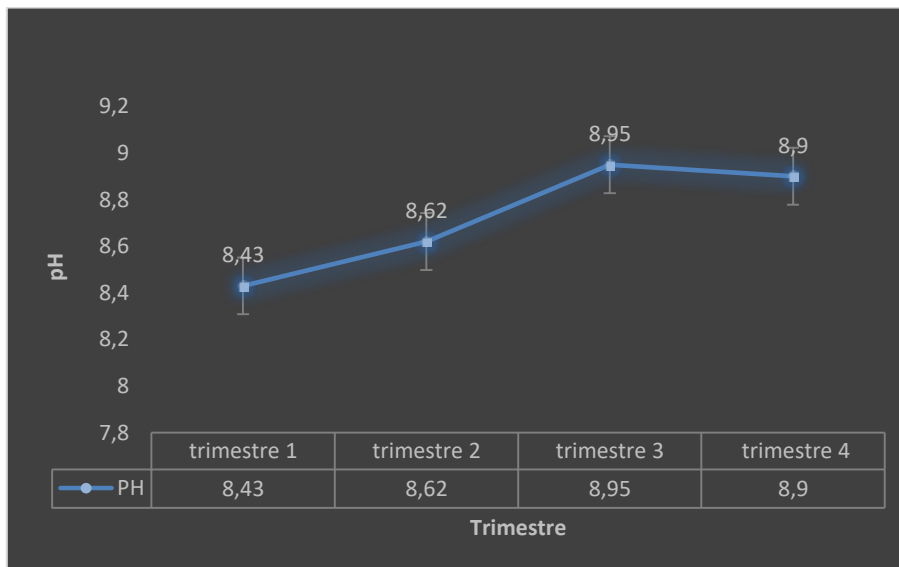
## II. Discussion des résultats des analyses physico-chimiques

Les lixiviats ont été prélevés à partir des bassins de décantation du centre d'enfouissement technique de Baghai durant quatre semestres de l'année 2015. Le tableau ci-dessus donne des valeurs des paramètres physicochimiques analysés.

### 1 pH

Le pH est un paramètre très important qui représente le degré d'ionisation du milieu étudié. 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 (Dessachy, 1994).

Les données relatives au pH montrent que le lixiviat produit par le centre d'enfouissement de Baghai est basique sur toute l'année (**Fig. 6**). Les valeurs du potentiel d'hydrogène oscillent entre 8,43 et 8,95. La moyenne trimestrielle de l'année 2015 est de 8,72. Les valeurs maximales du pH sont enregistrées pendant la saison estivale avec 8,95, alors que pour la période humide le pH montre une valeur de 8,42. Les valeurs de pH obtenues dans les lixiviats pourraient être liées à la faible concentration de composés organiques volatiles. En effet, au fur et à mesure du vieillissement de la décharge, le lixiviat s'appauvrit en COV. Ceci va alors entraîner une montée du pH à 7 ou plus (Kjeldsen *et al.*, 2002). Les résultats obtenus du pH restent dans les normes Algériennes qui recommandent un pH des rejets compris entre 6,5 et 8,5.



**Figure 6 : Variation des valeurs trimestrielles du pH des lixiviats issus du CET de Baghai durant l'année 2015**

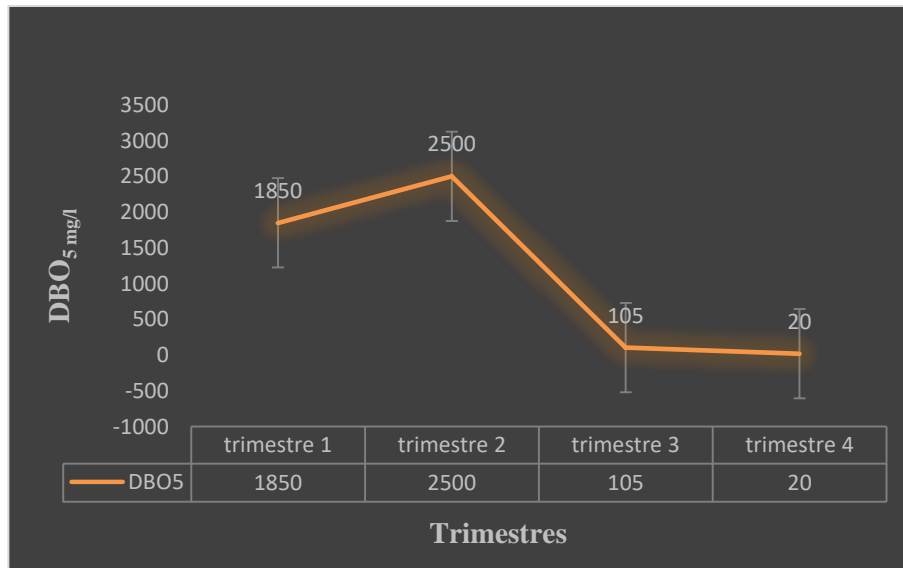
## 2 Matière organique

### 2.1 Demande Biochimique en Oxygène (DBO<sub>5</sub>)

La Demande Biochimique en Oxygène est la quantité d'oxygène nécessaire pour oxyder les matières organiques par voie biologique. C'est un indicateur de la pollution organique des eaux. Elle exprime le niveau de biodégradabilité de l'effluent (Makhoukh *et al.*, 2011). Les concentrations en matière organique biodégradable (DBO<sub>5</sub>) dans le lixiviat sont variables d'un trimestre à un autre. Elles varient entre 20 et 1850 mg/l (**Fig.7**) avec une valeur moyenne mensuelle de 372,91mg/l. Les valeurs de la DBO<sub>5</sub> diminuent pendant la période sèche avec 105 mg/l pour l'été et 20 mg/l pour l'automne. En hiver et au printemps, on assiste à une augmentation de ce paramètre avec des valeurs respectives de 1850 g/l et 2500 g/l.

La variation saisonnière de la DBO<sub>5</sub> montre que c'est pendant la période estivale qu'elle présente les valeurs les plus faibles. **Khattabi (2002)** a montré qu'il y a une corrélation nette entre l'augmentation de la température et la diminution de la DBO<sub>5</sub>. En effet, pendant cette période, on note un réchauffement des eaux de lixiviation permettant ainsi une intensification de l'activité des bactéries. A l'opposé, en hiver, les températures du jus de la décharge commencent à diminuer, constituant ainsi un facteur limitant de l'activité des bactéries, qui deviennent de plus en plus incapables de transformer cette matière organique biodégradable, ce qui conduit à une augmentation des valeurs de la DBO<sub>5</sub> pendant cette période.

Les résultats obtenus montrent des résultats largement supérieurs aux normes nationales. Selon ces dernières, ce paramètre ne doit pas dépasser 35 mg O<sub>2</sub>/l dans les eaux de rejet.

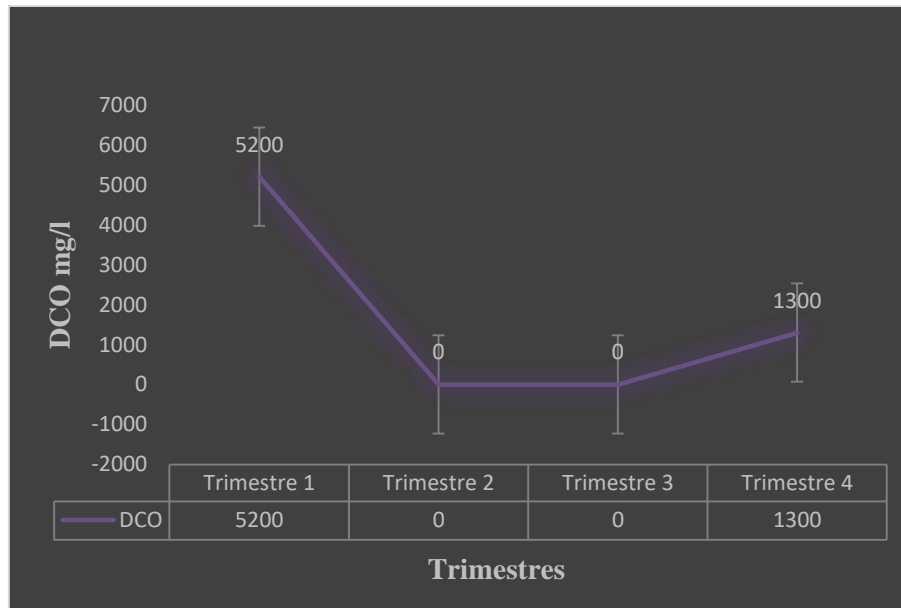


**Figure 7 :**

**Variation des valeurs trimestrielles de la DBO<sub>5</sub> des lixiviats issus du CET de Baghai durant l'année 2015**

**4.3 Demande Chimique en Oxygène (DCO)**

La demande chimique en oxygène (DCO) représente la consommation d'oxygène par les oxydants chimiques forts pour oxyder les substances organiques et minérales de l'eau. Elle permet d'évaluer la charge polluante des eaux de percolation de déchets (Makhoukh *et al.*, 2011). L'évaluation saisonnière de la DBO du site étudié (**Fig. 8**) révèle une diminution de la DCO du lixiviat pendant le premier trimestre par rapport au dernier trimestre, qui passe d'une teneur de 5200 mg/l à une teneur de 1300 mg/l. Ces teneurs sont largement supérieures à la valeur nationale de référence (DCO = 120 mg/O<sub>2</sub>/L). La valeur élevée de la DCO indique une charge organique élevée. Les valeurs obtenues au niveau de la charge polluante exprimée par la DCO, sont comparables 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). 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 (Kjeldsen *et al.*, 2002). Le lixiviat issue du CET de Baghai appartient au lixiviats intermédiaires car il se caractérise par une charge organique moyenne dont la moyenne de la DCO se situe entre 3000 et 15000 mg/l (Millot, 1986).



**Figure 8 : Variation des valeurs trimestrielles de la DCO des lixiviats issus du CET de Baghai durant l'année 2015**

Le calcul du rapport DBO5/DCO nous 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 et donne des informations sur la nature des transformations biochimiques qui règnent au sein de la décharge.

Les valeurs des rapports DBO5 / DCO sont comprises entre 0,35 et 0,01 pour les deux trimestres enregistrés avec une moyenne de 0,18. Ces valeurs nous montrent que le lixiviat de la décharge de Baghai est faible en matières organiques biodégradables. Ainsi, Selon (Milot, 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 ;

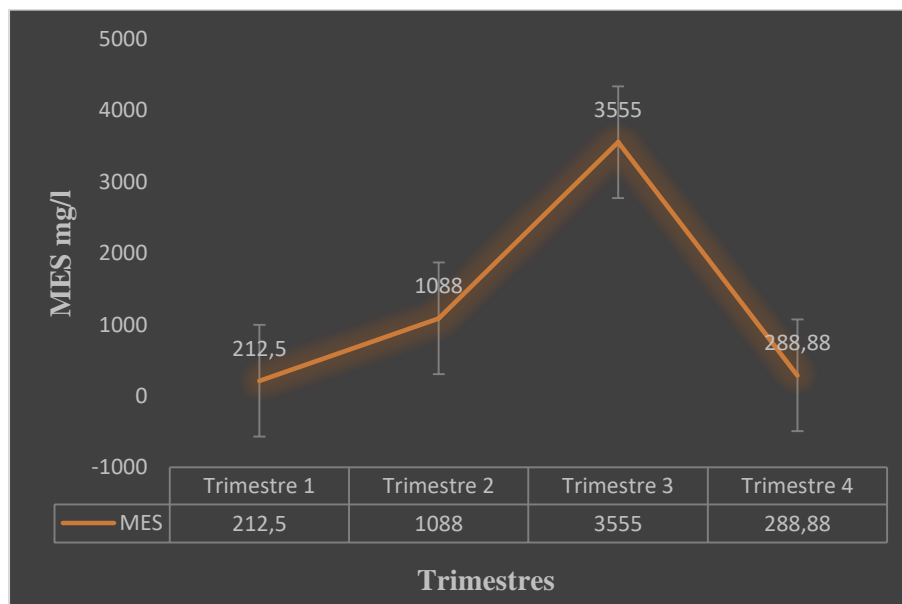
La valeur de 0,18 issue de la moyenne des différents rapports DBO5 / DCO indique que pour notre cas, la décharge de Baghai est qualifiée d'intermédiaire et elle approche de la phase de la méthanogénèse.

#### 4.4 Matières en suspension

Les matières en suspension représentent l'ensemble des particules minérales et organiques contenues dans les eaux. Elles sont en fonction de la nature des terrains traversés,

de la saison, de la pluviométrie, du régime d'écoulement des eaux, de la nature des rejets ect. Les teneurs élevées en matière en suspension peuvent être considérées comme une forme de pollution (Rodier, 1984).

Les normes nationales (Décret exécutif 06-141 du 19 avril 2006 / JORADP / 23-04-2006) fixent comme valeur limite pour les MES, dans les effluents liquides (ménagers, industriels et agricoles), une concentration de 35 mg/l. Les concentrations mesurées dans les lixiviats du CET de Baghai dépassent largement la norme (moyenne de 1286.09 mg/l, avec une valeur minimum de 212.5 mg/l en hiver et un pic de 3555 mg/l enregistré en été (**Fig. 9**)). Les résultats obtenus au niveau de cette décharge montrent des concentrations élevées en MES qui sont probablement causées par les rejets domestiques urbains qui sont riches en matières colloïdales d'origine minérale ou organique.



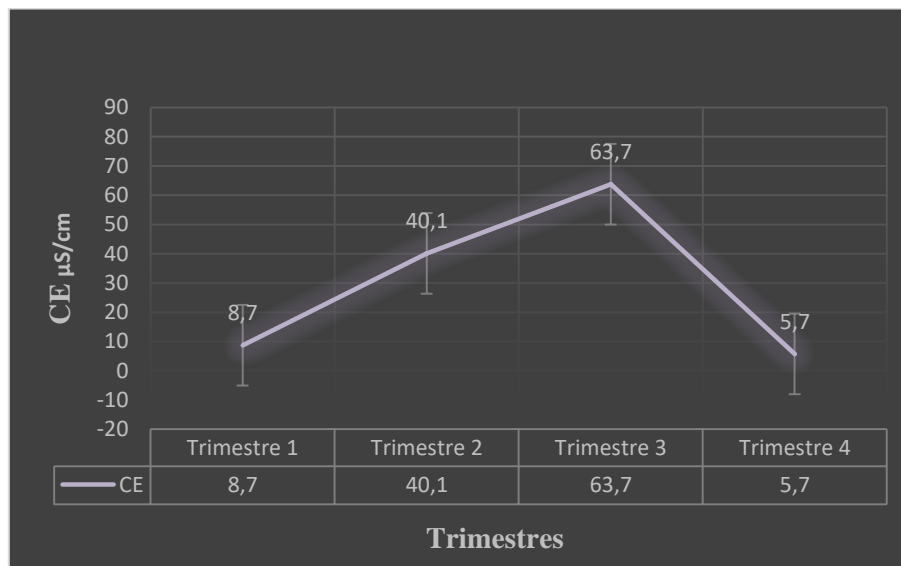
**Figure 9 : Variation des valeurs trimestrielles de la MES des lixiviats issus du CET de Baghai durant l'année 2015**

#### 4.5 Conductivité électrique

La conductivité électrique donne une idée sur la minéralisation de l'eau, elle est à ce titre un bon marqueur de l'origine d'une eau. En effet, la mesure de la conductivité permet d'apprécier la quantité de sels dissous dans l'eau, donc sa minéralisation. La conductivité électrique dépend des charges de matières organiques endogènes et exogènes, génératrices 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 (Rodier, 1984).

Durant cette investigation, les valeurs de la conductivité électrique enregistrées au niveau du site d'étude oscillent entre 63.7 $\mu$ S/cm comme valeur maximale enregistrée en été et une valeur minimale 5.7 $\mu$ S/cm enregistrée en automne (**Fig.10**). Ces valeurs mettent en évidence la minéralisation très importante des lixiviats expliquée par la forte salinité des eaux en saison sèche. Par contre les faibles valeurs de conductivités ont été obtenues en saison pluvieuse. Ces faibles valeurs pourraient s'expliquer par le phénomène de dilution. En effet, pendant la saison des pluies, les lixiviats reçoivent une quantité importante d'eau entraînant une dilution considérable des éléments chimiques en présence (Kouamé, 2007).



**Figure 10 : Variation des valeurs trimestrielles de la conductivité électrique des lixiviats issus du CET de Baghai durant l'année 2015**

#### **4.6 Eléments traces métalliques**

Quatre éléments traces métalliques ont été analysés à partir de la décharge de Baghai, il s'agit du fer, du cuivre, du chrome et du nickel. Les concentrations obtenues durant les quatre trimestres de l'année 2015 sont illustrées par **la figure 11**.

**Le fer** se trouve au cœur de la vie quotidienne sous forme d'emballages ménagers ce qui explique sa grande présence dans les gisements d'ordures ménagères. C'est le métal le plus abondant dans les eaux polluées analysées. Les concentrations maximales en fer sont

enregistrées dans trois saisons : la saison estivale avec une valeur de 8,65 mg/l suivie du printemps avec 4,432 mg/l puis l'hiver avec 4,2 mg/l. Ces valeurs dépassent largement les limites nationales (3 mg/l). Les trois mois de printemps ont enregistré la seule valeur inférieure à la norme Algérienne (Décret exécutif 06-141 du 19 avril 2006 / JORADP / 23-04-2006).

**Le cuivre** peut être considéré comme métal de référence car il est très fréquemment utilisé dans les travaux sur la complexation. Il est très utilisé en métallurgie, il entre dans de nombreux alliages parmi lesquels le laiton (cuivre et zinc), le bronze (cuivre et étain), le maillechort (cuivre, nickel et zinc), (Romeo, 1991). Cela est dû à son utilisation dans de nombreuses applications (électronique, chimique, électricité, etc.) (Malayeri, 1995). C'est pour cela qu'il est présent dans plusieurs types d'ordures ménagères.

Les concentrations du cuivre dans les lixiviats analysés varient d'un trimestre à un autre. La valeur minimale est enregistrée durant la saison hivernale avec 0,1 mg/l. On constate par ailleurs une augmentation pendant les mois pour atteindre un maximum durant l'été avec 1,062 mg/l. La teneur moyenne du cuivre dans les quatre saisons est de 0,54 mg/l, ce qui est légèrement supérieure à la teneur fixée par les normes nationales qui sont de (0,5mg/l).

D'après les travaux de Thomas Lagier *et al.*, (2001), comme certains métaux, le cuivre est piégé sous des formes relativement stables en conditions anaérobies. Il est très insoluble dans le lixiviat et ne peut donc pas migrer hors de la décharge. Parmi les principales causes de sa solubilisation est l'acidification du milieu. Même avec un pH avoisinant la neutralité, la solubilité du cuivre passe de valeurs inférieures à 1 % à environ 20 %. Selon les analyses, le potentiel d'hydrogène de la décharge étudié est alcalin ce qui explique probablement la faible pollution métallique par le cuivre des liviviats du CET de Baghai.

**Le nickel** est connu pour sa solubilité, relativement forte, en présence de sulfures, ce métal apparaît comme le plus mobile et il peut se trouver en grande quantité dans les lixiviats sous les décharges comme l'indiquent Warwick *et al.*, (1994) et Altmann et Bourg (1997). Les principales sources du nickel dans les ordures ménagères sont : les métaux, les accumulateurs, les colorants utilisés dans le textile et les verres (Bouchakor, 1999).

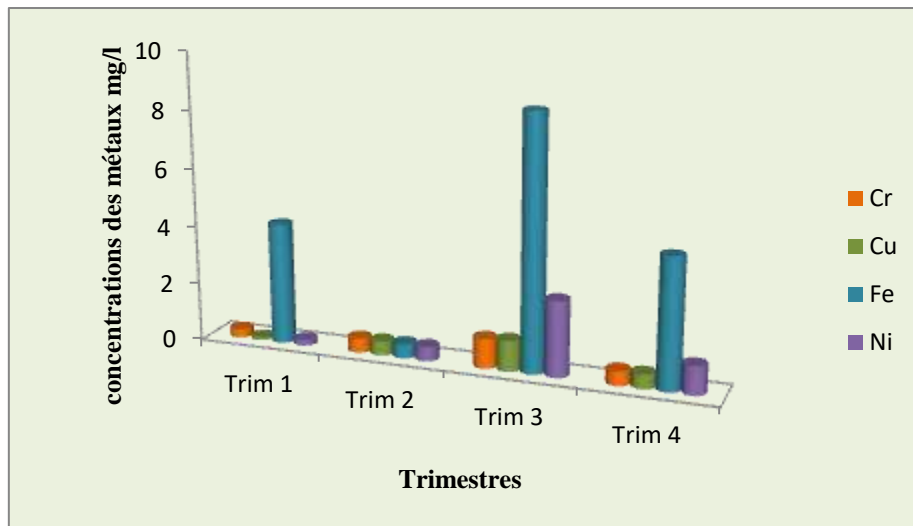
Les résultats relatifs au nickel analysé dans cette étude, révèlent des concentrations importantes au niveau du troisième trimestre avec 2,6 mg/l, ce qui est largement supérieur aux normes nationales (0,5 mg/l). Pour le reste de l'année, la moyenne des valeurs du nickel restent légèrement au- dessus des limites avec (0,56 mg/l).

Thomas Lagier *et al.*, (2001) a étudié la solubilité du nickel qui reste piégé sous des formes réduites dans les décharges d'ordures ménagères (en particulier formes sulfures). Il a utilisé trois mécanismes : l'oxydation des phases sulfure à l'air, la complexation de métaux à la matière organique soluble du lixiviat et le changement du pH du milieu. D'après les résultats obtenus, le nickel se solubilise dès le début de l'oxydation du milieu et pour des pH proches de la neutralité. L'oxydation influence la solubilisation du nickel mais l'acidification du milieu comme la complexation peuvent également contribuer à augmenter de façon significative la solubilisation de ce métal.

Van Der Sloot *et al.*, (1999) ont mis en évidence une importante solubilité du nickel des pH basiques dans les milieux riches en matière organique comme les décharges. En effet, les matières organiques peuvent à la fois immobiliser le nickel (formes particulières) ou en augmenter la mobilité lorsque ces derniers se complexent avec ce métal. De nombreux auteurs ont en effet montré le rôle prédominant que peut jouer la complexation des métaux comme le nickel par les macromolécules solubles du lixiviat (Christensen *et al.*, 1996). Cependant cette importante solubilité des métaux à pH basiques n'est valable que si la MO est complexante vis-à-vis des métaux.

**Le chrome** est un métal qu'on peut retrouver dans plusieurs types de déchets comme les l'acier, le cuir, les textiles et les peintures. Ce métal va donc se retrouver dans les eaux de percolation de ces ordures ménagères.

Les analyses ont montré une petite quantité de chrome, qui témoigne d'une faible pollution du lixiviat par cet élément métallique. La concentration moyenne trimestrielle de ce métal (0.58 mg/l) reste légèrement supérieure à la norme algérienne. Cette pollution au chrome provient probablement de déchets industriels collectés avec les ordures ménagères



**Figure 11:** Variation des valeurs trimestrielles des éléments traces métalliques dans les lixiviats issus du CET de Baghai durant l'année 2015

### **III. Conclusion**

Après 5 ans d'exploitation, le centre d'enfouissement technique de Baghai dans la wilaya de Khenchela s'approche de l'étape d'activité biologique correspondant à la phase méthanique de dégradation anaérobie : méthanogènese. Le caractère basique (pH = 8,72) des percolats produits ainsi que le rapport DBO<sub>5</sub>/DCO évalué à 0,18, indiquent que les lixiviats de cette décharge entrent dans la catégorie des lixiviats intermédiaires à forte charge polluante faiblement ou non biodégradable. La caractérisation physico-chimique de ces lixiviats a également montré qu'ils véhiculent une charge organique et minérale importante. En effet, la charge organique présente de fortes valeurs de la DCO de 1300 à 5200 mg/l et de la DBO<sub>5</sub> de 20 à 1850 mg/l. Quant à la charge minérale, elle est traduite par les concentrations élevées des matières en suspension. Elle représente une moyenne de 1286.09 mg/l. Les résultats obtenus ont mis en évidence la minéralisation très importante des lixiviats exprimé par des valeurs de conductivité électrique importantes qui oscillent entre 5.7 µS/cm et 63.7µS. Il est à signaler que tous les paramètres physico-chimiques analysés montrent des concentrations largement supérieures aux normes nationales surtout pendant la saison sèche.

Concernant la pollution métallique, les concentrations des éléments traces métalliques obtenues durant les quatre trimestres de l'année 2015 montrent que le fer est très abondant dans les lixiviats. Les plus grandes concentrations sont enregistrées en été avec une valeur de 8,65 mg/l. Ces valeurs sont largement en dessus des normes qui sont de 3 mg/l. Le cuivre est aussi présent dans le lixiviat de cette décharge avec une concentration minimale durant l'hiver de 0,1 mg/l et un maximum de 1,062 mg/l en été, avec une moyenne annuelle de 0,54 mg/l. Ce qui est légèrement supérieure à la teneur fixée par les normes nationales qui sont de (0,5 mg/l). Une concentration importante du nickel de 1,062 mg/l largement supérieur aux normes nationales (0,5 mg/l) a été enregistrée. Les analyses ont montré la présence du chrome avec une moyenne annuelle de 0.58 mg/l. Cette valeur est légèrement supérieure à la norme Algérienne.

D'après ces résultats, nous constatons une charge polluante importante dans les lixiviats de cette décharge. Il est à notre avis, nécessaire d'appliquer une stratégie de traitement urgente vu la gravité de la situation. Nous préconisons une étude microbiologique

complète, afin d'établir le registre microbien de ce percolât. Il serait également très intéressant de continuer nos investigations sur l'étendue de cette pollution sur les écosystèmes telluriques et hydriques avoisinant cette décharge. Nous envisageons aussi de réaliser des analyses récentes, afin de les comparer, pour bien mesurer l'ampleur des dégâts en surface et en profondeur.

## **Références bibliographiques**

Abdelli D. (2005), Incidences environnementales de la décharge non contrôlée de la capitale régionale Labé et mesures d'atténuation, Thème présenté comme exigence partielle du master en sciences de l'Environnement, Centre d'Étude et de Recherche en Environnement (CERE), Université Gamal Abdel Nasser de Conakry, République de Guinée, 135p.

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.

Aina M.P. (2006). Expertise des centres d'enfouissement des déchets urbains dans les PED : contribution à l'élaboration d'un guide méthodologique et sa validation expérimentale sur sites. Thèse de doctorat, Université de Limoges. 206p

Albrecht R. (2007). Co-compostage de boues de station d'épuration et de déchets verts: Nouvelle méthodologie du suivi des transformations de la matière organique. Thèse doctorale, Faculté des sciences et techniques, Université Paul CEZANNE.

Alkalay G., Guerrero L., Lema J.M., Mendez R. and Chamy R. (1998). Anaerobic treatment of municipal sanitary landfill leachates: the problem of refractory and toxic components, World Journal of Microbiology and Biotechnology, Vol.14, pp.309-320.

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.

Altmann R.S. et Bourg A.C.M., (1997). Cadmium mobilization under conditions simulating anaerobic to aerobic transition in a landfill leachate-polluted aquifer. Water Air Soil Poll., 94, 385-392

Amhoud S. (1997). Apport de la géologie et de l'hydrogéologie à l'étude de l'impact de la décharge d'oued d'Akrech sur les ressources en eaux. Thèse, université mohamed V, Rabat, Marco, 204p.

ANPE. (1997). Gestion des déchets urbains : cas de la ville de Tunis, Tunisie. p36  
Gestion des déchets urbains : cas de la ville de Tunis. Tunisie. p36

Ashbolt, N.J., Grabow, W.O.K., Snozzi, M., (2001). Indicators of microbial water quality. In: Fewtrell, L., Bartram, J. (Eds.), *Water Quality: Guidelines, Standards and Health. Risk assessment and management for water-related infectious disease*. IWA Publishing, London (Chapter 13), pp. 289–315.

Aumaître H., Lecaillon E., Ollivier S. and Bouchaud O. (2004). Diarrhées bactériennes. *EMC Chirurgie*. 1 : 437–454.

Barres M.M, Barlaz M.A ; Hamr K ; Schaefer D.M. (1990). Méthane production des lixiviats de décharge ; le point de connaissance en 1990. T.S.M/AGHTM; N°6

Bauer M.J., Herrmann R., (1997). Estimation of the environmental contamination by phthalic acid esters leaching from household wastes, *Sci.Total.Environ.* 208. 49-57

Belle E. (2008). Évolution de l'impact environnemental des lixiviats d'ordures ménagères sur les eaux superficielles et souterraines, approche hydrobiologique et hydrogéologique. Site d'étude : décharge d'Étueffont (Territoire de Belfort – France). Thèse de Doctorat, Université de Franche-Comté, 235 p.

Bengaibona B. (2010). Analyse comparée des qualités microbiologique et Physico-chimique des eaux de pluie stockées dans des citernes en ferro ciment : Cas des impluviums de DORI. Mémoire de Master, Institut international d'ingénierie de l'eau et de l'environnement (Burkina Faso). P.P.56.

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.

Bennani A. C. (1984). Le compostage : bilan et perspectives d'une action au niveau national, le cas du Maroc. *Techniques, sciences et Méthodes -l'Eau* 5, 285-290.

Berthe C. (2006). Etude de la Matière Organique contenue dans des lixiviats issus de différentes filières de traitement des déchets ménagers et assimilés. Thèse de doctorat, Université de Limoges, 196 p.

Bouchakor F. (1999). Essai d'amendement d'un sol par différents composts d'ordures ménagères et suivi du niveau de contamination par les éléments traces métalliques. Thèse de Doctorat, Université de Tunis II.

Çeçen F., Gürsoy G., (2000). Characterization of landfill leachates and studies on heavy metal removal, *J. Environ. Monit.* 2. 436–442.

Cherikh H. et Mamma M. (2016). La gestion des déchets en Algérie application au CET de Corso. Mémoire de Master. Université Tizi Ouzou. p30-31.

Choo K.H., Lee C.H. (1996). Membrane fouling mechanism in the membrane-coupled anaerobic bioreactor, *Water Res.* 30771–1780.

Christensen T.H. Kjeldsen P., Albrechtsen H.J, Bjerg P.L. et Holm P.E. (1994). Attenuation in landfill leachate pollutants and aquifers. *Critical reviews in Environmental Science Technology*, 24(2), 119-202.

Christensen T.H., Kjeldsen P., Bjerg P.L., Jensen D.L., Christensen J.B., Baun A., Albrechtsen H.G., Heron G. (2001). Biogeochemistry of landfill leachate plumes. *Appl. Geochem.* 16. pp 659-718.

CNIID. (2001). Projet de centre d'enfouissement de déchets ultimes : Les décharges d'ordures ménagères. France : Centre national d'information indépendante sur les déchets, 21p.

Colin, F., Étude des mécanismes de la genèse des lixiviats. Inventaire et examen critique des tests de laboratoire, Nancy IRH - Rapport RH 84-136,1984

Coulibaly A. (2006). Problématique de la gestion des déchets plastiques au Burkina Faso; cas de la ville de Bobo-Dioulasso, Mémoire de fin d'étude, MECV, 61 p.

Damien A. (2009). Guide du traitement des déchets, 5ème Ed. Dunod. 438p.

Degrémont R. (1989). Mémento Technique de L'eau, Technique et Document, Tome 1. Ed Degrémont Suez

Delarras C. (2010). Surveillance sanitaire et microbiologique des eaux. Lavoisier Tec et Doc.542p.

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,

Deng Y. (2007). Physical and oxidative removal of organics during Fenton treatment of mature municipal landfill leachate. Journal of Hazardous Materials, 146: 334–340.

Desachy C. (2001). Les déchets : sensibilisation à une gestion écologique **2<sup>ème</sup> Éd.** AGHTM 70 p.

Dessachy C. (1994). Les déchets. T.S.M-l'Eau n° 11. 20.

Dhaouadi H. (2008). Traitement des Eaux Usées Urbaines : Les procédés biologiques d'épuration. Université Virtuelle de Tunis. 34p.

Diabaté M. (2010). Déchets ménagers: impact sur la santé et l'environnement en commune du district de Bamako: cas de Banconi.

El Bada N., Assobhei O., Kebbabi A., Mhamdi R. et Mountadar M. (2010). « Caractérisation et prétraitement du lixiviat de la décharge de la ville d'Azemmour », Déchets sciences et technique – Revue francophone d'écologie industrielle. N° 58, pp 30-36

El kharmouz.M., Sbaa.M., Chafi A., Saadi S., Larhyss Journal. n°16 (Décembre 2013) 105-119.

El-Fadel M., Bou-Zeid E., Chahine W., Alayli B., Temporal variation of leachate quality from pre-sorted and baled municipal solid waste with high organic and moisture content Waste. Manage. 22 (2002) 269-282.

Elliot P et al., (2001). Risk of adverse birth outcomes in populations living near landfill sites. BMJ, PP 323-363–368

Fields B.S., Benson R.F. and Besser R.E. (2002). Legionella and Legionnaires disease: 25 years of investigation. Clin. Microbiol. 15 (3): 506-526.

Filder HMP., Palmer SR, Poon-King C., Moss N., Coleman G., (2000). Addressing Environmental Health Concerns near Trecatti Landfill Site, United Kingdom. Arch Environ Health. PP 529–535

Gouilliard, S. et Legendre, A., (2003), Déchets ménagers, Ecologie, environnement industriel et développement soutenable, Economica, Paris, Guerrand.

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.

Huber D. (2009). Manuel d'information sur la gestion des déchets solides urbains ; GTZ Gmbh, juillet 2001.

Jarraud S. et Freney, J. (2006). Legionella, Editions TEC & DOC, 198p

Jordening H.J. et Winter J. (2005). Environnemental Biotechnology. Concepts and applications. Edition, WILEY-VCH Verlag, Germany, 476p.

Journal Officiel de la République Algérienne, N°26 ; Décret exécutif n° 06-141 du 20 Rabie El Aouel 1427 correspondant au 19 avril 2006 définissant les valeurs limites des rejets d'effluents liquide

Kaibouchi S. (2004). Mâchefers d'incinération d'ordures ménagères : Contribution à l'étude des mécanismes de stabilisation par carbonatation et influence de la collecte sélective ; thèse de doctorat, Institut National des Sciences Appliquées de Lyon, 287p.

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.

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

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

Koda E., Osinski P., Kolanka, T. (2013). Flow numerical modeling for efficiency assessment of vertical barriers in landfill. In *Coupled Phenomena in Environmental Geotechnics*; CRC Press Ed.: London, UK, pp. 693–698.

Koller E. (2004). Traitement des pollutions industrielles : eau. Air. Déchets. Sols. Boues. France : Dunod. p399 – 400

Kornaros M., Lyberatos G., (2006). Biological treatment of wastewaters from a dye manufacturingcompany using a trickling filter, *J. Hazard. Mater.* 136. 95-102.

Kouame 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. Thèse de Doctorat, Université d'Abobo Adjamé, Côte d'Ivoire, 212 p.

Krzykawska, K. A. (2019). Landfill peninsula as an experimental use space. A case study of Albany Bulb. *Acta Sci. Pol. Archit.*, 18, 51–60.

Kulikowska D et Klimiuk E. (2008). The effect of landfill age on municipal leachate composition. *Bioresource. Technol.* 99 pp 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.

Lagier T., Feuillade G. et Matejka G. (2001). Devenir des métaux lourds (cuivre et nickel) dans les décharges d'ordures ménagères. *Déchets. Revue francophone d'écologie industrielle*- N° 21

Lauwerys R. (1982). *Toxicologie Industrielle et Intoxications Professionnelles*. Masson: Paris.

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.

Li X., Lin L., Zou S., Lan C., Luan T., (2006). Determination of Bisphenol A in Landfill Leachate by Solid Phase Microextraction with Headspace Derivatization and Gas Chromatography-Mass Spectrophotometry, *Chinese. J. Anal. Chem.* 34. 325-328.

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.

Lupton S. (2011), *Economie des déchets, une approche institutionnaliste*, Bruxelles, De Boeck, Coll, Ouvertures économiques, 267 p.

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, 149- 169.

Malayeri EB. (1995). *Décontamination des sols contenant des métaux lourds à l'aide de plantes et microorganismes*. Thèse de Doctorat, Université de Nancy I.

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.

Ministère du développement durable, de l'environnement et des parcs (MDDEP). (2010). *Hiérarchie des modes de gestion des matières résiduelles et reconnaissance d'opérations de traitement en tant que valorisation énergétique*, Québec, Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs, Direction des matières résiduelles et des lieux contaminés, ISBN 978-2-550-59946-3, 27 p.

Möder M., Popp P., Pawliszyn J. (1998). Characterization of water-soluble components of slurries using solid-phase microextraction coupled to liquid chromatography mass spectrometry, *J. Microcolumn Sep.* 10. 225–234.

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.

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

Moletta R. (2008). Technologies de la méthanisation de la biomasse, déchets ménagers et agricoles. Méthanisation 8, 181-204, Editions TEC & DOC, Lavoisier, Paris.

Naifar E. M. (1996). La situation actuelle de l'élimination des ordures ménagères de l'agglomération de rabat. Etude de l'impact des rejets liquides de la décharge d'Akrech sur l'environnement. Thèse, Université Mohamed V, rabat, Maroc, 80p.

Ngô C., Regent A. (2004). Déchets et pollution- Impact sur l'environnement et la santé. 2<sup>ème</sup> Éd UniverSciences, Dunod

Ngô C., Regent A. (2012). Déchets, effluents et pollution - Impact sur l'environnement et la santé. 3<sup>ème</sup> Éd. UniverSciences, Dunod.

Obbard J.P., Barr M.J., Robison H.D., Carville M.S., (1999). Landfill leachate: characteristics and biological treatment in HongKong, Resource and Environmental Biotechnology, Vol. 2, No. 3, pp 235-248,

Öman C.B., Hynning P.A., (1993). Identification of organic compounds in municipal landfill leachates, Environ. Pollut. 80. 265-271.

Öman C.B., Junestedt C., (2008). Chemical characterization of landfill leachates – 400 parameters and compounds, Waste. Manage. 28. 1876-1891.

OMS. (2000). Directive de qualité pour l'eau de boisson, Critères d'hygiène et documentation à l'appui. Genève .P.1050.

Ozanne F. (1990). Les lixiviats de décharge, le point des connaissances en 1990. L'eau : techniques, sciences et méthodes p 289-312

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.

Programme des Nations Unies pour le Développement (PNUD). (1999). *L'avenir de l'environnement mondial 2000*, Ed. De Boeck, XXI-398 p.

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

Renou S., Givaudan J., Poulain S. Dirassouyan F., Moulin P. (2008). Landfill leachate treatment: Review and opportunity. 150, pp 468-493.

Rubio J., Souza M.L., Smith R.W., (2002). Overview of flotation as a wastewater treatment technique, *Miner. Eng.* 15. 139–155.

Rodier J. (1984). *L'analyse de l'eau, eaux naturelles, eaux résiduaires, eaux de mer.* DUNOD 3<sup>ème</sup> édition ; 259P

Rollin, C. et Quiot, F., (2006). *Eléments traces métalliques : Guide méthodologique, Recommandations pour la modélisation des transferts des éléments traces métalliques dans les sols et les eaux souterraines.* INERIS, Rapport INERIS-DRC-06-66246/DESP-R01a, 119 p

Romeo M. (1991). Toxicologie des métaux traces dans l'environnement marin, *Océanis*, 17,4, 383-402.

Sack DA., Sack RB., Nair GB., Siddique AK. (2004). Cholera. *Lancet*; 363(9404):223-233.

Shen S., Chen Y., Zhan L., Xie H., Bouazza A., He F. (2018). Methane hotspot localization and visualization at a large-scale Xi'an landfill in China: Effective tool for landfill gas management. *J. Environ. Manag.* 225, 232–241.

Sillet A.A., Royer S., Coque Y., Thomas O., (2001). Les lixiviats de décharges d'ordures ménagères : genèse, composition et traitement, *Déchets Sciences & Techniques.* 22. 7-11.

Singh, A. (2019). Managing the uncertainty problems of municipal solid waste disposal. *J. Environ. Manag.* 240, 259–265.

Stańczyk-Mazanek, E.; Stępnia, L.; Kępa, U. (2019). Analysis of Migration of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons from Sewage Sludge Used for Fertilization to Soils, Surface Waters, and Plants. *Water*, 11, 1270.

Sung Sung M., Chang D., Lee H.Y., (1997). Performance improvement of an unstable anaerobic leachate treatment system in an industrial waste landfill, *Water. Sci. Technol.* 36. 333–340.

**Ta Thu Tuy.** (1998). Pour une gestion efficace des déchets dans les villes Africaines, les mutations à conduire, *les cahiers PDM*, 59 p.

Toure S. (2010). Incidence de la décharge de la Minière à Conakry sur les milieux récepteurs et la santé des populations riveraines, Mémoire présenté comme exigence partielle du diplôme de master en sciences de l'environnement, Centre d'étude et de recherche en environnement, Université Gamal Abdel Nasser de Conakry, Guinée, 93p.

Trabulsi L.R, Keller R, Tardelli Gromes T.A. (2002). Typical and atypical enteropathogenic *Escherichia coli*. *Emerging Infect. Dis.* 8(5):508–513.

Van Der Sloot H.A., Hjelmar O., Mehu J. & Blackey N. (1999). Waste characterization by means of leaching tests to assess treatment, reuse and disposal options. In: Christensen T.H., Cossu R. & Stegmann R. (Eds). *Proceedings Sardinia 1999, Seventh International Landfill Symposium.*, Cagliari, Italy, V, 3-10.

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

Warwick P., Anderton W., Smith B. et Williams G.M. (1994). Nickel speciation in polluted groundwater at Villa Farm. Report of the European Commission EUR 14969 EN.

Welanden U., Henrysson T. (1998). Physical and chemical treatment of nitrified leachate from a municipal landfill, *Environmental technology*, Vol. 19, pp591-599.

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.

Xavier N., Hervé G. and Le Guen P. (2007). Shigellose ou dysenterie bacillaire. *J. Exp. Med.* 36: 1606–18.

Xu Y.D., Yue D.B., Zhu Y., Nie Y.F., (2006). Fractionation of dissolved organic matter in mature landfill leachate and its recycling by ultrafiltration and evaporation combined processes, *Chemosphere*. 64. 903-911.

Zornoza R., Moreno-Barriga F., Acosta J., Muñoz M., Faz A. (2016). Stability, nutrient availability and hydrophobicity of biochars derived from manure, crop residues, and municipal solid waste for their use as soil amendments. *Chemosphere*, 144, 122–130.

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

Zume J T., Tarhule A., Christenson, (2006). *Ground Water Monitoring and Remediation*, 26 (2) 62- 69.