

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique  
Ecole Nationale Supérieure Polytechnique



Département de Génie Chimique

**Mémoire pour l'obtention du Diplôme de Magister en Génie Chimique**

Présenté à l'Ecole Nationale Supérieure Polytechnique

Par : **LESSOUED Ridha**

Ingénieur d'Etat en Génie Chimique de l'Université d'Oum El-Bouaghi

***TRAITEMENT DU LIXIVIAT DE LA DECHARGE  
D'OULED FAYET PAR LA BENTONITE ALGERIENNE***

Soutenu devant le jury :

<b>Mme F. SOUABI</b>	<i>Présidente, Maître de Conférences (ENSP)</i>
<b>Mme A. MEFTI</b>	<i>Directrice du Mémoire, Chargée de Cours (ENSP)</i>
<b>Mme F. MOHELLEBI</b>	<i>Examinatrice, Maître de Conférences (ENSP)</i>
<b>Mme S. HADDOUM</b>	<i>Examinatrice, Chargée de Cours (ENSP)</i>
<b>Mlle F. BOUMECHEHOUR</b>	<i>Examinatrice, Chargée de Cours (Université de Boumerdès)</i>
<b>Mlle F. CHEDEBA</b>	<i>Invitée, Ingénieur d'Etat (CET d'Ouled Fayet)</i>

*Année universitaire : 2008- 2009*

---

## حوصلة

أولينا إهتمامنا في هذه المذكرة على معالجة المياه العكرة الناجمة عن مركز الردم التقني للنفايات الصلبة الحضرية لبلدية أولاد فاييت، حيث أن التركيبة البيولوجية و الكيميائية لهذه المياه مرتبطة بعدة عوامل أهمها: الفصل، كمية الأمطار المتساقطة وطبيعة النفايات.

هدفنا الرئيسي هو دراسة العناصر الأساسية التي تتكون منها هذه المياه العكرة، التي قد تلوث بصدفة كبيرة المياه الجوفية و السطحية، في نفس الوقت معالجتها و التقليل من حدة سميتها بواسطة مادة طينية تعرف باسم "بانتونيت"، منتج جزائري من مدينة مغنية، وذلك لعدة أسباب من بينها: فعالية في التنقية، وفرتها، ثمنها البخس و سهولة استخدامها.

**الكلمات المفتاحية :**

**مفرغة- المياه العكرة - تلوث - البنتونيت - معالجة**

## RESUME

Dans cette étude, nous nous intéressons au traitement des lixiviats générés au niveau du Centre d'enfouissement technique (CET) d'Ouled Fayet. Les lixiviats des CET, tels que les décharges de déchets ménagers et assimilés, sont de compositions diverses. Selon les saisons, la pluviométrie et la nature des déchets, ils ont des caractéristiques biologiques et chimiques sensiblement différentes. L'objectif principal de notre étude est d'analyser ces lixiviats et d'évaluer les paramètres qui caractérisent la pollution pouvant atteindre la nappe phréatique et de traiter ces lixiviats par la Bentonite de Maghnia pour plusieurs raisons : efficacité dans la dépollution, disponibilité, coût peu élevé et mise en œuvre facile.

**Mots clés :**

**Décharge - Lixiviat – Pollution- Bentonite –Traitement**

## Abstract

This study deals with the treatment of the leachates generated by the city dump of Fayet Ouled. The leachates generated by these domestic garbage dumps, are of variable compositions. According to the season, pluviometry and type of garbage, they can have significantly different biologic and chemical properties. The main objective of this study is to analyze the leachates and to evaluate the parameters that characterize the pollution that can adversely affect the water table quality, and to treat these leachates by the Bentonite of Maghnia for various reasons: efficiency, availability, and low cost.

**Keywords:**

**Rubbish dump- Leachates- pollution- Bentonite- processing**

---

## REMERCIEMENTS

*Ce modeste travail a été réalisé au sein du Département de Génie Chimique de l'Ecole Nationale Supérieure Polytechnique (ENSP).*

*Mes remerciements les plus sincères s'adressent particulièrement à :*

- *Madame Afia MEFTI, Chargée de cours à l'ENSP, qu'elle trouve ici l'expression de ma profonde gratitude pour son suivi et ses précieux conseils, et de m'avoir encadrée et appris le sens de la responsabilité ;*

- *Madame Fatiha SOUJHI, Maître de Conférences à l'ENSP, pour sa collaboration à mes travaux de recherche. Son aide, ses conseils avisés et ses discussions techniques intéressantes ont sans cesse motivé cette étude ;*

*Merci également de m'avoir fait l'honneur de présider le jury.*

- *Mesdames F. MOHELLEBI, Maître de conférences à l'ENSP, S. HADOUUM, Chargée de Cours à l'ENSP et Mlle F. BOUMECHEHOUR, Chargée de cours à l'Université de Boumerdès, qui ont accepté de juger mon travail en faisant partie du jury ;*

- *Mr Toudert AHMED ZAÏD, Professeur à l'ENSP, pour ses orientations et son encouragement ;*

- *Mr A. SAADA, Chargé de Cours au Département de Génie Minier à l'ENSP, pour l'aide inestimable qu'il m'a apportée ;*

- *Tous les enseignants du Département de Génie Chimique ;*

- *Mme A. Hellal et Mr H. Lounissi Professeurs au Département de Génie de l'environnement pour leur particulière aide ;*

- *Tout le personnel de la bibliothèque de l'ENSP ;*

- *Mme Fatiha responsable du laboratoire à CO-GR-AL, Alger.*

*Mes sincères remerciements vont aussi à Mme BOUCHFER, ainsi qu'à l'équipe du Laboratoire de L'O.N.A de BARAKI et tout le personnel du Centre d'Enfouissement Technique d'Ouled Fayet en particulier Melle F.CHEDEBA qui m'honore par sa participation à cette commission d'examen ;*

*Je remercie chaleureusement mes amis et camarades de promotion Youness, Belkacim, Ammar, Saleh, wafa, Sabrina,... pour leur sincère amitié et leur précieux soutien, sans oublier les élèves ingénieurs et étudiants en post graduation du département de Génie de chimie et de l'Environnement.*

*Enfin, un grand Merci à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.*

## Dédicace



## إهداء

أقول بعد افتتاح القول بحمد ذي الطول شديد الحول  
وبعده أفضل السلام على النبي سيّد الأنام  
وآله الأطهار خير آل فافهم كلامي و استمع مقالي

✚ أهدي خلاصة جهدي أولا إلى المعلم الأوّل سيدنا مُحَمَّد "صلى الله عليه وسلم"

يا مُصطفى و لا أنت ساكنٌ مُهجتي رُوحِي فداك و كُلُّ ما ملكت يدي  
إني وقفت لنصر دينك عزّتي وسعادتي فليس ألاّ بغيرك أقتدي  
يا ربّ صلي على الحبيب مُحَمَّد واجعله شافعنا بفضلك في غد

✚ و إقرارا بفضل المعلم على كل متعلم أهدي هذا الجهد إلى مؤطرتاي:

فم للمعلم وفيه التبجيلا كاد المعلم أن يكون رسولا  
أعلمت أشرف أو أجلّ من الذي يبني و يُنشئ أنفسا و عقولا

✚ وختاما إلى رمز العطاء المتواصل أبي وأمي:

يقول الدكتور مصطفى السّاعي: « الأم أقوى عاطفة نحو الصّغير و الأب أقوى إدراكا  
لمصلحته و من رحمة الله به توفيرهما له معا.»

لكما أجلّ التقدير و الاحترام.

✚ و إلى أخي شاكر و أخواتي أتمنى دوام الصّحة و النّجاح.

✚ إلى أعزّ أصدقاء: هشام، عزّ الدين و محمد...

« إلى الجزائر »

## SOMMAIRE

<b>Introduction générale</b> .....	1
------------------------------------	---

### ***Chapitre I :***

#### ***Les déchets***

I. 1. Définition.....	3
I. 2. Caractéristiques des déchets solides urbains.....	3
I. 3. Classification des déchets.....	4
I. 4. Classification officielle des déchets.....	4
I. 5. Les grandes filières de traitement des ordures ménagères.....	5
I. 5. 1. Le compostage .....	5
I. 5. 2. La valorisation matière .....	6
I. 5. 3. L'incinération (valorisation énergétique) .....	6
I. 5. 4. La mise en décharge contrôlée .....	6
I. 6. Les Centres d'Enfouissement Technique (CET) .....	7
I. 6. 1. Définition .....	7
I. 6. 2. La biodégradation des déchets en conditions d'enfouissement.....	7
I. 6. 3. Flux polluants générés par les Centres d'enfouissement technique.....	10
Conclusion.....	11

### ***Chapitre II :***

#### ***Description et Exploitation de la décharge d'Ouled Fayet***

II. 1. Présentation du CET d'Ouled Fayet.....	13
II. 2. Les déchets de la décharge d'Ouled Fayet .....	14
II. 2. 1. Type des déchets autorisés .....	14
II. 2. 2. Quantité de déchets rejetés dans le CET .....	14
II. 3. Conception & réalisation du CET d'Ouled Fayet .....	15
II. 3. 1. Les casiers d'enfouissement.....	15
II. 3. 2. Imperméabilisation des casiers d'enfouissement.....	15
II. 3. 3. Géomembrane.....	16
II. 3. 4. Réseau de drainage des lixiviats.....	17
II. 3. 5. Elimination des biogaz.....	18
II. 3. 6. Bassin de décantation de lixiviats.....	18
II. 4. Réaménagement en fin d'exploitation.....	19
Conclusion.....	19

### ***Chapitre III :***

#### ***Les lixiviats et leur traitement***

III. 1. Définition .....	21
III. 2. Principaux facteurs influençant la production des lixiviats.....	21
III. 3. Composition .....	21
III. 4. Évolution du lixiviat au cours du temps .....	22
III. 5. Formation du biogaz .....	24
III. 6. Impact du lixiviat sur l'environnement.....	27
III. 7. Traitement du lixiviat.....	27
III. 7. 1. Traitements biologiques .....	28
III. 7. 2. Traitements physico-chimiques .....	29
III. 7. 3. Procédés de séparation par membranes.....	31
III. 7. 4. Rejets en station d'épuration urbaine .....	31
III. 7. 5. Autres traitements.....	32

III. 8. Combinaisons de traitements .....	34
Conclusion .....	35

### ***Chapitre IV :***

#### ***Argiles et Bentonite***

IV. 1. Généralités sur la structure des minéraux argileux.....	36
IV. 2. Principales Caractéristiques des minéraux argileux.....	37
IV. 3. Cations Echangeables.....	39
IV. 4. Gonflement interfoliaire et interparticulaire.....	39
IV. 5. Les argiles montmorillonitiques : bentonite .....	39
IV. 7. Propriétés acido-basiques des sites réactionnels.....	42
IV. 8. Propriétés et intérêt des argiles .....	43
Conclusion .....	44

## ***PARTIE EXPERIMENTALE***

### ***Chapitre V :***

#### ***Caractérisation des lixiviats***

V.1. Prélèvement des échantillons.....	45
V. 2. Mode de prélèvement et de conservation.....	45
V. 3. Méthodes d'analyse .....	46
V. 4. Débit des lixiviats de la décharge d'Ouled Fayet .....	47
V. 5. Caractérisation des lixiviats d'Ouled Fayet .....	48
V. 6. Interprétation des résultats.....	50
V. 7. Évolution des lixiviats .....	57
Conclusion.....	59

### ***Chapitre VI :***

#### ***Traitement des lixiviats***

VI. 1. Caractérisation de la bentonite. ....	60
VI. 1. 1. pH.....	60
VI. 1. 2. Humidité de la bentonite. ....	60
VI. 1. 3. Autres caractéristique de la bentonite. ....	61
VI. 2. Traitement du lixiviat avec la bentonite brute. ....	62
VI. 2. 1. Traitement sans agitation. ....	62
VI. 2. 2. Traitement avec agitation. ....	67
VI. 3. Traitement du Lixiviat par combinaison des traitements à la chaux et à la bentonite.....	74
VI. 3. 1. prétraitement par la chaux. ....	74
VI. 3. 2. Traitement combiné avec la bentonite.....	77
Conclusion.....	79

<b>Conclusion générale.....</b>	<b>80</b>
---------------------------------	-----------

## **Références bibliographiques**

## **Annexes**

## Glossaire et Abréviation

- ADEME** : Agence française des déchets et de la maîtrise de l'énergie.
- ADIT**: Agence pour la Diffusion de l'Information Technologique.
- AFNOR** : Association française de normalisation.
- AGV**: Acides volatils secs.
- AND**: Agence Nationale de Déchet.
- BRM** : Bio réacteur à membranes.
- CE**: Cations échangeables.
- CEC**: Capacité d'Echange Cationique.
- CET**: Centre d'enfouissement technique.
- CNERU**: Centre National et de Recherche En Urbanisme.
- COD**: Carbone organique dissous.
- COT**: Carbone organique totale.
- CPG**: Chromatographie en phase gazeuse.
- C.T.T.P**: L'Organisation Nationale de Contrôle Technique des Travaux Publiques.
- C/N**: Rapport carbone/azote.
- DA** : Dinar Algérien.
- DBO**: Demande Biochimique en Oxygène.
- DBO<sub>5</sub>**: Demande Biochimique en Oxygène pendant 5 jours.
- DCO**: Demande Chimique en Oxygène.
- DIB**: Déchets industriels banals.
- DGTPE** : Direction générale du trésor et des politiques économiques
- DMA**: Déchets Ménagers et Assimilés.
- ECO-JEM** : Organisation publique de récupération des emballages.
- ENSP**: Ecole nationale supérieure polytechnique.
- EPDM**: Ethylène propylène diène monomère.
- EPIC** : Etablissement public à caractère industriel et commercial.
- GTZ**: Office allemand de coopération technique.
- % H**: Pourcentage Humidité.
- ISO**: International organization for standardization
- Ka**: Constante d'équilibre.
- L.N.H.C**: Laboratoire National de l'Habitat et Construction.
- MATE**: Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement (Algérie).
- MDA** : Million de dinar algérien.
- MES**: Matière en suspension.
- MINEFI** : Ministère de l'Économie, des Finances et de l'Industrie.
- MO**: Matière organique.
- MVS** : Matière volatile sèche.
- NETCOM** : EPIC - Etablissement de Nettoyement et collecte des ordures ménagères d'Alger.
- NTK** : Azote Kjeldahl.
- OM**: Les ordures ménagères.
- ONA**: Office National d'Assainissement.
-

## **Glossaire et Abréviation**

**PC:** *Pouvoir Calorifique.*

**PCB :** *Polychlorobiphényles.*

**P.C.N :** *Point de charge nulle.*

**PCI :** *Pouvoir calorifique inférieur.*

**PCS :** *Pouvoir calorifique supérieur.*

**PEHD:** *Polyéthylène Haut Densité.*

**PEV:** *La Politique Européenne de Voisinage.*

**PH:** *Potentiel d'hydrogène.*

**PME:** *Petites et moyennes entreprises.*

**PNAEDD:** *Programme National de l'Environnement et du Développement Durable.*

**PNUE :** *Programme des Nations Unies pour l'Environnement.*

**PROGDEM :** *Programme national de gestion intégrée des déchets municipaux.*

**PVC:** *Polychlorure de vinyle.*

**RECORD :** *Réseau coopératif de recherche sur les déchets.*

**T:** *Température.*

**UV:** *Ultraviolet.*

---

## La liste des figures

<b>Figure I.1</b> : Schéma représentatif d'un casier d'enfouissement technique.....	7
<b>Figure I. 2</b> : Mécanismes de la fermentation anaérobie.....	10
<b>Figure II. 1</b> : L'état de la Décharge avant 1998.....	13
<b>Figure II. 2</b> : L'état de la Décharge après 2002.....	13
<b>Figure II. 3</b> : Constituant du casier N°4 : géomembrane, géotextile et gravier roulé.....	16
<b>Figure II. 4</b> : Mise et soudure de la géomembrane.....	17
<b>Figure II. 5</b> : Système de drainage des lixiviats.....	17
<b>Figure II. 6</b> : Système de récupération de biogaz sans traitement.....	18
<b>Figure II.7</b> : Refoulement des lixiviats vers l'extérieur au niveau du cheminé de récupération des Biogaz du Casier N° 1.....	18
<b>Figure II. 8</b> : le bassin de décantation des lixiviats.....	18
<b>Figure II. 9</b> : Réceptacle finale de lixiviats vers l'Oued Ben Brahem.....	18
<b>Figure III. 1</b> : Processus chimiques, physiques et biologiques se développant dans les décharges..	20
<b>Figure III. 2</b> : Le bioréacteur «décharge».....	20
<b>Figure III. 3</b> : Évolution de la composition du biogaz en fonction du temps.....	25
<b>Figure IV. 1</b> : Représentation schématique d'un feuillet de phyllosilicate 2:1.....	36
<b>Figure IV. 2</b> : Structure des phyllosilicates 2:1 (smectite).....	37
<b>Figure IV.3</b> : Structure multi-échelle de la montmorillonite.....	40
<b>Figure IV.4 :a)</b> Illustration de l'empilement des feuillets d'argile, montrant les surfaces basales, bordures des particules, ainsi que les espaces interfeuillets.....	41
<b>Figure IV.4 :b)</b> Arrangement des octaèdres et tétraèdres dans un feuillet de montmorillonite.....	41
<b>Figure. IV. 5</b> : Représentation schématique de la couche interfoliaire dans le cas de cations interfoliaires hydratés.....	42
<b>Figure V. 1</b> : schéma représentatif de centre d'enfouissement technique d'Ouled Fayet.....	45
<b>Figure VI. 1</b> : Évolution de la DCO et DBO <sub>5</sub> en fonction de m/v.....	63
<b>Figure VI. 2</b> : Évolution de MES en fonction de m/v.....	63
<b>Figure VI. 3</b> : Évolution de pH en fonction de m/v.....	63
<b>Figure VI. 4</b> : Abattement de NTK en fonction de m/v.....	64
<b>Figure VI. 5</b> : Abattement de PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> en fonction de m/v.....	65
<b>Figure VI. 6</b> : Abattement de NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> en fonction de m/v.....	65
<b>Figure VI. 7</b> : Évolution du rendement en fonction de m/v.....	66
<b>Figure VI. 8</b> : rendement d'abattement par Recyclage.....	66
<b>Figure VI. 9</b> : Évolution de la couleur de lixiviat après traitement par Bentonite brute.....	66
<b>Figure VI. 10</b> : Évolution de la couleur des lixiviats après recyclage.....	67
<b>Figure VI. 11</b> : Évolution de la DCO en fonction de m/v pour une bentonite brute et séchée.....	68
<b>Figure VI. 12</b> : Taux d'élimination des DCO et NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> par adsorption sur bentonite séchée.....	70
<b>Figure VI. 13</b> : Taux d'élimination des DCO, NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> par adsorption sur bentonite séchée.....	71
<b>Figure VI. 14</b> : Taux d'élimination des DCO, NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> par adsorption sur bentonite séchée.....	72
<b>Figure VI. 15</b> : Évolution du pH, T° et Conductivité en fonction de m/v.....	75
<b>Figure VI. 16</b> : Évolution de DCO en fonction de m/v.....	76
<b>Figure VI. 17</b> : Évolution du pH, T° et Conductivité en fonction de m/v.....	77
<b>Figure VI. 18</b> : Évolution de la DCO en fonction du rapport m/v.....	78
<b>Figure VI. 19</b> : Évolution de PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> en fonction du rapport m/v.....	78
<b>Figure VI. 20</b> : Évolution de la couleur de lixiviat après les deux traitements.....	79

---

## La liste des tableaux

<b>Tableau I. 1</b> : Nuisances créées par une décharge.....	11
<b>Tableau II. 1</b> : Types de déchets admissibles et interdits Dans le CET d'Ouled Fayet.....	14
<b>Tableau II. 2</b> : Quantité des déchets reçus au niveau du C.E.T d'Ouled Fayet.....	15
<b>Tableau II. 3</b> : Exploitation des casiers d'enfouissement du CET d'Ouled Fayet.....	15
<b>Tableau III.1</b> : Les Caractéristiques des lixiviats d'ordures ménagères.....	22
<b>Tableau III.2</b> : Composition moyenne d'un lixiviat en phase acidogène et méthanogène.....	23
<b>Tableau III. 3</b> : Classement des lixiviats selon l'âge de la décharge.....	24
<b>Tableau III. 4</b> : Avantages et inconvénients des différents procédés.....	33
<b>Tableau III.5</b> . Efficacité de certains traitements uniques et combinés.....	34
<b>Tableau IV. 1</b> : Caractéristiques de quelques argiles.....	38
<b>Tableau V.1</b> : Paramètres, méthodes et normes d'analyse.....	46
<b>Tableau V.2</b> : Débit des lixiviats au point de prélèvement P1.....	47
<b>Tableau V.3</b> : Débit des lixiviats au point de prélèvement P2.....	47
<b>Tableau V.4</b> : Teneurs des différents paramètres caractérisant les lixiviats (P1).....	48
<b>Tableau V. 5</b> : Valeurs des différents paramètres caractérisant les lixiviats (P2).....	49
<b>Tableau V. 6</b> : Tableau comparatif de la composition physico-chimique moyenne du lixiviat.....	50
<b>Tableau V. 7</b> : Résultats obtenus pour les métaux lourds.....	57
<b>Tableau V.8</b> : Évolution des caractéristiques des lixiviats du C.E.T d'Ouled Fayet entre 2006 et 2008 (P1).....	57
<b>Tableau VI. 1</b> : Caractéristiques physico-chimiques des bentonites testées.....	61
<b>Tableau VI. 2</b> : Analyses chimiques de la Bentonite.....	62
<b>Tableau VI. 3</b> : Évolution du DCO, $\text{NO}_2^-$ , $\text{PO}_4^{3-}$ et le rendement d'élimination.....	68
<b>Tableau VI. 4</b> : Évolution du pH, DCO, $\text{NO}_2^-$ et le rendement d'élimination.....	69
<b>Tableau VI. 5</b> : Évolution du pH, DCO, $\text{NO}_2^-$ et le rendement d'élimination.....	70
<b>Tableau VI. 6</b> : Évolution du pH, DCO, $\text{NO}_2^-$ et le rendement d'élimination.....	71
<b>Tableau VI. 7</b> : Évolution du pH, $T^\circ$ , DCO et Conductivité en fonction de m/v.....	75
<b>Tableau VI. 8</b> : Évolution du pH, $T^\circ$ , DCO et la conductivité en fonction du m/v.....	77

---



## *Introduction générale*

## **INTRODUCTION GÉNÉRALE**

Comme dans toutes les grandes villes du monde, la production de déchets en Algérie ne cesse d'augmenter. Des ordures qui en s'accumulant, dégradent le paysage urbain et représentent un véritable péril pour la planète !

Pourtant nous savons tous que « rien ne disparaît sur terre, tout se transforme » en l'occurrence, en émission de CO<sub>2</sub> et en pollution très toxique telle que la dioxine qui nuit gravement à la santé des hommes. Trop souvent on montre du doigt les industriels alors que nous sommes responsables d'une grande partie de la contamination... Prenons l'exemple de la France en 2004, chaque français produit 353 kg de déchets ménagers par an, contre 345 kg il y a dix ans et 220 kg dans les années 60 [1].

L'Algérie, qui affiche depuis l'indépendance un taux de croissance économique et sociale anarchique et non maîtrisé, doit faire face aujourd'hui à une augmentation de la quantité de ses déchets ménagers qui ne cesse de s'accroître (passée de 0,35 kg/hab/j en 1968 à 1 kg/hab/j en 2008) [2] ce qui équivaut à 365 kg/an soit la même quantité qu'un pays développé.

A la fin des années 80, la gestion des déchets ménagers en Algérie a été le sujet d'un débat national, conduisant à l'élaboration de la loi du 1<sup>er</sup> décembre 1990 relative à l'aménagement et l'urbanisme, cette législation a initié une politique plus ambitieuse axée en particulier sur la gestion, au contrôle et à l'élimination des déchets, à partir du décembre 2001[3].

Le traitement des déchets ménagers et assimilés ainsi que des déchets des collectivités locales est dominé par le stockage. Ces unités de traitement sont appelées Centre d'Enfouissement Technique de classe II (C.E.T. II). Comme toute activité industrielle, l'exploitation des C.E.T. II génère des nuisances telles que le bruit, l'odeur et des déchets tels que les effluents liquides (les lixiviats formés par l'eau constitutive des O.M. et par les précipitations) et gazeux (biogaz résulte de la biodégradation des matières fermentescibles présentes au sein du massif de déchets) [4]. Cela montre bien que drainer les lixiviats afin d'éviter leur infiltration est insuffisant, car se pose le problème du devenir de ces eaux si dangereuses, leur introduction dans le milieu récepteur induirait par la force des choses la contamination des eaux d'irrigation et donc des cultures agricoles. La solution la plus appropriée est de les traiter avant de les rejeter, car si les déchets disparaissent de nos vues, leur danger pourrait bien se retrouver dans nos assiettes et dans nos verres...

Les décharges existantes au niveau de la Wilaya d'Alger (Oued Semar et Ouled Fayet) font l'objet de nombreuses protestations de la part de la population. Tous les déchets collectés

à Alger sont entassés sur ces terrains vagues situés respectivement à l'est et à l'ouest de la ville, sans limitation du volume et en dehors de toute norme. Ces deux décharges sont à l'origine de la forte pollution de l'air de la ville [5].

Les communes sont de par la loi responsable du traitement (Compostage, Incinération, Enfouissement) des déchets solides urbains.

Afin de préserver au mieux l'environnement de ces rejets potentiels, les C.E.T. II, qualifiés d'Installations Classées Pour l'Environnement (ICPE), sont soumis à une réglementation stricte : décret exécutif n° 07-205 du 15 Jomada Ethania 1428 correspondant au 30 juin 2007 fixant les modalités et procédures d'élaboration, de publication et de révision du schéma communal de gestion des déchets ménagers et assimilés [7].

Cette thèse a pour objectif de donner une vision assez générale du problème généré par les lixiviats de la décharge du centre d'enfouissement technique d'Ouled Fayet (construit en l'an 2000 avec un montant de 400 million de dinars [5], il a pour objectif la gestion des rejets urbains de 39 communes de la Wilaya d'Alger). Nous nous intéressons aux traitements de ces lixiviats par la bentonite de Maghnia, afin de minimiser voire d'éliminer la pollution et ses conséquences sur l'environnement et l'homme avec, si possible, une bonne efficacité, facilité de mise en œuvre et un coût abordable.

Ce mémoire s'articule autour des deux parties suivantes :

- La première partie est consacrée à une revue bibliographique sur les déchets en général et les lixiviats en particulier, ainsi que leurs différentes techniques de traitement.

La description et l'Exploitation du CET d'Ouled Fayet ainsi que des généralités sur les argiles et la bentonite font des chapitres suivants.

- Puis, dans la partie expérimentale, nous avons déterminé les caractéristiques de différents échantillons de lixiviat de la décharge d'Ouled-Fayet. Nous avons ensuite procédé à des traitements de ces effluents par la bentonite en essayant d'optimiser la dépollution par le biais de plusieurs paramètres et aussi en combinant ceux-ci avec la précipitation à la chaux. Enfin, la dernière partie consiste à exploiter les résultats obtenus et les comparés aux normes législatives Algérienne.



# CHAPITRE I

## *Les déchets*

L'Algérie est entrain de connaître un développement économique et démographique sans précédent. Le taux élevé d'accroissement de la population a ainsi engendré une urbanisation accélérée, le plus souvent de manière anarchique qui a vu la prolifération de l'habitation précaire, cela ne s'est pas fait sans conséquences sur l'environnement. Face à la gravité des problèmes environnementaux, le gouvernement algérien a décidé en 2001 de consacrer une enveloppe financière importante, de près de 970 MDA, pour atteindre les objectifs inscrits dans le Plan National d'actions pour l'Environnement et le Développement Durable (PNAEDD), prévu jusqu'en 2010 [8].

Dans ce chapitre, nous procéderons à une présentation de la problématique des déchets solides et de son impact sur l'environnement.

## **I. 1. Définition**

Les déchets sont définis par le projet de loi 01-19 du 12 décembre 2001 relative à leur gestion et à leur élimination comme : « tous résidus d'un processus de production, de transformation ou d'utilisation, toute substance, matériau, produit ou plus généralement tout bien meuble abandonné ou que son détenteur destine à l'abandon ou à l'obligation de s'en défaire dans le but de ne pas nuire à la collectivité et de protéger l'environnement » [9].

Les déchets ménagers et assimilés, par leur volume, leur relative complexité (nature et comportement biochimique souvent variables dans le temps et l'espace) et leurs implications socio-économiques (ils concernent directement la totalité des ménages, des entreprises et des collectivités locales), représentent à ce titre une filière économique particulièrement intéressante à traiter au niveau ultime du stockage [10].

## **I. 2. Caractéristiques des déchets solides urbains**

La caractérisation des déchets urbains est le premier acte à faire en vue d'une gestion efficace de ceux-ci. Les principaux critères à prendre en compte pour la collecte et le transport sont [11, 12] :

**I. 2. 1. La consistance** (solide, liquide ou pâteuse) : elle permet de déterminer s'il est nécessaire de prévoir des systèmes de transport étanches.

**I. 2. 2. La compressibilité** : lors de la gestion de grandes quantités, il est intéressant de savoir si les déchets peuvent être compactés, ce qui permet de faciliter les modes de stockage et de rentabiliser les transports [12].

**I. 2. 3. Densité** : Elle met en évidence la relation qui existe entre le poids des ordures ménagères et le volume qu'elles occupent. Elle varie généralement suivant les pays et le mode

de consommation entre 0,12 à 0,40 kg/m<sup>3</sup>. En ce qui concerne les villes algériennes, on l'estime à des valeurs comprises entre 0,22 et 0,3 kg/m<sup>3</sup> [13].

**I. 2. 4. Taux d'humidité :** Le taux d'humidité ou teneur en eau représente la quantité pondérale d'eau contenue dans une masse de déchets rapportée à la quantité pondérale de ce déchet humide [12]. Selon une étude récente sur les ordures ménagères de la ville d'Alger, le taux d'humidité est de 49% [13].

**I. 2. 5. Pouvoir calorifique :** Le pouvoir calorifique des ordures ménagères est défini comme étant la quantité de chaleur dégagée par la combustion de l'unité de poids d'ordures brutes, exprimé en millithermie/tonne ou en thermie/tonne [14]. On considère soit le pouvoir calorifique supérieur (PCS) qui prend en compte la chaleur de vaporisation de l'eau contenue dans les ordures ménagères, soit le pouvoir calorifique inférieur (PCI) qui exclut cette dernière lors de la combustion [15].

**I. 2. 6. Rapport carbone/azote :** Un compost est valable à partir d'ordures ménagères ayant un rapport C/N  $\leq 35$  au départ [14]. Pour l'Algérie, le compost obtenu a un rapport C/N  $\geq 15$  [15].

### **I. 3. Classification des déchets**

Le but d'une classification des déchets est:

- D'ordre technique, afin de mieux maîtriser les problèmes de transport, de stockage intermédiaire, de traitement, d'élimination finale.
- D'ordre financier, selon l'application du principe de pollueur- payeur ; tri entre les communes et entreprises qui sont membres ou non d'un organisme de gestion des déchets qui en a assuré le financement.
- D'ordre légal, afin de cerner les responsabilités causales relatives à des questions de sécurité des populations ou de protection de l'environnement [16].

### **I. 4. Classification officielle des déchets**

Le classement est effectué soit selon l'origine de production des déchets, soit selon l'origine du produit dont est issu le déchet [17, 18], dont on entend par:

#### **I. 4. 1. Déchets ménagers et assimilés**

Tous déchets issus des ménages ainsi que les déchets similaires provenant des activités industrielles, commerciales, artisanales et autres qui, par leur nature et leur composition, sont assimilables aux déchets ménagers.

#### **I. 4. 2. Déchets encombrants**

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

#### **I. 4. 3. Déchets spéciaux**

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

#### **I. 4. 4. Déchets spéciaux dangereux**

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

#### **I. 4. 5. Déchets d'activité de soins**

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

#### **I. 4. 6. Déchets inertes**

Tous déchets provenant notamment de l'exploitation des carrières, des mines, des travaux de démolition, de construction ou de rénovation, qui ne subissent aucune modification physique, chimique ou biologique lors de leur mise en décharge, et qui ne sont pas contaminés par des substances dangereuses ou autres éléments générateurs de nuisances, susceptibles de nuire à la santé et/ou à l'environnement [18].

### **I. 5. Les grandes filières de traitement des ordures ménagères**

Le but de la gestion de déchets est d'en assurer l'élimination, d'en réduire la production et surtout, de les valoriser [19]. Le choix des filières doit se faire en tenant compte du contexte régional (géographique, pédoclimatique : lié au sol, au climat et économique) [19]. La gestion des OM est actuellement organisée selon différents modes de traitement ou de valorisation. Quatre grandes filières de traitement et d'élimination ont été développées. Celles-ci sont détaillées dans les paragraphes suivants :

#### **I. 5. 1. Le compostage**

Cette filière a pour objet de valoriser par fermentation une partie des ordures ménagères en compost utilisable pour l'amendement organique des sols (Une tonne de déchets représente approximativement 200 litres de fuel) [20]. Le compostage est souvent défini comme une bio-

oxydation des matières organiques présentes provoquées par des micro-organismes indigènes en conditions contrôlées (aération, humidité, température) [20]. Deux modes de dégradation de la matière organique sont possibles : en présence d'oxygène (aérobiose), il s'agit du compostage et en absence d'oxygène (anaérobiose), on parle alors de méthanisation. L'Algérie n'a pas fait le choix du compostage, malgré plusieurs expériences menées depuis les années 70 (unités de compostage de Badjarah, Blida et Tlemcen) [21, 22].

### **I. 5. 2. La valorisation matière**

Parmi les déchets ménagers, plus de 50% en masse font partie des déchets recyclables et 30% sont fermentescibles [14]. La valorisation matière des OM peut s'effectuer de différentes façons :

- La première forme est le réemploi, par exemple réutilisation d'une bouteille en verre, de palettes ou d'emballages (produit valorisé dans le cadre du programme ECOJEM) [23].
- La deuxième forme est le recyclage, qui permet d'obtenir, à partir des déchets, des matières premières secondaires entrant dans la fabrication de nouveaux produits. Le recyclage implique qu'il n'y ait pas de mélange des déchets et donc un tri à la source.

### **I. 5. 3. L'incinération (valorisation énergétique)**

Elle consiste à brûler les ordures ménagères dans des fours spéciaux afin d'en réduire le volume et la nocivité. Elle peut se faire avec ou sans valorisation de l'énergie produite. Vis-à-vis de l'incinération, la grandeur caractéristique la plus fréquemment utilisée est le PCI, ce procédé est utilisé pour des déchets ayant un PCI élevé ( $PCI > 7200 \text{ KJ/Kg}$ ) et une teneur en eau relativement faible ( $Hu < 50\%$ ). L'incinération est souvent couplée à une récupération d'énergie. En effet, l'incinération d'une tonne d'ordures ménagères produit entre 1,5 à 2 tonnes de vapeur, soit un équivalent d'énergie de 300 à 350 Kwh [24, 25].

### **I. 5. 4. La mise en décharge contrôlée**

La mise en décharge est le procédé le plus largement utilisé pour les ordures ménagères et même pour certains déchets industriels. Les déchets sont répandus en couches successives sur un terrain dont les caractéristiques hydrogéologiques permettent d'éviter tout risque de pollution : pollution des eaux de surface, des eaux souterraines et des sols et dégradation des paysages [26]. On parlait de décharge, puis de CET, enfin, à l'aube des années 2000, c'est le terme centre de stockage des déchets qui prime. Il existe trois catégories de centre de stockage des déchets [27, 28]:

- classe I: déchets industriels spéciaux et déchets ultimes.
- classe II: déchets municipaux et déchets industriels.
- classe III: déchets inertes.

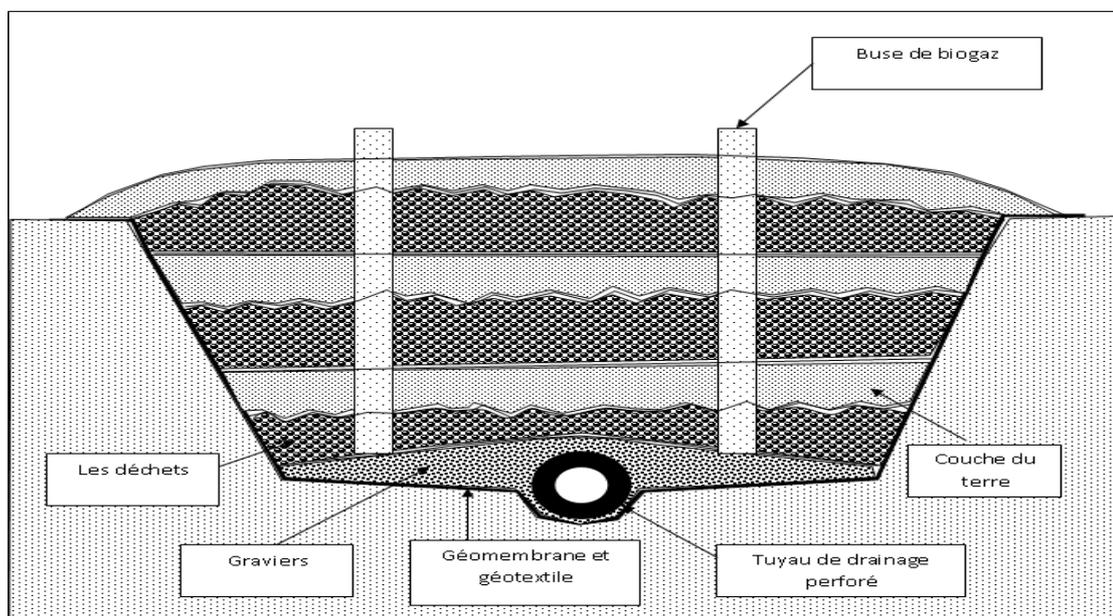
## I. 6. Les Centres d'Enfouissement Technique (CET)

La solution technique retenue par l'Algérie pour le traitement des déchets ménagers est l'enfouissement. A ce titre, plusieurs CET ont été réalisés. Sur un total de 80 CET programmés, 20 sont complètement réalisés, 34 sont en phase d'achèvement et 26 sont en phase d'étude (recherche de site, étude d'impact,...). Plus de 39 CET ont fait l'objet d'expertises techniques menées par des experts internationaux de la Coopération Technique Algéro-Allemande pour apprécier la qualité de la conception et de la réalisation [29].

### I. 6. 1. Définition

Le Centre d'Enfouissement Technique est une décharge spécialement conçue pour le stockage des déchets sans générer de pollution, grâce à un système d'étanchéité au fond de l'aire de stockage, un système de drainage et d'épuration des lixiviats, un système de récupération et d'élimination du biogaz, des équipements d'épandage, de compactage et de recouvrement des déchets (Fig. I.1). L'étanchéité est assurée par la superposition d'une géomembrane en Polyéthylène haute densité (PEHD) et d'un géotextile en matériaux synthétiques [30, 31].

Pour autoriser l'installation d'un CET, il faut passer par une étude d'impact sérieuse qui doit faire ressortir l'état initial du site et son environnement, les effets du projet sur le site, les raisons du choix et les mesures à prendre pour compenser ou réduire les effets négatifs.



*Figure I.1 : Schéma représentatif d'un casier d'enfouissement technique.*

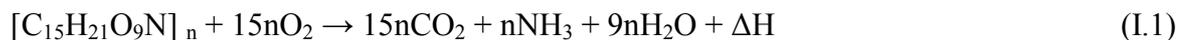
### I. 6. 2. La biodégradation des déchets en conditions d'enfouissement

Le massif de déchets enfouis est un réacteur biologique où se déroule une multitude de réactions chimiques. La dégradation des déchets s'effectue en plusieurs étapes métaboliques,

sous l'action de micro-organismes spécifiques, où les produits d'une étape deviennent les substrats de l'étape suivante. La succession de ces étapes aboutit à la minéralisation partielle de la matière organique et à sa transformation en molécules plus complexes. Deux phases majeures sont à distinguer, une première phase courte qui a lieu en aérobiose et une seconde beaucoup plus longue en anaérobiose [12].

### ***I. 6. 2. 1. Mécanisme biologique aérobie***

Tant que la densité des déchets permet le passage de l'oxygène (faible compactage et absence de couverture après le dépôt des déchets) une fermentation aérobie se produit, elle conduit à la formation de CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O et de chaleur suivant la réaction suivante :



[C<sub>15</sub>H<sub>21</sub>O<sub>9</sub>N]<sub>n</sub> : représente la formule globale de la matière putrescible des décharges. La température s'élève jusqu'à 60°C au sein de la masse des déchets.

ΔH : chaleur dégagée lors de la réaction [31].

### ***I. 6. 1. 2. Mécanisme biologique anaérobie***

La biodégradation de la matière organique passe par cinq étapes : hydrolyse, acidogène, acétogénèse, méthanogène et la maturation (voir la figure I. 2).

#### **a. Hydrolyse**

Dans cette étape, les matières organiques sont soumises à l'action d'enzymes spécifiques par des micro-organismes hydrolysant, dégradant les grosses molécules insolubles en sucres simples et acides aminés libres qui pourront servir de nutriments dans la phase suivante. Après cette phase, le métabolisme anaérobie devient le principal processus de biodégradation. Les populations bactériennes impliquées sont extrêmement nombreuses. Cette phase est caractérisée par une :

- Chute du potentiel d'oxydoréduction.
- Apparition d'acides carboxyliques.
- Augmentation de la charge organique [31].

#### **b. Acidogène**

De très nombreuses espèces bactériennes anaérobies facultatives ou anaérobies strictes prennent part à cette phase qui peut s'effectuer selon deux voies :

- Dans la première, les petites molécules d'après hydrolyse de la matière organique sont transformées directement en composés précurseurs de CH<sub>4</sub>, acétate, CO<sub>2</sub> et H<sub>2</sub>.
- Dans la seconde, au lieu de la formation d'acétate, il se forme des alcools comme le méthanol et l'éthanol et surtout des acides gras volatiles (AGV). Cette étape aboutit à un

changement important des conditions d'acidité du milieu et l'abaissement du pH qui provoque la solubilisation de certains métaux [32].

### c. Acétogenèse

Dans cette phase, se produit la transformation des sucres, des acides gras volatiles et des alcools en acétate, formate et gaz (CO<sub>2</sub> et H<sub>2</sub>) qui, seuls sont assimilables dans la phase méthanogène. C'est pourquoi, la majorité des acides gras volatils se transforment en acide acétique [33], Le pH augmente jusqu'à la neutralisation, ce qui favorise la formation de bicarbonates en solution. Le milieu est ainsi tamponné à pH basique permettant le développement des bactéries méthanogènes [32].

### d. Méthanogène

Cette étape correspond à la production de méthane (50 à 60 % en volume) et des teneurs en CO<sub>2</sub> (40 à 50% en volume) [32]. Il se produit deux réactions de méthanogène simultanée :



Les bactéries méthanogènes sont des bactéries anaérobies strictes. Le lixiviat produit présente une faible DCO représentative d'une matière organique difficilement biodégradable, un relargage en éléments minéraux et métalliques très limité en raison d'une réduction très importante des espèces telles que les sulfates par exemple en sulfures métalliques [32, 34].

On note au cours de cette phase :

- Une augmentation du pH sous le contrôle de la capacité tampon des carbonates.
- Une valeur minimale du potentiel redox.
- Une complexation puis précipitation des espèces métalliques.
- Une diminution de la charge organique avec l'augmentation de la production du biogaz [34, 35].

### e. Maturation

C'est la fin des phénomènes de biodégradation, avec chute de la production de biogaz. La matière organique à cette étape est caractérisée par la DCO dure, caractéristique de macromolécules organiques. Il y a méthanisation très lente des produits biodégradables avec formation des molécules complexes de type acides humiques [31, 32].

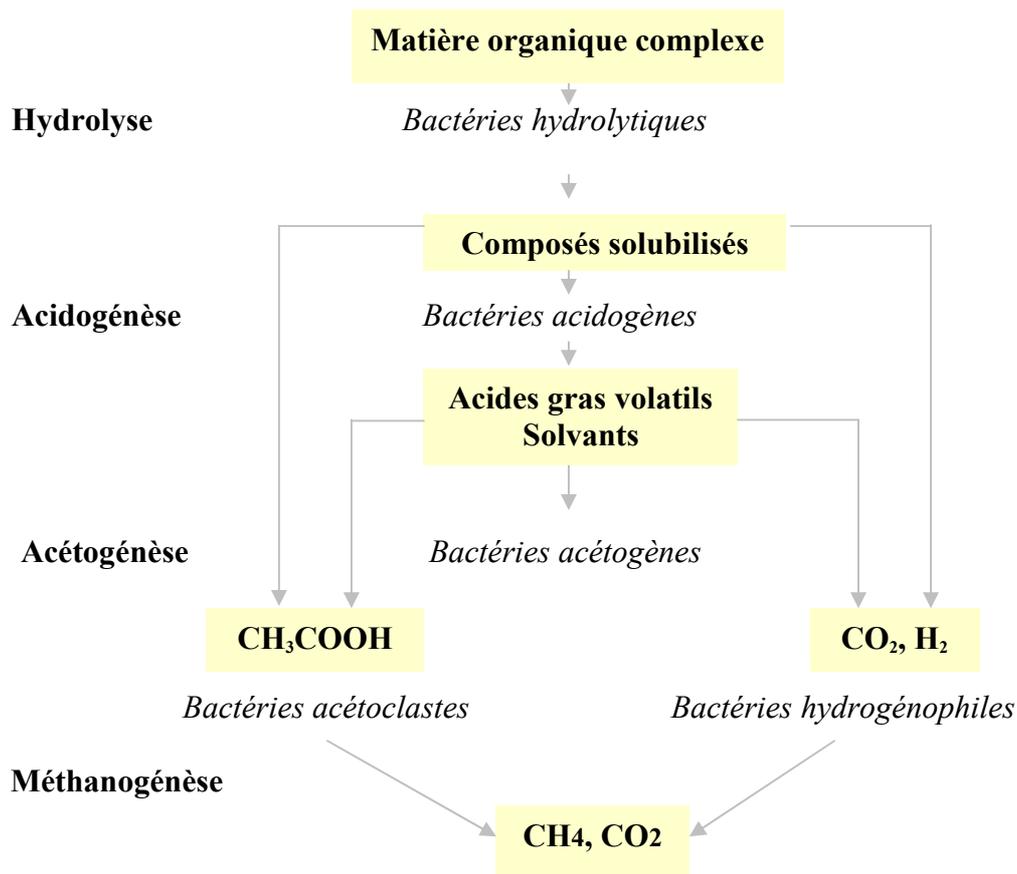


Figure I. 2 : Mécanismes de la fermentation anaérobie.

### I. 6. 3. Flux polluants générés par les Centres d'enfouissement technique

Le tableau I.1 reprend les différentes nuisances qui sont créées par une décharge. Nous allons détailler davantage les deux plus importantes, à savoir les lixiviats et le biogaz :

- Le biogaz qui est un mélange composé essentiellement de méthane et de dioxyde de carbone (le rapport  $\text{CH}_4/\text{CO}_2$  est d'environ 60/40), il participe activement à l'effet de serre, et l'émission issue des décharges d'ordures ménagères est l'une des sources anthropogéniques les plus importantes [35]. Le biogaz, constitué en partie de composés nocifs dont certains peuvent se révéler toxiques et/ou cancérigènes [36].

- Le lixiviat ou percolât qui est le liquide résiduel qui provient de la percolation de l'eau à travers les déchets. Les métaux lourds présents dans les lixiviats peuvent être à l'origine d'une pollution et avoir de graves répercussions sur la santé. En effet, le plomb (éléments électriques, piles...) et le mercure (thermomètres, baromètres...) sont des agents mutagènes et cancérigènes, capables de perturber le développement normal des individus. L'aluminium (conserves) a des propriétés neurotoxiques. Le cadmium (photo- conducteurs, piles...) est susceptible d'engendrer des affections pulmonaires et des troubles rénaux... Pour éviter la dispersion de ces polluants dans la nature, il faudrait en réduire l'utilisation et à terme les remplacer, comme cela a été fait pour le mercure dans les thermomètres [36].

Tableau I. 1 : Nuisances créées par une décharge [36].

Lixiviat	Biogaz	Animaux errants	Déchets solides	Aspect visuel
<i>Conséquences directes</i>				
Contamination: - du sol - de la nappe phréatique - des cours d'eau - des mers	- Odeurs - Explosions - Incendies - Pollution atmosphérique	- parasites de la décharge - destruction de la faune et la de flore.	- éboulements - déchets volants - blessures sur objets coupants - tassement	- sécurité dans les villages. - paysages modifiés
<i>Conséquences indirectes</i>				
- intoxications par l'eau de consommation - épidémies - destruction de la faune et de la flore.	- Intoxications - Asphyxie - effet de serre - maladies type cancers	- vecteurs de maladies. - Épidémies - infections dues: aux morsures aux griffes	- infections	- sur le tourisme - opposition de citoyens

## Conclusion

L'Algérie doit s'intéresser à ce gisement d'énergie propre et durable et considérer la gestion de ses déchets comme un secteur de l'économie nationale à l'instar des secteurs de l'industrie de production. Ce n'est qu'après l'intégration de ces déchets dans le circuit économique que nous pouvons économiser nos ressources et préserver un cadre de vie meilleur pour les générations futures.

Les différentes études menées montrent que le procédé le plus économique en ce qui concerne l'élimination des déchets en Algérie est la mise en décharge, cependant après le dépôt des déchets dans un C.E.T, trois importantes conséquences sur l'environnement sont à noter :

- Les déchets entreposés et tout ce que cela peut engendrer comme nuisances (odeurs, rongeurs, insectes).
- La formation du biogaz,
- Les jus de décharge ou les lixiviat.

Notre étude porte sur les lixiviat de décharges que nous allons développer dans le chapitre suivant.



## **CHAPITRE II**

### ***Description et exploitation de la décharge d'Ouled Fayet***

En Algérie, le Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement (MATE) a recensé en 2005 environ 3200 décharges sauvages occupant une superficie de plus de 150.000 hectares parmi les terres les plus fertiles [3, 5]. La décharge d'Oued Smar d'une superficie de 32 hectares, qui existe depuis 1978 située à coté de l'aéroport, pose un problème sérieux pour l'environnement et cause des perturbations à la navigation aérienne, devrait être fermée en 2008 et réhabilitée [22].

En Juillet 2007, a été lancé un second appel d'offres national et international portant « Exécution des travaux de fermeture et de réaménagement de la décharge de Oued Smar (wilaya d'Alger) ». Plusieurs interlocuteurs rencontrés en Algérie ou en France [23] dénoncent déjà le fait que les CET, à peine construits, sont déjà dépassés et que, très rapidement, les mêmes problématiques se profilent : fuites de lixiviats, contamination des nappes phréatiques, inadéquation des méthodes de traitement à la typologie des déchets. En plus de la typologie des déchets (70% du contenu d'une poubelle algérienne est d'origine organique), le dimensionnement de Ouled Fayet n'a pas non plus tenu compte des paramètres climatiques : la forte pluviométrie qui règne à Alger (800 mm/ an) renforce le caractère humide des déchets [23].

Le Centre d'Enfouissement Technique d' Ouled Fayet a été créé par décision N° 444 du 25/04/2001 par Mr le Wali d'Alger, il a été procédé à la réalisation d'une unité chargée de la gestion et l'exploitation du CET de Ouled Fayet. Le Gouvernorat d'Alger a lancé une étude d'impact réalisée par le bureau d'étude GTZ permettant ainsi le début des travaux de réalisation des casiers d'enfouissement (1998) par l'entreprise AMENHYD, l'exploitation du site par NETCOM a commencé en juin 2000, l'exploitation du casier n°1 a débuté en Octobre 2002 [37]. Le site comprend 5 casiers sur 40 hectares. A ce jour, 4 casiers sont déjà remplis [23].

En effet, NET COM gère actuellement 28 sur les 57 communes (contre 15 en 1996) que compte la wilaya. Ce qui représente 2,5 Million d'habitants pour une superficie totale de 186 km<sup>2</sup>, plus de 450 tonnes de déchets/ jour et 320 véhicules pour la collecte et le nettoyage urbain [23].



*Figure II. 1: L'état de la Décharge avant 1998.*



*Figure II. 2: L'état de la Décharge après 2002.*

## **II. 1. Présentation du CET d'Ouled Fayet**

Le Centre d'Enfouissement Technique d'Ouled Fayet est situé à 16 Km au sud Ouest d'Alger, capitale de l'Algérie et à 3 Km de la localité d'Ouled Fayet entre la route nationale N° 36 reliant Alger à Boufarik, et le chemin de Wilaya N° 146 qui joint Chéraga, Ouled Fayet et Douéra.

La région bénéficie d'un climat local de type méditerranéen semi- humide. Les précipitations moyennes annuelles se situent entre 800 mm et 900 mm [38], les plus fortes s'étendent du mois d'octobre au mois de février et presque inexistante en juin, juillet et août. Les températures se situent entre les valeurs extrêmes de -2 à 45 °C. Les vents dominants sont de direction sud – ouest en automne et en hiver, et peuvent atteindre plus de 40 Km/h. Au printemps et en été, ils ont la même direction mais quelque fois orientée Nord- Est [32].

## II. 2. Les déchets de la décharge d'Ouled Fayet

Le CET d'Ouled Fayet a une capacité prévue de 6.000.000,00 m<sup>3</sup>, soit près de 3.000.000 tonnes pour une durée de vie estimée à 10 ans. L'accès au CET est soumis à une convention et au paiement de droit de mise en décharge fixé par l'exploitant [37].

### II. 2. 1. Type des déchets autorisés

Les déchets ménagers enfouis sur le site d'Ouled Fayet sont constitués principalement de déchets putrescibles et de déchets d'emballages (papiers cartons, textiles, plastiques). Ces derniers constituent environ 80 % de la masse de déchets [32]. Seules les ordures ménagères et les déchets assimilés (déchets de commerce, déchets industriels banals...etc.) sont autorisés à être déversés au niveau du C.E.T d'Ouled Fayet. Tous autres déchets (toxique, septique, industriel, déchets d'abattoirs...etc.) sont strictement interdits [37]. Les déchets admis et non admis au CET sont représentés dans le tableau II. 1 suivant :

**Tableau II. 1 : Types de déchets admissibles et interdits Dans le CET d'Ouled Fayet [40].**

Types de déchets admissibles	Types de déchets interdits
Ordures ménagères. Objets encombrants. Déchets de voirie. Déchets industriels et commerciaux assimilables aux ordures ménagères. Déchets verts. Boues dont la siccité est supérieure ou égale à 30%. Déchets fermentescibles et fortement évolutifs de l'industrie et de l'agriculture. Déchets de bois, papier, carton.	Déchets dangereux et déchets industriels spéciaux. Déchets contenant plus de 50mg/kg de PCB et les déchets contaminés par ce produit. Les déchets septiques des hôpitaux. Les cyanures. Les produits inflammables et explosifs. Les solvants organiques. Les produits radioactifs. Les pesticides. Les déchets d'amiante. Les déchets de peintures. Les produits pharmaceutiques. Les boues de tanneries et de teinturerie. Déchets liquides ou dont la siccité est inférieure à 30%.

### II. 2. 2. Quantité de déchets rejetés dans le CET

Actuellement la quantité moyenne de déchets déversés dans le C.E.T d'Ouled Fayet est plus de 450 tonnes par jour. Le nombre moyen de voyages effectués par jour est de 100 voyages. Le nombre de casiers exploités à ce jour est de 04 casiers. Le tableau 2 représente la quantité des déchets reçus pour chaque casier [39].

Tableau II. 2 : Quantité des déchets reçus au niveau du C.E.T d'Ouled Fayet.

CASIER	Nombre de Voyages			Tonnage			Quantité compactée	Taux d'exploitation
	Ordures Ménagères	Terre de Couverture	Total	Ordures Ménagères	Terre de Couverture	Total		
N°1	29 130	2 743	31 873	132 791	19 168	151 959	85 147	119 % (saturé)
N°2	19 090	668	19 758	79 420	4 676	84 096	47 092	116 % (saturé)
N°3	180 952	12 905	193 857	972 771	86287	1 059 058	593 072	123% (saturé)
N°5 Du 22/08/07 au 31/03/08	57 220	1 541	58761	176243,9	14 727	190 970,9	133 679,6	54% En cours d'exploitation

## II. 3. Conception & réalisation du CET d'Ouled Fayet

### II. 3. 1. Les casiers d'enfouissement

Le tableau II. 3 donne : la profondeur, la capacité et le taux d'exploitation de chaque casier ainsi que la durée d'exploitation de chacun.

Tableau II. 3 : Exploitation des casiers d'enfouissement du CET d'Ouled Fayet [40].

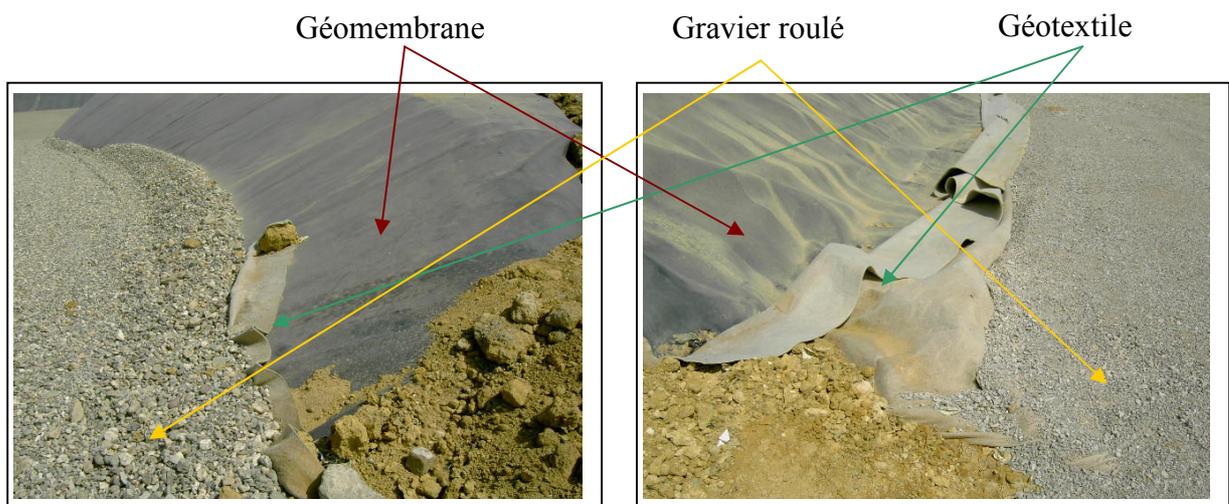
Casier	Profondeur (m)	Capacité m <sup>3</sup>	Taux d'exploitation	Durée de vie
Casier N°1	12	130.000 soit 65.000 tonnes de déchets compactés.	116 %	12 mois Saturation définitive
Casier N°2	10	80.000 soit 40.000 tonnes de déchets compactés.	105 %	07 mois et 19 Jours Saturation définitive.
Casier N°3	20	960.000 soit 480.000 tonnes de déchets compactés.	123%	23 mois Saturation définitive
Casier N°4	22	1.250.000 soit 625.000 tonnes de déchets compactés	00	Réalisé et non exploité
Casier N°5	16	500.000 soit 250.000 tonnes de déchets compactés.	54%	En cours d'exploitation

### II. 3. 2. Imperméabilisation des casiers d'enfouissement [37, 41]

Après étude du sol et des caractéristiques géologiques du site retenu pour l'implantation de la décharge, commencent alors les travaux de terrassement, une excavation d'une dizaine de mètres de profondeur et d'une superficie de 10.000 m<sup>2</sup> est creusée (casier). Sur le fond du casier est déposée une couche d'argile ou de marne : matériaux naturels. Intervient ensuite la

pose de la géomembrane en polyéthylène haute densité (PEHD), Un matériau étanche, pour éviter toute infiltration dans le substratum, sur le fond et les talus ou parois du casier, la pose de cette géomembrane exige une maîtrise des techniques de soudures, cette dernière est alors recouverte par une couche de géotextile pour la protéger.

Un caniveau de drainage perforé et entouré du grillage pour recueillir les lixiviats est aménagé dans l'axe du casier dans le sens de sa largeur ou sa longueur. Le drain est lié au bassin de décantation situé à l'Est du site. Enfin une dernière couche de 50 cm de gravier de dimensions différentes (10% de calcaire) est déposée comme le montre la Figure II. 3.



**Figure II. 3 :** Constituant du casier N°4 : géomembrane, géotextile et gravier roulé.

Des cheminées d'évacuation de biogaz provenant de la décomposition des déchets sont installées avant l'épandage de la couche du gravier. Ce système de captage, est réalisé à l'aide des buses verticales à parois perforées empilées au fur et à mesure de la progression de la hauteur des déchets dans le casier. A partir de cette ultime phase, l'épandage des déchets domestiques peut commencer [40, 42].

### II. 3. 3. Géomembrane

L'utilisation de la géomembrane dans la construction des casiers assure une imperméabilité, évitant ainsi toute contamination possible du sol ainsi que des eaux superficielles et souterraines [41]. En fond de décharge, la géomembrane doit jouer le rôle de barrière étanche et favoriser le drainage des lixiviats. Seules les géomembranes en PEHD seraient chimiquement résistantes aux lixiviats. Mais elles sont moins faciles à manipuler que celles qui sont en PVC (polychlorure de vinyle), en EPDM (éthylène propylène diène monomère) ou en bitume [2].

La géomembrane utilisée dans le C.E.T d'Ouled Fayet est en PEHD, livrée en rouleaux de 130 m de longueur, 1,5 mm d'épaisseur et 975 m<sup>2</sup> de surface [40].

La géomembrane en PEHD est résistante à la plupart des acides, aux produits pétroliers, aux bases et aux solutions de sel. Elle se dissout seulement dans quelques solutions quand la température est plus élevée. Grâce à l'adjuvant de la suie, elle est résistante aux rayons U.V. Cependant les géomembranes parfaites n'existent pas, des défauts peuvent apparaître au cours de la fabrication, du transport, du stockage, de la mise en œuvre (pose et soudure), de la période de fonctionnement [43].

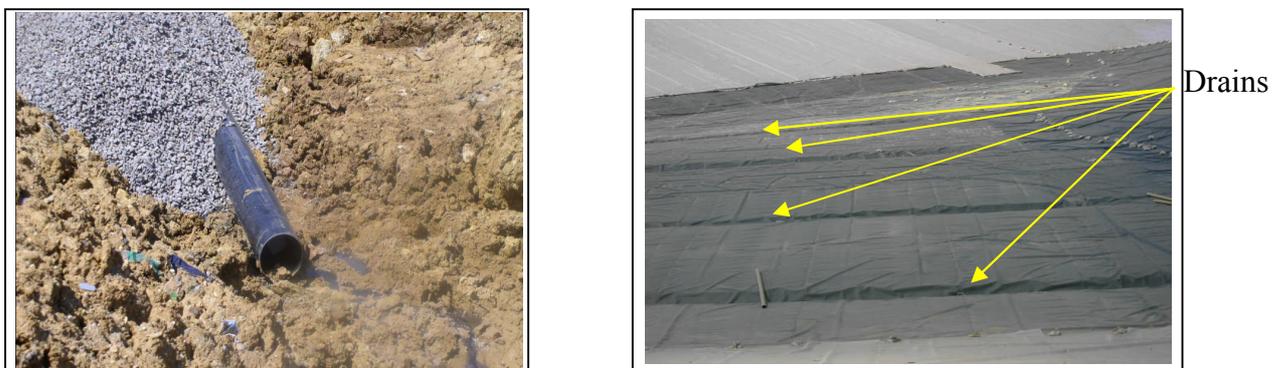
Pour tenter de limiter la contamination accidentelle, un système de drainage peut être mis en place sous la géomembrane pour recueillir le lixiviat.



*Figure II. 4 : Mise et soudure de la géomembrane.*

#### II. 3. 4. Réseau de drainage des lixiviats

Afin de capter et éviter l'accumulation des eaux de lixiviation vers le bas des casiers, un réseau est installé au fond des cellules. Il améliore la conception du système de drainage. Cet état de fait, s'explique par la présence de 04 tubes en PEHD (diamètre de 500 mm) qui permette un drainage alterné dans le temps et offrant la possibilité au percolât d'être évacué au moins sur 01 des quatre drains en cas d'obstruction [2]. La figure. II.5 représente Système de drainage du Casier N°5 qui s'effectue par 04 drains.



*Figure II. 5 : Système de drainage des lixiviats.*

Ces tubes sont disposés dans les fossés, ensuite recouverts de pierre concassée et d'un géotextile de filtration afin de minimiser les risques d'obstruction, L'ensemble est recouvert d'une couche de gravier [2, 39].

### II. 3. 5. Elimination des biogaz

Un système vertical de récupération des biogaz a été réalisé, qui consiste en des cheminées en buses et en béton perforé de 1m de diamètre. A l'intérieur de ces buses est posé un tube en PVC perforé, qui permet de collecter les biogaz produits par la biodégradation des déchets, et permettre leur évacuation du casier s'enfouissement [2, 34]. Le biogaz au niveau des casiers n'est pas pris en charge (ni récupéré, ni brûlé), il s'échappe dans l'air (Fig. II. 6).

Les difficultés rencontrées actuellement par l'exploitant sont liées à la remontée du lixiviat en surface. Les puits de captage du biogaz sont remplis de lixiviat, de même les lixiviats collectés ne sont pas traités mais rejetés directement (Fig. II. 7).



**Figure II. 6 :** Système de récupération de biogaz sans traitement



**Figure II.7:** Refoulement de lixiviats vers l'extérieur au niveau du cheminé de récupération des biogaz du Casier N° 1

### II. 3. 6. Bassin de décantation de lixiviats

Les eaux de percolation des casiers N° 1, 2, 3 et 5 sont récupérées par un canal de réception dont le débit est estimé à 1.6 Litres/Seconde dans un bassin ayant un volume de 124 m<sup>3</sup> [2]. Il y a lieu de signaler, que la nature est considérée comme le réceptacle final pour lixiviats qui ne subissent aucun traitement au préalable (Fig. II. 8). Actuellement, le bassin de décantation est saturé et le drainage se fait directement vers l'oued Ben Brahem à travers le canal d'évacuation (Fig. II. 9).



**Figure II. 8:** le bassin de décantation des lixiviats.



**Figure II. 9 :** Réceptacle finale de lixiviats vers l'Oued Ben Brahem.

## **II. 4. Réaménagement en fin d'exploitation**

Le réaménagement de la décharge contrôlée ne pourra s'effectuer dans des conditions satisfaisantes qu'au bout d'une année environ, afin de laisser aux ordures de la dernière couche le temps de fermenter. Après la stabilisation de la décharge, il est recommandé de procéder à la réintégration du site dans son environnement naturel. Cette opération est fonction de la destination finale, qui dépend de la volonté des autorités locales [45].

- Espace vert « engazonnement ».
- Mise en culture.
- Espace de loisirs (terrain de sport ou parc public).

Il est nécessaire de tenir compte de la forme de la décharge qui est un important facteur de réussite d'une telle opération. En effet, la décharge doit se terminer en pente pour éviter la formation de cuvettes où les eaux stagnent provoquant ainsi la mort des végétaux par asphyxie. La réussite d'un reverdissement de la décharge contrôlée dépend de l'application de principes agronomiques simples :

- a) Préparation d'un sol favorable : L'apport de matériaux de couverture est nécessaire. On veillera notamment à ne pas tasser la terre lors de sa mise en place car le sol favorable au développement de la végétation doit être perméable à l'air, à l'eau et suffisamment profond.
- b) plantation d'une végétation adaptée au milieu et le choix des espèces doit être fonction du choix de réaménagement, en relation avec le type de sol et les conditions environnementales.

### **Conclusion**

Actuellement la solution la plus économique pour traiter les déchets solides, consiste à stocker ces derniers dans une couche géologique profonde, elle vise à supprimer les risques liés au stockage en surface où l'isolement n'est pas suffisant et où le risque de diffusion par l'eau après lixiviation est important.

Le Centre d'enfouissement technique reste le moyen le plus adapté pour notre pays à tout point de vue, mais il y a obligation de caractériser les flux polluants générés par ce genre d'installation et travailler activement pour limiter les retombées sur notre environnement.

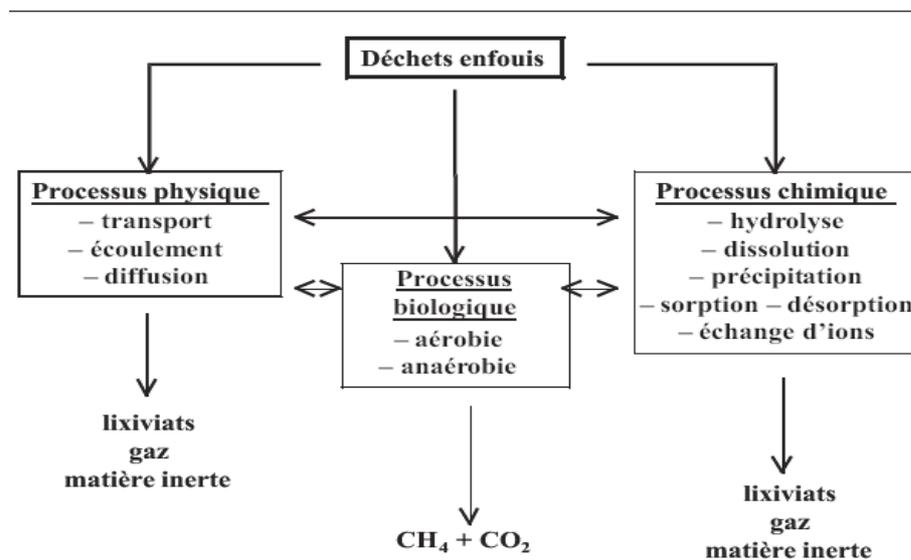


## **CHAPITRE III**

### ***Les lixiviats et leur traitement***

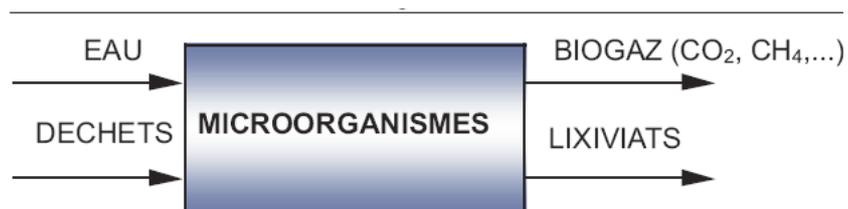
Le stockage des déchets, revient à concentrer dans un volume réduit un ensemble varié de matériaux évolutifs. Dès la phase de dépôt, les déchets sont soumis à des processus de dégradation liés à des réactions biologiques et physico-chimiques complexes (fig. III.1). Les microorganismes étant responsables de la plupart des modifications des propriétés physico-chimiques des lixiviats et du biogaz, on assimilera souvent la décharge à un réacteur biochimique, ou bioréacteur (fig. III.2). L'eau s'y infiltre et produit des lixiviats et du biogaz chargés de substances organiques et/ou minérales qui engendrent une pollution essentiellement de type organique et métallique, en relation avec la biodégradation naturelle des déchets confinés et avec leurs composants anthropiques qui libèrent de nombreuses substances toxiques dans le milieu naturel, notamment dans l'atmosphère, le sol, les eaux souterraines et les cours d'eau [32].

Ce chapitre a pour objectif de donner une vision générale des problèmes générés par les lixiviats et de quelques méthodes de traitement.



**Figure III. 1 :** Processus chimiques, physiques et biologiques se développant dans les décharges.

Les flux entrant dans la décharge correspondent à l'entrée d'eau ainsi qu'à l'apport de déchets durant le remplissage.



**Figure III. 2 :** Le bioréacteur « décharge ».

### III. 1. Définition

Le lixiviat est défini comme étant l'eau qui percole à travers les déchets en se chargeant bactériologiquement et chimiquement de substances minérales et organiques. Ce « jus de décharge » résulte donc de la solubilisation de composés lors de la percolation non uniforme et intermittente de l'eau à travers la masse de déchets [11, 46].

### III. 2. Principaux facteurs influençant la production des lixiviats

Le lixiviat provient de l'eau du déchet, des précipitations météoriques et des eaux provenant de la nappe phréatique. Leur intensité gouverne le volume du lixiviat produit. La composition qualitative et quantitative du lixiviat dépend des pluies, de la couverture de la décharge, de la topographie du site, du taux de compactage, de la teneur en eau des déchets ou capacité au champ, du mode de comblement et de la température [47, 48]. Enfin, on notera que généralement l'étude qualitative et quantitative d'une décharge est très délicate et diffère d'une décharge à une autre suite à la présence de plusieurs mécanismes biologiques et physico- chimiques qui gèrent la production des lixiviats au sein d'une décharge [12].

### III. 3. Composition

La composition des lixiviats de décharges est très aléatoire est variée en fonction de la nature et l'épaisseur de la couche de déchets, l'âge de la décharge, la technique d'exploitation et les conditions climatiques etc. [44]. Ces eaux de lixiviation représentent un milieu réducteur favorisant la forme réduite des différents éléments présents. Ainsi l'ammoniaque est la forme dominante de la fraction azotée, le fer est le métal le plus présent. Il se combine avec les ions sulfurés pour donner du sulfure de fer noir [43, 49].

Toutefois, Christensen *et al.* [33], en étudiant plusieurs sites ont défini les fourchettes de fluctuations de la composition physico-chimique des lixiviats d'ordures ménagères (tableau III. 1). La fraction minérale des lixiviats de décharge est constituée essentiellement de chlorures, sulfates, bicarbonates, potassium, sodium et ammonium, alors que la partie organique est très liée à l'âge des déchets. Si les jeunes décharges sont caractérisées par la dominance des acides gras volatiles (AGV) (surtout les acides acétiques, propioniques et butyriques), ce sont des substances assimilées aux composés fulviques et humiques qui sont prépondérantes dans les lixiviats âgés [33, 50].

Malgré leur complexité, trois groupes de polluants caractérisent les lixiviats:

- La matière organique dissoute.
- Les composés minéraux majeurs :  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$  ...

- Les métaux lourds (Zn, Cd, Cr, Cu, Ni, Pb...) généralement à l'état de traces.

Les principaux paramètres caractérisant un lixiviat sont la Demande Chimique en Oxygène (DCO), la Demande Biologique en Oxygène (DBO<sub>5</sub>), le Carbone Organique Dissous (COD), l'azote Kjeldhal (NTK), le pH, la conductivité, les métaux, etc. Le Tableau III.1 donne les valeurs extrêmes qui peuvent être retrouvées dans un lixiviat..

**Tableau III.1:** Les Caractéristiques des lixiviats d'ordures ménagères [12].

	Paramètre	Valeurs limites
<b>Paramètres globaux</b>	pH	4,5-9
	Conductivité	2500-25000 $\mu\text{s/cm}$
	COD	30-27700 $\text{mg C/L}$
	DBO <sub>5</sub>	20-57000 $\text{mg O}_2/\text{L}$
	DCO	140-90000 $\text{mg O}_2/\text{L}$
	NTK	14-2500 $\text{mg N/L}$
	<b>Principaux ions (mg/L)</b>	Ammonium
Calcium		10 - 7200
Fer		1 - 5
Manganese		0,03 - 1400
Potassium		50 - 3700
Sodium		70 - 7700
Carbonate		610 - 7320
Chlorure		150 - 4500
Sulfate		8 - 7750

### III. 4. Évolution du lixiviat au cours du temps

Le lixiviat est produit tout au long de la dégradation des déchets. La composition du lixiviat est une photographie de l'état de l'évolution des déchets [12]. Bon nombre d'auteurs ont étudié la composition d'un lixiviat en phases d'acidogénèse et de méthanogénèse sur des déchets enfouis et n'ayant subi aucun prétraitement. Les gammes de valeurs correspondantes sont données dans le tableau III.2.

La DCO et la DBO<sub>5</sub> par exemple présentent des fourchettes de variation de plus de deux ordres de grandeur au cours des deux premières phases. Dans la pratique, l'attribution d'une échelle de temps à ces phases est problématique car les vitesses d'évolution sont très variables d'une décharge à une autre.

**Tableau III.2:** Composition moyenne d'un lixiviat en phase acidogène et méthanogène (Unités en mg/L sauf pour le pH) [12].

Paramètres	Acidogénèse	Méthanogénèse
<b>pH</b>	4,5-7,8	6,8-9
<b>DBO<sub>5</sub></b>	500-68000	20-1770
<b>DCO</b>	400-152000	500-8000
<b>COT</b>	350-29000	14-2270
<b>AGV</b>	963-22414	5-146
<b>PO<sub>4</sub><sup>3-</sup></b>	0,6 à 14	0,16 à 120
<b>SO<sub>4</sub><sup>2-</sup></b>	4-2800	1- 1190
<b>NTK</b>	25 à 860	7 à 1 910
<b>NH<sub>4</sub><sup>+</sup></b>	6 à 430	2 à 1030
<b>Ca<sup>2+</sup></b>	10-6240	20-600
<b>Mg<sup>2+</sup></b>	25-1150	40- 478
<b>Fe<sup>2+</sup></b>	0,1-2300	0,2- 330
<b>Mn<sup>2+</sup></b>	0,3-164	0,03- 45
<b>Zn<sup>2+</sup></b>	0,02-200	0,005- 9
<b>Cu<sup>2+</sup></b>	0,003-1,1	0,007-0,6
<b>Cd<sup>2+</sup></b>	0,002-0,1	0,0001- 0,9
<b>Cr<sup>3+</sup></b>	0 ,01- 1,5	0,0001-0,09
<b>Ni<sup>2+</sup></b>	0,4	0,036- 0,6
<b>Pb<sup>2+</sup></b>	0,28	0,0001-1,9

Les concentrations en AGV sont très élevées en début de dégradation. Ils représentent environ 80% de la charge organique totale et peuvent monter jusqu'à 95% dans un lixiviat jeune [12].

Des différences entre les études sont notées pour une même phase de dégradation. Des facteurs liés au site (condition d'enfouissement, climat) et aux déchets (composition, quantité) ont de forts impacts sur la production et la qualité des lixiviats [41]. Cependant de nettes différences entre la phase acidogène et méthanogène sont observées notamment en ce qui concerne la charge organique et la teneur en métaux.

Les lixiviats issus de déchets en phase méthanogène ont une charge organique plus faible que les lixiviats issus de déchets en phase acidogène. L'analyse de certains paramètres renseigne sur l'état de dégradation des déchets. Le pH et la concentration en AGV sont de bons indicateurs pour différencier la phase acidogénèse (pH<7) de la phase de méthanogénèse (pH >7).

En ce qui concerne les métaux, des concentrations plus faibles sont retrouvés dans les lixiviats en phase méthanogène. Le fer est un bon exemple de composé dont la concentration évolue avec la phase de dégradation. D'autres éléments tels que le sodium et les chlorures ne sont pas dépendants des changements de phase de dégradation [12]. En revanche, les sulfates,

qui sont réduits en sulfures au cours de la méthanogénèse, sont de bons indicateurs de cette phase.

De nombreux auteurs ont comparé la composition des lixiviats de décharges aux stades d'acidification et de fermentation méthanique. Ces études ont permis de suivre l'évolution de la matière organique enfouie et ont révélé que la composition des lixiviats peut être reliée à la biodégradabilité des déchets. Ils ont conclu que le degré d'humification augmente lorsque l'âge de la décharge augmente [12, 51].

**Tableau III. 3 : Classement des lixiviats selon l'âge de la décharge [5].**

	Lixiviats jeunes	Lixiviats intermédiaires	Lixiviats stabilisés
Age de la décharge	< 5 ans	5 à 10 ans	> à 10 ans
pH	< 7	= 7	> 7
DCO (g.O <sub>2</sub> /l)	> 20	3 à 15	< 2
Biodégradabilité (DBO <sub>5</sub> /DCO)	Moyenne > 0,3	Assez faible 0,1 à 0,3	Très faible < 0,1
Concentrations en acides organiques	Forte Prédominance AGV	Moyenne 20 à 30 % du COD	Nulle
Charge organique	Prédominance des acides gras volatils	Réduction des acides gras volatils	Prédominances des macromolécules

D'après les différents paramètres donnés dans le tableau ci-dessus, un lixiviat jeune âgé de moins de 5 ans se situerait encore en phase d'acidogénèse, un lixiviat intermédiaire dont l'âge serait compris entre 5 et 10 ans correspondrait à la mise en place des phases d'acétogénèse et de méthanogénèse alors qu'un déchet d'âge supérieur à 10 ans, dit « stabilisé » appartiendrait aux phases de méthanogénèse et de maturation.

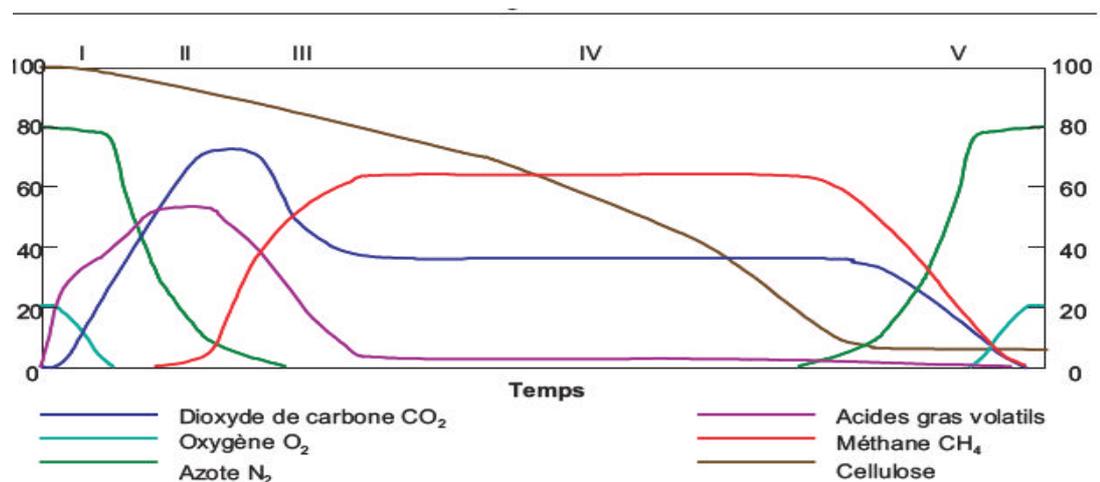
Cependant la qualité du lixiviat n'évolue pas toujours de la même façon et l'âge du lixiviat n'apparaît pas comme un facteur déterminant pour définir l'état de dégradation d'un déchet. Un déchet âgé de 8 ans provenant d'un site avec une couverture à base de compost a atteint un état de dégradation proche d'un déchet âgé de 20 ans provenant d'un site avec une couverture d'argile. De ce fait il est difficile d'attribuer une durée à chaque phase de dégradation car les vitesses de dégradation sont variables en fonction de la nature des déchets et du mode d'exploitation du site [12].

### III. 5. Formation du biogaz

Une tonne d'ordures ménagères contient généralement 150 à 250 Kg de matières organiques. Ces substances sont biodégradables. Sous l'effet de microorganismes agissant en

milieu anaérobie, elles sont décomposées en quatre phases successives et transformées en gaz de décharge [13].

La figure III. 3 représente le profil théorique de concentration des différents composés majeurs en fonction du temps. Dans la première phase qui correspond à la phase aérobie, le biogaz est composé essentiellement de gaz carbonique et d'eau. Toutefois ce type de biogaz n'est produit qu'en faible quantité car, étant donné le comblement progressif et la compaction des déchets, la phase aérobie est brève et ne concerne que le début de l'accumulation sur le site et ultérieurement la couche supérieure des déchets. Les phases II et III correspondent à la transition entre la phase aérobie et la phase anaérobie méthanogène. La durée de ces trois premières phases est de quelques semaines à une année et demie selon les caractéristiques déjà citées du massif de déchets. La phase IV est la phase méthanogène par excellence. La production de méthane y est constante. Elle peut durer jusqu'à 50 ans et plus. La phase V correspond à la phase terminale de l'activité de la décharge par manque progressif de matière biodégradable. La production de gaz finit par s'annuler [43].



**Figure III. 3:** Évolution de la composition du biogaz en fonction du temps [43].

Si le gaz de décharge est aspiré régulièrement et sous contrôle, il atteint, après réglage du système de captage, les valeurs moyennes suivantes :

- CH<sub>4</sub> : 40 à 50% en volume ;
- CO<sub>2</sub> : 35 à 45% en volume ;
- N<sub>2</sub> : 5 à 15% en volume ;
- O<sub>2</sub> : 0 à 3% en volume ;
- Vapeur d'eau ;

Le biogaz contient également des composés en traces, qui représentent 1% en volume (mercaptans, alcools, composés aromatiques aldéhydes, cétones, esters...). Ils peuvent soit être générés pendant le processus de biodégradation (composés sulfurés, composés de

l'oxygène, hydrocarbures), soit résulter d'un apport initial des déchets (hydrocarbures aromatiques, hydrocarbures halogénés) [42].

La plupart des composés intermédiaires de la biodégradation (sucres, acides, alcools, etc.) étant solubles, ils constituent donc la charge majoritaire des lixiviats durant les 5 à 10 premières années de « la vie » de la décharge. À ceux-là viennent progressivement s'ajouter les acides humiques et fulviques dans leurs processus de condensation des matières carbonées et azotées complexes. Leur poids moléculaire augmentant progressivement, ils finissent par précipiter ou se fixer à la matière non dégradable. Entre-temps, les propriétés physico-chimiques des lixiviats peuvent subir de profondes variations. Dans ce sens, rappelons que la teneur en humidité conditionne de manière importante la vitesse de biodégradation et donc la dynamique des variations susmentionnées [42, 52].

Par conséquent, à l'échelle du massif de déchets, la teneur moyenne en humidité, la teneur en cellulose et l'évolution du tassement sont des données qui vont permettre d'estimer la production de biogaz, la durée de vie de la décharge ou encore la composition caractéristique des lixiviats. Cela est indispensable :

- au contrôle de la toxicité des effluents gazeux et liquides.
- à la mise en place des unités de traitement des lixiviats.
- aux projets de récupération et de valorisation du biogaz.
- à l'aménagement et à la réhabilitation du site [43].

### **III. 5. 1. Elimination de Biogaz**

La valorisation du biogaz, quand elle est possible grâce à des investissements suffisants, constitue la meilleure solution. Il faut en tout cas prévoir une gestion du biogaz et donc un réseau de drainage du biogaz et demander une description détaillée du réseau [53]. Il y a quatre manières : tout d'abord, après épuration, il peut être injecté dans le réseau de gaz naturel. Cependant, ce système pose problème à cause de la présence entre autres de mercure et de chlore. Ensuite, il est possible de le transformer en électricité après combustion dans un moteur thermique ou dans des turbines à gaz. Le biogaz permet aussi la production de chaleur après combustion dans des chaudières. Enfin, il est utilisé comme carburant pour véhicule après épuration. Cependant, le biogaz aspiré en sortie du système de captage ne présente pas une composition constante et des problèmes de valorisation se posent. De plus, ces voies de valorisation ne sont pas toutes économiquement viables [54]. Si c'est la destruction par combustion qui est choisie, il faut équiper les puits de torchères (installation de traitement du biogaz par combustion à l'air) [54].

Un plan de lutte contre les incendies, dus le plus souvent au biogaz, doit être prévu et les moyens d'extinction doivent être en permanence disponibles (stock de terre, stock d'eau pluviale, extincteur) [53].

### **III. 6. Impact du lixiviat sur l'environnement**

Les lixiviats ou liquides de percolation de la décharge sont chargés bactériologiquement et surtout chimiquement de substances tant minérales qu'organiques. Ils peuvent se mélanger aux eaux de surface comme aux eaux souterraines et donc constituer un élément polluant tant par leur aspect quantitatif que qualitatif. L'eau traversant la couche de déchets va se charger en substances polluantes telles que la matière organique soluble résultant de l'activité biologique de la décharge, des constituants inorganiques comme les métaux lourds (provenant notamment des piles) et des germes qui peuvent être dangereux pour la santé et l'environnement.

Le plus grand risque lié à la production de lixiviats est la contamination de la nappe phréatique. Cela aurait pour conséquence de polluer les puits d'eau de consommation et donc de priver la population d'un élément vital à sa survie. Signalons également que la pollution des réserves d'eau potable par des micro-organismes pathogènes est susceptible de provoquer des épidémies.

Les risques liés au biogaz peuvent être séparés entre risques pour les humains (toxicité des substances traces, asphyxie pour les opérateurs sur le terrain, explosion du méthane, incendies) et risques de pollution de l'atmosphère (les gaz majeurs sont des gaz à effet de serre). Au-delà de ces considérations, les lixiviats doivent être traités comme des substances dangereuses. Il est nécessaire d'en organiser la collecte et le traitement afin de limiter au maximum les conséquences sur l'environnement et la santé publique [43].

### **III. 7. Traitement du lixiviat**

Les procédés de traitement appliqués aux lixiviats dépendent de la nature de ces derniers. Ils sont de types biologiques pour les effluents jeunes et biodégradables (lagunage, aération etc.) et physico-chimiques pour les effluents vieux et peu ou pas biodégradables (coagulation-floculation, électrocoagulation, oxydation, précipitation, adsorption et filtration etc.). L'utilisation des traitements physico-chimiques peut intervenir soit pour compléter un traitement biologique, soit pour épurer un lixiviat peu biodégradable [12]. Nous présentons ci-dessous quelques uns des procédés les plus utilisés et les plus efficaces dans le traitement des lixiviats de décharges.

### III. 7. 1. Traitements biologiques

Ils sont sans doute les plus simples à mettre en œuvre et les plus économiques quant à leur coût d'exploitation. Ils peuvent être soit aérobies, soit anaérobies.

#### III. 7. 1. 1. Traitements biologiques aérobies

Les traitements aérobies nécessitent un dispositif d'aération qui a une double action : fournir l'oxygène nécessaire au métabolisme de la biomasse et assurer un brassage correct du bassin permettant la mise en suspension de biomasse. On peut rencontrer plusieurs types de traitements aérobies [55].

##### ➤ *Lagunage naturel :*

Il s'agit d'un procédé rustique qui fait appel à une épuration naturelle des effluents. Elle se caractérise par une succession de lagunes de surfaces importantes et par une élimination de l'ammoniaque par nitrification (transformation de l'azote ammoniacal en nitrates en 60 à 70 jours) [31, 56].

##### ➤ *Lagunage aéré :*

Le lagunage aéré est le procédé le plus répandu. Il est composé de deux lagunes. D'une part, une lagune d'aération qui permet d'éliminer la charge biodégradable carbonée et azotée. L'insufflation d'air permet d'y apporter de l'oxygène dissous. La nitrification y est souvent le facteur limitant, d'où un temps de séjour de 30 à 50 jours. D'autre part, une seconde lagune permet la décantation des particules en suspension et favorise le développement des bactéries anaérobies, responsables de la dénitrification (transformation des nitrates en Azote gazeux). Il est conseillé d'y injecter des nutriments car l'eau épurée ne possède plus assez de matière organique indispensable aux micro-organismes. Le lagunage ne permet pas à lui seul d'arriver à un niveau correct d'épuration [31].

##### ➤ *Les boues activées :*

Ce procédé comporte essentiellement de la mise en contact l'eau à épurer avec une masse biologique (formée au cours du traitement par les bactéries et autres micro-organismes), laquelle est maintenue en suspension par l'agitation provoquée soit par l'aération (processus aérobie), soit par des agitateurs mécaniques, soit par les deux à la fois.

Le processus de dégradation de la matière organique se déroule en trois étapes [56] :

- Adsorption des molécules sur les floccs biologique.
- Dégradation par oxydation des molécules, entraînant la synthèse de nouveaux micro-organismes, donc accroissement de la biomasse.
- Oxydation d'une partie des floccs biologiques ou des matériaux de réserve des micro-organismes.

➤ **Les procédés à cultures fixées** (lits bactériens, filtres biologiques) :

Le lit bactérien est un réacteur biologique aérobie, où les micro-organismes sont fixés sur un support inerte et forment un bio-film assure la dégradation d'éléments azotés biodégradables et de la DBO<sub>5</sub> [31]. Ce procédé a souvent des problèmes de colmatage dû à la précipitation des hydroxydes métalliques [55, 56].

### III. 7. 1. 2. Traitements biologiques anaérobies

Les traitements anaérobies entraînent une production de méthane et peuvent aussi provoquer quelques nuisances olfactives (production d'H<sub>2</sub>S par réduction du soufre) [31], ils sont de deux types :

➤ **Le lagunage anaérobie :**

Il est caractérisé par l'absence d'oxygène dans le milieu, et des temps de séjours très longs (>50 jours), les bassins étant relativement profonds, la lumière n'atteint pas le fond de la lagune, il se crée des conditions anaérobies au fond de l'ouvrage qui se généralisent à l'ensemble de la lagune, ce qui favorise la dégradation des matières organiques [58].

➤ **La digestion anaérobie :**

La digestion est un processus qui s'accomplit à l'abri de l'oxygène, et au cours duquel les matières organiques sont dégradées en acide carbonique et en méthane. Le processus se déroule généralement en digesteurs chauffés (autour de 35°C) remplis ou non de matériaux supports [58]. Les traitements biologiques permettent d'obtenir des rendements épuratoires importants sur les lixiviats jeunes contenant une majorité d'AGV (abattement de plus de 90 % sur la DCO ou la DBO<sub>5</sub>). Les rendements sont moins importants (40 à 60 %) sur les percolats plus stabilisés et très faibles (< 10 %) sur lixiviats complètement stabilisés. Aussi les traitements biologiques éliminent l'azote organique, avec un pourcentage de 95 % en traitement aérobie et seulement à 15 % ou 20 % en digestion anaérobie mésophile [39].

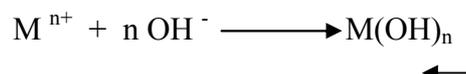
### III. 7. 2. Traitements physico-chimiques

Les traitements physico-chimiques constituent généralement un complément indispensable aux traitements biologiques. Ceux-ci permettent d'éliminer la pollution carbonée résiduelle non biodégradable : DCO dure, de piéger les métaux et de retenir les sels dissous [31].

➤ **La précipitation chimique :**

Généralement avec de la chaux, son objectif principal est d'entraîner par précipitation une élimination des métaux sous forme d'hydroxydes métalliques et d'éliminer les matières en suspension. Les métaux concernés sont : Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Sn et Zn [26].

La précipitation se fait suivant la réaction suivante :



L'action de la chaux sur les lixiviats se traduit par [26] :

- Une production de boues,
- Une réduction de la charge organique soluble,
- Un dégagement d'ammoniac,
- Une atténuation significative de la couleur et de la turbidité.

Dans le cas où la précipitation chimique n'est qu'un prétraitement pour éliminer les métaux avant une épuration biologique, il faudra neutraliser l'effluent avant l'étape biologique.

➤ **La coagulation floculation :**

Elle permet à la fois l'élimination des matières en suspension colloïdales et aussi d'une partie de la matière organique par adsorption sur le floc [57]. Ce traitement se décompose en 3 étapes successives :

- Coagulation : déstabilisation électrostatique des particules colloïdales chargées négativement par addition d'un réactif chimique (sels de fer ou d'aluminium) sous une agitation vive.

- La floculation, sous agitation lente qui entraîne une agglomération des colloïdes « électriquement neutralisés » en floccs suite à l'injection des agents flocculants tel le charbon actif en poudre [57].

- Une décantation afin de séparer les floccs et le surnageant clair.

L'efficacité de la coagulation-floculation dépend de la nature du lixiviat à traiter ; elle sera assez faible de l'ordre de 10 à 20 % sur des lixiviats « jeunes » fortement biodégradables et de l'ordre de 70 % sur des percolats stabilisés. La coagulation-floculation entraîne parallèlement une décoloration du lixiviat. Ce traitement permet un abaissement maximal de la DCO de 40 à 50 %, mais augmente la concentration dans l'eau traitée en chlorures, fer, ou aluminium, selon le sel utilisé pour la coagulation. Il est par ailleurs producteur de boues (20 % de volume traité environ), et génère une coloration sensible (chlorure ferrique) [39].

➤ **Adsorption sur charbon actif :**

Ce procédé est basé sur l'adsorption par le charbon actif de la pollution organique, il est l'adsorbant le plus utilisé, il n'a d'action ni sur l'azote minéral, ni sur les métaux lourds, ni sur les sels [30] ; son efficacité se mesure par sa capacité d'adsorption : masse de polluant adsorbé par unité de masse de charbon actif. La capacité d'adsorption d'un charbon est fonction de sa porosité, des pores actifs qu'il contient et aussi de la nature des produits à adsorber. C'est un produit relativement cher, il sera donc réservé à des traitements de finition [31].

### III. 7. 3. Procédés de séparation par membranes

#### ➤ *Bio- réacteur à membranes (BRM) :*

C'est une technique de pointe qui associe étroitement un réacteur biologique à des membranes de microfiltration ou d'ultrafiltration. Les membranes ont un rôle de barrière physique absolue et remplacent le clarificateur dans la chaîne de traitement classique [39].

L'installation est de petite dimension. Ce système permet de traiter la quasi totalité de la DBO<sub>5</sub>, jusqu'à 80 % de la DCO, 95 % de l'azote ammoniacal et la totalité des microorganismes. Restent les métaux et les sels [56]. Les points forts du BRM sont les suivants :

- Dissociation et gestion parfaite du temps de séjour hydraulique et de l'âge de la boue.
- Possibilité de travailler avec des concentrations importantes en biomasse dans le bioréacteur assurant des rendements accrus et une compacité des ouvrages,
- Haut niveau d'automatisation assurant une fiabilité et une facilité de fonctionnement,
- Qualité de l'eau traitée constante quelles que soient les variations de la ressource.

#### ➤ *Osmose inverse :*

Procédé largement utilisé pour le dessalement de l'eau de mer, a naturellement pris sa place dans le traitement des lixiviats. L'osmose inverse ou hyperfiltration, utilise une membrane semi-perméable afin de séparer les solides dissous, la matière organique et minérale, les virus et bactéries de l'eau. Ce traitement consiste à appliquer une pression supérieure à la pression osmotique (entre 60 et 120 bars), ce qui contraint l'eau à se diriger vers le compartiment le moins concentré. Il s'applique pour la rétention des sels et l'abattement de la DCO dure [39].

#### ➤ *Nano-filtration :*

Technique séparative utilisant des membranes qui se situent, de par le diamètre de leurs pores entre l'ultrafiltration et l'osmose, elle a pour but la rétention des composés organiques de masse moléculaire supérieure à 200g/mol et des ions bivalents (Ca<sup>++</sup>, Mg<sup>++</sup>, SO<sub>4</sub><sup>-</sup>) [39].

### III. 7. 4. Rejets en station d'épuration urbaine

Le traitement des lixiviats dans une station d'épuration urbaine peut également être envisagé. Le transport de ces derniers s'effectue alors le plus souvent par citernes. On peut également les rejeter directement dans le réseau, à condition qu'il y ait proximité d'une station d'épuration après avoir effectué dans certains cas un prétraitement [13]. Remarquons que lorsque les lixiviats sont pris en charge par une station d'épuration urbaine, ceux-ci ne représentent qu'une faible charge supplémentaire de pollution azotée et carbonée pour la

station [55]. En cas de rejet de ces effluents dans le milieu aquatique, les effluents doivent respecter les valeurs limites de rejet (Voir annexe I).

### III. 7. 5. Autres traitements

#### ➤ *La recirculation des lixiviats :*

La recirculation des lixiviats a été très utilisée pendant la dernière décennie pour son très faible coût. Elle augmente le taux de décomposition des déchets et la production de méthane. Elle permet de maintenir une teneur en humidité optimale permettant ainsi un meilleur développement des microorganismes et donc une accélération de la dégradation des déchets [25].

#### ➤ *L'injection d'air:*

C'est aujourd'hui, la méthode la plus commune pour diminuer les fortes concentrations en  $\text{NH}_4^+$  dans le traitement des eaux, comme dans le cas des lixiviats de décharge, l'injection d'air a été couronnée de succès pour l'élimination de ce polluant [30].

#### ➤ *Oxydation par l'ozone :*

L'ozone, oxydant puissant, détruit les molécules organiques réfractaires, suivant sa concentration et rend biodégradable une partie de la pollution. Il est en général associé aux ultraviolets, au peroxyde d'hydrogène ou à d'autres catalyseurs [39].

#### ➤ *Procédé d'oxydation avancée (POA) :*

Basé sur l'utilisation d'électrodes de diamant. Ce procédé assure, notamment par la formation de radicaux hydroxyles, la transformation de matières organiques en composés inorganiques, tout en présentant l'avantage de ne produire que très peu de boues [46].

#### ➤ *Evaporation-oxydation chimique :*

Cette technique de traitement présente un avantage important: elle permet d'utiliser l'énergie fournie par le biogaz pour traiter les lixiviats. Le principe de cette technique est d'utiliser la chaleur dégagée lors de la combustion du biogaz pour évaporer les lixiviats. Les fumées dégagées par l'évaporation et chargées de substances polluantes alors recueillies et oxydées dans la torchère. Le résidu obtenu peut atteindre un taux de matières sèches de 80 % et est éliminé sur le site [31].

Le tableau III. 4 suivant résume tous les procédés de traitement des lixiviats ainsi que leurs avantages et inconvénients.

Tableau III. 4 : Avantages et inconvénients des différents procédés [55].

	Procédés	Avantages	Inconvénients	Sous-produits
Procédés biologiques	Lagunage aéré	Elimination de la DBO <sub>5</sub> et de l'azote.	Dénitrification difficile, encombrement important.	Boues biologiques en excès.
	Boues activées	Elimination de la DBO <sub>5</sub> et de l'azote global.	Consommation énergétique pour l'apport de l'oxygène.	Boues biologiques en excès.
	Bioréacteur à membranes	Elimination de la DBO <sub>5</sub> , azote, DCO résiduelle, MES, bactéries, virus. Faible encombrement.	Consommation énergétique.	Boues biologiques en excès.
	Cultures fixée	Elimination de la DBO <sub>5</sub> et de l'azote. Faible consommation énergétique.	Faible rendement épuratoire.	
Procédés physico-chimiques	Coagulation-floculation	Débit de traitement. Réduction de 40 à 50 % de la DCO dure. Agglomération des MES.	Production importante de boues (20 % du volume traité).	Boues
	Précipitation	Précipitation des métaux, diminution des MES, élimination d'une partie de la matière organique.	Production de boues d'hydroxydes métalliques.	Boues
	Adsorption sur charbon actif	Elimination de la DCO résiduelle, réduction des organo-halogénés et de la couleur.	Renouvellement des absorbeurs.	
	Ozonation (H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> et/ ou UV)	Elimination de la DCO, décoloration, élimination des odeurs et augmentation du caractère biodégradable.	Sensibles aux variations de charges. Consommation énergétique.	
Procédés thermiques	Evaporateur	Concentration maximale de la pollution. Utilisation de biogaz.	Dissipation partielle à l'atmosphère. Dépend de la qualité et de la quantité du biogaz.	Concentrât
	Evapocondensateur	Concentration maximale de la pollution et condensation des vapeurs. Utilisation du biogaz.	Dépend de la qualité et de la quantité du biogaz.	Concentrât.
	Sécheur isoflash	Elimination de la charge polluante du lixiviat. Utilisation du biogaz.	Consommation énergétique.	Extrait sec pulvérulent.
Par membranaires	Nanofiltration	Rétention de la DCO dure, des sels et des métaux.	Coût parfois très élevé. Dépendance à un «tiers traiteur».	Rétentats de nanofiltration.
	Osmose inverse	Rétention de la DCO dure, des sels, des métaux et des nitrates.	coûteux	Rétentats d'osmose (saumures).
Autre	Traitement en station d'épuration externe	Pas d'investissement sur site.		

### III. 8. Combinaisons de traitements

L'hétérogénéité, la composition changeante d'une saison à une autre et d'une région une autre, font des lixiviats de décharges des eaux très difficiles à traiter, c'est pour cela qu'un traitement à lui seul peut être insuffisant, d'où le besoin de combiner deux ou plusieurs traitements afin de dépolluer au mieux ces eaux. Le tableau III. 5 résume la différence d'efficacité de certains traitements physico-chimiques uniques et lorsqu'ils sont combinés avec d'autres [55].

**Tableau III.5. Efficacité de certains traitements uniques et combinés [55].**

Traitement unique	Résultats	Traitement combinés	Résultats
<b>Coagulation</b>	<b>- 43 % de DCO</b>	+ Oxydation par H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	<b>- 73 % de DCO</b>
		+ Ozonation	<b>- 78 % de DCO</b>
		+ Ozonation + stripping ammonium	<b>- 48 % de DCO - 100 % de NH<sub>4</sub><sup>+</sup></b>
		+ Nanofiltration	<b>- 80 % de DCO</b>
		+ Photo oxydation (UV)	<b>- 64 % de DCO</b>
<b>Osmose inverse</b>	<b>&gt; 96 % de DCO</b>	+ Boue active	<b>- 99 % de DCO</b>
		+ UASB	<b>- 99 % de DCO</b>
		+ évaporation	<b>- 88 % de DCO</b>
<b>Nanofiltration</b>	<b>&gt; 65 % de DCO</b>	+ coagulation	<b>- 80 % de DCO</b>
		+ adsorption sur charbon actif	<b>- 97 % de DCO</b>
		+ adsorption sur charbon actif + ozonation	<b>- 99 % de DCO</b>
<b>Ultrafiltration</b>	<b>-</b>	+ adsorption	<b>- 97 % de DCO</b>
<b>Adsorption sur charbon actif</b>	<b>-</b>	+ nitrification	<b>- 55 % de DCO - 93 % de NH<sub>4</sub><sup>+</sup></b>
		+ BRM	<b>- 65 % de DCO</b>
		+ précipitation (chaux) + traitement aérobie	<b>- 92 % de DCO</b>
<b>Ozonation</b>	<b>-</b>	+ adsorption	<b>- 90 % de DCO</b>

D'autres combinaisons sont possibles, entre des procédés physico-chimiques et biologiques.

## **Conclusion**

Les lixiviats, de par leur nature liquide et leur composition, sont une source concentrée de polluants. Le plus grand risque est la contamination de la nappe phréatique.

Ce chapitre montre que chaque procédé est efficace pour un type spécifique de pollution en ce qui concerne le traitement des lixiviats de décharges, par exemple :

- La précipitation à la chaux permet d'éliminer la pollution azotée et phosphatée.
- L'adsorption sur charbon actif est très efficace en ce qui concerne la diminution de la couleur et de la turbidité.
- La nanofiltration permet de diminuer la concentration des métaux lourds.

Tous ces traitements sont efficaces à des degrés différents, mais l'hétérogénéité de la composition des lixiviats de décharges exige une combinaison de plusieurs procédés. Les facteurs principaux influençant le choix d'un traitement sont :

- Son efficacité.
- Son coût.
- La facilité de sa mise en œuvre.

C'est en prenant en considération ces trois facteurs que notre choix s'est porté sur le traitement par la bentonite algérienne, qui est un adsorbant disponible et dont le coût est bien inférieur à celui du charbon actif. Il fera l'objet du chapitre suivant.



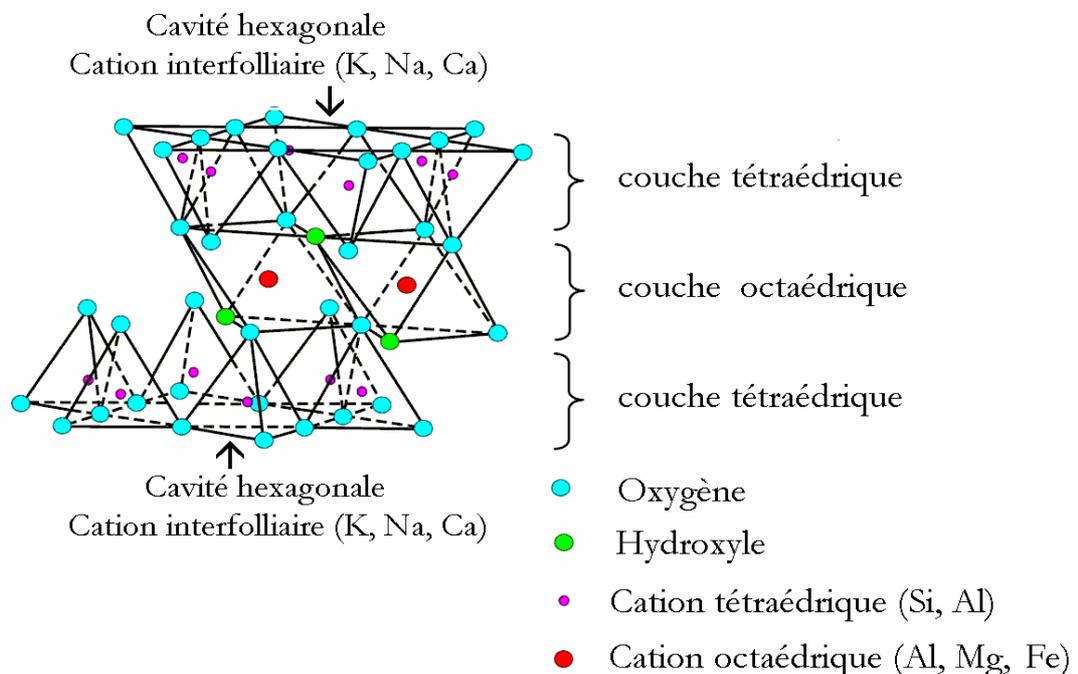
## **CHAPITRE IV**

### ***Argiles et Bentonite***

## IV. 1. Généralités sur la structure des minéraux argileux

Les minéraux argileux sont des silicates hydratés (il s'agit généralement de silicates d'aluminium, mais parfois de silicates de magnésium), dont la structure feuilletée les range dans la famille des phyllosilicates. Selon la famille de minéral argileux considérée, les particules les plus fines peuvent être constituées d'un feuillet ou d'un assemblage de quelques feuillets, et leur taille est très faible, de l'ordre de 2 à 5  $\mu\text{m}$ , ces dimensions sont caractéristiques des particules argileuses et ne se retrouvent pas dans d'autres minéraux [59].

La cellule de base des minéraux argileux est appelée cristallite. Elle est constituée d'un feuillet et d'un interfeuillet appelé aussi espace interfoliaire [59]. Chaque feuillet est à son tour constitué par l'empilement articulé de couches tétraédriques et/ou octaédriques. Dans leur structure idéale, la couche tétraédrique est constituée par un assemblage hexagonal de 6 tétraédres  $\text{SiO}_4$  de silicium et la couche octaédrique est un octaèdre  $\text{Al}(\text{OH})_6$  d'aluminium. Ainsi, par exemple, par association d'une couche tétraédrique et d'une couche octaédrique, on obtient un feuillet 1/1: c'est la famille des Kandites (kaolinite, dickite, nacrite, halloysite,...). Lorsqu'une couche octaédrique est intercalée entre deux couches tétraédriques, on aura un feuillet 2/1: c'est la famille des smectites par exemple. La figure IV.1 représente la structure de phyllosilicates 2:1 [60].

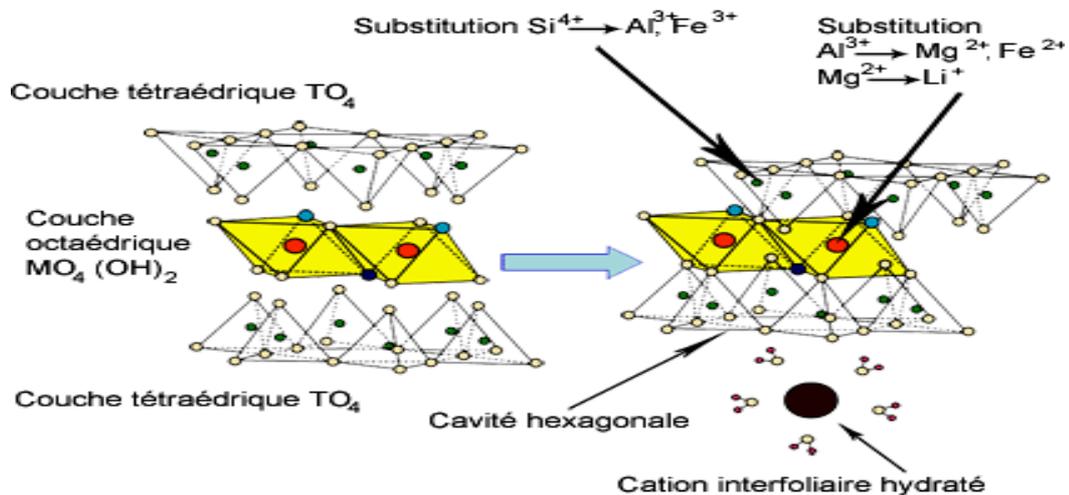


**Figure IV.1 :** Représentation schématique d'un feuillet de phyllosilicate 2:1 [61].

Les couches octaédriques et tétraédriques sont constituées par des plans d'atomes associés, normalement à des anions d'oxygène, hydroxyle et/ou fluor. La stabilité de l'ensemble est assurée par des charges positives constituées par des ions logés dans les

cavités formées. Les deux principaux cations constituant de cette structure sont donc le  $\text{Si}^{4+}$  et l' $\text{Al}^{3+}$  [60]. Cependant de nombreuses substitutions « isomorphes » peuvent avoir lieu. De ce fait une altération de la neutralité du système est créée, provoquant une densité de charge négative sur le feuillet. Cette charge est normalement compensée par des cations hydratés qui se trouvent placés dans l'espace interfoliaire, c'est à dire entre deux feuillets. Selon le minéral considéré, cette espace interfoliaire peut aussi se trouver occupé par des groupes hydroxyles ou des couches hydroxydes.

Comme le montre la figure IV. 2, Certains atomes de silicium des couches tétraédriques peuvent être remplacés par des atomes d'aluminium. De même, dans la couche octaédrique, les métaux trivalents peuvent être partiellement substitués par des atomes de magnésium ; ou encore, quand la couche octaédrique est constituée d'oxy-hydroxyde de magnésium, ce métal peut être remplacé en partie par des atomes de lithium.



● Oxygène, ● Aluminium, Fer, Magnésium. ● Silicium, occasionnellement Aluminium, ● Hydroxyle

**Figure IV. 2 :** Structure des phyllosilicates 2:1 (smectite) [39].

De telles substitutions créent localement des déficits de charges positives qui sont compensés par la présence, entre les feuillets, d'ions positifs, hydratés ou non, appelés cations compensateurs ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ , ...) [61, 64]. Ces cations sont aussi appelés cations échangeables car ils peuvent être facilement remplacés par d'autres cations mis en contact [39, 63].

## IV. 2. Principales Caractéristiques des minéraux argileux

### IV. 2. 1. la densité de charge spécifique

La densité de charge spécifique ( $\sigma$ ) est égale au rapport entre la capacité d'échange cationique CEC et la surface spécifique S de la particule argileuse [65]. Deux types de charge existent dans les milieux argileux :

- Une charge permanente ou structurelle liée aux substitutions ioniques ( $Al^{3+}$  pour  $Si^{4+}$  dans la couche tétraédrique ;  $Mg^{2+}$  ou  $Fe^{2+}$  pour  $Al^{3+}$  dans la couche octaédrique).
- Une charge de surface variable selon le pH du milieu liée aux réactions chimiques qui se produisent à la surface des minéraux.

La densité de charge spécifique renseigne sur le pouvoir de la particule à repousser les autres, cette répulsion étant la capacité de gonflement des minéraux argileux. L'augmentation de la densité de charge spécifique réduit le gonflement des matériaux argileux [65].

#### IV. 2. 2. La capacité d'échange cationique (CEC)

On caractérise alors chaque phyllosilicate par sa Capacité d'Echange Cationique (CEC) définie comme étant la capacité d'une argile à échanger des cations. Elle est exprimée en milliéquivalent par 100 grammes d'argile et varie dans le même sens que la densité de charge surfacique. Donc, pour les argiles ayant une valeur élevée de CEC, elles ont tendance à peu gonfler, et cela à surface spécifique égale [61].

Les capacités d'échange cationique de la montmorillonite (tableau IV. 1) sont les plus importantes (dans la gamme de 80~150 meq/100g) parmi tous les minerais d'argile en raison de leur substitution isomorphe élevée dans les couches octaédriques et tétraédriques, respectivement, qui a comme conséquence une grande insuffisance ionique [66].

#### IV. 2. 3. La surface spécifique

La surface spécifique des argiles est composée de la surface externe comprise entre les particules et la surface interne correspondant à l'espace interfoliaire. L'augmentation de la surface spécifique donne un pouvoir de gonflement plus important et par conséquent un potentiel de gonflement plus élevé [65]. Les caractéristiques de ces argiles sont résumées dans le tableau IV. 1.

*Tableau IV. 1 : Caractéristiques de quelques argiles.*

Nom	Type	Nombre de feuillets par particule	Diamètre d'une particule ( $\mu m$ )	Epaisseur d'une particule ( $\mu m$ )	Surface spécifique en $m^2/g$	C.E.C En meq/100g
Kaolinite	1 :1	100 - 200	0,1 - 4	1-10	10-20	3-15
Illite	2 :1	1 - 10	0,1- 1	0,003-0,01	65-100	10-40
Montmorillonite	2 :1	1	0,1	0,001	700-840	80-150
Chlorite	2 :1:1	1	0,1	0,005	800	10-40

### IV. 3. Cations Echangeables

Les substitutions isomorphes d' $\text{Al}^{3+}$  par  $\text{Mg}^{2+}$  à la surface des feuillets entraînent un excès de charge négative. Pour assurer l'électroneutralité, ce déficit de charge est compensé par des cations  $\text{Ca}^{2+}$  ou  $\text{Na}^+$ . Les montmorillonites compensées par des cations  $\text{Ca}^{2+}$  sont appelées des montmorillonites calciques. Lorsqu'elles sont compensées par des cations  $\text{Na}^+$ , elles sont appelées des montmorillonites sodiques [65, 67]. Ces cations échangeables se fixent à la surface des feuillets et assurent la liaison entre eux. L'intensité de ces liaisons dépend de la valence de ces cations. A titre d'exemple, la valence des cations de sodium  $\text{Na}^+$  est plus faible que celle des cations de calcium  $\text{Ca}^{2+}$ , c'est pour cette raison que la montmorillonite sodique aura un gonflement plus élevé, ce qui est propice à la fixation des molécules d'eau et des cations entre ces feuillets. [65].

En effet, deux types de gonflement peuvent se produire au sein des matériaux argileux :

- Le gonflement intraparticulaire ou interfoliaire,
- Le gonflement interparticulaire.

### IV. 4. Gonflement interfoliaire et interparticulaire

En présence d'eau, une bentonite peut former un solide hydraté, un gel et/ou une suspension plus ou moins stable. Cela est possible grâce au caractère gonflant de cette argile.

L'analyse minéralogique montre que certaines argiles, pour lesquelles les liaisons interfeuillets sont très faibles, ont la propriété de fixer les molécules d'eau entre deux feuillets voisins (c'est le cas de smectites telles que la montmorillonite, et de certaines chlorites) [65]. L'eau pénètre à l'intérieur des particules et s'organise en couches monomoléculaires, il s'agit alors d'un gonflement intraparticulaire ou interfoliaire. Il intervient à l'échelle la plus petite de la structure argileuse mais peut présenter une ampleur très importante.

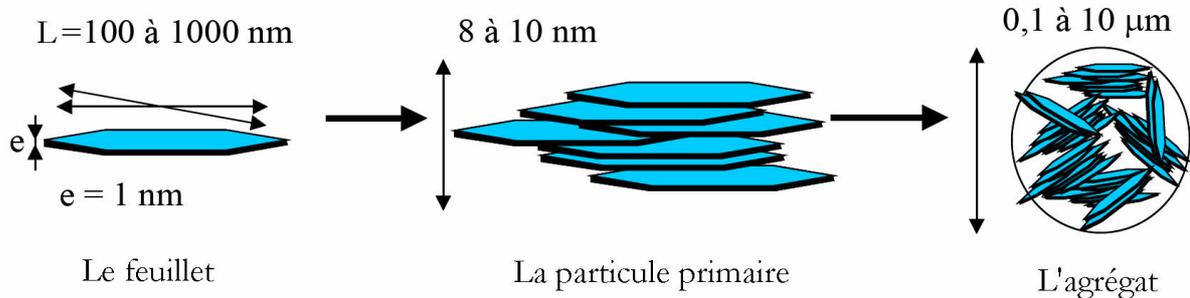
En dehors de ce cas particulier, qui définit les argiles dites "gonflantes", le gonflement est interparticulaire, c'est-à-dire que l'eau ne pénètre pas à l'intérieur des particules d'argiles. Ce gonflement interparticulaire, contrairement au gonflement interfoliaire, a une ampleur assez limitée, mais affecte toutes les argiles [65].

### IV. 5. Les argiles montmorillonitiques : bentonite

L'argile qui fait l'objet de notre travail est connue sous le nom de "bentonite". C'est une roche tendre, ayant à peu près la consistance du Kaolin, c'est-à-dire friable, très onctueuse au toucher, de teinte blanchâtre, grisâtre ou légèrement teintée de jaune [68]. C'est une terre douée d'un pouvoir gonflant au contact de l'eau (5 à 30 fois son volume initial). Elle désigne

généralement une poudre minérale constituée essentiellement de l'argile de montmorillonite (famille des smectites), dont la structure est schématisée par la figure IV. 3 [61].

Les montmorillonites possèdent la propriété de gonflement la plus intéressante de tous les minéraux de la famille des phyllosilicates.



**Figure. IV.3 :** Structure multi-échelle de la montmorillonite [61].

#### IV. 5. 1. Origine de la bentonite

En Algérie, les gisements de bentonite les plus importants économiquement se trouvent dans l'Oranie (Ouest Algérien). On relève en particulier la carrière de Maghnia (Hammam Bougrara) dont les réserves sont estimées à un million de tonnes et de celle de Mostaganem (M'zila) avec des réserves de deux millions de tonnes [69, 70].

#### IV. 5. 2. Minéralogie de la montmorillonite

La montmorillonite est composée de feuillets complexes à trois couches, séparés par des molécules d'eau. Sa structure reste peu connue. La formule générale de la montmorillonite est (pour la demi-maille) [72] :  $\text{Si}_4\text{O}_{10} (\text{Al}^{+3}_{(2-x)} \text{R}^{+2}_x) (\text{OH})_2 \text{CE}_x \text{nH}_2\text{O}$ .

Avec :  $\text{R}^{+2}$  :  $\text{Mg}^{+2}$ ,  $\text{Fe}^{+2}$ ,  $\text{Mn}^{+2}$

**Al** peut être remplacé par  $\text{Fe}^{+3}$ ,  $\text{Cr}^{+3}$ .

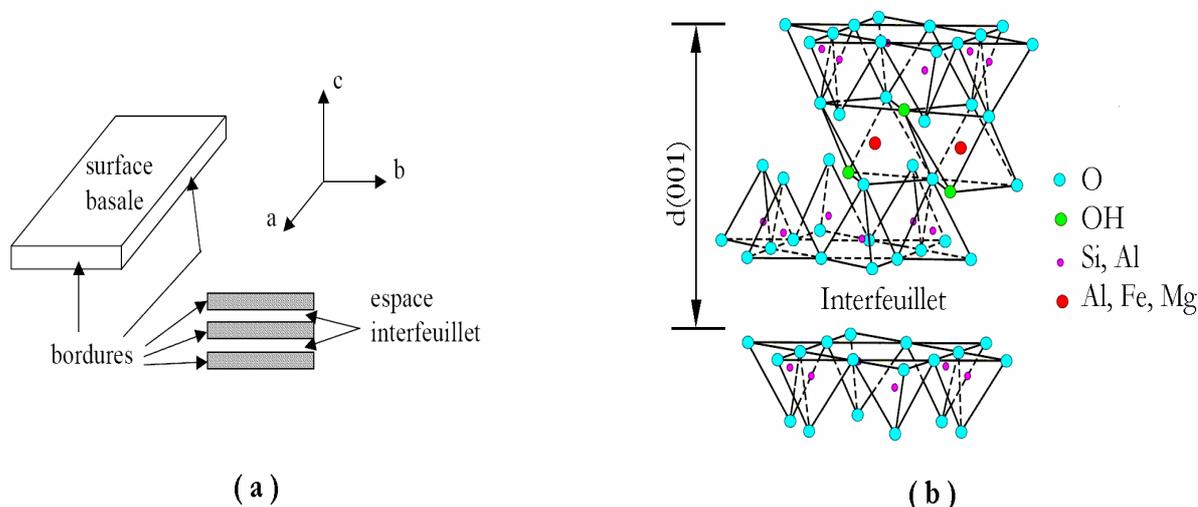
**CE** : Cation échangeables :  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$ .

**X** : charge du feuillet.

Chaque feuillet de montmorillonite est composé d'une couche d'octaèdres  $\text{AlO}_6$  (la couche octaédrique) entre deux couches de tétraèdres  $\text{SiO}_4$  (les couches tétraédriques), une structure épaisse d'environ 1 nm (fig. IV.3). Chaque feuillet a une forme de flocon, avec un diamètre de l'ordre de 0.1 à 1  $\mu\text{m}$ . Les défauts de la structure cristalline de la montmorillonite (substitutions de Si par  $\text{Al}^{+3}$  dans les couches tétraédriques, et d' $\text{Al}^{+3}$  par  $\text{Mg}^{+2}$  ou  $\text{Fe}^{+2}$  dans la couche octaédrique) entraînent une charge négative structurelle, compensée par les cations échangeables, principalement des ions sodium dans la bentonite (les cations échangeables divalents,  $\text{Ca}^{2+}$  et  $\text{Mg}^{2+}$ , compensent moins de 20 % de la charge structurelle dans la bentonite), localisés sur la surface basale de la montmorillonite [73].

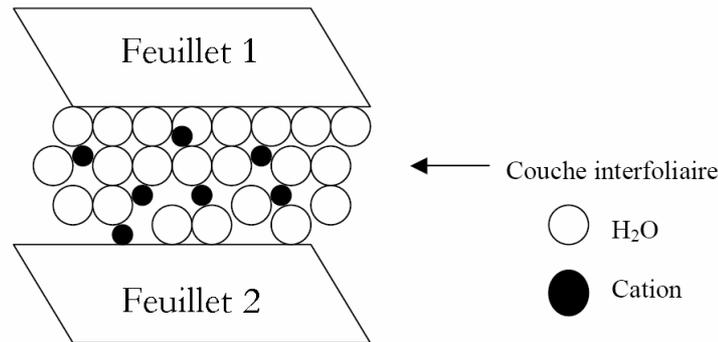
En bordure des feuillets, la structure cristalline est perturbée, et des sites ionisables sont exposés qui peuvent gagner ou perdre un proton. Les surfaces des bords de feuillets portent ainsi une charge variable qui dépend du pH, et qui peut constituer jusqu'à 15 % de la charge négative totale des feuillets de montmorillonite [73].

Les feuillets adhèrent les uns aux autres par l'intervention des forces de cohésion (force de Van der Waals) et éventuellement des liaisons hydrogène s'établissant entre les groupements hydroxyle de la couche octaédrique et les atomes d'oxygène de la couche tétraédrique du feuillet adjacent. L'ensemble feuillet-espace interfoliaire est appelé "unité structurale" et l'épaisseur de celle-ci, nommée "distance basale", constitue une caractéristique essentielle des différents minéraux, la figure IV.4 (a) Représentation schématique de l'empilement des feuillets unitaires dans une smectite [74].



**Figure IV.4 :** **a)** Illustration de l'empilement des feuillets d'argile, montrant les surfaces basales, les bordures des particules, ainsi que les espaces interfeuillets. **b)** Arrangement des octaèdres et tétraèdres dans un feuillet de montmorillonite (en haut de la figure). Une couche tétraédrique d'un second feuillet apparaît en bas de la figure. Les surfaces siloxanes des deux feuillets se font face à travers l'espace interfoliaire, qui contient les cations échangeables et un nombre variable de molécules d'eau [73].

Les espaces qui se trouvent entre les feuillets (figure IV.5) peuvent être vides ou remplis. Ils sont vides dans le cas où les feuillets sont neutres et occupés par des cations dès que les feuillets de l'édifice présentent un déficit de charge à la suite de substitutions isomorphiques. Ces cations rétablissent l'électro-neutralité du système et en même temps assurent la liaison entre les feuillets adjacents, qui est ici de nature ionique. Ces cations peuvent être soit secs soit hydratés. Les cations les plus fréquents sont  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Li}^+$ . Les cations interfoliaires sont en général échangeables par des cations organiques et minéraux se trouvant dans des solutions mises au contact du phyllosilicate [73, 75].



**Figure. IV. 5 :** Représentation schématique de la couche interfoliaire dans le cas de cations interfoliaires hydratés.

En résumé, la charge négative des particules argileuses est compensée par l'adsorption des cations, essentiellement le sodium et le calcium dans le cas des smectites. Ces contre-ions sont localisés sur les surfaces externes des particules ainsi qu'entre les feuillets unitaires. Ces cations peuvent être échangés par d'autres cations présents dans le système et on peut ainsi définir une capacité d'échange cationique pour un échantillon donné. Cette capacité d'échange cationique dépendant du pH de la solution, elle est en général mesurée à pH neutre.

## IV. 6. Propriétés acido-basiques des sites réactionnels

Le caractère acido-basique des argiles est généralement assigné aux groupements superficiels de bordure X-OH (avec X = Al ou Si) et comparé à celui des oxydes minéraux. On peut distinguer deux types d'acido-basité :

### IV. 6. 1. L'acido-basité au sens de Brönsted

Lorsque les sites superficiels X-OH possèdent des propriétés amphotères, ils sont alors susceptibles de capter ou de libérer un ion hydrogène selon les deux réactions suivantes :



Où  $K_{a1}$  et  $K_{a2}$  sont les constantes de ces équilibres. En milieu acide, c'est l'espèce  $\text{X-OH}_2^+$  qui est prédominante tandis qu'en milieu basique c'est  $\text{X-O}^-$ . En fonction du pH et de la nature du site, la surface du minéral acquiert une charge positive, nulle ou négative. Il existe une valeur particulière de pH pour laquelle les proportions en  $\text{X-OH}_2^+$  et  $\text{X-O}^-$  sont équivalentes. C'est le point de charge nulle (P.C.N). Il est calculé simplement à partir des constantes des deux équilibres acido-basiques selon la relation suivante (IV-3) :

$$\text{pH (P.C.N)} = 1/2 (\text{p}K_{a1} + \text{p}K_{a2}) \quad (\text{IV-3})$$

#### IV. 6. 2. L'acido-basicité au sens de Lewis

Lewis considère comme acide toute molécule pourvue d'une orbitale libre et qui, par conséquent, tend à s'unir à une molécule possédant une paire libre d'électrons et fonctionnant comme une base. Le radical X du groupement X-OH agit comme un acide de Lewis accepteur d'électrons et peut ainsi être lié à la base OH<sup>-</sup>, donneur d'électrons, ou à un autre donneur L<sup>-</sup>, base plus forte, selon l'équilibre suivant (IV-4) :



D'après la littérature, les phénomènes d'adsorption ont été principalement attribués aux propriétés acido-basiques des surfaces latérales des particules argileuses qui sont constituées de liaisons coupées. L'approche communément admise est une approche de type Brønsted. Selon cette approche, les réactions d'adsorption ne sont possibles que par ionisation des groupes fonctionnels de bordure des particules argileuses. Ainsi, les atomes de silicium de bordure fixeraient des groupements OH<sup>-</sup> pour donner des entités silanols (Si-OH) ionisables ayant un comportement acide (Si-O<sup>-</sup>/H<sup>+</sup>). Les atomes d'aluminium de bordure, à caractère plutôt amphotère, fixeraient des protons H<sup>+</sup> ou des ions hydroxyle OH<sup>-</sup>. De ce fait, les minéraux argileux se caractérisent par une surface presque dense d'oxygène et/ou d'hydroxyle et les mécanismes d'interaction entre les minéraux argileux et les solutions aqueuses impliqueront davantage ces deux espèces [74, 76].

#### IV. 7. Propriétés et intérêt des argiles

Traditionnellement utilisées comme matière première par les potiers, les argiles ont de nombreux débouchés dans l'industrie grâce à leurs caractéristiques chimiques (adsorption et absorption des molécules, composition) et physiques (taille des particules) [74]. Enumérons quelques utilisations.

Dans l'industrie chimique, elles amorcent certaines réactions (craquage des huiles minérales ou polymérisation de certaines molécules organiques). Les smectites (ensemble des argiles gonflantes), quant à elles, ont des capacités d'adsorption très poussées et sont de ce fait employées pour filtrer les vins, bières, clarifier les eaux souillées, dégraisser les laines par piégeage des impuretés. Utilisées comme source de silice et d'alumine les argiles forment les minéraux de base de l'industrie des matériaux de construction, des réfractaires, des isolants. D'autres argiles, notamment les smectites sodiques et les attapulgitites servent à épaissir un grand nombre de liquides : eau douce, eau salée, solvants aliphatiques, huiles végétales, glycols. Exploitée comme charge minérale, l'argile joue un rôle important dans la papeterie et l'industrie du caoutchouc [74, 77].

Dans les industries pharmaceutiques et médicales, l'argile trouve aussi un usage. Leurs propriétés absorbantes permettent la fabrication de médicaments à effets retardés. Les smectites en particulier interviennent dans la fabrication de nombreux cosmétiques : savons et shampoings, pommades, crèmes dentifrice où elles remplacent les matières grasses. Notons cependant que certaines espèces d'argiles fibreuses très utilisées pour leurs propriétés isolantes peuvent avoir des effets néfastes ; c'est le cas par exemple du chrysotile ou amiante qui s'est révélée être une substance cancérigène. Les sépiolites et palygorskites qui appartiennent à cette famille sont suspectées d'avoir des effets nocifs [74, 78].

D'autres utilisations reposent sur ses facultés d'absorption [39] :

- ✓ comme adjuvant pour nourriture animale,
- ✓ réalisation de barrières étanches pour les déchets industriels et ménagers (géomembranes bentonitiques) et les déchets radioactifs (barrières ouvragées; poudre compactées).
- ✓ comme dégraissant et décolorant,
- ✓ pour la fabrication des moules de fonderie,
- ✓ pour les boues de forages pétroliers (stabilité de l'ouvrage).
- ✓ l'étanchéité des édifices, la construction de digues...
- ✓ pour le bouletage du minerai de fer,
- ✓ comme additif aux amendements des sols.

## **Conclusion**

La bentonite donc fait partie des sorbants qui connaissent actuellement un grand essor dans différents domaines d'application telles que: épuration des eaux, décoloration des huiles et des graisses, comme charge dans l'industrie du papier, des savons des détergents et dans l'industrie pétrolière [71].

De ce fait la science des argiles continuellement moderne fera que la bentonite sera toujours un matériau du futur parce qu'elle est efficace, pratique, neutre et peu coûteuse. C'est en prenant en considération ces facteurs que notre choix de traitement de lixiviat de décharge s'est porté sur la bentonite. Et ceci c'est notre objectif dans la deuxième partie de ce travail.



## *Partie Expérimentale*



*Chapitre V*

*Caractérisation des lixiviats*

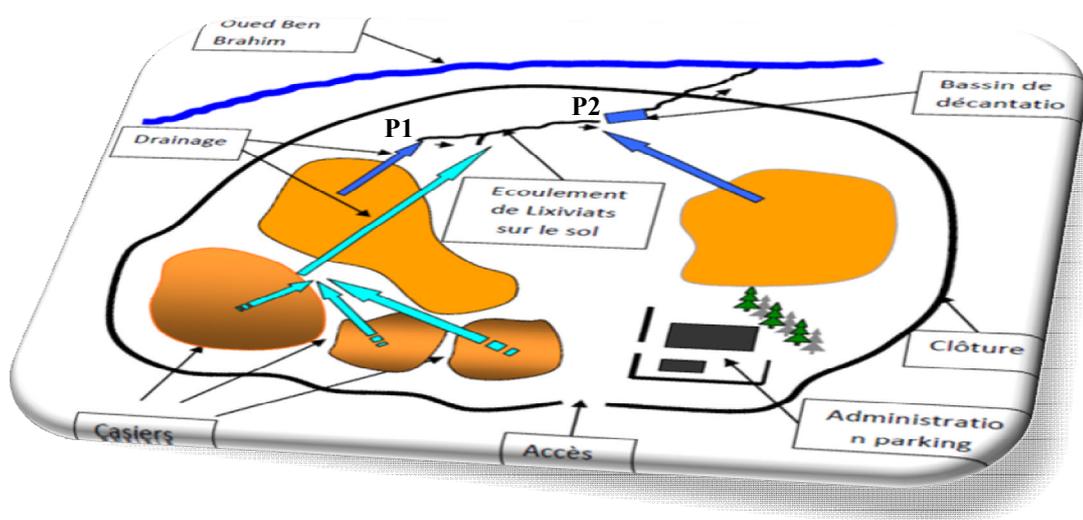
Les lixiviats des centres d'enfouissement technique sont de compositions diverses, selon les saisons, la pluviométrie, la nature des déchets, de ce fait leurs caractéristiques biologiques et chimiques seront différentes. Notre travail pratique consiste à caractériser les lixiviats du CET d'Ouled Fayet par des analyses physico-chimiques qui permettront la détermination des paramètres globaux suivants : pH, conductivité, Température, MES, MVS, DCO, DBO<sub>5</sub>, DCO/DBO<sub>5</sub>, PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, NO<sub>2</sub><sup>-</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, NTK, Fe, Zn afin de les traiter par la bentonite.

### V.1. Prélèvement des échantillons

Une campagne de prélèvements de huit échantillons à différentes périodes (dépendant de la disponibilité des moyens d'analyse) a permis la caractérisation des lixiviats du centre d'enfouissement technique d'Ouled Fayet ; deux prélèvements correspondent à une période à forte pluie, contrairement aux autres prélèvements effectués dans des périodes ensoleillées (Tableau V.3 et V.4), où l'on ne s'attend pas à une dilution par les eaux de pluie ni à un lessivage qui augmenterait les teneurs des éléments facilement mobilisables. Les échantillons de lixiviat ont été prélevés à une température ambiante variant entre 18 et 25°C.

### V. 2. Mode de prélèvement et de conservation

Pour notre étude nous avons retenu deux points de prélèvements P1 et P2 (deux échantillons) qui se différencient par l'âge des lixiviats, le premier P1 se situe à la sortie du système de drainage des lixiviats des casiers 1, 2 et 3, déjà fermés, le deuxième P2 se trouve sur le casier N°5 (bassin de stockage) qui est en cours d'exploitation (fig.V1).



*Figure V.1 : schéma représentatif de centre d'enfouissement technique d'Ouled Fayet*

Les lixiviats sont récoltés dans des flacons en polyéthylène préalablement rincés avec l'effluent et remplis jusqu'à ce qu'il déborde, puis sont transportés au laboratoire où ils sont conservés au réfrigérateur à 4°C de manière à limiter toute évolution biologique.

Les analyses des paramètres globaux sont réalisées dès la réception des lixiviats, au niveau de l'Office Nationale d'Assainissement (ONA) de Baraki et au laboratoire de département du génie d'environnement (ENSP).

L'étude de la matière organique est quant à elle effectuée le plus rapidement possible de manière à limiter une éventuelle évolution des effluents. En effet, le lixiviat provient d'un milieu anaérobie mais n'est ni conservé ni traité dans ces conditions, il n'est donc pas exclu que de légères transformations de la matière organique se produisent durant la phase de transport ou de stockage.

### V. 3. Méthodes d'analyse

Les paramètres physico-chimiques effectués pour caractériser les lixiviats d'Ouled Fayet ont été analysés selon les protocoles normalisés AFNOR et ISO. Les méthodes et les normes sont résumées dans le tableau V.1, ces dernières sont portées en annexe I [79] :

*Tableau V.1 : Paramètres, méthodes et normes d'analyse.*

Paramètres	Méthodes d'analyse	Normes des méthodes d'analyse
<b>pH</b>	PH-metrie (électrochimique)	NFT 90-008
<b>Conductivité (ms/cm)</b>	Conductimétrie (électrochimique)	NFT EN 27888
<b>Température</b>	Thermométrie	NFT 90-100
<b>DCO (mg/l)</b>	Bichromate de potassium	ISO 6060-1989
<b>DBO<sub>5</sub> (g/l)</b>	Manométrique (DBO mètre)	NFT 90-103
<b>NH<sub>4</sub><sup>+</sup> (mg/l)</b>	Colorimétrique (Spectrométrie)	ISO 7150/1-1984
<b>NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (mg/l)</b>	Colorimétrique (Spectrométrie)	ISO 7890-3-1988
<b>NO<sub>2</sub><sup>-</sup> (mg/l)</b>	Colorimétrique (Spectrométrie)	ISO 6777-1984
<b>PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> (mg/l)</b>	Colorimétrique (Spectrométrie)	ISO 6878/1-1986
<b>NTK (mg/l)</b>	Minéralisation, Distillation, Titration	ISO 5663-1984
<b>MES (g/l)</b>	Centrifugation et Séchage à 105°C	NFT 90-015
<b>MVS (%)</b>	Centrifugation et calcination à 560°C	-
<b>Métaux lourds</b>	Spectrométrie d'absorption atomique	ISO 82-88

#### V. 4. Débit des lixiviats de la décharge d'Ouled Fayet

Le débit est mesuré en utilisant un bidon dont le volume est connu et un chronomètre. Les valeurs obtenues durant la période de travail sont regroupées dans les tableaux V.2 et V.3. Les débits mesurés pendant l'année 2007, sont pris du cahier technique de CET d'Ouled Fayet, les autres en 2008, sont mesurés. On remarque des valeurs très différentes selon la saison.

*Tableau V.2 : Débit des lixiviats au point de prélèvement P1.*

Date	Débit l/mn
20/05/2007	38,500
30/05/2007	48,180
02/06/2007	54,740
24/06/2007	46,200
14/07/2007	64,010
09/09/2007	73,570
20/10/2007	67,200
21/11/2007	69,400
01/12/2007	89,300
04/12/2007	105,30
07/01/2008	224,00
15/01/2008	220,24
17/03/2008	213,80

Débit moyen = 96,17 l/min

*Tableau V.3 : Débit des lixiviats au point de prélèvement P2.*

Date	Débit l/mn
08/01/2008	160,00
15/01/2008	142,00
19/01/2008	093,00
29/01/2008	094,20
04/02/2008	063,60
06/02/2008	066,60
06/02/2008	062,40
10/02/2008	058,80
12/02/2008	058,80
23/02/2008	071,73
24/02/2008	071,42
01/03/2008	120,00
03/03/2008	118,00
08/03/2008	061,80
17/03/2008	135,00
22/03/2008	82,800
23/03/2008	102,00
12/04/2008	090,00
01/05/2008	081,03
02/06/2008	059,82

Débit moyen = 89,61 l/min

### V. 5. Caractérisation des lixiviats d'Ouled Fayet

Les analyses physico-chimiques que nous avons effectuées ont été axées sur l'évaluation de la charge organique, de la biodégradabilité, et sur la recherche d'une éventuelle présence des éléments toxiques, les résultats obtenus sont représentés dans les tableaux V. 4 et V. 5.

*Tableau V.4 : Teneurs des différents paramètres caractérisant les lixiviats (P1).*

Paramètres	Période pluviale 02/04/2008	Période ensoleillée 19/04/2008	Période ensoleillée 15/05/2008
<b>Couleur</b>	Marron clair	Marron foncé	Marron foncé
<b>Odeur</b>	Nauséabonde	Nauséabonde	Nauséabonde
<b>pH</b>	8.48	8.62	8,9
<b>Conductivité (ms/cm)</b>	7.04	28	--
<b>T (°C)</b>	17	17.5	--
<b>DCO (mg/l)</b>	1056	5500	4608
<b>DBO<sub>5</sub> (mg/l)</b>	150	900	550
<b>DBO<sub>5</sub>/DCO</b>	0.14	0.16	0,12
<b>NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (mg/l)</b>	2303.71	88.02	1849,36
<b>NO<sub>2</sub><sup>-</sup> (mg/l)</b>	9.95	513.68	--
<b>PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> (mg/l)</b>	107.1	387.71	47,124
<b>NH<sub>4</sub><sup>+</sup> (mg/l)</b>	1127.97	3006.22	300,62
<b>NTK (mg/l)</b>	726.32	1409.52	1409
<b>MES (g/l)</b>	0.321	0.901	1362,5
<b>MVS %</b>	36.19	30.75	--
<b>Fe (mg/l)</b>	33.4	14.05	--
<b>Zn (mg/l)</b>	0.32	0.27	--

Tableau V. 5 : Valeurs des différents paramètres caractérisant les lixiviats (P2).

Paramètres	Période pluviale 01/03/2008	Période peu ensoleillée 15/03/2008	Période pluviale 02/04/2008	Période ensoleillée 19/04/2008	Période ensoleillée 06/05/2008	Période ensoleillée 07/ 06/2008
<b>Couleur</b>	grisâtre	noirâtre	grisâtre	noirâtre	noirâtre	noirâtre
<b>Odeur</b>	Nauséabon de prononcée	Nauséabon de prononcée	Nauséabon de prononcée	Nauséabo de prononcée	Nauséabon de prononcée	Nauséabon de prononcée
<b>pH</b>	5.84	5.94	6.15	6.59	6.42	6,69
<b>Conductivité (ms/cm)</b>	29.1	10.25	21.7	42.6	38.5	22
<b>T (°C)</b>	26	24	31.5	27	25.5	30,8
<b>DCO (mg/l)</b>	78720	82800	94080	78000	85333	90720
<b>DBO<sub>5</sub>(mg/l)</b>	35000	12000	22000	48000	20000	16000
<b>DBO<sub>5</sub>/DCO</b>	0.45	0.15	0.23	0.62	0.24	0,18
<b>NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (mg/l)</b>	349.095	1099.91	1235.30	229.39	329.33	1181,5364
<b>NO<sub>2</sub><sup>-</sup> (mg/l)</b>	0.276	1.95	2.26	44.21	58.24	1,5160
<b>PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> (mg/l)</b>	60.9552	42.99	32.63	247.84	364.11	33,8069
<b>NH<sub>4</sub><sup>+</sup> (mg/l)</b>	713.628	2808.58	2573.80	19251.2	5384.976	2709
<b>NTK (mg/l)</b>	3475.92	2066.68	2619.12	11015.22	2244.2	1286,6
<b>MES (g/l)</b>	3.3850	2.0795	1.82	5.119	4.856	-
<b>MVS %</b>	54.28	59.82	52.61	58.10	58.80	-
<b>Fe (mg/l)</b>	-	-	10.7	26.0	35.5	-
<b>Zn (mg/l)</b>	-	-	0.06	0.29	0.24	

Les teneurs moyennes des différents paramètres caractérisant les lixiviats ainsi que les valeurs limites de rejet des effluents liquides dans le milieu naturel sont résumées dans le tableau V. 6 :

Tableau V. 6 : Tableau comparatif de la composition physico-chimique moyenne du lixiviat.

Paramètres	Point de prélèvement P1		Point de prélèvement P2		Les normes
	Valeur moyenne	Intervalle de variation	Valeur moyenne	Intervalle de variation	
pH	8,55	8,48 – 8,62	6,188	5,84 – 6,59	<b>6,5 à 8,5</b>
Conductivité (ms/cm)	17,52	7,04 -28	28,43	10,25 – 42,6	-
T (°C)	17,25	17- 17,5	26,8	24 – 31,5	<b>&lt; 30</b>
DCO (mg/l)	3721,33	1056 – 5500	84942	78000 - 94080	<b>120 à 130</b>
DBO <sub>5</sub> (mg/l)	533	150 – 900	27500	12000 - 48000	<b>35</b>
DBO <sub>5</sub> /DCO	0,14	0,14 – 0,16	0,31	0,15 – 0,62	–
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	1413,7	88,02 – 2303,71	737,43	229,4 – 1235,3	-
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	261,82	9,95 – 513,68	18,07	0,276 – 58,24	-
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> (mg/l)	180.64	107,1 – 387,71	130,38	32,63 – 364,11	<b>10</b>
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg/l)	1478,27	1127,97-3006,21	5573,53	713,6 – 19251,2	–
NTK (mg/l)	1067,92	726,32 – 1409,52	3784,62	2066,7 – 11015,22	<b>30</b>
MES (mg/l)	454.57	320,5 – 910	3541,9	1820 – 5119	<b>35</b>
MVS (%)	124.05	30,75 – 36,19	56,72	52,61 – 58,80	–
Fe (mg/l)	23.72	14.05-33.4	24.07	10.7-35.5	<b>3</b>
Zn (mg/l)	0.29	0.27-0.32	0.19	0.06-0.29	<b>3</b>

## V. 6. Interprétation des résultats

### *La couleur :*

Pour le point P1, les lixiviats étudiés avaient une couleur marron, plus foncée en période ensoleillée et plus claire en forte pluviométrie due à la dilution par les eaux de pluie, et une couleur grise allant vers le noir pour le point P2. Ces couleurs sont dues essentiellement aux matières en solution et à la présence de sulfure de fer pigmentaire dont le pouvoir colorant est élevé. Le composé résulte de la combinaison du fer dissous à partir des déchets métalliques de la décharge, et des sulfures proviennent directement de la dégradation des matières organiques. D'autre part les composés humiques produits en phase méthanique contribuent aussi à la couleur des lixiviats [32].

***L'odeur :***

Les odeurs désagréables dégagées par les lixiviats avaient une similitude avec celles “des oeufs pourris”, plus prononcées pour le jeune au point P2 que P1. Ces odeurs sont dues essentiellement :

- A la présence d'ammoniac ;
- Au soufre qui participe de près à l'émanation de ces odeurs due à la formation du gaz  $H_2S$  ;
- A la décomposition de la matière organique présente dans l'effluent dont la macération se poursuit (fermentation anaérobie) ;
- A la température qui intensifie aussi ces odeurs ;

***La Température :***

La température favorise le développement des micro-organismes dans les lixiviats, le lixiviat jeune (P2) présente une température moyenne élevée de 26,8 °C due aux réactions exothermiques dans le bassin de stockage alors que le lixiviat intermédiaire (P1) possède une température au voisinage de 17 °C qui est en relation avec la température ambiante. Nous constatons que ces valeurs mesurées sont inférieures à la norme maximale de rejet qui est de 30 °C [9].

Au vu de nos résultats, il apparaît que si la température du jus de décharge est la plus élevée, que le flux de matières organiques biodégradables ( $DBO_5$ ) sortant de la décharge présente ses valeurs maximales (27°C correspond à 48000 mg/l). Cette augmentation de la charge organique est associée au maximum du développement de l'abondance bactérienne et une diminution des teneurs en oxygène qui succède à la consommation de ce dernier par les décomposeurs. Enfin, des travaux réalisés sur d'autres sites de décharge ont permis de mettre en évidence une augmentation de l'activité reminéralisatrice bactérienne à la suite du réchauffement des lixiviats [33].

***Le Potentiel d'Hydrogène (pH) :***

Le pH (potentiel Hydrogène) mesure la concentration en ions  $H^+$  de l'eau. Ce paramètre caractérise un grand nombre d'équilibres physico-chimiques et dépend de facteurs multiples, dont l'origine de l'eau.

Les valeurs de pH relevées dans le lixiviat varient de 8,62 à 8,48 pour P1, ce qui caractérise un lixiviat vieux, cette valeur explique que nous sommes dans une phase méthanogène, où le pH remonte essentiellement durant la libération des acides gras volatils (AGV), cette phase favorise l'autoépuration.

La valeur moyenne en P2 (lixiviat jeune) est de 6.2, les lixiviats produits sont légèrement acides, cette tendance acide semble être due d'une part au ralentissement de l'activité

photosynthétique consommatrice du proton  $H^+$  et à l'apport par la décharge de lixiviats acides (la phase acidogènes) [32], d'où une diminution de pH.

Les pluies (Période pluviale) et la diminution de l'activité bactérienne assurent une oxygénation forte et continue de la décharge. Cette oxygénation quasi permanente, nous laisse supposer que durant cette période la faune bactérienne est dominée par des décomposeurs aérobies [33]. Cette période est caractérisée par une baisse des valeurs de pH (pH =5,84) vraisemblablement due aux fortes teneurs en  $CO_2$  cumulées durant cette période, qui par ces équilibres calco-carboniques engendrent une acidité au milieu [33].

#### ***Conductivité électrique :***

La minéralisation excessive qui caractérise les lixiviats est mise en évidence par la mesure de la conductivité, il s'agit d'une mesure de la capacité d'une solution à laisser passer un courant électrique, cette capacité dépend des sels solubles dans l'eau. Elle constitue un paramètre intéressant à suivre, d'une part pour évaluer la charge minérale présente dans un effluent (le degré de minéralisation), et d'autre part évaluer la concentration en matières minérales dissoutes dans les eaux brutes et usées [39].

Au cours du suivi mensuel, les valeurs de la conductivité électrique enregistrées dans les lixiviats oscillent de 28 à 7,04 mS/cm et 10,25 à 42,6 mS/cm pour P1 et P2 respectivement.

Durant nos différentes analyses, les valeurs obtenues étaient très élevées du fait de la quantité des substances minérales existantes dans ces lixiviats, cette minéralisation est due en partie, aux fortes teneurs en chlorures qui ne peuvent être expliquées seulement par leurs taux de présence naturelle dans les ordures ménagères, mais résultent aussi d'un important rejet de sels chlorés (sels de sodium et de potassium).

#### ***La demande chimique en oxygène (DCO) :***

La DCO (Demande Chimique en Oxygène) exprime la quantité d'oxygène nécessaire pour oxyder la matière organique (biodégradable ou non) d'une eau à l'aide d'un oxydant fort, le bichromate de potassium ( $K_2Cr_2O_7$ ) sous des conditions données [80].

La DCO peut être réalisée plus rapidement que la  $DBO_5$  et donne une idée de la matière organique totale présente, même quand le développement de micro-organismes est impossible (Présence d'un toxique par exemple). Le résultat s'exprime en mg/l d' $O_2$ , alors que la  $DBO_5$  ne mesure que la matière organique naturellement biodégradable. C'est pourquoi les valeurs de DCO sont nécessairement supérieures aux valeurs de  $DBO_5$  [80, 81].

▪ Les résultats obtenus nous permettent de constater que nous sommes en présence d'une forte charge organique oxydable. En effet la DCO moyenne est de 3721,33 et 84942,17 mg/l aux points P1 et P2 respectivement. Cette forte DCO rencontrée est due à la fraction

organique constituée d'acides gras volatils dégradables, et aux métabolites non biodégradables.

Les valeurs les plus élevées ont été enregistrées au point P2, avec 94080 mg/l qui correspond à une température de l'ordre de 31,5 °C. L'évolution des teneurs en DCO semble être liée à l'élévation des températures. Ces résultats (tab V.4 et V.5) semblent confirmer le rôle de la température mis en évidence précédemment dans les processus d'oxydation et d'hydrolyse des déchets.

L'augmentation observée à la même période de la matière organique chimiquement oxydable exprimée par la DCO (tab. V.4 et V.5), semble être imputable d'une part à l'état de vieillissement de la matière organique qui devient moins biodégradable et d'autre part aux composés issus d'une biodégradation incomplète par les bactéries.

D'après ces valeurs, les lixiviats de la décharge d'Ouled Fayet sont dans l'étape réactionnelle de dégradation anaérobie correspondant à la fin de la phase acidogène et au début de la phase méthanique. Alors, on peut classer les lixiviats au point P1 (Casier plus âgés) comme un lixiviat intermédiaire, alors que celui du point P2 est un lixiviat jeune (casier 5). Ces valeurs sont très élevées par rapport à la norme qui est de 120 mg/l pour le rejet dans un milieu naturel [9].

#### ***La demande biochimique en oxygène (DBO<sub>5</sub>) :***

La DBO<sub>5</sub> (Demande Biochimique en Oxygène) exprime la quantité d'oxygène nécessaire à la dégradation de la matière organique biodégradable d'une eau, par le développement de micro-organismes, dans des conditions données (incubation pendant 5 jours, à 20° dans l'obscurité). Cette mesure est très utilisée pour le suivi des rejets des stations d'épuration, car elle donne une approximation de la charge organique biodégradable [79, 81]. Cette importante charge organique est spécifique pour les lixiviats de décharge.

Pour nos analyses les valeurs moyennes obtenues aux points P1 et P2 sont respectivement 533 mg d'O<sub>2</sub>/l et de 27500 mg d'O<sub>2</sub>/l. La DBO<sub>5</sub> diminue avec l'âge de la décharge. Cependant cette diminution par biodégradation bactérienne entraîne une production importante en NH<sub>4</sub><sup>+</sup>.

▪ Nous remarquons un écart entre ces deux valeurs qui sont élevées par rapport à la norme de rejet qui est de 35 mg/l, ces valeurs montrent la présence d'une concentration importante en matière organique biodégradable.

#### ***Le rapport DBO<sub>5</sub>/DCO :***

Le rapport DBO<sub>5</sub>/DCO caractérise la biodégradabilité des lixiviats. Ce ratio est généralement corrélé à l'âge des lixiviats et donc au degré d'avancement de la stabilisation du massif. Toutefois, une bonne estimation de l'âge de la décharge n'est valable que sur de courtes périodes (10 ans) [32]. Plus ce rapport est élevé, plus les lixiviats sont biodégradables.

(< 0,1: non biodégradable, > 0,8 : totalement biodégradable) [32, 82]. Lorsque le rapport DBO<sub>5</sub>/DCO se rapproche de zéro, les décharges sont anciennes et sont souvent engagées dans un processus de fermentation ultime aboutissant à la production de lixiviats basiques et de fortes teneurs en ammonium. La valeur moyenne de ce rapport est de 0,14 au point P1, et de 0,31 au point P2.

En effet, le lixiviat au niveau du point P1 présente :

- Un pH basique de l'ordre de 8,5.
- Une charge organique avec une DCO de valeur moyenne de 3,721 mg d'O<sub>2</sub>/l (comprise entre 3 et 15 g/l).
- Une biodégradabilité de l'ordre DBO<sub>5</sub> / DCO = 0,14

On peut dire que ces lixiviats évoluent d'un lixiviat jeune vers un lixiviat stabilisé, donc nous sommes dans le cas de lixiviat intermédiaire.

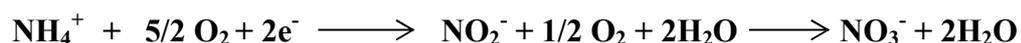
Les lixiviats du point P2 présentent :

- Un pH moyen de l'ordre de 6,2
- Une charge organique élevée avec une DCO de valeur moyenne de 84,94 g d'O<sub>2</sub>/l (DCO > 20 g/l).
- Une biodégradabilité moyenne de 0,31. (> 0,3).

A ce point, nous remarquons une activité biologique qui correspond à la phase acide de dégradation anaérobie, avec une charge organique facilement biodégradable, donc nous sommes en présence de lixiviat jeune. Ces caractéristiques confirment bien notre classification des deux échantillons étudiés.

#### ***Les nitrates et nitrites (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, NO<sub>2</sub><sup>-</sup>) :***

Les eaux usées en général contiennent de nitrates et souvent très peu de nitrites [31]. Les nitrites constituent une étape importante dans la métabolisation des composés azotés, ils s'insèrent dans le cycle de l'azote entre les ions ammonium (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) et les nitrates. Leur présence est due soit à l'oxydation bactérienne de l'ammoniaque, soit à la réduction des nitrates, ils ne représentent qu'un stade intermédiaire et sont facilement oxydés en nitrates [25]. La réaction chimique suivante résume le phénomène d'oxydation :



Leur présence dans l'eau brute ou lixiviat donc rare et en faible quantité, est d'ailleurs confirmée par les résultats des analyses obtenus.

▪ Les concentrations moyennes mesurées pour les nitrates sont de 1413,7 mg/l et 737,4 mg/l respectivement aux points P1 et P2, et celle de nitrites de 261,8 et 18,1 mg/l.

▪ En comparant entre les valeurs des nitrites obtenues pour P1 et P2, nous constatons que celles de P1 sont nettement supérieures à celles de P2, ceci peut s'expliquer par le fait que P1 est un lixiviat vieux donc le processus de dénitrification a commencé et c'est un procédé qui repose sur l'élimination de nitrate en produisant des nitrites.

#### ***L'azote ammoniacal ( $NH_4^+$ ) :***

Les autres formes de pollution qu'on relève dans les lixiviats étudiés sont celles liées à leur richesse en azote. Les lixiviats de la décharge de Ouled Fayet sont riches en azote et l'azote prépondérant se trouve sous forme réduite (azote ammoniacal), parce qu'en aérobiose la minéralisation est ralentie [25].

Les valeurs moyennes obtenues aux points P1 et P2 sont respectivement 1478,27 mg/l et 5573,53 mg/l, nettement supérieures à la norme de rejet, qui est de 20 mg/l [9].

Il apparaît que l'azote ammoniacal domine quantitativement les formes azotées représente les 90 % de l'azote total [33].

#### ***L'Azote Kjeldahl (NTK) :***

Cette analyse permet de mesurer simultanément l'azote organique et l'azote ammoniacal représenté par l'azote Kjeldahl noté NTK, d'où :

$$NTK = N_{\text{organique}} + N_{\text{ammoniacal}}$$

De même, lorsque l'on mesure toutes les formes différentes d'azote (mis à part l'azote gazeux) on obtient l'azote globale, noté  $N_{GL}$  :

$$N_{GL} = N_{\text{organique}} + N_{\text{ammoniacal}} + N_{\text{nitrite}} + N_{\text{nitrate}}$$

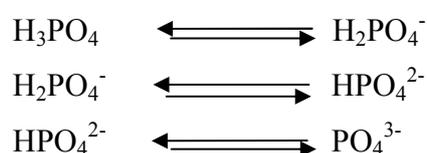
Ces deux paramètres sont utilisés par la réglementation pour fixer les limites de rejet de l'azote dans le milieu naturel [79]. Les concentrations moyennes en azote total aux points P1 et P2 sont respectivement de 1067,9 mg/l et de 3784,6 mg/l, elles sont nettement supérieures à la norme de rejet qui est de 30 mg/l.

#### ***Les orthophosphates ( $PO_4^{3-}$ ) :***

Le phosphore est présent dans les lixiviats sous différentes formes :

- Phosphore organique : comme les phospholipides, les phosphoprotéines.
- Phosphore minéral : dérivé de l'acide phosphorique comme les orthophosphates ( $PO_4^{3-}$ ,  $H_2PO_4^-$  et  $HPO_4^{2-}$ ). L'ensemble des formes organiques et minérales constitue le phosphore total. Les phosphates correspondent en fait aux orthophosphates car l'ion phosphate, n'existe en solution que pour des pH basiques.

En effet, l'acide phosphorique est susceptible de s'ioniser de différentes façons :



Le phosphore est parmi les nutriments les plus importants pour la croissance algale. Les résultats moyens obtenus en orthophosphates aux points P1 et P2 du CET d'Ouled Fayet pour les différents prélèvements sont respectivement 180.6 et 130,4 mg/l. Ces teneurs sont donc la résultante de l'assimilation rapide de cet élément par les bactéries et les algues et/ou sa complexation avec le calcium sous forme d'apatite. Le phosphore précipite généralement sous forme hydroxyl-apatite ( $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)\text{OH}$ ). Cette absence de précipitation du phosphore ne peut pas être attribuée à une absence des ligands cationiques ( $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  et  $\text{Mn}^{2+}$ ) qui sont très présents dans le lixiviat avec des concentrations importantes [33]. Mais nous remarquons que ces valeurs sont très élevées par rapport à la norme qui est de 10 mg/l.

#### ***Matière en suspension (MES) :***

Il s'agit de la quantité de matière en suspension dans l'eau, d'origine organique (produits de la décomposition des matières végétales ou animales, acides humiques ...), ou minérale (sables, limons, argiles, ...), à ces composés s'ajoutent les micro-organismes tels que bactéries, plancton, algues et virus. Elles correspondent à la pollution solide [33].

- Les lixiviats de la décharge d'Ouled Fayet sont très chargés en MES, les concentrations moyennes au point P1 et P2 sont respectivement de 454.57 et 3451,9 mg/l, ceci implique une mauvaise pénétration de la lumière ainsi qu'une mauvaise aération des lixiviats produits, et inhibe ainsi la photosynthèse empêchant le travail des bactéries.

- Les MES influent donc sur la biodégradabilité du milieu. Les valeurs sont très élevées par rapport à la norme qui est de 35 mg/l. Ainsi on comprend mieux pourquoi les MES rentrent systématiquement en compte dans un bilan de pollution.

#### ***Matière volatile sèche (MVS) :***

On entend par matières volatiles sèches la partie des matières en suspension susceptibles d'être volatilisées à 550° C. Les MVS sont généralement assimilées aux matières organiques en suspension [32].

- Les valeurs obtenues atteignent 33,47 et 56,72% pour les deux points P1 et P2 respectivement, le pourcentage est relativement faible en P1, implique donc un pourcentage élevé de la matière minérale qui s'explique par l'âge des casiers.

#### ***Les métaux lourds :***

Les principaux métaux lourds étudiés sont le fer et le zinc. Ces derniers étant les plus fréquemment retrouvés dans les lixiviats des ordures ménagères.

L'élévation des débits induit un effet de dilution de certains paramètres. Les teneurs en  $\text{Fe}^{2+}$  sont élevées et peuvent atteindre jusqu'à 23.7 (P1) et 24.1 mg. l<sup>-1</sup> (P2), où elles dépassent la valeur limite de rejet qui est de 3 mg/l. (tab V.6). Ces teneurs élevées en  $\text{Fe}^{2+}$  sont probablement dues à la forte présence des matières organiques [33]. Quant au zinc (Zn)

0.29 mg/l (P1) et 0.19 mg/l (P2), il est à l'état de traces (<1 mg/l) et donc inférieures aux normes de rejet.

▪ Par manque de moyens, nous n'avons pas pu détecter tous les métaux lourds, mais une étude effectuée sur le même site en 2006 [31], a donné les résultats représentés dans le tableau V.7, et pour lesquels nous constatons que la teneur en métaux totaux est relativement faible, cependant les pourcentages en Fe représentent la grande majorité dépassant les normes.

*Tableau V. 7: Résultats obtenus pour les métaux lourds*

Echantillon	Cu (mg/l)	Cr (mg/l)	Fe (mg/l)	Cd (mg/l)	Co (mg/l)	Ni (mg/l)	Mn (mg/l)
1	0.39	0.19	7.32	<0.03	0.085	0.37	0.407
2	0.24	0.01	5.29	<0.03	<0.20	0.21	0.348
Normes de rejets	3	3	5	0,2	--	5	1

## V. 7. Évolution des lixiviats

Le tableau V.8 donne l'évolution des caractéristiques des lixiviats de la décharge d'Ouled Fayet ces trois dernières années pour les lixiviats du point (P1).

*Tableau V.8 : Évolution des caractéristiques des lixiviats du C.E.T d'Ouled Fayet entre 2006 et 2008 (P1).*

Paramètres	2006 [56]	2007 [13]	2008
pH	8,25	8,44	8,9
DCO (mg d'O <sub>2</sub> /L)	3840	3770,88	3278
DBO <sub>5</sub> (mg d'O <sub>2</sub> /L)	933	810,25	533,33
DBO <sub>5</sub> /DCO	0,24	0,17	0,14
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg /L)	87,52	853,77	1478,27
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg /L)	13,56	776,75	1413,7
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (mg /L)	1,286	164,29	261,82
NTK (mg /L)	1260,82	1823,08	1067,92
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> (mg /L)	63,34	186,25	180.64
MES (mg /L)	1030,66	1330	454.57

La diminution de la charge organique exprimée par la DBO<sub>5</sub> observée de 2006 à 2008 (tab. V.8), est vraisemblablement attribuable à la dégradation quasi complète de la matière organique présente dans la décharge pendant les premières années de fonctionnement.

L'évolution annuelle du DCO montre une décroissance des teneurs en fonction de l'âge de la décharge, passant de 3840 mg/l en 2006 à 3278 mg/l en 2008. Cette diminution peut s'expliquer par la dégradation de la matière organique à l'aide des micro-organismes

(les bactéries, les levures et les champignons), qui sont capables de garantir la transformation de la matière organique dissoute en matière minérale (nutriments et gaz). Ceci est confirmé par la diminution de la DBO<sub>5</sub> aussi. Afin d'assurer les besoins énergétiques nécessaires à la multiplication, la locomotion,..., les micro-organismes, en particulier les bactéries sont nourries par les matières organiques et éliminent les polluants par différents processus [81]:

- Par absorption des particules sur les floques bactériens;
- Par conversion en matière cellulaire: croissance bactérienne et des microorganismes associés;
- Par oxydation en CO<sub>2</sub> et H<sub>2</sub>O qui produit l'énergie nécessaire au fonctionnement et à la croissance bactérienne;

Lorsque le rapport DBO<sub>5</sub>/DCO se rapproche de zéro, les décharges sont anciennes et sont souvent engagées dans un processus de fermentation ultime aboutissant à la production de lixiviats basiques, et de fortes teneurs en ammonium. Il semble que c'est le cas de la décharge d'Ouled Fayet (le point P1), qui a produit en 2006-2008 des lixiviats présentant des valeurs de pH autour de 8 (tab V.8) et des rapports DBO<sub>5</sub>/DCO de 0,14. On peut classer notre effluent selon les tableaux III.2 et III.3 de lixiviat intermédiaire en phase de méthanogénèse.

Pour les nitrites et les NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, nous observons une augmentation progressive durant les trois ans, qui passe de 1,29 et 87,5 mg/l en 2006 à 261,8 et 1478,3 mg/l en 2008 respectivement.

Pour les NTK et les PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>, nous distinguons aussi une période d'augmentation en 2007 suivie d'une baisse en 2008. Il apparaît aussi que les nitrates (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) sont toujours en augmentation, due au phénomène de nitrification, transformation de l'azote ammoniacal en nitrates, selon la réaction :  $\text{NH}_4^+ + 5/2 \text{O}_2 + 2 \text{e}^- \longrightarrow \text{NO}_3^- + 2 \text{H}_2\text{O}$

Alors que pour les teneurs en MES, nous constatons deux phases, une augmentation de 2006 (1030,7 mg/l) à 2007 (1330 mg/l), suivie par une diminution en 2008 (454.6 mg/l).

La charge organique estimée en termes de DBO<sub>5</sub> et DCO est très importante dans le lixiviat jeune (P2) avec un rapport DBO<sub>5</sub>/DCO de l'ordre de 0,31. Ceci vient confirmer notre hypothèse, selon laquelle la DBO<sub>5</sub> diminue avec l'âge de la décharge. Cependant cette diminution de la DBO<sub>5</sub> par biodégradation bactérienne entraîne une production importante en NTK et en NH<sub>4</sub><sup>+</sup>.

Le lixiviat jeune apparaît moins chargé en NO<sub>3</sub><sup>-</sup> que celui plus âgé. Ces faibles valeurs du nouveau lixiviat en nitrate sont vraisemblablement dues aux fortes conditions réductrices qui règnent au sein de la décharge, suite aux phénomènes de biodégradations très intenses.

Enfin les teneurs en éléments métalliques apparaissent faibles pour le Zn et fortes pour le Fe, mais semblables pour les deux lixiviats.

## **Conclusion**

Au terme de ce chapitre, il convient de tirer un certain nombre de conclusions quant aux processus gouvernant la composition qualitative des lixiviats de la décharge d'Ouled Fayet.

L'âge de la décharge semble influencer directement la composition du lixiviat, sa charge organique biodégradable diminuant régulièrement avec le vieillissement du site. La caractérisation physico-chimique montre que ces lixiviats sont très chargés en matière organique.

En P1 le casier le plus âgé, on passe d'un lixiviat jeune vers un lixiviat stabilisé, donc nous sommes en présence de lixiviat intermédiaire (casiers plus âgé).

- le lixiviat jeune en P2 caractérisé par :
  - une charge organique facilement biodégradable.
  - chargés en matières en suspension (MES).
  - la pollution minérale est également présente vu les concentrations en azote ammoniacal, orthophosphates et fer importantes dans les percolats du CET.

Les valeurs obtenues sont bien au-delà des normes de rejet des effluents en milieu naturel. Ces lixiviats rejetés actuellement dans le milieu récepteur (Oued Ben Brahem), nécessiteraient un traitement préalable avant leur rejet vu leur caractère hautement contaminant.



## *Chapitre VI*

### *Traitement des lixiviats*

## VI. 1. Caractérisation de la bentonite

La bentonite utilisée est broyée à l'aide d'un broyeur à couteaux de type " FORPLEX", au niveau du département de Génie minier de l'ENSP, ensuite tamisé dont le diamètre du tamis est de 200  $\mu\text{m}$ ,

Avant de commencer notre traitement nous avons essayé de caractériser la bentonite, dont nous avons mesuré le pH et l'humidité.

### VI. 1. 1. pH

La procédure de mesure consiste à peser 10g de bentonite dans un bécher, puis nous complétons le volume jusqu'à 100 ml, ensuite on procède à une agitation de la suspension pendant 30 minutes afin d'homogénéiser la solution. La valeur du pH trouvée est de l'ordre de 9,3.

Cette valeur de pH montre une basicité de la bentonite qui serait due aux sels solubles basiques notamment des carbonates, bicarbonates alcalins ou les silicates, qui rentrent généralement dans la composition des bentonites [68].

### VI. 1. 2. Humidité de la bentonite

L'humidité c'est un paramètre important, qui nous permet de savoir la quantité d'eau contenue dans la montmorillonite, car l'augmentation de ce paramètre diminue le pouvoir d'absorption de la bentonite. Sachant que la montmorillonite est composée de feuillets complexes à trois couches, séparés par des molécules d'eau. Pour mesurer le taux d'humidité nous avons utilisé deux méthodes :

#### *a. Méthode par étuve*

Dans une capsule (en verre ou en porcelaine) propre et sèche, on met 10 g de bentonite (Pe). On met le tout dans l'étuve à 105 °C pendant deux heures, puis on laisse refroidir au dessiccateur. Après cette opération la bentonite pesée (avec capsule) a un poids P2. Le taux d'humidité est donc :

$$\% \text{H}_2\text{O} = (P1 - P2 / P_e) \cdot 100$$

P1 : La prise d'essai (Pe) + poids de la capsule.

Nous avons répété l'opération quatre fois et les résultats trouvés sont les suivants :

1. H1 = 9,9 %.
2. H2 = 9,9 %.
3. H3 = 9 %.
4. H4 = 9,6 %.

Soit un taux d'humidité moyen de 9,6 %.

**b. Méthode par Analyseur d'humidité (dessiccateur infrarouge)**

Nous avons utilisé un appareil de type : Sartorius MA 40 IR dont le mode Cette opératoire est donné en annexe I. L'analyse effectuée par cet appareil est rapide et donne des résultats plus fiables :

1.  $H_1 = 10,5 \%$ .
2.  $H_2 = 10,2 \%$ .
3.  $H_3 = 10,3 \%$ .
4.  $H_4 = 10,4 \%$

Soit un taux d'humidité moyen de 10,35 %.

**VI. 1. 3. Autres caractéristique de la bentonite**

Par manque de moyens et par économie de temps, nous avons utilisé les résultats trouvés par une étude récente (2008), sur la même bentonite [66]. Le tableau VI.1 présente quelques caractéristiques de ces bentonites.

**Tableau VI. 1 : Caractéristiques physico-chimiques des bentonites testées.**

Echantillon	Surface spécifique (m <sup>2</sup> /g)	Cation échangeable (méq/100g)				S	T
		Na <sup>+</sup>	Mg <sup>++</sup>	Ca <sup>++</sup>	K <sup>+</sup>		
bentonite	56.44	36,7	46	11	27	120.7	122.3

Avec :

S : la quantité totale des cations effectivement retenus. Elle s'exprime en milliéquivalents pour 100 g de produit.

T: Capacité d'échange totale que peut fixer l'argile. Elle s'exprime aussi en milliéquivalents pour 100 g de produit.

Pour les cations divalents, le magnésium est l'élément prépondérant (46 meq/100g) soit quatre fois la quantité de calcium (11 meq/100g). Pour les cations monovalents, l'élément le plus prépondérant est le sodium (36.7 meq/100g). Les éléments échangeables prépondérants dans l'échantillon de bentonite sont donc le Magnésium et le Sodium.

La capacité d'échange total (T) est supérieure à la somme des cations échangeables (S). La différence (T-S) est de 1.4 meq/100g de produit sec. Cette différence (T-S) peut être due :

- soit à la méthode utilisée (méthode dynamique),
- soit aux sels employés dont la dimension des ions est relativement élevée,
- soit à la présence probable d'autres cations tels que Cu<sup>++</sup>, Fe<sup>++</sup>, Mn<sup>++</sup>, ...

Les résultats obtenus pour la composition chimique de la bentonite brute, sont donnés par le tableau VI. 2.

**Tableau VI. 2 : Analyses chimiques de la bentonite.**

Échantillon	Perte au feu (%)	SiO <sub>2</sub> (%)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	CaO (%)	MgO (%)	SO <sub>3</sub> (%)	K <sub>2</sub> O (%)	Na <sub>2</sub> O (%)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)	TiO <sub>2</sub> (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)
bentonite	6,06	65.09	17.10	0.52	2.82	0.12	2.53	2.56	0.06	0.36	2.68

Le rapport SiO<sub>2</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> de la bentonite égale à 3,8 peut être expliqué par la grande teneur en SiO<sub>2</sub> (silice libre). La montmorillonite dont la structure correspond à deux couches siliceuses pour une couche alumineuse (argiles dites 2:1), a par ailleurs une teneur en silice très importante (supérieure à 50%) [86].

La teneur en K<sub>2</sub>O, Na<sub>2</sub>O et MgO est élevée. Le magnésium, sodium, et le calcium pouvant faire partie respectivement de la structure et de l'espace interfoliaire de la montmorillonite. Cette teneur très élevée, suggérerait aussi la présence de dolomite, MgCa(CO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>.

La connaissance de la Surface Spécifique est d'une grande importance dans la caractérisation d'une poudre ou d'un solide, quels que soient les domaines d'application. Notre bentonite est caractérisée par une surface spécifique égale à environ 56 m<sup>2</sup>/g [66].

En comparant les caractéristiques de la bentonite que nous avons utilisée avec celles données par l'unité BENTAL de Maghnia, d'où vient notre échantillon, nous pouvons classer notre argile comme une terre décolorante (Voir annexe III).

## VI. 2. Traitement du lixiviat avec la bentonite brute

### VI. 2. 1. Traitement sans agitation

Après la mise en contact du lixiviat jeune (du bassin de stockage pour le casier 5) avec la bentonite durant un temps de trois à quatre jours, avec différentes valeurs du m/v et après décantation, nous avons séparé le surnageant de la boue décantée et procédé à l'analyse des différents paramètres déjà étudiés avant traitement. Les résultats d'analyses physico-chimiques du lixiviat traité en fonction du rapport m/v sont représentés par les graphes VI. 1, VI. 2, VI. 3, VI. 4 et VI. 5.

#### *a. Évolution de pH, DCO, DBO<sub>5</sub> et MES en fonction du rapport m/v*

L'allure des courbes représentant l'évolution de la DCO et DBO<sub>5</sub> en fonction du rapport m/v (Fig. VI. 1), montre une phase décroissante représentative d'une diminution de la matière organique dissoute dans la solution pour un temps de contact optimisé à 72 h, où nous avons trouvé un rendement maximal de 86% pour les deux. Même chose pour les matières en

suspension (Fig. VI. 2), d'où l'abattement atteint à 69% pour un rapport de  $m/v = 0,55\text{g/ml}$ . Cependant une nette augmentation est observée pour un rapport de  $m/v = 0,7\text{g/ml}$ , mais après un temps de contact de 96 h. Le résultat obtenu n'est pas meilleur et peut être dû à une saturation de la bentonite.

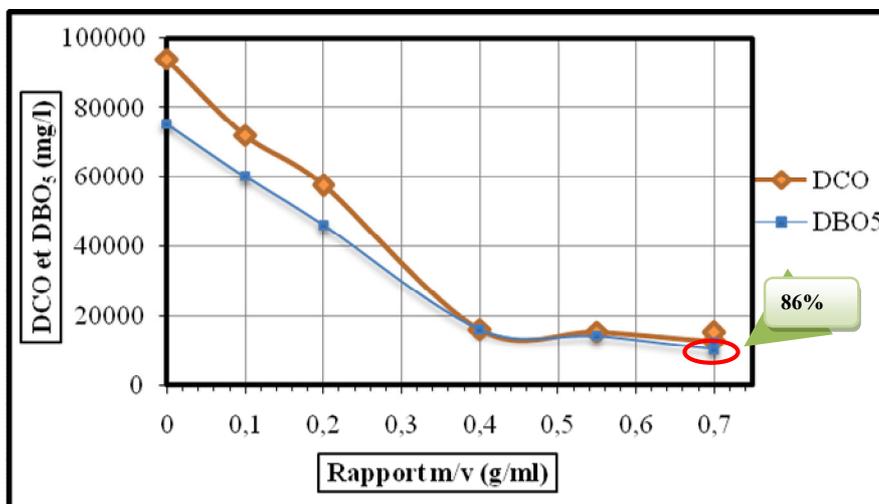


Figure VI. 1 : Évolution de la DCO et DBO<sub>5</sub> en fonction de m/v.

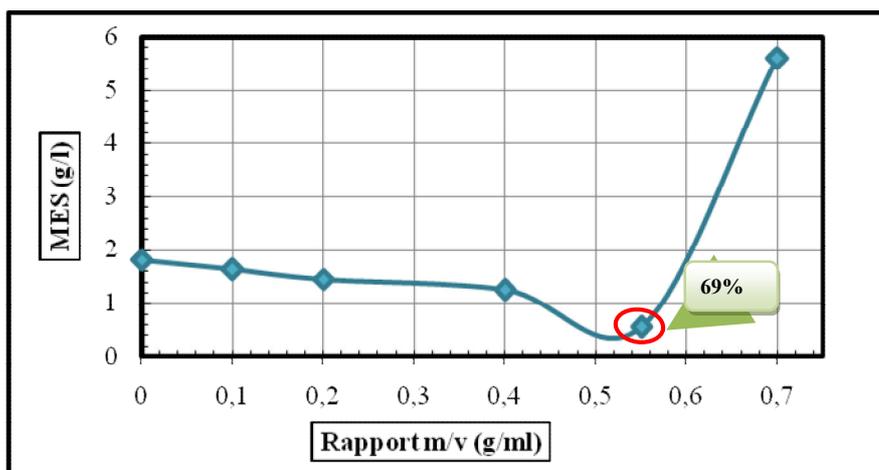


Figure VI. 2: Évolution de MES en fonction de m/v.

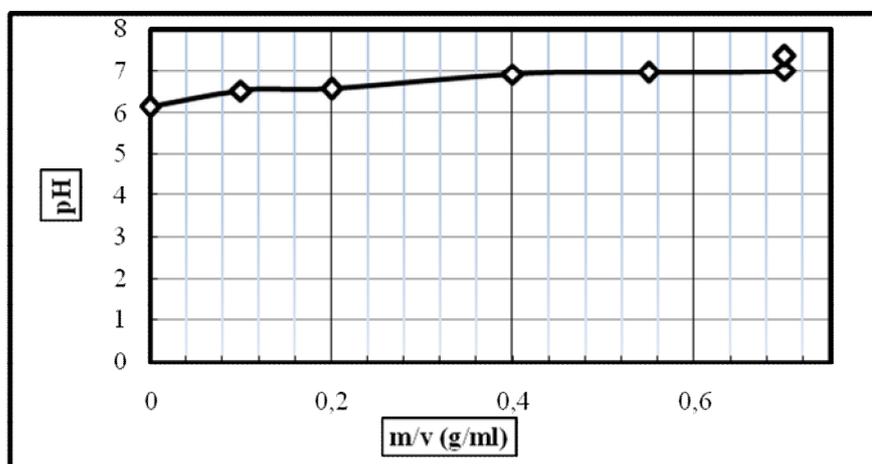
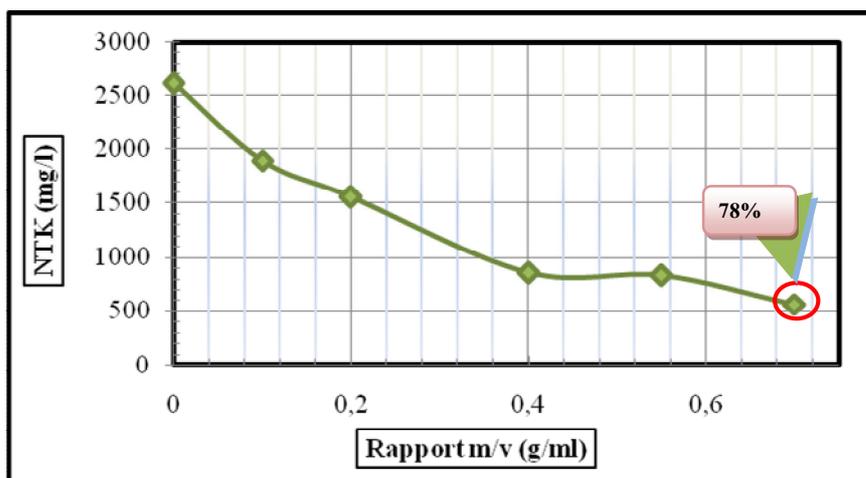


Figure VI. 3 : Évolution de pH en fonction de m/v.

Le pH du lixiviat traité augmente progressivement avec le rapport m/v, et varie entre 6 et 7,4 (Fig. VI. 3), ces valeurs dues probablement à la basicité de la bentonite.

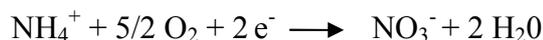
**b. Évolution de NTK en fonction de m/v**

Pour l'Azote Kjeldahl (NTK) représenté sur la Figure VI. 4, on remarque un abattement plus important pour un rapport de 0,7 g/ml, pour lequel nous avons atteint une concentration de 564 mg/l, soit une diminution de 78 %, néanmoins cette concentration reste bien supérieure à la norme de rejet dans un milieu récepteur qui est de 30mg/l. Rappelons que le  $\text{NTK} = \text{N}_{\text{organique}} + \text{NH}_4^+$ , donc la chute de l'azote ammoniacal entraîne la chute de l'azote Kjeldahl (NTK).



**Figure VI. 4:** Abattement de NTK en fonction de m/v

Les figures VI. 5 et VI. 6 illustrent l'évolution de  $\text{PO}_4^{3-}$  et  $\text{NO}_3^-$  respectivement en fonction de rapport m/v. L'abattement de ces paramètres augmente avec la masse de bentonite, surtout pour le  $\text{PO}_4^{3-}$  : nous avons obtenu un taux d'abattement maximal de 83 % pour un rapport de 0,55 g/ml. Pour le  $\text{NO}_3^-$  on a abouti à un taux d'élimination de l'ordre de 50% pour un rapport de 0,2 g/ml avec un temps de contact de 72 h, au-delà on observe une légère diminution de la fixation de  $\text{NO}_3^-$ , qu'on peut expliquer d'une part par l'adsorption d'autres ions ( $\text{SO}_4^-$ ,  $\text{NO}_2^- \dots$ ) sur la bentonite (compétition sur les sites d'adsorption, sachant que sa surface spécifique est égale à  $56 \text{ m}^2/\text{g}$ ), et d'autre part par la transformation de  $\text{NO}_2^-$  en  $\text{NO}_3^-$ . Il apparaît aussi que l'augmentation des nitrates est due au phénomène de nitrification, transformation de l'azote ammoniacal en nitrates, selon la réaction suivante:



L'abattement maximal de  $\text{NO}_3^-$  obtenu est de à 69% avec rapport de 0,7 g/ml et 92 h de contact.

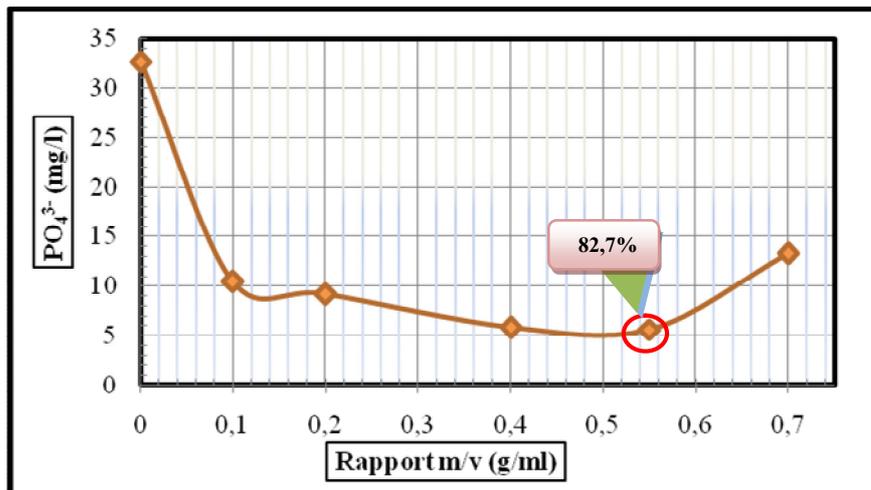


Figure VI. 5: Abattement de  $PO_4^{3-}$  en fonction de  $m/v$ .

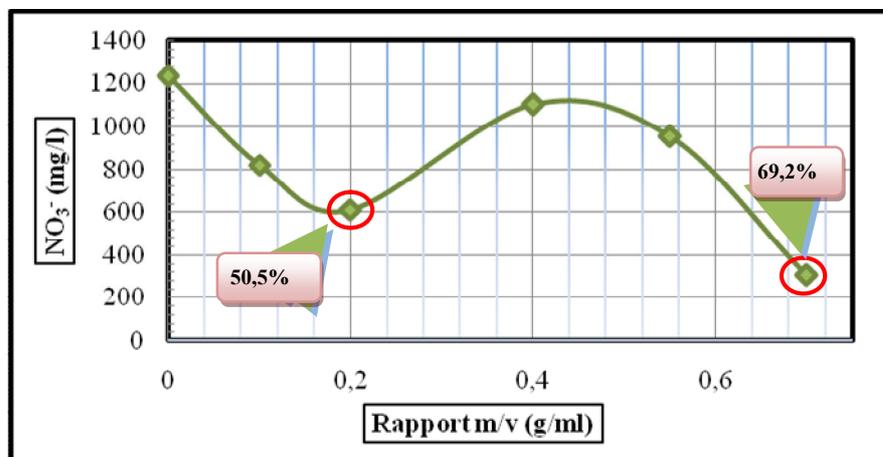


Figure VI. 6: Abattement de  $NO_3^-$  en fonction de  $m/v$

### c. Évolution du rendement en fonction du rapport $m/v$

Pour une valeur de  $m/v$  égale à 0,7 g/ml, nous obtenons un rendement maximal d'élimination de 86 % pour une DCO initiale de 96080 durant un temps de contact optimisé à 72 h. Comme le montre la figure VI. 7, plus ce rapport augmente et plus le traitement est amélioré pour les eaux aussi chargées que les lixiviats de décharges, Néanmoins au-delà d'une certaine quantité de bentonite, des problèmes de récupération du liquide traité se posent à cause de l'absorption de ce dernier par la bentonite qui est le siège de gonflement, d'où une limite de la quantité utilisée de cette argile.

Face à ces problèmes de saturation et de quantité importante de boues engendrées, nous avons proposé une autre méthode qui consiste à diminuer le rapport  $m/v$  (en diminuant  $m$  et augmentant  $v$ ) et à opérer un recyclage du lixiviat traité avec un rapport de 0,03 g/ml de bentonite dans un litre de lixiviat, la figure VI. 8 montre clairement le rendement d'abattement de chaque paramètre après recyclage de lixiviat.

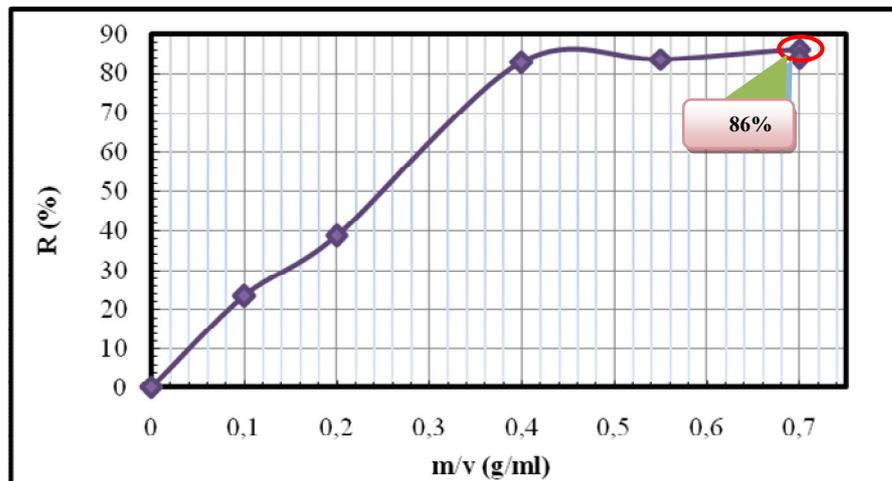


Figure VI. 7 : Évolution du rendement en fonction de m/v.

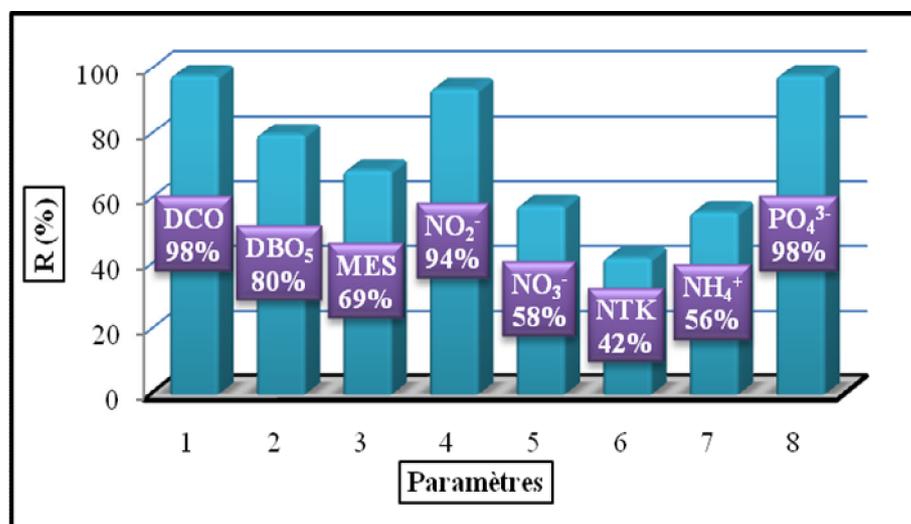


Figure VI. 8: Rendement d'abattement par Recyclage.

Les résultats obtenus sont très encourageants car ils montrent des rendements après recyclage très importants (avec un rendement d'élimination de 98% pour la DCO, 80% pour la DBO<sub>5</sub>, 98 % pour le PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>, 56% pour NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, 42 % pour NTK, 94% pour NO<sub>2</sub><sup>-</sup> et 69% pour les MES). Concernant la couleur, nous avons remarqué une nette diminution de celle-ci qui passe du noir à un jaune clair pour le premier traitement, comme indiqué sur la figure VI.9. Et une légère dégradation pour le traitement par recyclage (fig. VI.10).

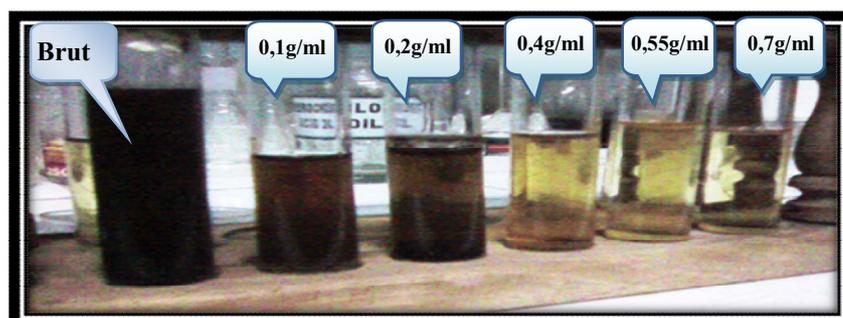


Figure VI. 9 : Évolution de la couleur de lixiviat après traitement par bentonite brute.



*Figure VI. 10 : Évolution de la couleur des lixiviats après recyclage.*

Des études ont révélé que 90 % des particules responsables de la couleur avaient un diamètre supérieur à 3.5 nm. On peut dire que les particules responsables de la couleur sont de nature organique, hydrophiles, petites et chargées négativement comme :  $\text{SO}_4^-$  [34].

### **Conclusion**

Les réductions trouvées de la DCO,  $\text{DBO}_5$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{NH}_4^+$ , NTK,  $\text{NO}_2^-$  et les MES pour des eaux aussi chargées que les lixiviats de décharges restent très appréciables, néanmoins un rapport de 30 g/l de bentonite représente une grande quantité surtout si on envisage d'appliquer ce traitement à grande échelle. C'est pour cela que nous avons tenté d'utiliser un autre paramètre dans ce traitement : l'agitation afin d'essayer d'améliorer encore le rendement d'élimination et le temps de contact.

#### **VI. 2. 2. Traitement avec agitation**

Notre but dans cette partie est de chercher les meilleures conditions de traitement du lixiviat en variant à chaque fois un paramètre : le rapport m/v, l'humidité de la bentonite et la vitesse d'agitation.

##### ***a. Traitement du lixiviat avec différentes concentrations de bentonite***

Les expériences ont été réalisées en suspension agitée, dans un réacteur avec des concentrations de bentonite variant entre 0 et 90 g/l. Cette solution est agitée à l'aide d'un agitateur à hélice en moyenne 30 minutes à une vitesse de 300 tr/mn. Après une décantation de 30 minutes, nous avons séparé le surnageant de la boue décantée et procédé à l'analyse de la DCO, le suivi du  $\text{NO}_2^-$  et le  $\text{PO}_4^{3-}$ . Les résultats trouvés sont regroupés dans le tableau VI. 3.

Tableau VI. 3 : Evolution du DCO,  $NO_2^-$ ,  $PO_4^{3-}$  et le rendement (%) d'élimination.

m/v[g/ml]	0	0,01	0,015	0,02	0,03	0,035	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
DCO. $10^{-2}$ mg/l	907	365	270	225	275	395	310	420	445	380	315	90
R (%)	----	60	70	75	70	56	66	54	51	58	65	90
$NO_2^-$ mg/l	200,8	86,3	133,1	85,7	77,5	106,8	85,3	92,6	66,6	71,9	---	---
R (%)		57	34	58	61	47	58	54	67	64	---	---
$PO_4^{3-}$ mg/l	515,5	----	178,9	188,6	279,7	159,3	173,3	224,4	147,9	162,6	---	---
R (%)	----	----	65	64	46	69	66	56	72	68	---	---

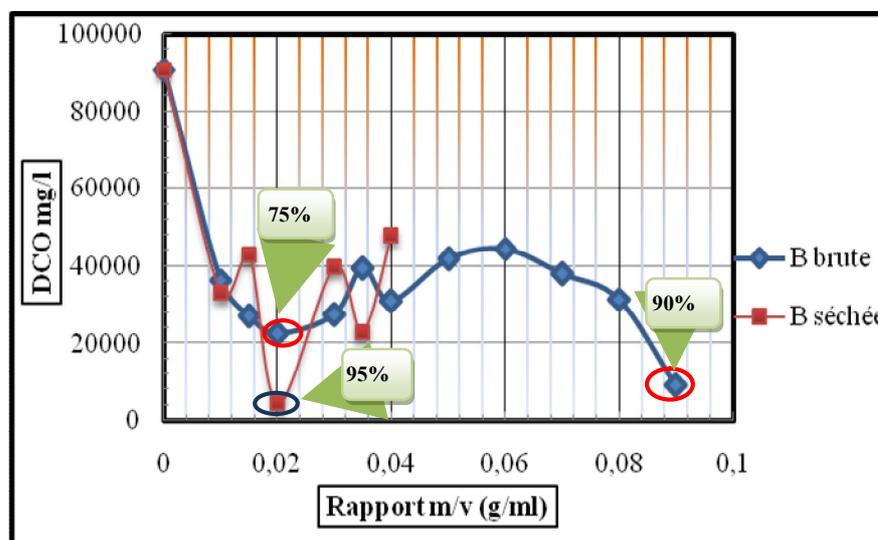


Figure VI. 11 : Évolution de la DCO en fonction de m/v pour une bentonite brute et séchée.

Nous constatons que la DCO diminue avec l'augmentation de la concentration en bentonite. Pour un rapport de 0,02 g/ml, nous obtenons une réduction de 75%, alors qu'avec 0,09 g/ml la réduction est de 90% pour une bentonite brute, c'est un rendement important mais insuffisant pour que le rejet du lixiviat dans le milieu naturel soit acceptable et sans compter la grande quantité de la bentonite utilisée. Par comparaison, le rendement de traitement en utilisant la bentonite séchée est de 95% avec leur rapport de 0,02 g/ml (fig. VI.11). On peut dire que l'humidité a une grande influence sur le pouvoir d'abattement de la DCO avec la bentonite. Rappelons que notre bentonite brute a un taux d'humidité d'environ 10 %.

En ce qui concerne les nitrites, le tableau VI.3 illustre l'effet du rapport m/v sur l'élimination de  $NO_2^-$ , celle-ci a augmenté jusqu'à 0,07 g/ml. Un maximum d'abattement de  $NO_2^-$  de 67 % à été observé avec m/v=0,06 g/ml.

Pour l'orthophosphate (tab. VI.3), nous observons aussi que le taux d'élimination de  $\text{PO}_4^{3-}$  augmente avec m/v. Un maximum d'abattement de 72 % est trouvé avec un rapport de 0,06 g/ml.

Vu le bon taux d'abattement de la DCO trouvé avec un rapport de 0,02 g/ml précisément avec la bentonite séchée, et les résultats d'élimination intéressants de  $\text{NO}_2^-$  et  $\text{PO}_4^{3-}$  en utilisant le même rapport, nous avons choisi m/v=0,02 g/ml pour continuer notre travail, en cherchant les meilleures conditions de traitement avec ce rapport tel que la vitesse d'agitation afin de nous rapprocher des normes de rejet.

### ***b. Traitement du lixiviat avec différentes vitesses d'agitation***

Dans cette partie la bentonite qu'on a utilisée est séchée d'abord à l'étuve à 105°-110°C pendant 2 heures. Nous avons suivi les cinétiques d'adsorption (de 1 mn à 5 heures) pour un rapport (bentonite/lixiviat) de 0,02 g/ml et avec différentes vitesses d'agitation, En suivant le même principe de travail que celui dans la partie (a). Après avoir effectué le dosage de la DCO,  $\text{NO}_2^-$  et, mesuré le pH (tableau VI.4, V.5 et VI.6) nous avons trouvé que les résultats du traitement sont plus intéressants avec la bentonite séchée que ceux par la bentonite brute, ceci dû à la quantité d'eau contenue initialement dans la bentonite, ce séchage a éliminé l'eau d'hydratation des cations échangeables. Pour étudier l'influence de la vitesse d'agitation sur l'élimination de la DCO et  $\text{NO}_2^-$ , on fait varier le nombre de tour en commençant par :

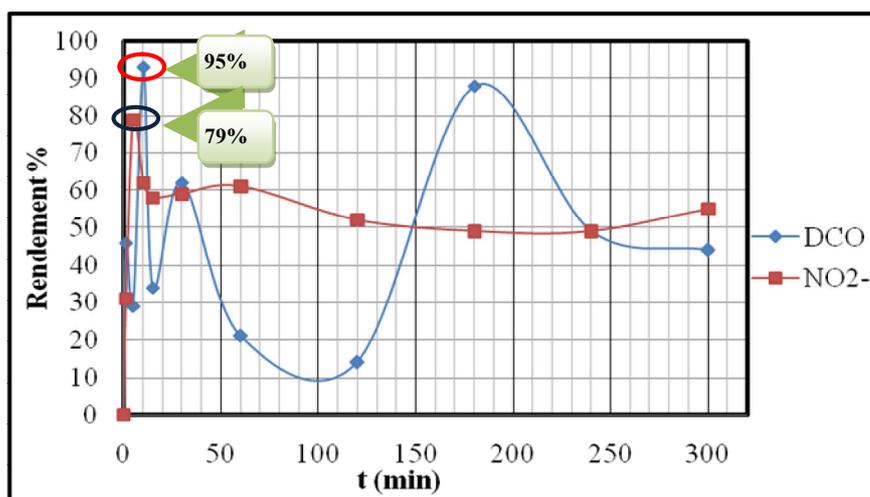
#### ***1. Agitation à 300 tr/mn.***

Les résultats d'analyses sont résumés dans le Tableau VI. 4. La figure VI. 12 représente le taux d'élimination des DCO et  $\text{NO}_2^-$  par adsorption sur bentonite séchée avec une vitesse de 300 tr/mn.

**Tableau VI. 4 : Évolution du pH, DCO,  $\text{NO}_2^-$  et le rendement d'élimination (%).**

t (mn)	0	1	5	10	15	30	60	120	180	240	300
pH	6,86	7,05	7,19	7,21	7,17	7,17	7,22	7,15	7,04	7,05	7
DCO. $10^{-2}$ mg /l	907	330	430	45	400	230	480	520	70	310	340
R (%)	----	63	53	95	56	75	47	43	92	66	62
$\text{NO}_2^-$ mg /l	200,8	138,9	41,6	77,1	85,1	82,7	78,3	96	102,5	102,5	91,2
R (%)	----	31	79	62	58	59	61	52	49	49	55

La figure suivante montre une diminution de 95 % de la DCO au bout de 10 mn, ensuite des fluctuations montrent qu'il n'est pas utile d'aller au-delà.



**Figure VI. 12 :** Taux d'élimination des DCO et  $\text{NO}_2^-$  par adsorption sur bentonite séchée.

En ce qui concerne le  $\text{NO}_2^-$  le meilleur rendement a été observé après cinq minutes de contact et est de 79%. Après cela, la saturation de la bentonite, ajoutée à l'agitation, donne des résultats moins intéressants.

Le pH de notre échantillon varie entre 6,85 et 7,22, il est toujours dans la norme. Nous constatons que 10 min est le temps optimum permettant d'avoir un bon rendement (95 % de la DCO et 62% des  $\text{NO}_2^-$  et un pH= 7,21) pour un rapport de m/v = 0,02 g/ml.

## 2. une vitesse de 120 tr/min.

Les résultats sont résumés dans le Tableau V. 5.

**Tableau VI. 5 :** Évolution du pH, DCO,  $\text{NO}_2^-$  et le rendement d'élimination.

t(min)	0	1	5	10	15	30	60	120	180	240	300
pH	6,94	7	7,01	7,12	7,09	7,15	7,20	7,18	6,94	6,90	6,90
DCO. $10^{-2}$ mg /l	907,2	220	110	350	30	360	310	550	370	170	190
R (%)	00	76	88	61	97	60	66	39	59	81	79
$\text{NO}_2^-$ mg /l	200,8	150,2	117,5	110,3	39,6	46,8	80,4	61,5	99,4	82,9	147,8
R %	-----	25	42	46	80	77	60	69	56	50	26

La Figure VI. 13 représente le taux d'élimination des DCO et  $\text{NO}_2^-$  par adsorption sur bentonite séchée avec une vitesse de 120 tr/mn.

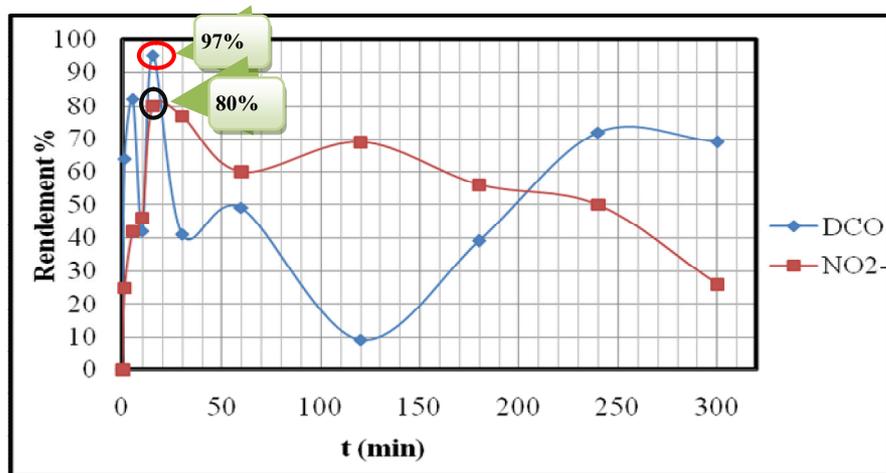


Figure V. 13: Taux d'élimination des DCO, NO<sub>2</sub><sup>-</sup> par adsorption sur bentonite séchée.

Nous avons observé une valeur maximale d'abattement de 97 % pour la DCO et 80 % pour le NO<sub>2</sub><sup>-</sup> et un pH= 7,09 après 15 minutes d'agitation, alors on peut dire que la diminution du nombre de tours a aidé à accélérer la vitesse d'abattement (peut être par adsorption ou absorption) de ces paramètres, mais pas après la quinzième minute, où nous remarquons que l'allure des courbes décroît progressivement avec le temps, surtout pour le NO<sub>2</sub><sup>-</sup> ce qu'on peut le traduire par le relâchement de ces anions après la saturation du bentonite ou bien Leur présence est due, soit à l'oxydation de l'ammoniaque, soit à la réduction des nitrates. Ils ne présentent qu'un stade intermédiaire et sont facilement oxydés en nitrates. On observe aussi que les valeurs de pH fluctuent entre 6,9 et 7,2 (tab. VI.5).

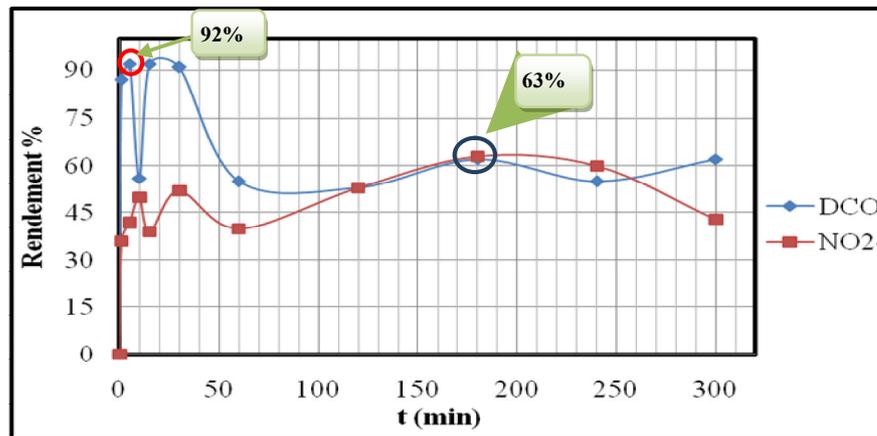
### 3. avec une vitesse de 80 tr/min.

Les résultats d'élimination de la DCO et des NO<sub>2</sub><sup>-</sup> sont résumés dans le tableau VI. 6.

Tableau VI. 6 : Évolution du pH, DCO, NO<sub>2</sub><sup>-</sup> et le rendement d'élimination.

t(min)	0	1	5	10	15	30	60	120	180	240	300
pH	6,81	6,90	6,96	6,99	7,03	7,11	7,15	7,21	7,24	7,26	7,25
DCO .10 <sup>-2</sup> mg/l	907,2	120	70	400	70	80	410	430	340	410	340
R (%)	00	87	92	56	92	91	55	53	62	55	62
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> mg/l	200,8	128,8	115,8	101,1	122,5	96,4	120	94,7	74,9	80	113,7
R (%)	00	36	42	50	39	52	40	53	63	60	43

La figure VI.14 représente l'évolution du rendement d'élimination de la DCO et NO<sub>2</sub><sup>-</sup> par rapport à la concentration de la bentonite.



**Figure VI. 14 :** Taux d'élimination des DCO, NO<sub>2</sub><sup>-</sup> par adsorption sur bentonite séchée.

Nous constatons que la DCO diminue puis fluctue jusqu'à un temps où la bentonite soit saturée, c'est à partir de 50 minutes. Pour un temps de 5 mn, nous obtenons une réduction maximale de 92% de la DCO. Ce qui concerne le NO<sub>2</sub><sup>-</sup> nous avons obtenu un taux d'abattement de 42% pour le même temps et un pH= 6,96, mais nous avons trouvé le rendement maximal seulement qu'après 120 minutes d'agitation (80 tr/mn) de l'ordre de 63%, après nous remarquons une phase croissante qui représente une diminution progressive de rendement d'élimination, justifié par l'équilibre du milieu (état de saturation) suivi par la désorption de ces anions, et c'est due probablement à l'effet d'agitation qui favorise l'adsorption des éléments d'un coté et aide à régénérer les sites d'un autre coté. Les valeurs de pH relevées dans cette expérience varient de 6,8 à 7,2 (tab. VI.6).

Nous ferons remarquer que dans ce cas la dégradation de la couleur de lixiviat traité est insignifiante pour les trois expériences. La composition complexe du lixiviat rend l'élimination d'ions responsables de la couleur avec cette quantité de bentonite (20 g/l) insuffisant pour clarifier cet effluent.

### **c. Interprétation**

Dans nos expériences, nous avons observé :

Un rendement maximal d'élimination de l'ordre de 97 % pour une DCO initiale de 90720 mg/l, (rendement maximal obtenu pour un temps de 15 minutes et une vitesse de 120 tr/mn), c'est une diminution qui confirme que la dégradation de la matière organique est liée à la vitesse d'agitation et à la masse de bentonite utilisée avec l'oxygène nécessaire pour oxyder une quantité de ces matières. Au contraire on peut expliquer l'augmentation de la DCO par un apport insuffisant en O<sub>2</sub> car la dégradation de la matière organique est relativement faible en anaérobiose.

Un taux d'élimination maximal de l'ordre de 80% pour une teneur initiale de NO<sub>2</sub><sup>-</sup> de 200,8 mg/l, est obtenu parmi les trois expériences. L'augmentation du rendement

d'élimination des  $\text{NO}_2^-$  (et  $\text{PO}_4^{3-}$  dans le tableau VI.3) peut être reliée à l'adsorption des anions nitrites et phosphates sur des sites provenant des groupements situés sur les bords des feuillets ( $\text{MgOH}$ ,  $\text{AlOH}$ ) dans la bentonite, bien que celle-ci une fois introduite dans l'eau possède une charge négative [87]. D'autre part, un anion peut être adsorbé sur une surface neutre ou négative [88]. Cousin [89] affirme que la seule possibilité d'échange d'anions en utilisant les argiles serait le remplacement dans la structure de l'argile des ions hydroxyles par d'autres anions. Les bentonites séchées ont permis d'obtenir de meilleurs rendements du fait que le séchage a amélioré les propriétés sorptionnelles de la bentonite.

L'évolution du pH en fonction du temps dans les trois expériences montre une légère augmentation entre 6,8 et 7,3, cela est dû à une basification du milieu, sachant que le pH de notre bentonite est de l'ordre de 9,3 aussi du à une forte teneur en sels d'alcalins et alcalino-terreux [68]. Cela pourrait être justifié par le fait que les bentonites au cours du processus d'hydratation libèrent des ions  $\text{OH}^-$ . Il en résulte une augmentation du pH de la solution [90]. Le pH du milieu reste toujours dans la norme et favorise l'absorption des ions et l'échange cationique, les échanges de bordure se font très rapidement. Par contre, quand il doit y avoir pénétration entre les feuillets, les échanges seraient plus lents.

On note aussi que l'absorption est plus rapide à son début qu'à sa fin; phénomène du probablement à la résistance au transfert de matière à l'intérieur de la Montmorillonite. L'augmentation de la vitesse de transfert de matière est due à l'accroissement de la force d'échange: différence entre la concentration du cœur de la solution et celle à la surface du solide [90].

Dans le domaine des pH basiques, la bentonite utilisée présente un faible pouvoir de rétention des cations (pH=9 favorise l'adsorption des métaux lourds). Ceci pourrait être dû à la présence des ions  $\text{OH}^-$ , ce dernier entre en compétition avec les ions dans le lixiviat sur les sites de sorption du matériau utilisé. Lorsque le pH évolue dans la gamme 7 à 5, la capacité de fixation des cations croît, ceci pourrait s'expliquer par le fait qu'une diminution du pH favorise l'augmentation de la concentration des ions bicarbonate aux dépens d'ions carbonate.

## Conclusion

Pour toutes les bentonites testées, nous avons trouvé que le meilleur rendement d'abattement est de l'ordre de 97% (3000 mg/l) pour la DCO et de 80% (39,1 mg/l) pour le  $\text{NO}_2^-$  (avec une vitesse de 120 tr/mn). Il faut noter que le séchage améliore les rendements d'élimination des anions et de la DCO et que la bentonite séchée à un rapport de 0,02 g/ml est plus efficace que celle brute. Le pH des suspensions qui varie de 6,8 à 7,3, est toujours dans la norme. Malgré les rendements trouvés on est encore un peu loin des normes de rejet du

lixiviat dans le milieu récepteur (dans notre cas l'Oued Ben Brahem), et ceci est dû à la charge polluante importante du lixiviat (pollution organique, minérale et azoté...). Sachant qu'il n'y a pas de tri au CET d'Ouled Fayet, ce qui rend le traitement très compliqué, un seul s'avère insuffisant, c'est pour cela que nous avons essayé de combiner le traitement par la bentonite avec un autre traitement.

### **VI. 3. Traitement du Lixiviat par combinaison des traitements à la chaux et à la bentonite**

Nous avons proposé un prétraitement par précipitation avec la chaux, procédé simple dans sa conception et pas cher. La précipitation est le procédé le plus couramment utilisé, il représente en effet 90% des procédés de traitement des eaux chargées en métaux lourds. Il dépend principalement du pH de la solution qui doit être réglé à une valeur optimale qui évolue entre 7 à 10,5 [31].

Le procédé a pour but une précipitation de composés métalliques fortement dissociés (sels en solution) en composés très peu solubles qui peuvent être récupérés par des techniques classiques de séparation liquide-solide telles que la filtration, la sédimentation ou encore la flottation. Nous avons combiné ce dernier avec un deuxième traitement par la bentonite en vue d'améliorer le rendement. Les essais de prétraitement ont été réalisés sur le même dispositif expérimental que le précédemment.

#### **VI. 3. 1. prétraitement par la chaux**

Afin d'observer l'effet de la dose de chaux sur le l'abattement de la DCO et les phosphates par précipitation chimique à la chaux, nous avons introduit des doses croissantes variant de 10 à 60 g/l avec une vitesse d'agitation de 300 tr/mn pendant 10 mn. A partir des résultats obtenus (Tableau. VI. 7), nous pouvons constater que le rendement d'élimination de la DCO et de phosphate augmente avec l'accroissement de la dose de chaux et atteint 82 % (DCO) pour une dose égale à 50 g/l.

Tableau VI. 7 : Évolution du pH, T°, DCO et Conductivité en fonction de m/v.

	pH	T °C	Cond $\mu\text{S/cm}$	DCO	Rendement(%)
Lixiviat brut	6,8	27,1	55,2	60500	-----
0,01 g/ml	9,10	26,1	54,4	30000	50,4
0,015 g/ml	9,96	26,2	50,5	18000	70
0,02 g/ml	12,04	25,1	27,3	16000	74
0,03 g/ml	12,88	25,9	28,4	19000	69
0,04 g/ml	12,89	26,1	26,4	15500	75
0,05 g/ml	12,88	26,2	23,1	11000	82
0,06 g/ml	12,91	26,4	26,7	16000	74

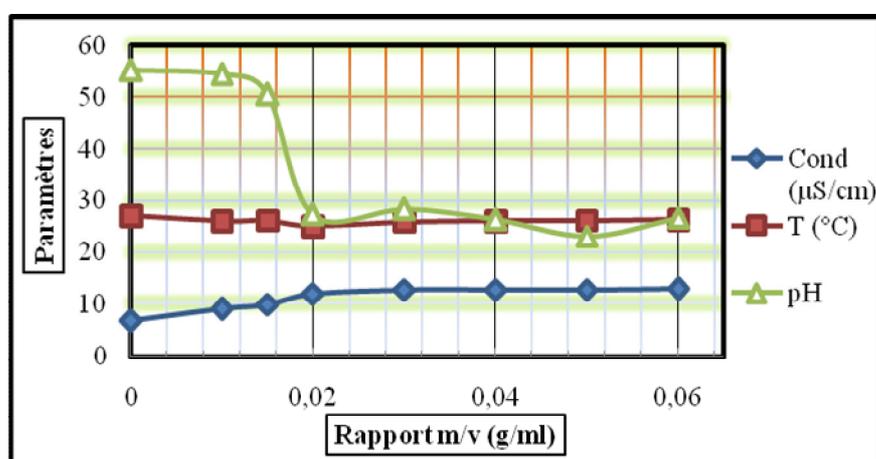


Figure VI. 15: Évolution du pH, T° et Conductivité en fonction de m/v.

Le pH final des échantillons traités varie avec l'accroissement de la dose de chaux entre 9,1 et 12,9 (fig. VI.15). L'évolution du pH en fonction de la concentration (m/v) en chaux augmente, du fait d'une basification du milieu consécutif à la transformation en milieu aqueux du  $\text{CaO}$  en  $\text{Ca(OH)}_2$ .

Dans la même figure on observe que la température est presque constante de l'ordre de  $T_{\text{moy}} = 26^\circ\text{C}$ , sachant que le lixiviat jeune présente une température moyenne élevée de  $26,8^\circ\text{C}$ , et ceci du aux réactions exothermiques dans le réacteur.

Enfin pour la conductivité, nous avons abouti à des valeurs qui fluctuent entre 55,2 et 23,1  $\mu\text{S/cm}$ , du fait de la concentration élevée en sels dissous et de la quantité de substances minérales dans ces lixiviats qui ensuite diminue au fur et à mesure proportionnellement avec l'augmentation de la dose de chaux, du fait de la précipitation des sels de cette dernière. La réglementation sur les rejets en stations d'épuration en milieu naturel ne prévoit pas de limite pour ce paramètre.

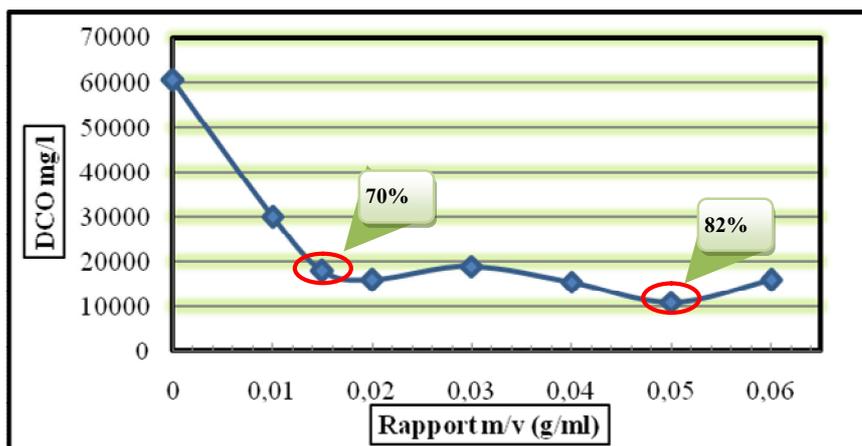
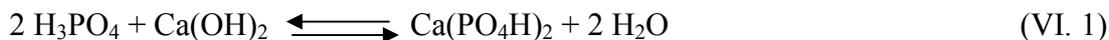


Figure VI. 16: Évolution de DCO en fonction de m/v.

L'allure des courbes représentant l'évolution de la DCO en fonction de la concentration en chaux (Fig. VI.16) montre une phase décroissante représentative d'une diminution de la matière organique dissoute dans la solution et son passage de la forme soluble à la forme solide via les réactions chimiques suivantes (notamment pour les orthophosphates ; réactions VI.1, VI.2, VI.3), étape qui sera suivie de la phase de saturation.

Vu que la valeur de pH= 9,96 trouvée correspond à un important rendement d'élimination de DCO de l'ordre de 70%, et la petite quantité de boue générée par rapport aux autres doses de chaux utilisées, nous avons choisi un rapport de 0,015 g/ml pour voir son effet sur la précipitation de  $\text{PO}_4^{3-}$ , que nous avons considéré comme idéale dans cette expérience, et nous avons trouvé un taux d'élimination de  $\text{PO}_4^{3-}$  de l'ordre de 74% (fig. VI.19).

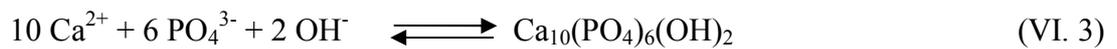
L'ajout de la chaux dans la solution à traiter aboutit à la précipitation du dihydrogénophosphate de calcium à un pH optimal de 6 à 7, durant les premiers temps de contact (où le pH augmente progressivement) selon la réaction suivante [87]:



Ce composé décante assez rapidement mais présente une solubilité résiduelle élevée (130 à 300 mg/l  $\text{P}_2\text{O}_5$  selon la température). Un excès de chaux jusqu'à obtention d'un pH de 9 à 12 aboutit à la précipitation du phosphate tricalcique, comme le montre la réaction chimique suivante [87]:



Dans le cas de notre essai l'amélioration du rendement d'élimination des phosphates peut s'expliquer par la précipitation du  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ . Car le pH final obtenu après traitement par les doses de chaux testées dépasse dans tous les cas 9 et est en augmentation progressive. En parallèle à la formation de ce précipité, il se forme l'hydroxyapatite  $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$  peu soluble dont la réaction se déclenche à partir d'un pH de 10 comme suit [88] :



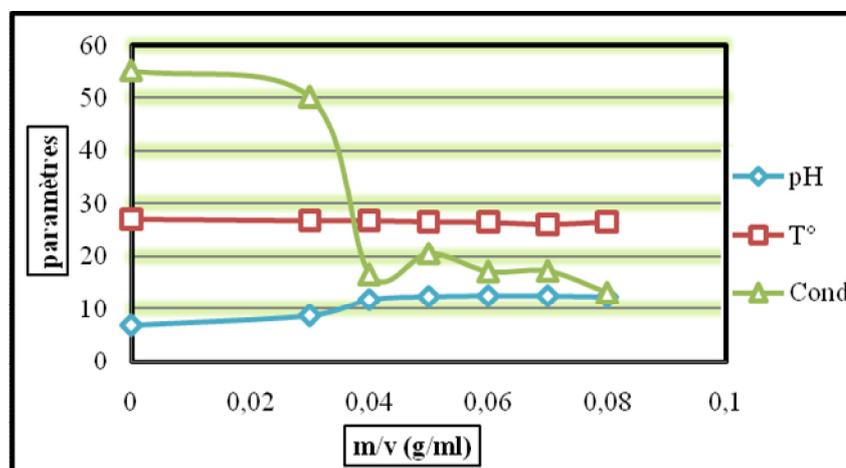
Ainsi, dans le cas de notre essai l'amélioration du rendement d'élimination des phosphates peut s'expliquer par la précipitation du  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ . Nous remarquons aussi que plus la concentration de la chaux augmente plus le pH devient basique. La basicité des lixiviats met en danger la vie aquatique en cas de rejets. Donc notre objectif dans le deuxième traitement sera de réduire la valeur de pH d'un coté et de se rapprocher des normes de rejet d'un autre coté.

### VI. 3. 2. Traitement combiné avec la bentonite (m/v= 0,02 g/ml)

En suivant la même méthode, nous avons continué le traitement du surnageant décanté précédemment, en fixant le rapport de bentonite à 0,02 g/ml et nous avons procédé à une agitation de 120 tr/mn pendant 15 mn. Le tableau VI.8 regroupe les résultats de ce traitement. Les deux figures VI.17 et VI.18 représentent respectivement l'évolution du pH, de la Temperature, de la conductivité et de la DCO en fonction du rapport m/v de bentonite.

**Tableau VI. 8:** Évolution du pH, T°, DCO et la conductivité en fonction du m/v.

	pH	T °C	Cond $\mu\text{S/cm}$	DCO (mg/l)	Rendement(%)
Lixiviat brut	6,8	27,1	55,2	60500	----
0,01 g/ml	8,69	26,8	50,9	25500	58
0,015 g/ml	8,73	26,4	46,5	22500	63
0,02 g/ml	11,79	26,8	16,58	23500	61
0,03 g/ml	12,39	26,6	20,6	23000	62
0,04 g/ml	12,54	26,5	17,14	27000	55
0,05 g/ml	12,53	26,1	17,24	28500	53
0,06 g/ml	12,33	26,6	13,09	26000	57



**Figure VI. 17:** Évolution du pH, T° et Conductivité en fonction de m/v.

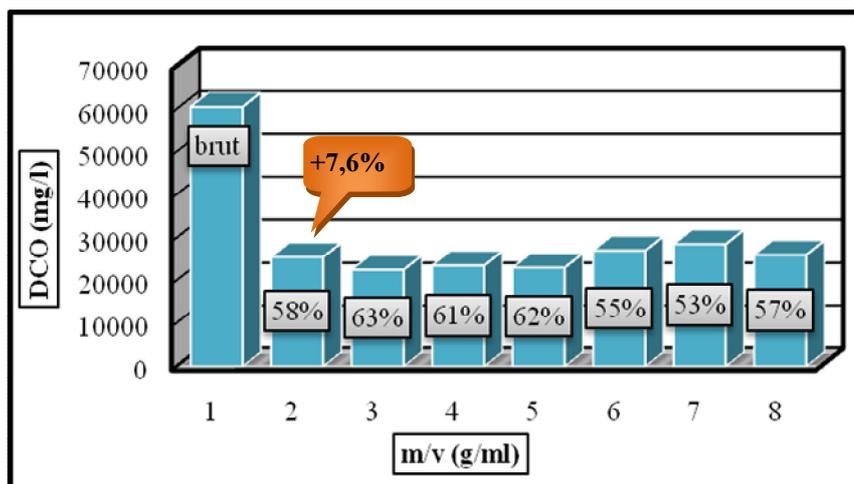


Figure VI. 18: Évolution de la DCO en fonction du rapport m/v.

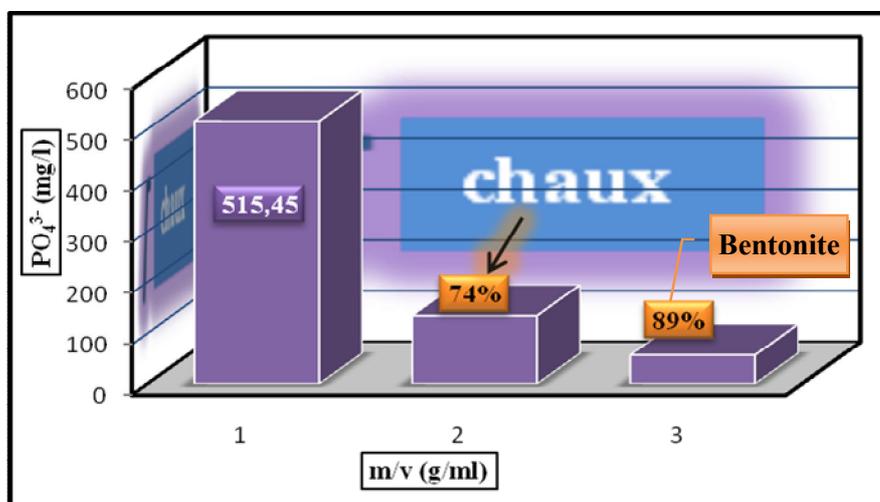


Figure VI. 19: Évolution de  $PO_4^{3-}$  en fonction du rapport m/v.

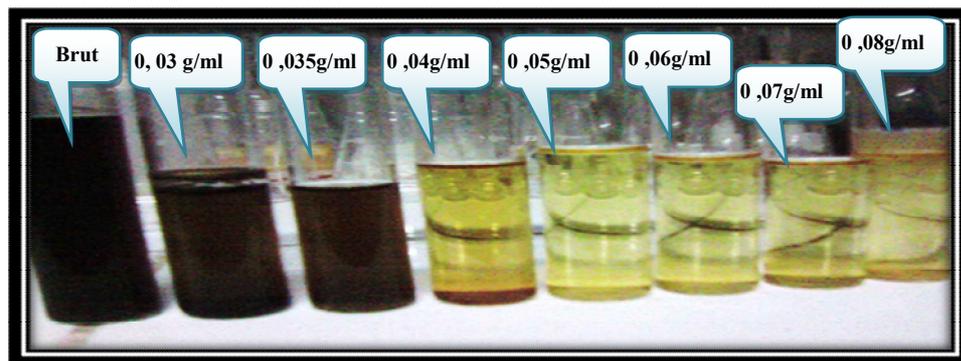
D'après la figure VI.17 nous remarquons que la quantité ajoutée de la bentonite a fait diminuer le pH de surnageant par rapport au premier traitement, qui correspond à une diminution de la concentration des métaux alcalins provoquée par l'échange cationique de ces éléments avec l'argile. Mais le milieu reste toujours basique (varie entre 8,7 et 12,5).

Il faut noter également que le pH joue un rôle important dans le mécanisme de rétention ou de libération des phosphates par la bentonite. En effet, la mise en place des liaisons P-Fe, P-Ca, P-Al dépend du pH. Une augmentation du pH diminue la capacité de fixation de  $Fe^{3+}$  ou  $Al^{3+}$  de l'argile à cause de la compétition des ions  $OH^-$  et de  $PO_4^{3-}$  sur les complexes [88]. Puisque notre pH est de l'ordre de 8,7, ceci a donné un bon taux d'élimination de  $PO_4^{3-}$  d'environ 89% qui correspond à une valeur de l'ordre de 56,9 mg/l (fig. VI.19). D'autre part nous observons une diminution remarquable de la DCO pour la première dose avec une augmentation de rendement d'élimination de l'ordre de 7,6% par rapport à la DCO initiale. Nous avons remarqué aussi que toutes les valeurs de DCO obtenues sont supérieures à celles

trouvées par le traitement avec la chaux (fig. VI.18). On peut expliquer cette augmentation par l'élévation de pH qui fluctue entre 11,8 et 12,5 (milieu basique), et aussi par la diminution de l'oxygène contenu dans le lixiviat.

A noter également, après ce deuxième traitement (fig. VI.19), une nette diminution de la conductivité dans tous les essais (valeur initiale= 55,2  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ). Cette diminution existe à partir de la première dose qui donne une conductivité de 50,9  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (traité par 10 g/l de chaux et suivi par 20 g/l de bentonite, sachant que cette dernière est constante) et on aboutit à une valeur finale de l'ordre de 13,1  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , due à la diminution de concentration progressive en sels dissous dans les lixiviats traités, éliminés par adsorption sur la bentonite. La Température reste presque constante de l'ordre de  $T_{\text{moy}} = 26,6^{\circ}\text{C}$ .

La couleur trouvée après le deuxième traitement (dose de chaux + 20 g/l de bentonite) est caractérisée par une diminution progressive du noir au jaune clair comme le montre la figure VI. 20, du fait de l'élimination des ions responsables de la couleur du lixiviat comme le  $\text{SO}_4^-$ .



*Figure VI. 20: Évolution de la couleur de lixiviat après les deux traitements.*

## Conclusion

La précipitation est un procédé efficace pour l'élimination des orthophosphates, ce procédé a pour rôle de réduire la matière organique. Nos résultats montrent qu'avec une concentration en chaux de 50 g/l, nous obtenons un rendement maximal d'élimination de l'ordre de 82% (11000 mg/l pour une DCO initiale de 60500 mg/l), qui reste le meilleur même après le traitement par la bentonite. Nous avons aussi obtenu une élimination maximale de 89% (56,9 mg/l) des orthophosphates avec une quantité totale de 35 g/l lors du traitement combiné (15g/l de chaux + 20g/l bentonite). Celui-ci a donné un taux d'élimination de la DCO de 70% (18000 mg/l). Malgré ces importants résultats, nous restons encore loin des normes de rejets (10 mg/l pour  $\text{PO}_4^{3-}$  et 130 mg/l pour la DCO). Nous en concluons que la combinaison entre chaux/bentonite n'est conséquente que pour les orthophosphates, De plus la forte production de boues, qui devront être traitées puis stockées, pose problème.



## **Conclusion générale**

## **Conclusion générale**

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

Notre étude, qui se situe dans le cadre de la gestion des déchets et de ses dérivés, a consisté à caractériser et traiter les lixiviats générés au niveau du C.E.T d'Ouled Fayet, afin de minimiser la pollution et ses conséquences sur l'environnement. Leurs caractérisations montrent qu'ils ont une charge organique importante.

Les résultats obtenus montrent, aussi, que ces lixiviats sont très chargés en matières en suspension (MES). La pollution minérale est également présente au vu des concentrations importantes en azote ammoniacal, orthophosphates, fer et plomb dans les percolats du CET. Actuellement les lixiviats de la décharge sont rejetés dans l'Oued Ben Brahem qui devrait être régulièrement surveillé en effectuant des analyses périodiques et annuelles afin de constater la réelle dégradation de la qualité des eaux.

Toutes les valeurs des paramètres de pollution analysés dépassent en effet les normes de rejet dans un milieu récepteur, d'où la nécessité de les traiter. Nous avons proposé un traitement par une mise en contact avec la bentonite brute et séchée, grâce à son efficacité dans la dépollution, sa disponibilité et son coût peu élevé.

Les analyses physico-chimiques que nous avons effectuées sur le lixiviat traité (en fonction du rapport m/v) montrent une nette diminution de la charge polluante, pour une valeur de m/v égale à 0,7 g/ml (rendement maximal d'élimination de 86% pour la DCO) durant un temps de contact optimisé à 72h. Néanmoins au-delà, le résultat obtenu n'est pas meilleur dû à une probable saturation de la bentonite, ainsi qu'aux problèmes de récupération du liquide traité.

Pour surmonter ces difficultés, nous avons envisagé une autre méthode qui consiste à diminuer le rapport m/v et à opérer avec un recyclage du lixiviat traité (avec un rapport m/v égale à 0,015g/ml), les résultats obtenus après recyclage sont très encourageants.

Ces valeurs restent supérieures aux normes de rejet et dans un souci de les améliorer, différentes méthodes de travail sont proposées, comme, par exemple, un prétraitement par la chaux.

Les résultats de cette étude permettent de conclure que l'efficacité du traitement par la bentonite varie selon les contaminants et la composition des lixiviats. Un traitement unique,

quel qu'il soit, est insuffisant et une combinaison de deux ou plusieurs traitements est donc nécessaire. L'étude d'un traitement d'appoint tel que l'oxydation par ozonation et les traitements biologiques, pourrait compléter l'épuration comme un traitement de finition pour rendre les lixiviats satisfaisants aux normes d'admission dans un milieu récepteur.

Actuellement la mise en décharge contrôlée d'Ouled Fayet ne semble pas une solution totalement fiable vis-à-vis de la protection de la nature et de la santé humaine. Pourtant, de nombreuses exigences sont requises mais qui ne sont pas respectées telles que la mise en œuvre et la résistance de la géomembrane, le mode d'exploitation, le captage du biogaz et le traitement du lixiviat, ....

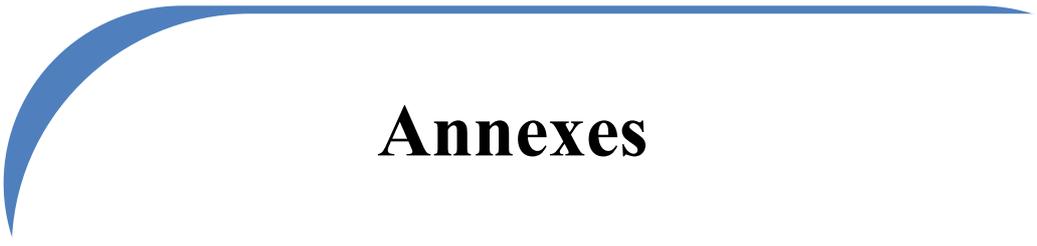
Nous proposons quelques recommandations pour une meilleure exploitation du CET :

- L'urgence est de restaurer le système de collecte des lixiviats qui est censé les acheminer vers le bassin de stockage, et ce afin de préserver l'environnement aux alentours du C.E.T, notamment l'Oued Ben Brahem qui passe à proximité et qui irrigue les terres agricoles avoisinantes, ainsi qu'une source d'eau potable appelée « Bel Air » qui approvisionne en eau les habitants des environs.
- Limiter l'infiltration de ces lixiviats par l'utilisation d'une géomembrane au niveau des casiers pour assurer l'imperméabilité et éviter ainsi toute contamination possible du sol et des eaux souterraines.
- La décharge doit être équipée d'une installation de traitement des lixiviats.
- Concernant la valorisation des déchets, notre pays enregistre un retard considérable dans ce domaine alors que ce dernier permettra de créer des postes de travail permanents, de réaliser des économies substantielles et d'augmenter considérablement la durée d'exploitation des CET. Un centre de valorisation de déchets peut être combiné au CET.

Pour conclure, quelque soit la politique de gestion des déchets de notre pays, l'amélioration de notre cadre de vie et la préservation de notre environnement commence dans nos foyers. Une première solution serait d'établir un tri sélectif en amont comme cela se fait dans les pays les plus avancés, car les déchets de notre société, devenue société de consommation ont nettement évolué.



## *Références Bibliographiques*



# **Annexes**