



Licence Sciences et Techniques : Eau et Environnement

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

Pour l'Obtention du Diplôme de Licence Sciences et Techniques

La décharge contrôlée de Fès Biogaz et Lixiviats

Présenté par :

MOUSTAKIM Meryem et EL OUARDI Adnan

Encadré par :

- **Mr. Raouf JABRANE, FST –Fès**
- **Mr. Hassan MOUHAMI et Mr. Mohamed BOUKKAJA, ECOMED**

Soutenu Le 11 Juin 2014 devant le jury composé de:

- **Mme. Naoual RAIS**
 - **Mr. Raouf JABRANE**
 - **Mr. Lahcen BENAABIDATE**
 - **Mr. Abdelkader EL GAROUANI**

Stage effectué à : ECOMED, la décharge contrôlée de Fès



Faculté des Sciences et Techniques - Fès

B.P. 2202 – Route d'Imouzzer – FES

☎ 212 (0) 535 60 29 53 Fax : 212 (0) 535 60 82 14

DEDICACES

A toute personne qui respecte la Terre
et estime que c'est un trésor cher
et que quelque soient l'espèce ou la matière
Eau de fleuve, d'océan ou de mer
Air de Chine, d'Allemagne ou de Niger
Forêt de baobabs ou de chêne vert
font partie tous de la Terre
A toute personne qui s'attache à ses devoirs envers
la planète qui nous a tout donnée pour nous satisfaire
Eau, Air, Olive et Fer
A toute personne qui tient compte de l'Etoile, de l'Univers
des Uni et pluricellulaires
A toute personne qui croit qu'un geste sincère
peut sauver la Terre entière
et qu'un geste irresponsable héréditaire
peut changer l'année- lumière
Celui de bon sens à Terre l'est à Jupiter

A ma chère maman, l'arbre fruitier quelque soit la
saison, été ou automne, hiver ou printemps.

A mon cher papa, absent mais toujours
présent.

A mes chères sœurs Siham et Btissam
fleurs qui ne se flétrissent jamais,
souvent parfumées et rafraîchies
soleil ou pluie
ravies de la vie

A ma chère Asmae, ton prénom rassemble
tous les prénoms et ton sourire rassemble
toute l'innocence. Ton Doaa me réjouit et
me suit dans tous mes pas.

A mes chers frères Mounir et Adil,
titre d'Amour et d'humour,
titre d'optimisme et d'ambition,
votre regard est toujours vers l'horizon,
votre soutien me fait toujours du bien.

A ma chère Laetitia, titre de sensibilité et de
tendresse. A la petite Edèn Inès, la belle fleur

de belle couleur et de belle odeur.
A ma chère Houda, bonne de cœur, bonne
d'âme et d'esprit.

A mon cher papa Ahmed,
titre de générosité et d'hospitalité,
professeur d'antiquité.

A ma chère maman Aicha, titre d'originalité,
titre de patience et de diligence.

A ma chère tante Naima, tes belles mains
étaient toujours tendues pour
m'aider et me soutenir dans la difficulté.

A mon cher oncle Abdelhak, tu reflètes
toutes les significations de l'humanité
pour être un bon frère, un bon oncle,
et un bon père.

A mes chers grands parents, que Dieu vous
accorde la miséricorde.

A toute ma famille.

A ma chère amie Samira, la copine
de tous les jours.

A ma chère amie Siham, jumelle de mon
esprit. Ton beau caractère, ta flexibilité me
laissent toujours fière d'être une de tes amies.
Ton accompagnement et tes encouragements
me donnent de l'énergie. Les mots sont
insuffisants pour exprimer mon profond
attachement.

A tous mes amis.

A mon cher professeur Mr Bourkadi ,mon cher
orientant, c'est avec toi cher professeur que
j'ai découvert le goût de la science, c'est grâce
à toi que j'ai eu conscience à une science immense
qui s'appelle sciences de la vie et la Terre.
Les cours de tectonique, de volcanologie, de sismologie ...
sont toujours frais dans ma mémoire
Nul mot ne peut exprimer ma profonde reconnaissance.

A tous mes professeurs.

Meryem MOUSTAKIM

Je dédie ce modeste travail à :

Ma très chère et douce mère et mon très cher père

Que Dieu leur protège

A mon cher frère Mohammed Amin

A mes chères sœurs : Hanan, Asmae, Wafae et Ichraq

A toute ma famille

A mes chers collègues de la promotion 2013-2014

Les beaux moments qu'on a passés,
Les beaux souvenirs qu'on a partagés sont inoubliables

A toute personne qui m'a entendu et m'a donné du temps

A toute personne qui m'a soutenu durant les moments difficiles

A toute personne qui m'a aidé pour mieux faire

A tous les gens qui m'ont supporté de près ou de loin

Adnan ELOUARDI

REMERCIEMENTS

C'est avec un grand plaisir qu'on tient à exprimer nos sincères remerciements à notre encadrant Monsieur Raouf JABRANE, Professeur à la Faculté des Sciences et Techniques de Fès. Merci pour la grande part de liberté et de responsabilité que vous nous avez laissées.

On tient à remercier les membres de jury composé de : **Mme. Naoual RAIS, Mr. Raouf JABRANE, Mr. Lahcen BENAABIDATE** et **Mr. Abdelkader EL GAROUANI** d'avoir accepté d'apprécier notre travail.

Nos remerciements s'adressent également à Monsieur **Hassan MOUHAMI**, Directeur de la décharge publique contrôlée de Fès de nous avoir accueillis pour effectuer un stage au sein de leur société et de nous avoir donné du temps pour nous expliquer le fonctionnement de la décharge.

On tient à remercier Monsieur Abdelkarim Tamjounti, chef des travaux à la décharge publique contrôlée de Fès pour le tour dans la décharge qu'il nous a fait dans notre premier jour de stage. C'est avec vous Monsieur qu'était notre première visite de près du site d'enfouissement et des bassins des lixiviats.

On tient à remercier Monsieur **Mohamed BOUKKAJA**, électromécanicien à la décharge contrôlée de Fès pour son encadrement, pour les explications et les informations précieuses qu'il nous a données sur le fonctionnement de la station du biogaz et sur les méthodes de traitement des lixiviats utilisées dans la décharge. Merci pour votre disposition à répondre à nos questions.

On voudrait remercier Monsieur Karim AITLHAJ, soudeur à la décharge contrôlée de Fès pour ses accompagnements journaliers aux bassins des lixiviats pour prélever des échantillons.

On voudrait remercier Monsieur Mohamed CHBANI, mécanicien des engins à la décharge contrôlée de Fès pour sa gentillesse et pour son insistance à nous transporter quand les conditions le lui permettent.

On tient à remercier Madame Najia LOUIMA, chef de cuisine à la décharge contrôlée de Fès pour ses encouragements et pour ses belles invocations.

On remercie Mr Driss, le chauffeur du transport de personnel de la décharge contrôlée de Fès pour le fait de nous transporter de temps en temps.

C'est avec un grand plaisir qu'on tient à remercier toute l'équipe de la salle de control et pesage un par un pour la main d'aide qu'ils nous ont toujours tendue, toujours prêts pour alléger la fatigue de distance qu'on souffrait de temps en temps.

On tient à remercier Monsieur Lahcen BENABIDATE, Professeur à la Faculté des Sciences et Techniques de Fès pour la main d'aide qu'il nous a tendue et nous a facilité le chemin pour aller à la faculté de Dhar El Mahraz pour faire les analyses.

On ne saurait assez remercier Monsieur Mohammed MERZOUKI, Professeur à la Faculté des Sciences de Dhar El Mahraz de nous avoir accueillis au sein de son Laboratoire de

Biologie. Nos remerciements s'adressent également à ses stagiaires : Omar, Karima et Nadia de nous avoir aidé et expliqué l'analyse de DCO et celles de l'ammonium, les nitrites, les nitrates et les orthophosphates.

On voudrait remercier Monsieur Lakrim, Doctorant à la faculté des Sciences et Techniques pour le temps qu'il nous a accordé dans les mesures de pH, conductivité, et taux des sels dissouts et pour les flacons qu'il nous a donnés pour transporter les lixiviats.

On voudrait remercier Madame Halima, qui nous a permis de refaire les mesures de pH et de conductivité et d'effectuer l'analyse concernant l'impact des lixiviats sur l'eau potable au sein du Laboratoire de géologie à la Faculté des Sciences et Techniques.

Je rends hommage et j'exprime ma reconnaissance à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Activités, analyses effectuées et compétences acquises durant la période de stage

- Reconnaître deux expressions dans le domaine de l'environnement : lixiviats et biogaz.
- Comprendre le fonctionnement de chaque unité de la décharge publique contrôlée de Fès.
- Voir de près un projet environnemental : la production de l'énergie électrique à partir du biogaz.
- Voir de près les appareils destinés vers le traitement du biogaz.
- Voir de près l'appareil destiné au traitement thermique des lixiviats.
- Mesurer la pression du biogaz et le pourcentage de méthane à l'aide de l'appareil GEM.
- Transporter les lixiviats de la décharge vers le Laboratoire.
- Effectuer les mesures sur les lixiviats de température, de pH, de conductivité électrique (les mesures de pH et conductivité effectuées deux fois), de taux des sels dissouts à la Faculté des Sciences et Techniques.
- Utiliser l'appareil du multiparamètre pour la première fois.
- Effectuer les analyses de DCO, NH_4^+ , NO_2^- , NO_3^- et PO_4^{3-} à la Faculté des Sciences de Dhar Mahraz.
- Voir de près comment s'effectuent les analyses de DCO, NH_4^+ , NO_2^- , NO_3^- et PO_4^{3-} .
- Reconnaître de nouveaux appareils de Laboratoire qu'on n'a jamais utilisés et cela est grâce aux analyses de DCO, NH_4^+ , NO_2^- , NO_3^- et PO_4^{3-} .
- Faire une petite analyse montrant l'influence des lixiviats sur l'eau potable.
- Assumer la responsabilité à choisir le sujet du PFE et à rédiger le rapport convenable.

LISTE DES TABLEAUX

CHAPITRE II : LIXIVIATS DE LA DECHARGE CONTRÔLÉE DE LA VILLE DE FES.

Tableau II.1. : Comparaison entre les résultats trouvés et les normes marocaines de rejet.....	33
Tableau II.2. : Comparaison entre les résultats des métaux lourds trouvés et les normes marocaines de rejet.....	34
Tableau II.3. : Résultats de l'analyse de l'impact du lixiviat sur l'eau potable.....	36
Tableau II.4. : Résultats du traitement aérobie.....	37
Tableau II.5. : Résultats du traitement anaérobie.....	38

LISTE DES FIGURES

INTRODUCTION

- Figure 1. : Exemple de bactéries méthanogènes.....3
- Figure 2. : Exemple de réductions effectuées sur le CO₂ pour la production de méthane.....4

CHAPITRE I : PRESENTATION DE LA DECHARGE CONTRÔLEE DE LA VILLE DE FES

- Figure I.1. : Structure avec laquelle les réseaux de collecte sont installés.....13

CHAPITRE II : LIXIVIATS DE LA DECHARGE CONTRÔLEE DE LA VILLE DE FES

- Figure II.1. : Forme de la courbe d'étalonnage.....28

LISTE DES PHOTOS

CHAPITRE I : PRESENTATION DE LA DECHARGE CONTRÔLÉE DE LA VILLE DE FES

Photo I.1. L'entrée de la décharge contrôlée de Fès située à 12 km du centre ville sur la rocade de Sidi Hrazem.....	7
Photo I.2. Le terminal.....	8
Photo I.3. Logiciel Transistor.....	9
Photo I.4.a. Cases des informations fournies par l'utilisateur.....	9
Photo I.4.b. Cases des informations fournies par l'ordinateur.....	9
Photo I.5. Site d'enfouissement des déchets de la décharge contrôlée de Fès.....	10
Photo I.6. Compacteur des déchets.....	11
Photo I.7. Site des déchets de tannerie	11
Photo I.8. L'aller du camion vers le site d'enfouissement.....	12
Photos I.9. L'installation des camions dans le site d'enfouissement pour se décharger des déchets	12
Photo I.10. Exemple de tête de puits.....	13
Photo I.11. L'appareil GEM.....	13
Photo I.12. Tête de puit numéro 31.....	14
Photo I.13. Exemple de fiche des mesures hebdomadaires des têtes des puits.....	14
Photo I.14. Photo montrant la manière avec laquelle le collecteur principal est perforé.....	15
Photos I.15. Le ballast.....	16
Photo I.16. Bassins de stockage des lixiviats sans chrome.....	16
Photo I.17. Bassin de stockage des lixiviats avec chrome.....	16
Photo I.18. Tête de puits à l'entrée de la station.....	18
Photo I.19. Débitmètre d'entrée.....	18
Photo I.20. La torchère.....	18
Photo I.21. Générateur de 165 KW.....	19
Photo I.22. Générateur de 1MW.....	19
Photo I.23. L'évaporateur.....	19
Photo I.24. Le filtre.....	20
Photo I.25. Les deux aspirateurs.....	20
Photo I.26. Les 2 vannes des 2 aspirateurs.....	20
Photo I.27. La vanne électronique de la torchère.....	21
Photo I.28. Le débitmètre du biogaz entrant à la torchère.....	21

Photo I.29. L'analyseur.....	21
Photo I.30. Le débitmètre de sortie.....	22
Photo I.31. Ramification du tube de sortie en deux.....	22
Photo I.32. La vanne du générateur de 1 MW.....	22

Chapitre II : LIXIVIATS DE LA DECHARGE CONTRÔLÉE DE LA VILLE DE FES

Photo II.1. Le multiparamètre.....	25
Photo II.2. Le pH-mètre à batterie.....	26
Photo. II.3. Le spectrophotomètre.....	27
Photo II.4. Mesure des paramètres physicochimiques de l'eau potable et l'eau potable contaminée par 10% des lixiviats.....	36
Photo II.5. La pompe de l'évaporateur.....	37

Sommaire

Introduction	1
Chapitre I	6 – 23
I.1.Introduction.....	7
I.2. Cadre hydrologique, géologique et géographique.....	7
I.3. Départements de la décharge.....	8
I.3.1. Salle de pesage et de contrôle.....	8
I.3.2. Site d'enfouissement.....	10
I.3.3. Bassins des lixiviats.....	16
I.3.4. Station de biogaz.....	17
Chapitre II	24 –42
II.1 Introduction	25
II .2. Caractérisation physicochimique des lixiviats et quelques constituants.....	25
II.2.1. Résultats des analyses physicochimiques.....	25
La température.....	26
Le pH.....	26
La conductivité électrique.....	26
Le taux des sels dissouts.....	27
DCO.....	28
DBO ₅	29
Le rapport DBO ₅ / DCO.....	29
L'ammonium.....	29
Les nitrites.....	30
Les nitrates.....	31
Les orthophosphates.....	32
Les MES.....	33
II.2.2. Comparaison entre les résultats trouvés et les normes Marocaines de rejet.....	33
II.2.3. Résultats des analyses des métaux lourds et comparaison avec les normes marocaines.....	34

II.3. Types de polluants présents dans les lixiviats de la décharge contrôlée de Fès.....	34
II.4 Quelques impacts des lixiviats sur l'environnement.....	35
II.4.1. Impacts sur le sol.....	35
II.4.2. Impacts sur l'eau.....	35
II.4.3. Impacts sur l'homme.....	37
II .5. Traitement des lixiviats	37
II .5.1. Traitement thermique.....	37
II .5.2. Traitement chimique.....	38
II .5.3. Traitement biologique.....	38
II .5.3.1. Le traitement biologique des lixiviats par aération.....	38
II .5.3.2. Le traitement biologique des lixiviats par fermentation.....	39
Conclusion.....	41

INTRODUCTION

L'enfouissement des déchets solides a permis non seulement une gestion des déchets mais aussi la récupération de deux effluents : les biogaz et les lixiviats.

En effet, les déchets sont soumis à des processus de dégradation liés à des réactions biologiques et physico-chimiques. Ces processus qui finissent par la transformation de ces déchets. **Quels sont alors les mécanismes de transformation du déchet ?**

Il existe deux grands mécanismes de transformation du déchet [1] :

- **Mécanisme physico-chimique** : ce mécanisme concerne le phénomène de lixiviation qui désigne le processus au cours duquel l'eau s'infiltré et percole dans un site de stockage (la décharge dans notre cas). Ce phénomène encourage :
 - La dissolution de polluants minéraux, métalliques et organiques dans l'eau interstitielle contenue dans les déchets.
 - La possibilité d'inter-actions chimiques entre éléments chimiques en solution.

—→ Ce mécanisme et grâce au phénomène de lixiviation, conduit à la formation du lixiviat.

Le lixiviat est un liquide résultant de la percolation de l'eau au contact des déchets, et dont la composition chimique varie fortement selon le type de déchet enfoui, généralement chargé en polluants organiques, minéraux et métalliques et généralement caractérisé par les paramètres comme le pH, la conductivité, la DBO, la DCO et des concentrations en métaux. Les lixiviats ne peuvent être rejetés directement dans le milieu naturel et doivent être soigneusement collectés et traités si non divers nuisances peuvent apparaître sur le milieu naturel.

- **Mécanisme biologique** : ce mécanisme est basé surtout sur l'action des bactéries sur la matière organique. Cette action bactérienne favorise un processus très important : la fermentation.

La fermentation est définie comme une réaction biochimique qui se déroule dans une source de carbone par des micro-organismes. C'est une réaction d'oxydoréduction où l'accepteur final d'électron est souvent le produit final qui est issu de la dégradation du substrat organique oxydable et fermentescible (le substrat est caractérisé par le fait qu'il est fermentescible car c'est dans lequel où se déroule la réaction de fermentation). Le but de la réaction de fermentation est surtout de convertir l'énergie que contient le substrat en une autre forme d'énergie [2]. Elle se produit spontanément dans les décharges contenant des déchets organiques (source de carbone).

—→ Ce mécanisme et grâce au phénomène de la fermentation, conduit à la formation du lixiviat et du biogaz.

Le biogaz est un mélange de gaz composé essentiellement de méthane et de dioxyde de carbone, il est combustible. Parmi les sources de biogaz : le fond des lacs et marais, les décharges et les boues des stations d'épuration.

Suivant ce mécanisme, la fermentation se divise en deux types, de conditions différentes :

- *La fermentation aérobie* (en surface) effectuée par des bactéries dites « bactéries aérobies », en présence de dioxygène : O_2 [1]. Cette fermentation

consiste de l'oxydation de la matière organique par des bactéries aérobies. Elle nécessite un apport d'oxygène limité en couche de surface des déchets et elle est caractérisée par une forte augmentation de la température des déchets de l'ordre de 60°C. Les produits de cette réaction sont : le dioxyde de carbone : CO_2 , l'eau : H_2O et la chaleur. Le produit de l'eau contribue à la formation de lixiviat.

- *La fermentation anaérobie* (en profondeur) se déroule en absence de dioxygène : O_2 par des bactéries anaérobies. Elle permet la production du lixiviat et du biogaz. Cette fermentation se déroule en quatre phases successives, chaque étape est réalisée par un type de bactéries différent:

1) L'hydrolyse de la matière organique : effectuée par des bactéries dites hydrolytiques qui cassent les polymères de sucres, protéines ou lipides et les décomposent en monomères de sucres, d'acides aminés ou d'acides gras. [1] Donc, cette étape consiste à la décomposition de la matière organique complexe en des composés (molécules) plus simples qui seront utiles pour l'étape suivante. Dans cette étape, il peut s'agir d'une liquéfaction ou d'une gazéification. De cela, de plus des produits de cette étape cités précédemment, les produits peuvent être aussi un gaz.

→ L'hydrolyse représente le passage de la matière organique fraîche vers une matière organique solubilisée.

2) L'acidogénèse : les monomères obtenus après la phase d'hydrolyse sont transformés par les bactéries acidogènes en acides gras volatils tels que l'acide acétique : CH_3COOH , l'acide propanoïque : $\text{C}_3\text{H}_6\text{O}_2$, l'acide butanoïque : $\text{C}_4\text{H}_8\text{O}_2$, l'acide valérique : $\text{C}_5\text{H}_{10}\text{O}_2$ ou en alcools [1].

→ L'acidogénèse permet la transformation des monomères en acides gras volatils.

3) L'acétogénèse : consiste à la conversion des produits de l'acidogénèse (la phase précédente) en acétate : CH_3COO (ester de l'acide acétique), en dihydrogène : H_2 et en dioxyde de carbone : CO_2 par les bactéries acétogènes.

→ L'acétogénèse permet la conversion des acides gras volatils en acétate, dioxyde de carbone et en dihydrogène.

4) La méthanogénèse : assurée par les bactéries méthanogènes qui sont des bactéries anaérobies strictes et qui font partie de la classe des *Archaeobactéries* et sous le genre de des *Méthanobacterium*, parmi elles : la *Conidie Mobile*, les *Methanobacillus*, les *Methanococcus*, les *Methanosarcina* et *Methanosaeta* (figure 1) [3].

Stephen Zinder

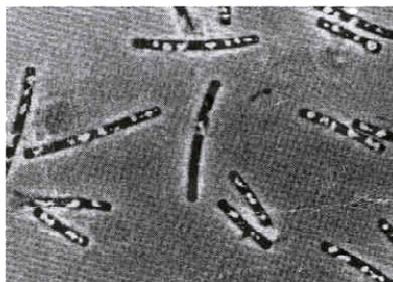


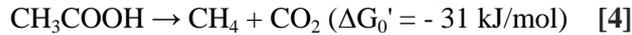
Figure 1. Exemple de bactéries méthanogènes

Ces bactéries consomment une quantité d'acétate issu de la phase précédente pour leur croissance qui est lente et pour leur développement. Cette dernière étape aboutit à la production de méthane : CH_4 . Cette dernière est réalisée par deux voies possibles et les deux voies consistent à des réductions (figure 2):

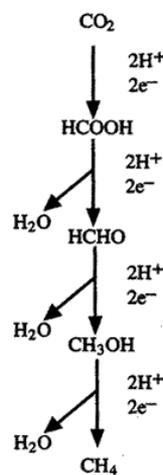
l'une des deux voies est à partir de l'hydrogène et du dioxyde de carbone par les espèces dites hydrogénotrophes telle que :



et l'autre à partir de l'acide acétique par les espèces acétotrophes telle que :



→ La méthanogénèse est le dernier processus de la fermentation anaérobie, elle permet la production du méthane qui avec sa création, se créent le lixiviat et le biogaz.



Méthanogénèse par réduction du CO₂

Figure 2. Exemple de réductions effectuées sur le CO₂ pour la production de méthane

⇒ Le fonctionnement d'une décharge peut être assimilé à un réacteur bio-physico-chimique donnant lieu à des réactions et à des évolutions complexes qui aboutissent à la transformation des déchets.

Le biogaz et les lixiviats comportent des composés toxiques qui ont sûrement des impacts négatifs sur l'environnement. **Comment alors réagit la décharge contrôlée de Fès à cette problématique ?**

➤ Le biogaz est constitué essentiellement de méthane (CH₄) dont l'effet de serre est très important à un niveau 21 fois plus grand que celui du CO₂. Le captage et la consommation de celui-ci réduisent donc les rejets de ce gaz dans l'atmosphère. Cette consommation a alors des effets favorables sur la Terre : le fait d'utiliser ces gaz pour la production d'électricité par exemple permet non seulement de réduire leurs rejets dans l'atmosphère mais aussi de réduire la consommation d'autres types de sources d'énergies non renouvelables. Et cela est bien illustré par la décharge contrôlée de Fès qui profite actuellement de ce biogaz pour produire de l'énergie électrique pour illuminer le siège de la décharge et qui a un projet de contribuer dans l'éclairage de la ville par l'énergie électrique issue du biogaz.

- Le lixiviat se charge d'un mélange de polluants toxiques : organiques, minéraux et métalliques. Heureusement, le terrain de la décharge contrôlée de Fès est argileux et cela bloque l'écoulement des lixiviats vers la profondeur, ce qui assure une protection du sous-sol. Si les lixiviats sont jetés directement dans le milieu naturel, ils vont lui causer des nuisances. C'est pour cela que la décharge contrôlée de Fès ne les jettent pas dans le milieu naturel. Après quelques essais pour traiter les lixiviats : thermiquement et chimiquement, la décharge est encore entrain de chercher le traitement efficace et convenable pour ces lixiviats.

La gestion des lixiviats consiste à les collecter, les stocker et les traiter. La décharge contrôlée de Fès assure bien la collection et le stockage des lixiviats mais elle trouve des problèmes en ce qui concerne le traitement surtout que les lixiviats de cette décharge sont de deux types :

¹-les lixiviats des déchets de tannerie et donc ces lixiviats comportent le chrome et elles sont de petites quantités par rapport aux deuxièmes.

²-les lixiviats des déchets ménagers et déchets ménagers assimilés et qui sont sans chrome.

Pour trouver le traitement convenable, il faut d'abord savoir les paramètres physico-chimiques des lixiviats, les éléments qu'ils contiennent et leurs teneurs dans ces lixiviats.

—→ Et donc le problème de biogaz est résolu pour la décharge contrôlée de Fès par le fait de son utilisation pour produire de l'électricité, le grand problème pour la décharge est le lixiviat.

Ce travail est basé sur le plan suivant :

Plan :

Puisque le problème de biogaz est résolu pour la décharge donc on n'en consacrera pas une grande partie dans notre rapport, le biogaz et la production de l'énergie électrique vont être mentionnés dans la présentation de la station de biogaz. La grande partie de notre travail sera consacrée aux lixiviats qui constituent un vrai problème pour la décharge contrôlée de la ville de Fès.

Ce travail est structuré en deux chapitres :

-Le premier chapitre sera consacré à la présentation de la décharge contrôlée de Fès.

-Le deuxième chapitre, réservé aux lixiviats sans chrome (lixiviats des déchets autres que les déchets de tannerie) :

- ◇ Présenter quelques paramètres physico-chimiques et quelques constituants de ces lixiviats.
- ◇ Présenter quelques impacts de ces lixiviats sur l'environnement.
- ◇ Présenter quelques méthodes de traitement de ces lixiviats.

Chapitre I:

PRESENTATION DE LA DECHARGE CONTRÔLÉE DE LA VILLE DE FES

I.1.INTRODUCTION :

Le Groupe ECOMED est un holding marocain créé par 2 sociétés américaines EDGEBORO INTERNATIONAL et GLOBAL ENVIRONMENTAL SUSTAINABILITY. Le Groupe ECOMED est la première Société privée au Maroc spécialisée dans la construction et l'exploitation des décharges contrôlées. Les travaux d'aménagement de la décharge comprennent la construction des routes d'accès et des casiers, la mise en place d'un réseau de drainage et de traitement des lixiviats, réalisation des bassins de stockage des lixiviats, la mise en place des réseaux de collecte du biogaz, réalisation des systèmes de traitement et de valorisation du biogaz, des ouvrages de collecte et d'évacuation des eaux de pluies, un pont bascule. La décharge est aussi dotée d'un atelier et d'une station de service (photo I.1) [5].

La décharge reçoit les déchets solides comportant : les ordures ménagères (OM) issues de l'activité domestique quotidienne des habitants de la ville de Fès, les déchets ménagers assimilés (DMA) issus des marchés, les déchets verts (DV), les déchets de tannerie (DT) et les déchets de démolition (DD) et non les déchets industriels ou les déchets médicaux.



Photo I.1. L'entrée de la décharge contrôlée de Fès située à 12 km du centre ville sur la rocade de Sidi Hrazem.

Après des études, il était prouvé que le site actuel est très qualifié pour être le site d'une décharge révélant par sa nature des critères géologiques et géographiques relatifs à la protection de l'environnement.

I.2. Cadre géologique, hydrogéologique, hydrologique et géographique :

I.2.1. Cadre géologique, hydrogéologique et hydrologique :

L'analyse des échantillons prélevés du site a montré que :

- ¹- les terrains de la décharge sont formés par des argiles et donc le terrain de la décharge est imperméable et cela est très important surtout qu'à quelques kilomètres de la décharge se trouve la source thermique de Sidi Hrazem. La couche d'argile est de plus de 50m de profondeur et des sondages ont été effectués et ont montré que plus on va vers la profondeur, plus l'argile devient imperméable.
- ²- lors des sondages effectués et jusqu'à 80 mètres, aucune nappe phréatique n'a été rencontré.
- ³- Le site se trouve dans une cuvette à l'amont du bassin versant.

I.2.2. Cadre géographique :

- ¹- La décharge n'est pas loin de la ville à 11 Km du centre de la ville sur la route de Sidi Hrazem et donc le coût du transport des déchets n'est pas trop cher.
- ²- Le site d'enfouissement des déchets a la forme d'une vallée et cela a un grand avantage dans l'enfouissement.

Pour réaliser ses buts, la décharge contrôlée de Fès présente des départements ou appelés aussi des unités, chaque unité complète l'autre :

I.3. Départements de la décharge :

I.3.1 Salle de pesage et de contrôle :

Le pesage des déchets se fait à travers un pont bascule ou appelé aussi la bascule électronique dotés de six capteurs en dessous liés à un appareil appelé le terminal (photo I.2.) qui permet l'affichage de la masse sur le pont bascule, sa capacité est de 60 tonnes et son incertitude est de 20kg par tonne, cette incertitude est considérée négligeable.



Photo I.2. Le terminal

Le terminal est lié à un ordinateur (photo I.3.) qui enregistre à l'aide de l'utilisateur et à l'aide d'un logiciel appelé Transistor, les masses des déchets reçues chaque jour et qui sont entre 1000 tonnes et 1200 tonnes par jour.

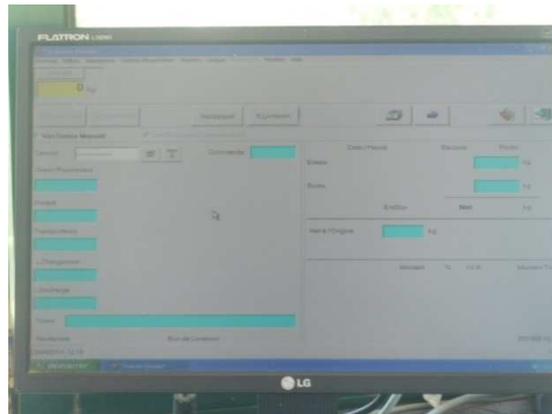


Photo I.3. Logiciel Transistor

Sur l'écran de l'ordinateur il y a des cases, chaque case comporte une information. L'utilisateur indique le numéro du camion venant s'installer sur le pont bascule, le type du produit collecté (ordures ménagères ou déchets ménagers assimilés), le nom du transporteur et le lieu de chargement et l'ordinateur affiche d'autres informations concernant les masses (photos I.4.).

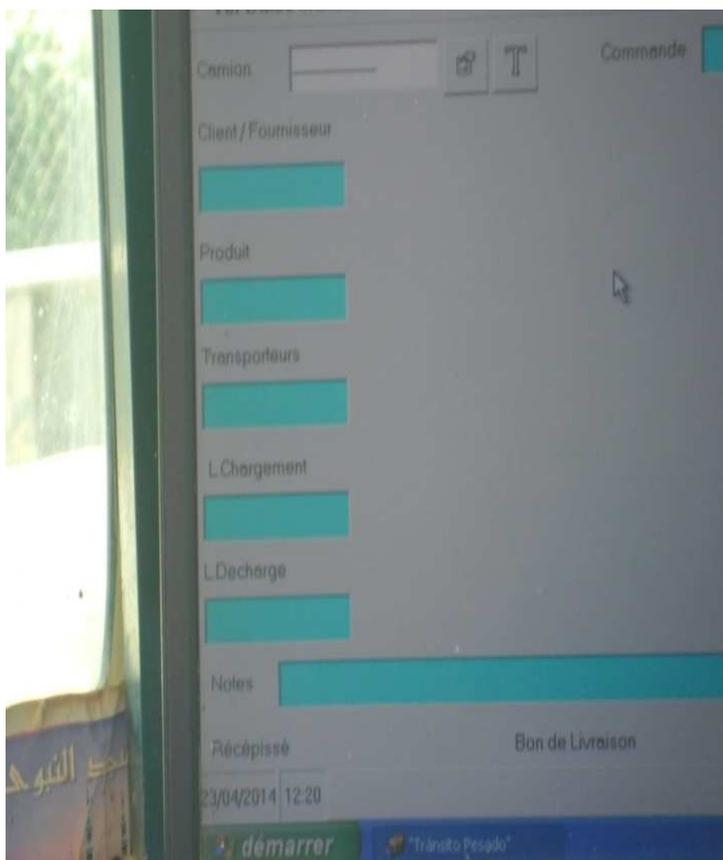


Photo I.4.a. Cases des informations fournies par l'utilisateur

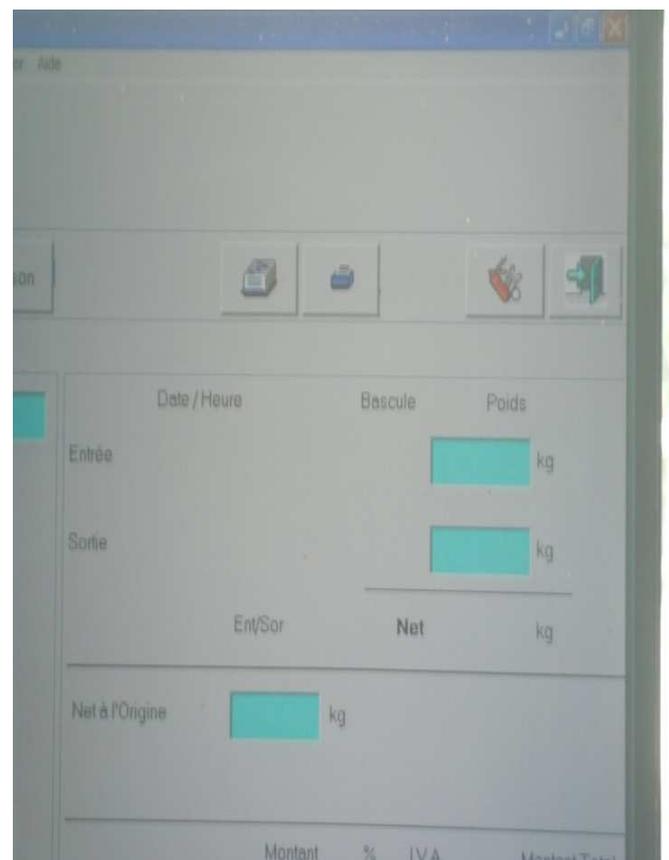


Photo I.4.b. Cases des informations fournies par l'ordinateur

En effet, Dès que le camion s'installe sur le pont bascule à l'entrée, la masse brute ou appelée aussi la masse d'entrée :

La masse d'entrée= masse du camion + masse du transporteur + masse des déchets, s'affiche sur le terminal puis sur l'écran de l'ordinateur.

L'utilisateur l'enregistre jusqu'à que le camion se décharge et s'installe une deuxième fois sur le pont bascule et là s'affiche la tarre ou appelée aussi la masse de sortie sur l'écran de l'ordinateur :

La masse de sortie= masse du camion + masse du transporteur

Donc, de cela on peut déduire que la masse des déchets appelée aussi le net est égale à la différence entre les deux masses :

Le net= la masse d'entrée – la masse de sortie

Ce calcul est effectué par l'ordinateur et donne le résultat directement après l'installation du camion pour la deuxième fois sur le pont bascule, puis l'utilisateur enregistre ce résultat pour additionner l'ensemble des résultats à la fin de chaque journée. Cette opération permet d'avoir la masse des déchets enfouis chaque jour.

I.3.2. Les sites d'enfouissement des déchets :

Le site d'enfouissement des déchets de la décharge contrôlée de Fès (photo I.5.) est divisé en trois casiers : le casier 1, le casier 2, et le casier 3. Le casier 1 est celui qui est exploité actuellement, les casiers 2 et 3 sont déjà exploités et ont atteint 40 mètres de hauteur des déchets enfouis durant les 11 ans de fonctionnement de la décharge, presque 4 mètres des déchets sont enfouies chaque année. Le casier 1 sera exploité jusqu'à qu'il atteigne la même hauteur des casiers 2 et 3. L'enfouissement des déchets se fait à l'aide des argiles qui sert à couvrir les déchets et de D6 (photo I.6.) pour compacter les déchets.



Photo I.5. Site d'enfouissement des déchets de la décharge contrôlée de Fès



Photo I.6. Compacteur des déchets

Il y a un autre site où les déchets ne sont pas enfouis, ils se laissent sauf se sécher. C'est le site des déchets de tannerie (photo I.7.). Ces déchets ne sont pas mélangés avec les autres déchets car ils arrivent mouillés à la décharge et le fait de les mélanger avec les autres types de déchets dans le même site cause des glissements, ainsi que ces déchets contiennent du chrome et cela empêche la production du biogaz. Ces déchets sont donc isolés dans un autre site et génèrent seulement des lixiviats contenant du chrome collectés dans leur propre bassin.



Photo I.7. Site des déchets de tannerie

Le site apparent dans la figure I.5. est le site d'enfouissement principal de la décharge contrôlée de Fès en termes de surface et de fonction (puisque'il génère du biogaz et des lixiviats à la fois).

Après que les moyens de transport des déchets (qui sont surtout les camions) passent par la bascule électronique pour se peser, ils descendent au site d'enfouissement par la route qui

en permet l'accès (photo I.8.), puis s'installent dans ce site pour se décharger des déchets (photos I.9.), puis reviennent encore une fois à la bascule électronique pour se peser vidés des déchets puis quittent la décharge.



Photo I.8. L'aller du camion vers le site d'enfouissement



Photos I.9. L'installation des camions dans le site d'enfouissement pour se décharger des déchets

Sous les déchets, se trouvent les réseaux de collecte des lixiviats et biogaz. Ces réseaux sont installés après chaque trois couches, chaque couche est de 4 mètres de hauteur donc les réseaux sont installés tous les 12 mètres. Les 40 mètres de hauteur atteintes, depuis le premier jour de fonctionnement du site jusqu'à maintenant, veulent dire que trois réseaux de collecte ont été installés, chaque réseau est commun pour les trois casiers.

Le réseau de collecte des lixiviats et biogaz est installé sous forme d'une colonne vertébrale et ses vertèbres (figure I.1.) tel que :

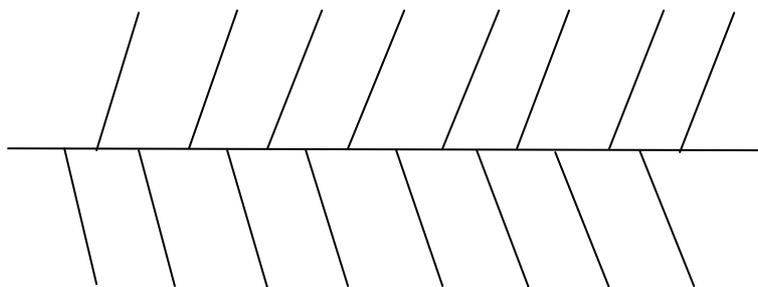


Figure I.1. Structure avec laquelle les réseaux de collecte sont installés

Le collecteur au milieu est un collecteur central et principal dont les deux tiers sont occupés par le biogaz et le un tiers restant est occupé par les lixiviats qu'il donne sur leurs bassins et donc ils sont conduits directement vers eux. Pendant l'installation du réseau de collecte des lixiviats et biogaz, le collecteur principal est installé avec une pente de 2,5% pour aider les lixiviats à s'écouler vers leurs bassins. Le collecteur central est soudé avec d'autres collecteurs qui sont sous formes de vertèbres, de diamètres plus petits que celui du collecteur principal, parallèles entre eux et espacés de 17 mètres l'un de l'autre. De chaque côté montent huit vertèbres contenant du biogaz et qui finissent leurs chemins par les têtes des puits (photo I.10).



Photo I.10. Exemple de tête de puits

Chaque tête de puits est visitée chaque semaine pour contrôler l'état du biogaz dans chaque vertèbre à l'aide d'un appareil appelé GEM (photo I.11) qui permet de mesurer le pourcentage de méthane, le pourcentage de CO₂ et le pourcentage d'azote (toujours inférieur à 1%) dans chaque vertèbre, il permet aussi de mesurer la pression vacuum en millibars.



Photo I.11. L'appareil GEM

Chaque tête de puits a un numéro qui est composé de deux nombres : celui de gauche signifie l'ordre de la couche à laquelle appartient la vertèbre correspondante à la tête de puits et celui de droite indique l'ordre de la vertèbre (photo I.12.) .Pendant la mesure hebdomadaire, on utilise une fiche qui contient les numéros des têtes des puits et les paramètres qu'on va mesurer (photo I.13.), ce qui nous intéresse le plus c'est savoir le pourcentage de méthane dans chaque tête de puits.



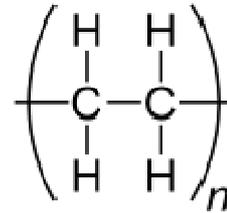
Photo I.12. Tête de puit numéro 31 veut dire que sa vertèbre correspondante appartient à la couche numéro 3 et son numéro est 1

COLLECTEUR											
PUITS / PURES	CH ₄ %	CO ₂ %	O ₂ %	Balance %	T °C	Pression Vaccum mbars	Débit m³/s	Débit m³/j	Position Vane %	Compteur	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
TP31	57,5	42,3	0,2		+10,16						
TP32	58,1	41,5	0,3	0,1	+16,93						
TP33	58,5	41,0	0,3	0,1	+18,65						
TP34	58,3	41,3	0,2	0,2	+36,2						
TP35	58,5	41,1	0,2	0,2	+49,89						
TPM2	60,2	38,9	0,2	0,2	+55,35						
TP36	58,8	40,0	0,2	0,1	+90,45						
TP37	58,0	41,6	0,2	0,2	+53,89						
TP013	61,5	38,2	0,2	0,1	+53,36						
TP38	59,8	39,9	0,2	0,1	+43,25						
TP39	57,9	41,7	0,2	0,2	+81,39						
TP31P	57,6	42,0	0,3	0,2	+103,43						
TP31A	57,3	42,0	0,1		+95,83						
TP21	58,4	41,3	0,2	0,1	+57,84						
TP014	57,8	41,9	0,2	0,1	+97,35						
TP31E	57,5	42,2	0,2	0,1	+117,5						

Photo I.13. Exemple de fiche des mesures hebdomadaires des têtes des puits

Les têtes de puits de gauche sont réunies par un collecteur et se rencontrent avec le biogaz du collecteur central pour aller vers la station de valorisation du biogaz.

Les collecteurs sont fabriqués du polyéthylène haute densité « PEHD » qui est le résultat de l'association de plusieurs monomères d'éthylènes (l'éthylène est un alcène et donc sa formule brute est de type (C_nH_{2n}) et comme la formule brute de l'éthylène est C_2H_4 , la formule brute du



polyéthylène est $(C_2H_4)_n$ et sa formule développée est [6]. Le polyéthylène répond aux conditions de travail par le fait qu'il est flexible, il ne casse pas puisqu'il a une contrainte à la rupture élevée et résiste aux biogaz et lixiviats. Sauf que, le collecteur principal est perforé (photo I.14) et les vertèbres montant dans la pente ne sont pas perforés. Le collecteur principal est perforé tel qu'il ya 120° entre les pores. Il est perforé et posé, pendant l'installation du réseau, de façon à ce qu'il laisse les lixiviats entrer et ne pas sortir.



Photo I.14. Photo montrant la manière avec laquelle le collecteur principal est perforé

Le collecteur principal est posé sur le ballast (matériau utilisé dans les chemins de fer) et couvert par le même matériau (photos I.15). Le ballast peut transmettre les efforts engendrés par le passage de D6 au sol et par conséquent, il assure au collecteur principal une résistance aux déformations, de plus il peut supporter des températures élevées.



Photos I.15. Le ballast

I.3.3 Les bassins de stockage des lixiviats :

Les déchets reçus par la décharge peuvent être classés selon deux types :

- Déchets sans chrome
- Déchets avec chrome et qui sont les déchets de tannerie

Les deux types de déchets ne sont pas mélangés, chacun a son site et ses bassins des lixiviats. Les lixiviats des déchets sans chrome sont stockés dans quatre bassins (photo I.16.) qui sont presque d'égale superficie, chacun est de 2000 m² de surface et de 2,7 m de profondeur. Ces lixiviats sont conduits par le collecteur principal au premier bassin. Ce dernier est connecté au deuxième bassin et les lixiviats du premier sont poussés vers le deuxième à travers le connecteur puis du deuxième au troisième jusqu'à arriver au quatrième.



Photo I.16. Bassins de stockage des lixiviats sans chrome

Les lixiviats des déchets de tannerie sont conduits vers un seul bassin (photo I.17.) qui a presque la même surface que les autres bassins et qui contient donc des lixiviats avec chrome.



Photo I.17. Bassin de stockage des lixiviats avec chrome

Remarque :

La décharge contrôlée de Fès produit environ 21,6 m³ des lixiviats par jour. Ces dernières années, les bassins commencent à se remplir et par conséquent les lixiviats sont transportés à quelques mètres des bassins pour les vider un peu et laisser la place pour les nouveaux lixiviats conduits aux bassins, puisque la zone est argileuse le fait de transporter et verser quelques quantités de lixiviats à quelques mètres des bassins ne cause pas un problème.

I.3.4. La station de combustion et de valorisation du biogaz :

Pourquoi la valorisation du biogaz et à quoi sert-elle ?

Le biogaz est constitué essentiellement du (CH₄) méthane dont la contribution à l'effet de serre est très importante. En effet, il absorbe une partie du rayonnement infrarouge émis par la Terre et l'empêche ainsi de s'échapper vers l'espace et cela contribue énormément au réchauffement de la Terre. Une molécule de méthane absorbe en moyenne 23 fois plus de rayonnement qu'une molécule de dioxyde de carbone sur une période de 100 ans donc, le méthane (CH₄) est 23 fois plus toxique que le dioxyde de carbone (CO₂) [7]. De plus, le biogaz contient des éléments traces toxiques tels que : le benzène (C₆H₆), le toluène (C₇H₈), le xylène (C₈H₁₀), il a une mauvaise odeur et présente des risques d'incendie et d'explosion.

Les décharges contrôlées produisent des quantités importantes de biogaz d'où l'idée d'en profiter pour des besoins humains. Il est utilisé pour produire de l'énergie électrique. L'idée d'exploiter le biogaz a un effet positif sur l'environnement puisqu'elle aide à réduire les émissions de méthane qui nuisent à l'atmosphère. D'où la décharge contrôlée de Fès qui a la même perspective environnementale par le fait qu'elle a créé une station de valorisation du biogaz, cette valorisation qui se fait par la production de l'énergie électrique utilisée dans l'éclairage de la décharge à l'aide d'un générateur de 165 KW et cette énergie pourra aussi être utilisée pour contribuer à l'éclairage public de la ville de Fès à l'aide d'un générateur de 1 MW. Vu que tout l'éclairage public de la ville de Fès a besoin de 4 MW, ce générateur de 1 MW en contribuera par un quart. Vu la production de quantités importantes de biogaz à la décharge contrôlée de Fès, la décharge a décidé de faire passer le biogaz aux générateurs pour la production de l'énergie électrique ainsi le passer à l'appareil de traitement thermique des lixiviats appelé « l'évaporateur » pour qu'il fonctionne (le biogaz dans ce cas est utilisé au lieu de l'huile utilisé pour le fonctionnement du moteur de l'appareil) et de faire une combustion pour l'excès de biogaz sans dégager les gaz toxiques.

Comment alors est structurée la station pour accomplir ses buts ?

Le biogaz monte du site d'enfouissement dans des tubes de polyéthylène jusqu'à arriver à la station, où à son entrée se trouve une tête de puits (photo I.18.) qui indique à l'aide du GEM le pourcentage du méthane dans le biogaz venant du site d'enfouissement puis à quelques pas se trouve le débitmètre appelé débitmètre d'entrée (photo I.19.) qui indique le débit (Nm³/h) du biogaz venant du site d'enfouissement, il est appelé aussi débitmètre général parce qu'il indique le débit général du biogaz entrant aux trois types d'appareil : torchère, générateurs et évaporateur.

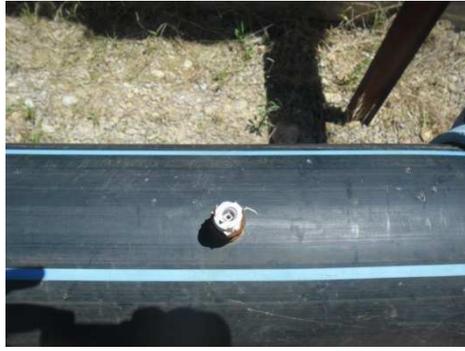


Photo I.18. Tête de puits à l'entrée de la station



Photo I.19. Débitmètre d'entrée

La torchère (photo I.20.) est l'appareil de combustion du biogaz. Elle est un système clôt, n'émettant aucun gaz dans l'atmosphère. Dans cet appareil thermique les gaz subissent une combustion totale et sa température maximale est 1000°C.



Photo I.20. La torchère

Le générateur est le dispositif nécessaire pour la génération de l'électricité à partir du biogaz. Les deux générateurs disponibles sont : le générateur de 165 KW (photo I.21.) et le générateur de 1 MW (photo I.22.).



Photo I.21. Générateur de 165 KW



Photo I.22. Générateur de 1MW

L'évaporateur (photo I.23.) est l'appareil utilisé actuellement dans la décharge de temps en temps pour le traitement thermique des lixiviats, normalement pour qu'elle fonctionne, son moteur a besoin d'un type d'huile mais il peut fonctionner aussi avec du biogaz que la décharge a suffisamment pour le fournir à l'évaporateur et cela contribue à l'économie de l'énergie.



Photo I.23. L'évaporateur

Le tronc contenant le débitmètre général se ramifie en deux : un tronc allant vers la torchère et l'autre tronc allant à la fois vers les deux générateurs et vers l'évaporateur :

Le tronc allant vers la torchère contient un filtre (photo I.24.) qui élimine les particules d'eau se trouvant dans le biogaz, deux aspirateurs (photo I.25.) dont on peut contrôler la vitesse d'aspiration de leurs moteurs et dans ce cas : quand on aspire ce qu'on veut l'aspiration est dite active. A côté des deux aspirateurs se trouvent deux vannes manuelles (photo I.26.), chaque aspirateur a sa propre vanne avec laquelle on lui donne l'ordre d'aspirer le biogaz ou pas : si elle ouverte, l'aspirateur peut aspirer le biogaz mais si elle est fermée, l'aspirateur ne le peut pas. A quelques pas des deux aspirateurs se trouve une vanne électronique (photo I.27.) propre à la torchère, à travers laquelle on peut contrôler la quantité de biogaz passée à la torchère. Parfois tout le biogaz passe à la torchère dans le cas où on en n'a pas besoin pour les autres appareils. En dessous de la vanne, se trouve le débitmètre (photo I.28.) qui indique le débit (Nm^3/h) du biogaz qui va passer à la torchère. Entre la torchère et les deux aspirateurs se trouve l'analyseur (photo I.29.) qui représente le GEM fixe de la torchère puisqu'il indique le pourcentage de méthane contenu dans le biogaz entrant à la torchère qui peut atteindre jusqu'à 60% ou 63%.



Photo I.24. Le filtre



Photo I.25. Les deux aspirateurs



Photo I.26. Les 2 vannes des 2 aspirateurs



Photo I.27. La vanne électronique de la torchère



Photo I.28. Le débitmètre du biogaz entrant à la torchère



Photo I.29. L'analyseur

L'autre tronç contient le biogaz allant vers les générateurs et l'évaporateur. Le tronç a un d bim tre appelé d bim tre de sortie (photo I.30.) qui indique le débit (Nm³/h) du biogaz de sortie allant vers les deux générateurs et l'évaporateur. Un tube sort du tronç et se ramifie en deux (photo I.31.) tel qu'un tube se dirige vers les deux générateurs et l'autre vers l'évaporateur. A côté de l'évaporateur, se trouve une vanne qui sert à ouvrir ou fermer la réception du biogaz. Ainsi que chacun des deux générateurs possède une vanne. Si par exemple on veut que le biogaz passe seulement au générateur de 1 MW, on ouvre la vanne de celui-ci (photo I.32.) et on ferme la vanne de l'autre générateur.



Photo I.30. Le d bim tre de sortie



Photo I.31. Ramification du tube de sortie en deux



Photo I.32. La vanne du générateur de 1 MW

Remarque :

Nm³ est une unité de mesure de volume pour un gaz se trouvant dans les conditions normatives de température (0°C) et de pression (1 atmosphère = 101325 Pa = 1,01325 bar).

La formule de conversion d'un volume V_1 en Nm³ en un volume V_2 en m³ se trouvant à une pression absolue P (en bar) et une température T (en °C) :

$$V_1 \text{ (Nm}^3\text{)} = V_2 \text{ (m}^3\text{)} \times (P_{\text{absolue}} / 1,01325) \times (273 / (273+T)) \quad [8]$$

Comment se produit l'énergie électrique à partir du biogaz ?

Tout d'abord, Le courant électrique produit est un courant alternatif.

Pour produire de l'énergie électrique, il y a un processus :

Le biogaz alimente un moteur couplé à un alternateur. Le moteur est à quatre temps qui sont : l'admission, la compression, la combustion et l'échappement [9]. Elles s'effectuent à l'intérieur des cylindres dont le nombre indique la puissance électrique du générateur, de plus leur nombre est grand, de plus la puissance électrique du générateur est importante tel que le générateur de 165 KW est constitué de 2 cylindres et celui de 1 MW est constitué de 20 cylindres. Le fonctionnement du cylindre entraîne la rotation de la turbine qui engendre l'énergie mécanique qui est transformé par l'alternateur en énergie électrique.

Chapitre II :

**LIXIVIATS DE LA DECHARGE
CONTRÔLÉE DE LA VILLE DE FES**

II.1.INTRODUCTION

Le grand souci de la décharge contrôlée de Fès est de trouver le traitement convenable des lixiviats et pour cela, il est nécessaire de savoir les valeurs des paramètres physico-chimiques de ces lixiviats. De plus, la connaissance de ces paramètres permet non seulement le choix de la méthode du traitement mais aussi de savoir le degré de pollution de ces lixiviats.

En ce qui suit, il s'agit des lixiviats des déchets autres que les déchets de tannerie.

Les lixiviats sont transportés chaque jour de l'analyse dans des flacons en polyéthylène et les analyses sont réalisées dès réception des lixiviats.

II.2. CARACTERISATION PHYSICOCHIMIQUE ET QUELQUES CONSTITUANTS DES LIXIVIATS

II.2.1. Résultats des analyses physicochimiques :

Les paramètres physico-chimiques suivants : le pH, la température ($^{\circ}\text{C}$), la conductivité ($\mu\text{s}/\text{cm}$), le taux des sels dissouts sont mesurés avec le même appareil qui est le multiparamètre (Photo II.1.) et du même mode opératoire, avec les mêmes solutions tampons. Le multiparamètre contient deux électrodes : le pH-mètre utilisé dans les mesures du pH et de la température et le conductimètre utilisé dans les mesures des autres paramètres : la conductivité, le taux des sels dissouts.



Photo II.1. Le multiparamètre

Voici le mode opératoire suivi pour mesurer ces paramètres.

Mode opératoire :

- étalonner le multiparamètre par les deux solutions tampons commençant par celle de pH=4 à celle de pH=7
- verser le lixiviat dans un bécher et y placer l'électrode : pH-mètre
- laisser la valeur du pH se stabiliser puis la lire et l'enregistrer avec la valeur de la température
- placer le conductimètre au lieu du pH-mètre pour lire les valeurs des autres paramètres.

-La température :

Principe :

La température des lixiviats dépend de l'ensoleillement et des échanges avec l'atmosphère.

Résultat :

La température moyenne du lixiviat est de 25,1°C.

—> La température des lixiviats est reliée aux variations saisonnières de température et aux échanges thermiques avec l'atmosphère.

-Le pH :

Principe :

Le potentiel hydrogène (ou **pH**) mesure l'activité chimique des ions hydrogènes (H^+) dans les lixiviats, plus couramment le pH mesure l'acidité ou la basicité des lixiviats.

Indication :

La mesure du pH est réalisée deux fois : la première fois avec le multiparamètre (Photo II.1.) et la deuxième fois avec le pH-mètre à batterie (Photo II.2.).



Photo II.2. Le pH-mètre à batterie

Résultat :

La valeur moyenne du pH trouvée entre la première et la deuxième mesure est de 7,71.

—> Le pH tend vers la neutralité.

-La conductivité électrique :

Principe :

La conductivité électrique exprime l'aptitude du lixiviat à laisser les charges électriques se déplacer librement et donc son aptitude à laisser passer un courant électrique.

Indication :

La mesure de la conductivité est réalisée deux fois avec le multiparamètre.

Résultat :

La valeur moyenne de la conductivité électrique trouvée entre la première et la deuxième mesure est de 6400 $\mu\text{s}/\text{cm}$.

- > Le lixiviat de la décharge contrôlée de Fès présente une conductivité électrique non nulle, donc c'est une solution conductrice du courant électrique et donc cette solution contient des espèces électriquement chargées qui sont les ions. Le lixiviat est une solution ionique.

-Le taux des sels dissouts :**Principe :**

Le taux des sels dissouts représente la concentration totale des substances dissoutes dans le lixiviat.

Résultat :

Le taux des sels dissouts trouvé est de 3280 mg/l.

- > Le lixiviat présente une très haute concentration de solides dissouts et cela indique qu'elle contient des polluants nuisibles comme le fer, le manganèse et le plomb.

Dans les analyses physicochimiques suivantes : DCO , DBO_5 , NH_4^+ , NO_2^- , NO_3^- , PO_4^{3-} , on utilise des facteurs pour convertir les densités optiques lues sur le spectrophotomètre (photo II.3) à des concentrations.



Photo. II.3. Le spectrophotomètre

Ces facteurs sont issus de l'équation de la courbe d'étalonnage (en divisant les concentrations des solutions d'étalonnage sur leurs correspondances en densité optique). La courbe d'étalonnage a la forme suivante (figure II.1.).

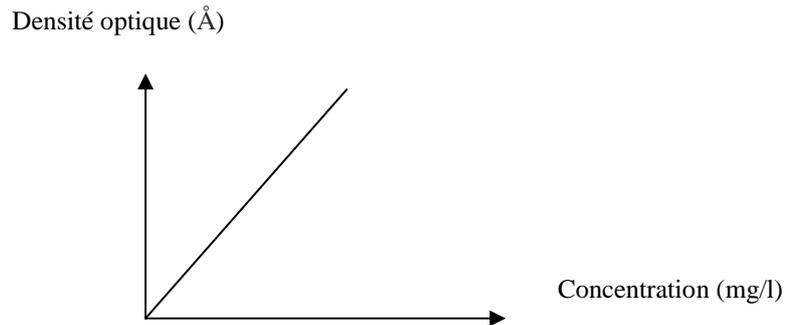


Figure II.1. Forme de la courbe d'étalonnage

Dans l'analyse de la DCO, NH_4^+ , NO_2^- , NO_3^- , PO_4^{3-} on prépare deux échantillons : le premier concerne le lixiviat et le deuxième est de l'eau distillée, ce deuxième échantillon est utilisé comme témoin. On suit le même protocole pour ces deux échantillons.

-La Demande Chimique en Oxygène (D C O) :

Principe :

La Demande Chimique en Oxygène(DCO) est la quantité de dioxygène (O_2) consommée par la matière organique oxydable chimiquement dans le lixiviat. Elle permet d'évaluer la charge polluante des lixiviats.

Indication :

La mesure de la Demande Chimique en Oxygène d'un lixiviat peut être perturbée par la présence de nitrites, sulfures, chlorures, donc les mesures de DCO ont donc été réalisées sur des échantillons dilués afin de limiter de possibles interférences.

Mode opératoire :

1^{er} échantillon :

- faire une dilution de 1/10 de l'échantillon c'est-à-dire au lieu de prendre 2 ml du lixiviat on prend 0,2 ml du lixiviat et 1,8 ml de l'eau distillée.
- ajouter 0,04 g de sulfate de mercure (HgSO_4).
- ajouter 3ml de sulfate d'argent (Ag_2SO_4).
- ajouter 1 ml de bichromate de potassium ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$).
- mettre au DCOMètre pendant 2 heures.

2^{ème} échantillon (l'échantillon témoin):

- prendre 2 ml de l'eau distillée.
 - ajouter 0,04 g de sulfate de mercure (HgSO_4).
 - ajouter 3ml de sulfate d'argent (Ag_2SO_4).
 - ajouter 1 ml de bichromate de potassium ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$).
 - mettre au DCOMètre pendant 2 heures.
- effectuer la lecture au spectrophotomètre à une longueur d'onde de 585 nm.

Résultat :

Puisqu'on a dilué 10 fois l'échantillon du lixiviat donc la valeur lue sur le spectrophotomètre doit être multipliée par 10 puis on divise la valeur calculée sur le facteur : 0,00033 et cela donne une concentration équivalente à la densité optique lue sur le spectrophotomètre.

La valeur lue sur le spectrophotomètre est : 0,483 Å

$$(D.O. \times 10) / 0,00033 = (0,483 \times 10) / 0,00033 = 14636,36 \text{ mg/l}$$

—> La valeur de la DCO obtenue dans cette étude et qui est de 14636,36 mg/l montre un pouvoir polluant des lixiviats.

-La Demande Biologique en Oxygène en cinq jours (D B O₅) :

Principe :

La Demande Biologique en Oxygène pendant 5 jours est la quantité d'oxygène nécessaire pour oxyder les matières organiques biodégradables par voie biologique (c'est-à-dire par des bactéries) durant 5 jours, à 20°C et dans l'obscurité.

Mode opératoire :

- faire une dilution de 1/75 de l'échantillon c'est-à-dire au lieu de prendre 150 ml du lixiviat on prend 2 ml du lixiviat et 148 ml de l'eau distillée.
- incuber l'échantillon dans un DBO-mètre pendant 5 jours à 20°C et à l'obscurité.

Résultat :

La valeur de la DBO₅ des lixiviats étudiées est de 3464,72 mg/l.

—> Cette activité consommatrice d'oxygène est à l'origine de l'autoépuration des lixiviats. Cependant en période humide les eaux de pluie contribuent à la dilution de la charge organique émanant des déchets et par conséquent à une diminution des valeurs de DBO₅.

-Le rapport D B O₅ /DCO :

Le rapport DBO₅/DCO est un indicateur de la maturité des lixiviats. Ce rapport décroît avec l'âge des déchets impliquant que la biodégradabilité du matériel organique dissous tend à diminuer avec l'âge des déchets.

Des études ont en effet permis de classer les lixiviats en fonction de leur caractère plus ou moins en utilisant le rapport DBO₅/DCO.

Le rapport DBO₅/DCO des lixiviats de la décharge publique contrôlée de Fès donne une moyenne de 0,24 (tel que 3464,72/14636,36 est égale à 0,24), ce qui permet de les classer parmi les lixiviats intermédiaires (entre les lixiviats jeunes et les lixiviats stabilisés), faiblement biodégradables.

-Les formes azotées :

L'azote est un indicateur majeur de la pollution organique. Il se présente sous deux formes : organique (protéines, acides aminés...) et minéral (ammonium, nitrites, nitrates). Les formes d'azote étudiées sont : l'azote ammoniacal (NH₄⁺), les nitrates (NO₃⁻) et les nitrites (NO₂⁻) :

L'ammonium (NH₄⁺):

Principe :

L'analyse se fait en milieu alcalin et en présence de nitroprusate qui agit comme catalyseur. Le délai du prélèvement ne doit pas dépasser les 48 heures.

Mode opératoire :**1^{er} échantillon :**

- faire une dilution de 1/10 de l'échantillon c'est-à-dire au lieu de prendre 20 ml du lixiviat on prend 2 ml du lixiviat et 18 ml de l'eau distillée.
- ajouter 1ml de solution de nitrop de Na^+ .
- ajouter 1ml de la solution chlorée.
- agiter et placer à l'obscurité pendant 6 heures au moins.

2^{ème} échantillon (l'échantillon témoin):

- prendre 20 ml de l'eau distillée.
 - ajouter 1ml de solution de nitrop de Na^+ .
 - ajouter 1ml de la solution chlorée.
 - agiter et placer à l'obscurité pendant 6 heures au moins.
- effectuer la lecture au spectrophotomètre à 630nm.

Résultat :

Puisqu'on a dilué 10 fois l'échantillon du lixiviat donc la valeur lue sur le spectrophotomètre doit être multipliée par 10 puis on divise la valeur calculée sur le facteur : 1,033 et cela donne une concentration équivalente à la densité optique lue sur le spectrophotomètre.

La valeur lue sur le spectrophotomètre est : 0,036 Å

$$(\text{D.O.} \times 10) / 1,033 = (0,036 \times 10) / 1,033 = 0,34 \text{ mg/l}$$

—————> L'ammonium constitue un bon indicateur de la pollution générée par les déchets urbains. Ces lixiviats contiennent l'ammonium sauf qu'il est en une faible valeur traduisant ainsi l'effet de la dilution et d'une faible pollution azotée.

Les nitrites (NO_2^-) :**Principe :**

L'acide sulfurique (H_2SO_4) en milieu chlorhydrique (HCl) en présence d'ions NH_4^+ et de phénol ($\text{C}_6\text{H}_6\text{O}$) forme avec les ions NO_2^- un complexe coloré en jaune dont l'intensité est proportionnelle à la concentration en NO_2^- .

Parmi les réactifs utilisés dans cette analyse, il y a le réactif de Zambelli qui est préparé auparavant et qui est préparé à l'aide des réactifs suivantes : 260 ml de l'acide chlorhydrique pur (HCl), 5 g de l'acide sulfonique (HSO_2OH), 7,5 g du phénol cristallisé ($\text{C}_6\text{H}_6\text{O}$), 135g de chlorure d'ammonium (NH_4Cl) et 625g de l'eau distillée.

Mode opératoire :**1^{er} échantillon :**

- faire une dilution de 1/10 de l'échantillon c'est-à-dire au lieu de prendre 50 ml du lixiviat on prend 5 ml du lixiviat et 45 ml de l'eau distillée.
- ajouter 2ml du réactif de Zambelli.
- agiter et laisser reposer 10 minutes.
- ajouter 2 ml d'ammoniaque pur.

2^{ème} échantillon (l'échantillon témoin) :

- prendre 50 ml de l'eau distillée.
 - ajouter 2ml du réactif de Zambelli.
 - agiter et laisser reposer 10 minutes.
 - ajouter 2 ml d'ammoniaque pur.
- effectuer la lecture au spectrophotomètre à 435 nm.

Résultat :

Puisqu'on a dilué 10 fois l'échantillon du lixiviat donc la valeur lue sur le spectrophotomètre doit être multipliée par 10 puis on divise la valeur calculée sur le facteur : 3,852 et cela donne une concentration équivalente à la densité optique lue sur le spectrophotomètre.

La valeur lue sur le spectrophotomètre est : 0,386 Å

$$(D.O. \times 10) / 1,033 = (0,386 \times 10) / 3,852 = 1 \text{ mg/l}$$

—————> Les ions nitrites qui sont les plus toxiques, sont présents dans ces lixiviats témoignant d'une pollution d'origine organique.

Les nitrates (NO₃⁻) :

Principe :

La mesure des ions nitrates dans les lixiviats est effectuée avec une réaction des nitrates avec l'acide sulfosalicylique (C₇H₆O₆S) (formé par addition à l'échantillon de salicylate de sodium (C₇H₅NaO₃) et d'acide sulfurique (H₂SO₄)). Le dérivé obtenu donne en présence d'ammoniaque une coloration jaune stable.

Les nitrates constituent le stade final de l'oxydation de l'azote, et représentant la forme d'azote au degré d'oxydation le plus élevé présent dans les lixiviats.

Mode opératoire :

1^{er} échantillon :

- faire une dilution de 1/10 de l'échantillon c'est-à-dire au lieu de prendre 10 ml du lixiviat on prend 1 ml du lixiviat et 9 ml de l'eau distillée.
- ajouter 1 ml de salicylate de sodium (C₇H₅NaO₃).
- évaporer au bain marie.
- laisser refroidir.
- reprendre le résidu par 2 ml 'acide sulfurique (H₂SO₄) concentré en ayant soin de l'humecter complètement.
- attendre 10 minutes.
- ajouter 15 ml d'eau bidistillée puis 15 ml de Tartrate double Na et K qui développe la coloration jaune.

2^{ème} échantillon :

- Prendre 10 ml de l'eau distillée.
- ajouter 1 ml de salicylate de sodium ($C_7H_5NaO_3$).
- évaporer au bain marie.
- laisser refroidir.
- reprendre le résidu par 2 ml 'acide sulfurique (H_2SO_4) concentré en ayant soin de l'humecter complètement.
- attendre 10 minutes.
- ajouter 15 ml d'eau bidistillée puis 15 ml de Tartrate double Na et K qui développe la coloration jaune.
- effectuer la lecture au spectrophotomètre à 415 nm.

Résultat :

Puisqu'on a dilué 10 fois l'échantillon du lixiviat donc la valeur lue sur le spectrophotomètre doit être multipliée par 10 puis on divise la valeur calculée sur le facteur : 0,215 et cela donne une concentration équivalente à la densité optique lue sur le spectrophotomètre.

La valeur lue sur le spectrophotomètre est : 0,063 Å

$$(D.O. \times 10) / 0,215 = (0,063 \times 10) / 0,215 = 2,93 \text{ mg/l}$$

—————> Les nitrates sont présents dans ces lixiviats et cela est un indice de pollution d'origine agricole ou urbaine.

-Les orthophosphates (PO_4^{3-}) :

Principe :

L'analyse des orthophosphates est effectuée selon la méthode de Murphy et Riley dont le principe est le suivant :

Formation en milieu acide d'un complexe phosphomolybdique en présence de Molybdate d'Ammonium ($(NH_4)_2MoO_4$) et le Tartrate double d'antimoine et de potassium qui joue le rôle d'un catalyseur. Le complexe réduit par l'acide Ascorbique (C_6H_8O), développe une coloration bleue. Certaines formes organiques pouvant être hydrolysés au cours de l'établissement de la coloration et donnent les orthophosphates.

Dans le protocole, on utilise un réactif combiné qui est préparé comme suit :

Dans une fiole jaugée de 100 ml on mélange :

50 ml de l'acide sulfurique 5N, puis on ajoute 5 ml de la solution Tartrate double, puis 15 ml de Molybdate d'Ammonium puis on complète au volume avec l'eau distillée).

Mode opératoire :

1^{er} échantillon :

- faire une dilution de 1/10 de l'échantillon c'est-à-dire au lieu de prendre 20 ml du lixiviat on prend 2 ml du lixiviat et 18 ml de l'eau distillée.
- ajouter 1 ml de l'acide Ascorbique (C_6H_8O).
- agiter énergiquement.
- ajouter 4 ml réactif combiné.
- laisser au repos pour 30 minutes.

2^{ème} échantillon :

- prendre 20 ml de l'eau distillée.

- ajouter 1 ml de l'acide Ascorbique (C₆H₈O).
- agiter énergiquement.
- ajouter 4 ml réactif combiné.
- laisser au repos pour 30 minutes.
- effectuer la lecture au spectrophotomètre à 880 nm.

Résultat :

Puisqu'on a dilué 10 fois l'échantillon du lixiviat donc la valeur lue sur le spectrophotomètre doit être multipliée par 10 puis on divise la valeur calculée sur le facteur : 1,294 et cela donne une concentration équivalente à la densité optique lue sur le spectrophotomètre.

La valeur lue sur le spectrophotomètre est : 0,157 Å

$$(D.O. \times 10) / 1,294 = (0,157 \times 10) / 1,294 = 1,21 \text{ mg/l}$$

→ La présence du phosphore dans les lixiviats provient de certaines catégories de déchets comme les os et les combustibles et les déchets putrescibles.

-Les Matières En Suspension (MES) :

Principe :

Les matières en suspension représentent l'ensemble des particules minérales et organiques contenues dans les lixiviats.

Mode opératoire :

Les matières en suspension sont déterminées par centrifugation d'un volume de 20 ml du lixiviat à 3000 tr pendant 15 minutes. Le culot est mis dans une coupelle en porcelaine) préalablement pesée, puis séchée à l'étuve à 105°C pendant 24 heures. La différence entre le poids de l'échantillon sec et celui de la coupelle détermine le taux des MES.

Résultat :

La valeur des MES enregistrée est de 1000 mg/l.

Cette teneur peut être considérée élevée et donc elle peut être considérée comme une forme de pollution.

II.2.2. Comparaison entre les résultats trouvés et les normes Marocaines :

Tableau II.1. Comparaison entre les résultats trouvés et les normes marocaines de rejet

Paramètres physicochimiques des lixiviats		Normes Marocaines de rejets
T (°C)	25,1°C	—
pH	7,71	6,5-8,5
DCO (mg/l)	14636,36	1000
DBO ₅ (mg/l)	3464,72	500
NH ₄ ⁺ (mg/l)	0,34	—
NO ₂ ⁻ (mg/l)	1	—
NO ₃ ⁻ (mg/l)	2,93	—
PO ₄ ³⁻ (mg/l)	1,21	—
MES (mg/l)	1000	600

On remarque que :

le pH des lixiviats de la décharge contrôlée de Fès se situe dans l'intervalle des normes marocaines.

la DCO, la DBO₅, la MES de la décharge contrôlée de Fès sont plus supérieures que celles indiquées par les normes marocaines. Ceci montre un pouvoir polluant des lixiviats et leur évacuation dans le milieu naturel, sans aucun traitement préalable peut lui engendrer des perturbations.

II.2.3. Résultats des analyses des métaux lourds et comparaison avec les normes marocaines :

Tableau II.2. Comparaison entre les résultats des métaux lourds trouvés et les normes marocaines de rejet [10]

Métaux lourds des lixiviats de la décharge contrôlée de Fès (mg/l)		Normes Marocaines de rejets (mg/l)
Al (l'aluminium)	3,245	10
Cd (Cadmium)	0,028	0,2
Cr (chrome)	4,554	2
Cu (cuivre)	0,428	0,5
Fe (fer)	14,65	3
Mn (manganèse)	2,002	1
Ni (nickel)	0,841	0,5
Pb (plomb)	0,215	0,5
Zn (zinc)	1,663	5

On Remarque que:

Les concentrations d'aluminium, de cadmium, de cuivre, de plomb et de zinc dans les lixiviats de la décharge contrôlée de Fès sont inférieures à celles indiquées par les normes marocaines. Même si les concentrations de ces lixiviats ne sont pas exactement celles indiquées par les normes marocaines de rejet, elles sont prises positivement car elles ne dépassent pas les valeurs indiquées par les normes marocaines.

Les concentrations de chrome, du fer, du manganèse et de nickel dans les lixiviats de la décharge contrôlée de Fès sont supérieures à celles indiquées par les normes marocaines.

→ Tout cela confirme le fait que traiter des lixiviats avant de les jeter au milieu naturel est obligatoire et indispensable.

II.3. Types de polluants présents dans les lixiviats de la décharge contrôlée de Fès [10]:

❖ Acides gras :

En chimie, un acide gras est un acide carboxylique. En biochimie, un acide gras est une catégorie de lipides. Les acides gras sont soit saturés ou insaturés : Un acide gras saturé est un acide carboxylique ne comportant aucune double liaison carbone-carbone c'est à dire que tous les atomes de carbone sont saturés en hydrogène,

un acide gras insaturé est un acide qui comporte une ou plusieurs doubles liaisons carbone-carbone.

❖ **Composés ligno-cellulosiques :**

Les composés ligno-cellulosiques qui sont composés de lignine, d'hémicellulose et de cellulose sont retrouvés en décharge et sont principalement dus aux 12% de déchets verts (bois, herbe, feuilles) et aux 25% de papiers, cartons et journaux. Leur présence est un très bon indicateur du règne végétal.

❖ **Composés associés aux matières plastiques :**

Les matières plastiques se définissent comme le mélange d'un polymère et de divers additifs donnant un produit fini. Les déchets ménagers se composent d'une grande partie de matières plastiques.

❖ **Les phénols :**

Les deux tiers de la production de phénol sont utilisés pour produire des plastiques et puisque les déchets de la décharge contrôlée de Fès contiennent une quantité importante de plastique, les lixiviats de la décharge contrôlée de Fès sont riches en phénols.

❖ **Les métaux lourds :**

Plusieurs métaux lourds ont été identifiés dans les lixiviats à de faibles concentrations comme le As, Cd, Cr, Cu, Pb, Ni et Zn. Les métaux lourds existants dans les déchets migrent pendant plusieurs années dans les décharges. Cette capacité de migration peut être améliorée par la formation de complexes très stables avec la matière organique existante dans les lixiviats.

II.4. Quelques impacts des lixiviats sur l'environnement :

II.4.1. Impacts sur le sol :

L'impact des lixiviats sur le sol s'incarne par :

- La migration des métaux lourds à partir des lixiviats vers le sol.
- la rétention des matières en suspension sur des particules de sol.
- l'adsorption des ions ou des molécules des lixiviats à la surface des grains.
- le phénomène d'échange d'ions.

II.4.2. Impacts sur l'eau :

Pollution par les métaux lourds :

Les métaux lourds peuvent arriver jusqu'à l'eau à travers le sol (à cause du phénomène de migration des métaux à partir des lixiviats vers le sol) et ceci peut engendrer des problèmes à la station thermale de Sidi Hrazem puisque la décharge se trouve à son extrémité.

Pollution par les microorganismes :

Les lixiviats contiennent des microorganismes pathogènes. Si l'eau est contaminée par ces lixiviats, les microorganismes pathogènes migrent vers l'eau.

Exemple : analyse de l'impact des lixiviats sur l'eau potable :

Principe :

Cette analyse montre l'impact des lixiviats sur l'eau potable en mesurant quelques paramètres physicochimiques d'une eau potable et de celle contaminée de 10% par les lixiviats.

Mode opératoire :

- mettre 100 ml de l'eau potable dans un bécher.
- mettre 10 ml du lixiviat dans un autre bécher et ajouter de l'eau potable jusqu'à 100 ml (c'est-à-dire ajouter 90 ml de l'eau potable).
- pour chaque bécher, mesurer par le multiparamètre les paramètres suivants : pH, conductivité électrique, TDS, salinité. (Photo II.4.)



Photo II.4. Mesure des paramètres physicochimiques de l'eau potable et l'eau potable contaminée par 10% des lixiviats.

Résultat :

Tableau II.3. Résultat de l'analyse de l'impact du lixiviat sur l'eau potable

Paramètres physicochimiques	Eau potable	Eau potable contaminée de 10% par les lixiviats
pH	7,84	8,13
Conductivité ($\mu\text{s}/\text{cm}$)	229	1571
TDS (mg/l)	122	839
Salinité (%)	0,1	0,8

Les résultats obtenus montrent bien les variations entraînées sur les paramètres physicochimiques de l'eau potable :

- le pH a augmenté de 7,84 à 8,13.
- la conductivité a augmenté de 229 $\mu\text{s}/\text{cm}$ à 1571 $\mu\text{s}/\text{cm}$.
- le TDS a augmenté de 122mg/l à 839mg/l.
- la salinité a augmenté de 0,1% à 0,8%.

On note bien que la contamination de l'eau potable seulement de 10% par les lixiviats lui a créé de grandes variations dans les valeurs des paramètres physicochimiques et ceci par conséquence influence sur la qualité de l'eau potable.

—> Donc de plus la contamination de l'eau potable par les lixiviats augmente, de plus les paramètres physicochimiques de cette eau s'éloignent des normes de potabilité de l'eau, de plus sa qualité devient mauvaise.

II.4.3. Impacts sur l'homme :

De nombreuses maladies humaines résultent de la contamination du milieu naturel par les lixiviats :

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

Les éléments toxiques contenus dans les lixiviats peuvent être biodisponibles pour les racines des arbres, les champignons, ainsi que certains animaux peuvent les bio-accumuler et par conséquence contribuer à leur concentration dans la chaîne alimentaire jusqu'à arriver à l'homme.

II.5. Traitement des lixiviats :

D'après ce qui précède, les lixiviats ont un pouvoir très polluant et leur évacuation dans le milieu naturel sans traitement préalable peut engendrer des perturbations potentielles. C'est pour cela la décharge contrôlée de Fès a essayé de traiter les lixiviats par deux méthodes différentes : le traitement chimique et le traitement thermique.

II.5. 1. Traitement thermique :

Le traitement thermique est effectué à l'aide de l'évaporateur (photo II.5.) réalisant un changement de phase du liquide au gazeux. L'évaporateur possède deux plaques de fer fixes qui se réchauffent par le brûleur pour donner la chaleur au liquide. Le liquide est homogénéisé par une pompe (photo II.5.) qui laisse le liquide recirculer dans l'évaporateur.



Photo II.5. La pompe de l'évaporateur

Le traitement thermique est utilisé de temps en temps dans la décharge pour traiter les lixiviats. Il n'est pas accrédité par la décharge car il ne permet pas de traiter toutes les quantités des lixiviats produites par la décharge chaque jour.

II.5. 2. Traitement chimique :

Le traitement chimique essayé dans la décharge est : la coagulation-floculation dont le but principal est de déstabiliser les particules en suspension c'est-à-dire de faciliter leur agglomération. Ce procédé est caractérisé par l'injection et la dispersion de produits chimiques (coagulants). La coagulation consiste à ajouter des sels métalliques qui se lient aux colloïdes et les neutralisent. La floculation a pour but de favoriser le contact entre les particules déstabilisées qui s'agglomèrent pour former un floc qu'on pourra éliminer par décantation.

Le traitement chimique des lixiviats n'est plus encore utilisé dans la décharge à cause du danger des produits chimiques utilisés dans cette méthode de traitement ainsi que qu'il ne permet pas de traiter toutes les quantités journalières produites par la décharge.

II.5. 3. Traitement biologique :

La décharge contrôlée de Fès entraine de chercher une méthode de traitement efficace pour les énormes quantités de lixiviats produites ainsi que cette méthode doit être économique (n'est pas très chère).

La décharge est intéressée au traitement biologique vu sa simplicité, sa fiabilité et que la biodégradation s'effectue par le biais des micro-organismes. La biodégradation s'effectue dans les conditions aérobies ou dans les conditions anaérobies.

Le traitement biologique aérobie fait appel aux micro-organismes naturellement présents dans le milieu naturel pour dégrader les polluants présents.

Le traitement biologique anaérobie fait appel à des procédés d'épuration anaérobie comme la fermentation par une stabilisation des lixiviats, permettant l'élimination de la pollution organique concentrée.

Les traitements biologiques sont d'autant plus efficaces avec des rejets liquides biodégradables.

II.5. 3. 1. Le traitement biologique des lixiviats par aération (traitement aérobie):

Les analyses des métaux lourds avant et après traitement biologique par aération ont montré que [10] :

Tableau II.3. Résultats du traitement aérobie

Métaux lourds (mg/l)	Lixiviat brut (mg/l)	Après 2 jours d'aération (mg/l)	Après 7 jours d'aération (mg/l)	% d'abattement après 2 jours d'aération	% d'abattement après 7 jours d'aération	Valeurs limites de rejets (mg /l)
Al	3,245	1,311	0,189	59,6	63,3	10
Cd	0,028	0,016	0,012	42,8	57,1	0,2
Cr	4,554	2,17	1,843	52,3	59,5	2
Cu	0,428	0,093	0,085	78,3	80,1	0,5
Fe	14,65	6,21	4,29	57,6	70,7	3
Mn	2,002	0,184	0,133	90,8	93,3	1
Ni	0,841	0,622	0,417	26	50,4	0,5
Pb	0,215	0,092	0,075	57,2	65,1	0,5
Zn	1,663	0,575	0,484	65,4	71	5

Les résultats du tableau montrent que le traitement des lixiviats par aération réduit davantage les métaux lourds, principalement après une semaine d'aération. Les taux d'abattement sont plus importants après 7 jours d'aération par rapport à 2 jours d'aération.

La variabilité des taux d'abattement des métaux est due à la forme ionique de chaque métal, à la capacité de chaque bactérie à accumuler le métal.

Après 7 jours d'aération, le lixiviat répond aux normes de rejets directs.

—> Le traitement biologique aérobie est efficace en ce qui concerne la réduction des concentrations des métaux lourds dans les lixiviats pour répondre aux normes marocaines de rejets.

II.5. 3. 2. Le traitement biologique des lixiviats par fermentation (traitement anaérobie) :

Les résultats de fermentation du lixiviat montrent que l'abattement de la DCO atteint 74% après 48 heures de fermentation comme le montre le tableau suivant [10] :

Tableau II.4. Résultats du traitement anaérobie

Jours de fermentation	DCO (mg/l)	Elimination (%)
1	4576,67	68,73
2	4003,04	72,65
3	3789,35	74,11

Les résultats de l'analyse montrent que la quantité de DCO diminue de 14636,36 mg/l à 3789,35 mg/l après trois jours grâce à la fermentation et se rapproche de la norme.

—————> Le traitement biologique anaérobie est efficace en ce qui concerne la réduction de la DCO dans les lixiviats de la décharge contrôlée de Fès pour se rapprocher de la norme (de DCO) des rejets.

—————> **Les résultats ont montré que le traitement biologique est le traitement efficace pour les lixiviats de la décharge contrôlée de Fès.**

CONCLUSION

Dans ce travail, on a montré que l'enfouissement des déchets a permis la récupération des lixiviats et biogaz à travers les deux mécanismes : chimique et biologique de transformation des déchets.

Une décharge contrôlée qui est une direction de tous les déchets de la ville est un grand projet environnemental dont chaque pas doit être bien étudié, une petite erreur peut causer de grandes perturbations. C'est pour ceci le site de la décharge doit être choisi avec une grande importance et tous les critères menant à un bon choix du site doivent être considérés.

Le fonctionnement d'une décharge contrôlée est lié à l'enchaînement d'un ensemble d'unités, chacune complète l'autre pour assurer la gestion des déchets et récupérer les lixiviats et le biogaz.

Le biogaz issu des déchets de la ville de Fès est exploité par la décharge contrôlée de Fès dans un projet environnemental qui est la production de l'énergie électrique.

Le lixiviat issu des déchets de la ville de Fès est en grande quantité et présente des caractéristiques polluantes qui peuvent perturber l'environnement et donc son traitement est indispensable. Après avoir essayé le traitement chimique et thermique, la décharge contrôlée de Fès est actuellement intéressée au traitement biologique avec ses deux types : aérobie et anaérobie vu son efficacité et sa simplicité.

La qualité des lixiviats et biogaz peut varier avec des changements dans les types des déchets et les saisons. Si on prend le cas des lixiviats par exemple, quand les déchets changent, les concentrations en éléments contenus dans les lixiviats changent ainsi que les lixiviats de la saison d'hiver sont plus dilués que ceux des autres saisons.

Avec le temps, les déchets se développent et peut être que la méthode de traitement des lixiviats utilisée actuellement ne sera plus efficace dans le futur. Donc les paramètres physicochimiques des lixiviats doivent être contrôlés régulièrement et la recherche de la méthode de traitement des lixiviats ne doit pas s'arrêter ainsi que des améliorations sur la méthode de traitement peuvent être entraînés de temps en temps.

Il y a des discussions sur la possibilité d'extraction des engrais d'agriculture à partir des lixiviats puisque ces derniers contiennent les éléments nécessaires pour les engrais et ceci rendra les lixiviats exploitables comme le sont les biogaz.

Aujourd'hui, les déchets constituent une source d'énergie importante. Cette énergie peut être classée parmi les énergies renouvelables puisque la production des déchets est journalière et continue tout au long de l'année.

La production de l'énergie électrique à partir du biogaz peut diminuer la charge posée sur de l'énergie hydrique pour la production de l'énergie électrique.

Aujourd'hui, les déchets ne sont pas vus comme un facteur de dégradation de l'environnement, mais contribuent plutôt à la protection de l'environnement.

Donc, les déchets sont les produits de nos besoins et peuvent produire ce qu'on a besoin.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES ET WEBOGRAPHIQUES

[1] www.engees.unistra.fr 1D-Concepts_stockage (2010).

[2] <http://fr.wikipedia.org/wiki/Fermentation>

[3] **Thibaut CHASLERIE** (2001-2002) Techniques de bioconversion, la biométhanisation, Projet tuteuré de première année en Génie thermique et énergie.

[4] **Marc-André Selosse, Jean-Marc Barnola** (2000) La production Labiologique de méthane (<http://planet-terre.ens-lyon.fr/article/methanogenese.xml>).

[5] <http://www.ecomed.ma>

[6] http://fr.wikipedia.org/wiki/Polyéthylène_haute_densité

[7] <http://fr.wikipedia.org/wiki/Biogaz>

[8] www.courtoisenergies.fr/data/list/docs/Conversion_m3_en_Nm3.xls

[9] ressources.univ-lemans.fr/AccessLibre/UM/Pedago/physique/02/thermo/moteur.html

[10] **EL FADEL Hanane** (2012-2013) Traitement physico-chimique et biologique des lixiviats de la décharge contrôlée de Fès : Application des procédés de filtration, de coagulation-floculation et du SBR. Thèse de Doctorat, Université Sidi Mohammed Ben Abdellah, faculté des Sciences Dhar El Mahraz, Fès. Maroc.

Résumé

Ce travail a pour but de présenter l'état de biogaz et lixiviats dans la décharge contrôlée de Fès.

Le biogaz extrait des déchets est utilisé dans le cadre d'un projet environnemental qui est la production de l'énergie électrique utilisée pour la décharge et sera utilisée pour l'éclairage public de la ville de Fès.

Vu la production de quantité importante de biogaz, il sert aussi pour le fonctionnement de l'appareil du traitement thermique des lixiviats. Dans ce cas, le biogaz est utilisé pour le moteur au lieu d'utiliser une huile spéciale et ceci est une forme de contribution à l'économie énergétique. L'excès du biogaz est dirigé vers la torchère qui est un système clôt et ne dégage pas les gaz vers l'atmosphère. La liaison entre le biogaz et les appareils est assurée par une station de biogaz. A l'intermédiaire de cette station le biogaz est aspiré et filtré avant de passer aux appareils. Des mesures journalières du biogaz sont effectuées pour voir le pourcentage de méthane contenu dans ce biogaz.

Le lixiviat de la décharge contrôlée de Fès est très chargé en composés polluants. Il présente 3280 mg/l de sels dissouts, 14636,36 mg/l de DCO, 3464,72 de DBO₅, 1000 mg/l en Matières En Suspension, ainsi qu'il présente des concentrations en ions toxiques et en métaux lourds parfois supérieures aux normes marocaines de rejet. Son traitement avant d'être libéré dans le milieu naturel est nécessaire. Il est produit par de grandes quantités dans la décharge, les bassins de lixiviats sont presque remplis, choses qui nécessitent de trouver la méthode de traitement convenable dans le plus vite possible. Si non il peut endommager plusieurs éléments du milieu naturel surtout que la station thermale de Sidi Hrazem est proche de la décharge. L'évacuation des lixiviats ou une fuite peut polluer fortement les eaux de la station. De plus, l'évacuation des lixiviats causera un problème pour une station d'épuration des eaux de Fès avant d'être jetées dans le bassin versant de Sebou se trouvant proche de la décharge. La décharge a essayé quelques méthodes de traitement mais elles étaient inefficaces vu les quantités énormes de lixiviats ainsi que certaines d'entre elles étaient dangereuses.

Le traitement biologique avec ses deux types : aérobie et anaérobie a donné de bons résultats tels que le premier a diminué la charge des métaux lourds et le deuxième a diminué la charge des polluants organiques dans les lixiviats. Le couplage entre ces deux méthodes de traitement peut donner de bons résultats.

Mots clefs : lixiviat, biogaz, fermentation, traitement biologique aérobie, traitement biologique anaérobie, la torchère, l'évaporateur, méthane, déchet.