

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE
Département du Génie de l'Environnement



Mémoire du projet de fin d'études pour l'obtention du diplôme D'ingénieur d'état en Génie de l'Environnement

Thème :

*Traitement des lixiviats partiellement stabilisés issus du CET
d'Ouled Fayet par la combinaison de la coagulation,
d'oxydation Fenton et d'adsorption sur le CAG*

Président du jury :

Mme ABDI, M.C ENP

Examineur :

Mr. Nakib, C.C ENP

Promoteurs :

Pr. R.KERBACHI prof. ENP

M^{elle}. F.BOUMECH' HOUR C.C US. Boumerdès

Etudié par : RECHOUM Aboubak Essedik

2009/2010

Remerciement

Avant toute chose, je remercie Dieu Tout Puissant de m'avoir donné santé, courage et la force pour accomplir ce travail.

Je tiens à remercier mes promoteurs M^{lle} F. BOUMECH'HOUB et Pr. R. KERBACH, pour leurs aides précieuses, les conseils éclairés et les encouragements afin d'être ingénieur d'état en génie de l'environnement.

Ma reconnaissance va à l'égard du Mme. Abdi, professeur à l'école nationale polytechnique d'avoir accepté de présider le jury de ce mémoire.

Je remercie le jury Mr. Nakib de m'avoir fait l'honneur d'accepter d'examiner mon travail.

Je tiens également à remercier M^{lle} Dalila Hank pour son aide inestimable, et M^{lle} Dumessade ALI pour son eau distillée, et toute l'équipe des laboratoires et du département (Mr. Lounici, Mme Abdi, Latifa, Assira, Mustapha, Farid, Kacem, Reda,...).

Nos sincères remerciements vont aussi à M^{me} BOUCHFER, ainsi que Hamid, Nabila, Sabrina et Anis de L'O.N.A de BARAKI et tout le personnel du Centre d'Enfouissement Technique de Ouled Fayet en particulier Melle Fatima CHEDEBA, Radia du département du génie chimique et le chauffeur éboueur de NET-COM qui nous a assuré le transport.

Je tiens également à remercier tous mes amis et camarades sans exception de promotion : Amine, Fatima, Sofiane, imene, Nassima, Amel, isma, asma, lila, naima, lynda, ryme, yasmine, pour leur sincère amitié et leur précieux soutien.

Dédicaces

Je dédie ce travail :

A ma famille : Ma mère, mon père, Hakim, Idriss et Ilyes.

*A la jeunesse de ma famille : Sofiane, Omar, Hicham, Bakir, Housine,
Abdou.*

*A ma grande famille : Ma grande mère, Mon oncle Omar et sa famille, Ma
tante Fatiha*

*A ma famille d'Alger : Saleh Baouchi & compagnie et tonton noredidine &
compagnie*

A mes amis, tous, sans exception, où qu'ils sont.

Sommaire

<i>Introduction générale</i>	1
------------------------------------	---

1^{er} Partie

Synthèse bibliographique

<i>Les déchets et leurs gestions</i>	4
<i>I-1- Définition des déchets</i>	5
<i>I-2- Nature et origines des déchets</i>	5
<i>I-2-1- Selon La nature des déchets</i>	6
<i>a. Classe I : les déchets inertes</i>	6
<i>b. Classe II : les déchets ménagers et assimilés</i>	6
<i>c. Classe III : les déchets spéciaux</i>	6
<i>d. Classe IV : les déchets ultimes</i>	6
<i>I-2-2- Selon L'origine des déchets</i>	6
<i>I-3- Classification des déchets</i>	6
<i>I-4- Caractéristiques des déchets solides urbains</i>	8
<i>I-4-1- La consistance (solide, liquide ou pâteuse)</i>	8
<i>I-4-2- La compressibilité</i>	8
<i>I-4-3- La densité</i>	8
<i>I-4-4- Le taux d'humidité</i>	8
<i>I-4-5- Le pouvoir calorifique (PC)</i>	9
<i>I-4-6- Le rapport carbone/azote (C/N)</i>	9
<i>I-5- Différents modes d'élimination et de traitement des déchets solides et urbains</i>	9
<i>I-5-1-La mise en décharge</i>	10
<i>a. La décharge contrôlée</i>	10
<i>b. Principe de la mise en décharge contrôlée</i>	10
<i>I-5-2- Le compostage</i>	10
<i>I-5-3-L'incinération</i>	11
<i>I-6- Récupération- Recyclage- Valorisation</i>	12
<i>I-6-1 Récupération</i>	12
<i>I-6-2 Recyclage – Valorisation</i>	12
<i>I-7-Différent types de pollutions engendrées par la décharge</i>	13
<i>I-7-1-La pollution chimique</i>	13
<i>I-7-2-La pollution bactériologique</i>	13
<i>I-7-3-La pollution atmosphérique</i>	14
<i>I-8- Nuisances pour l'environnement</i>	14
<i>I-9- Gestion des déchets urbains et industriels du Grand Alger</i>	14
<i>Les problèmes en matière de gestion des déchets solides</i>	14
<i>I-10- Composition et évolution de la quantité des déchets dans la wilaya d'Alger</i>	15
<i>a) Les ordures ménagères (OMS)</i>	15
<i>b) Les déchets assimilés</i>	15
<i>c) Les déchets dangereux</i>	16
<i>I-10-1- Evaluation de la quantité des déchets dans la wilaya d'Alger</i>	16
<i>I-10-2- Composition des déchets dans la Wilaya d'Alger</i>	16
<i>Conclusion</i>	17
<i>II. Les lixiviats</i>	18
<i>II-1- Définition</i>	19
<i>II-2-Formation et composition des lixiviats</i>	19

<i>II-3- Différents paramètres influant sur les lixiviats</i>	19
<i>II-3-1- Influence du climat et de l'hydrogéologie sur le lixiviat</i>	19
<i>II-3-2 Influence de la surface d'exploitation et de la hauteur des déchets sur les lixiviats</i>	20
<i>II-3-3- Influence du compactage sur les lixiviats</i>	20
<i>II-3-4- Influence de la couverture sur les lixiviats</i>	20
<i>II-4- Quantité des lixiviats/ bilan hydrique</i>	21
<i>II-5- Age des lixiviats</i>	22
<i>a. Lixiviats jeunes</i>	22
<i>b. Lixiviats intermédiaires</i>	22
<i>c. Lixiviats stabilisés</i>	23
<i>II-6- Évolution du lixiviat au cours du temps (aspect biologique) :</i>	23
<i>a- Phase d'hydrolyse</i>	24
<i>b- Phase d'acidogène</i>	24
<i>c- Phase d'acétogénèse</i>	24
<i>d- Phase méthanogène</i>	24
<i>II-7- Composition des lixiviats</i>	25
<i>II-8- Formation du biogaz</i>	26
<i>II-8-1- Evaluation de la production de biogaz d'un centre de stockage de déchets ménagers</i>	27
<i>II-8-2- Elimination du biogaz</i>	27
<i>II-8-2-1- Combustion</i>	27
<i>II-8-2-2- Valorisation</i>	28
<i>Conclusion</i>	29
III. Traitement des lixiviats	30
<i>III-1- Traitements biologiques</i>	31
<i>a. Lagunage naturel</i>	31
<i>b. Lagunage aéré</i>	31
<i>c. Les boues activées</i>	31
<i>d. Les procédés à cultures fixées</i>	31
<i>e. Le lagunage anaérobie</i>	31
<i>f. La digestion anaérobie</i>	31
<i>III-2- Traitements physico-chimiques</i>	32
<i>a. Oxydation par l'ozone</i>	32
<i>b. La précipitation chimique</i>	32
<i>c. La coagulation floculation</i>	33
<i>d. Evaporation-oxydation chimique</i>	33
<i>e. Filtration sur charbon actif</i>	33
<i>f. Bio-réacteur à membranes (BRM)</i>	34
<i>g. Osmose inverse</i>	34
<i>III-3-Rejets en station d'épuration urbaine</i>	36
<i>III-4- Choix de la filière de traitement</i>	36
<i>Conclusion</i>	37
IV. Les procédés de traitement	38
<i>IV-1- Floculation-Coagulation</i>	39
<i>IV-1-1 Mécanisme de la Coagulation-Floculation</i>	39
<i>IV-1-2- Mécanisme de la Coagulation-Floculation par la Théorie de la Double Couche</i>	39

IV-1-3- Mécanisme de la Coagulation-Floculation par la Théorie Chimique	41
IV-1-4- Facteurs Influençant la Coagulation-Floculation	42
IV-2- Le Procédé de Fenton.....	42
IV-2-1- Mr. Fenton	42
IV-2-2- Principe.....	43
IV-2-3- Les Types de Fenton	44
a. Procédé de Fenton Classique.....	44
b. Procédé d'Electro-Fenton	44
c. Procédé Photo-Fenton	44
IV-3- L'adsorption sur le charbon actif	45
IV-3-1- Caractéristiques de l'adsorption.....	45
IV-3-2- Description du mécanisme d'adsorption.....	46
IV-3-3- Facteurs influençant l'adsorption.....	47
IV-3-4- Charbon actif	47
Conclusion	48
V. Impacts des lixiviats sur l'environnement	49
V-1- Impact sur les eaux souterraines et de surface.....	50
V-2- Impact sur le sol.....	50
V-3- Impact sur la flore.....	50
V-4- Impact sur l'air.....	51
V-5- Impact sur la santé humaine.....	51
V-6- Impact des interférences sur les particules argileuses.....	51
V-6-1- Au niveau macroscopique.....	51
V-6-2- Au niveau microscopique.....	51
V-7- Influence de l'interaction entre le sol et les espèces inorganiques sur la composition finale du lixiviat.....	52
V-7-1- Comportement des ions	52
V-7-2- Comportement des métaux lourds	52
V-8- Propagation de la pollution dans la nappe	54
Conclusion	54
VI. Exploitation du CET d'Ouled Fayet	55
VI-1- Présentation du site	56
VI-2- Imperméabilisation technique du fond de la décharge, le concept de confinement	59
VI-3- Drains	60
VI-3-1- Aménagement du pourtour de la décharge	60
VI-3-2- Mise en place d'un système de drains internes.....	61
a) Points de contrôle des eaux.....	61
b) Système d'évacuation des eaux pluviales	61
VI-3-3- Moyens de traitement	62
VI-4- Les déchets de la décharge de Ouled Fayet	62
VI-4-1- Type des déchets autorisés	62
VI-4-2- Quantité de déchets rejetés dans le CET.....	63
VI-4-3- Exploitation des casiers d'enfouissement.....	63
VI-5- Conception & Réalisation du CET d'Ouled Fayet	64
VI-5-1- Les casiers d'enfouissement	64
VI-5-2- Imperméabilisation des casiers d'enfouissement.....	65
VI-5-3- Géomembrane.....	67
VI-5-4- Réseau de drainage des lixiviats.....	68
VI-5-5- Elimination des biogaz.....	70

VI-6- Réaménagement en fin d'exploitation.....	73
Conclusion	74

2^{eme} Partie

Etude Expérimentale des Lixiviats Issus du CET Ouled Fayet

I- Campagne de prélèvement	76
II- Mode de prélèvement et de conservation.....	76
III-Caractérisation des lixiviats d'Ouled Fayet	79
III-1- Méthodes d'analyse	79
III-2- Résultats des analyses	80
III-3- Interprétation des résultats.....	85
III-3- 1- La couleur.....	85
III-3- 2- L'odeur	85
III-3- 3- La Température	86
III-3- 4- Le Potentiel d'Hydrogène (pH)	86
III-3- 5- Conductivité électrique	86
III-3-6 - La demande chimique en oxygène (DCO).....	87
III-3- 7- La demande biochimique en oxygène (DBO ₅)	87
III-3- 8- Le rapport DBO ₅ /DCO	88
III-3- 9- Les nitrates et nitrites (NO ₃ ⁻ , NO ₂ ⁻)	89
III-3- 10- L'azote ammoniacal (NH ₄ ⁺)	89
III-3- 11- L'Azote Kjeldahl (NTK)	89
III-3- 12- Les orthophosphates (PO ₄ ³⁻)	90
III-3- 13- Matière en suspension (MES)	91
III-3- 14- Matière volatile sèche (MVS)	91
Conclusion	91
IV- Traitement des Lixiviats	92
IV-1- Traitement par Coagulation-Floculation	92
IV-1- 1- Matériels et Méthodes	92
IV-1- 2- Optimisation de la Dose du FeCl ₃	93
IV-1- 3- Optimisation du pH	94
IV-1- 4- Caractéristiques des Lixiviats Après Traitement	94
IV-1- 5- Discussions et Conclusions	95
IV-2- Traitement par Oxydation Avancée Fenton.....	95
IV-2- 1- Matériels et Méthodes	95
IV-2- 2- Recherche du rapport molaire H ₂ O ₂ /Fe ²⁺ Adéquat	96
IV-2- 3- Optimisation de la Dose du H ₂ O ₂	96
IV-2- 4- Optimisation du pH	97
IV-2- 5- Effet du temps de réaction sur le rendement de l'oxydation fenton	98
IV-2- 6- Caractéristiques des Lixiviats Après Traitement	98
IV-2- 7- Discussions et Conclusions	99

<i>IV-3- Combinaison des Traitements</i>	100
<i>IV-3-1- Coagulation-Floculation → Oxydation Fenton (Voie 1)</i>	100
<i>IV-3-2- Oxydation Fenton → Coagulation-Floculation (Voie 2)</i>	100
<i>IV-3-3- Caractéristiques des Lixiviats Après Traitement</i>	101
<i>IV-3-4- Discussions et Conclusions</i>	102
<i>IV-4-Traitement tertiaire par adsorption sur charbon actif en grain</i>	102
<i>IV-4-1- Coagulation-Floculation → Oxydation Fenton → Adsorption sur le CAG (Voie 1)</i>	104
<i>IV-4-2- Oxydation Fenton → Coagulation-Floculation → Adsorption sur le CAG (Voie 2)</i>	104
<i>IV-4-3- Caractéristiques des Lixiviats Après Traitement</i>	106
<i>IV-4-4- Discussions et Conclusions</i>	107
<i>Conclusion générale</i>	108
<i>Références bibliographiques</i>	111
<i>Annexe</i>	114

Liste des tableaux

1^{er} Partie

Tableau I-1 : Classification des déchets.....	6
Tableau I-2 : Avantages et inconvénients des différents types de traitements.....	11
Tableau I-3 : Nuisances et impacts.....	14
Tableau I-4 : Estimation de la quantité des ordures ménagères de la wilaya d'Alger	16
Tableau I-5 : Estimation de la quantité des déchets assimilables aux ordures ménagères.....	16
Tableau I-6 : Estimation de la quantité totale des déchets urbains.....	25
Tableau I-7 : Evolution de la composition des ordures ménagères de la ville d'Alger.....	34
Tableau II-1 : Composition des lixiviats en fonction de leur évolution.....	36
Tableau III-1 : Avantages et inconvénients des différents procédés.....	37
Tableau III-2 : Valeurs limites des lixiviats avant leur rejet dans le milieu naturel.....	46
Tableau III-3 : Classification des lixiviats.....	48
Tableau IV -1 : Comparaison entre la physisorption et chimisorption.....	53
Tableau IV-2 : les caractéristiques physiques des charbons actifs.....	53
Tableau V-1 : l'évolution des principaux métaux.....	63
Tableau V-2 : Groupes de polluants en fonction de leur possibilité d'atténuation.....	63
Tableau VI-2 : Types de déchets admissibles et interdits Dans le CET de Ouled Fayet.....	64
Tableau VI-3 : Quantité des déchets reçus au niveau du C.E.T d'Ouled Fayet pour chaque casier.....	64
Tableau VI-4: Etat de déversement au niveau du CET de Ouled Fayet durant le 1er Trimestre 2010.....	79
Tableau VI-5 : Exploitation des casiers d'enfouissement du CET d'Ouled Fayet.....	80

2^{eme} Partie

Tableau III-1 : Méthodes d'analyses pour chaque élément.....	81
Tableau III-2 : Teneurs des différents paramètres caractérisant les lixiviats (Point de prélèvement P1 (casier 1)).....	82
Tableau III-3 : Teneurs des différents paramètres caractérisant les lixiviats (Point de prélèvement P3 (casiers 2, 3 et 4)).....	83
Tableau III-4: Teneurs des différents paramètres caractérisant les lixiviats (Point de prélèvement P2 (casier 5)).....	86
Tableau III-5 : Teneurs moyennes des différents paramètres caractérisant les lixiviats des points de prélèvement P1 et P2.....	94
Tableau III-6 : Teneurs moyennes des différents paramètres caractérisant les lixiviats des points de prélèvement P3 et P4.....	98
Tableau III-7: Evolution du pH des lixiviats en fonction du temps (où t est en année).....	101
Tableau IV-1 : Résultats de la caractérisation des lixiviats après traitement par coagulation-floculation	
Tableau IV-2 : Résultat de traitement par Fenton.....	106
Tableau IV-3 : Résultat des traitements combinés.....	106
Tableau IV-4 : Résultat du traitement tertiaire.....	106

Liste des figures

1^{er} Partie

Figure II-1 : Principales composantes du bilan hydrique dans une décharge.....	22
Figure IV-1 : Stabilité d'une suspension colloïdale.....	39
Figure IV-2 : Théorie de la double couche.....	40
Figure IV-3 : Représentation schématique du phénomène d'adsorption.....	46
Figure IV-4 : Structure chimique du charbon actif et représentation schématique de sa structure poreuse..	47
Figure VI-1 : L'état de la Décharge avant 1998.....	57
Figure VI-2 : L'état de la Décharge après 2002. (Casier d'enfouissement technique).....	58
Figure VI-3 : Schéma Représentatif de Centre d'enfouissement Technique d'Ouled Fayet.....	58
Figure VI-4 : Système de confinement avec drainage des déchets solides.....	59
Figure VI-5 : Structure d'une minérale d'étanchéité. (KITTELBERGER, 1995).....	60
Figure VI-6 : Carte simplifiée de la localisation des points de contrôle des eaux (EDIL, 1999).....	61
Figure VI-7 : Carte schématique à travers l'OUED intermittent. (EDIL, Juillet 1999).....	62
Figure VI-8 : Schéma Représentatif d'un casier d'enfouissement technique.....	66
Figure VI-9 : Constituant du casier N°4 : géomembrane, géotextile et gravier roulé en dernier.....	67
Figure VI-10 : Mise et soudure de la Géomembrane.....	68
Figure VI-11 : Conduite de drainage des lixiviats.....	69
Figure VI-12 : Tube de drainage.....	69
Figure VI-13 : Géotextile.....	70
Figure VI-14 : La couche de gravier.....	70
Figure VI-15 : Système de récupération de BIOGAZ sans traitement, Ouled Fayet	71
Figure VI-16 : Refoulement de lixiviats vers l'extérieur au niveau du cheminé de récupération des Biogaz du Casier N° 1, Ouled Fayet.....	72
Figure VI-17 : Le bassin de décantation de lixiviats.....	73
Figure VI-18 : Canal de réception de lixiviats.....	74
Figure VI-19 : Canal d'évacuation de lixiviats vers l'Oued Ben Brahem.....	78
Figure VI-20 : Réceptacle finale de lixiviats vers l'Oued Ben Brahem.....	78
Figure VI-21 : Terrain cultivé en aval du CET d'Ouled Fayet.....	78

2^{eme} Partie

Figure II-1 : Points de prélèvement des lixiviats.....	78
Figure II-2 : Vue du drain des biogaz au point de prélèvement P1.....	78
Figure II-3 : Vue du bassin de collection des lixiviats du casier 5 au point de prélèvement P2.....	78
Figure II-4 : Vue du lixiviat au point de prélèvement P3.....	78
Figure II-5 : Vue du lixiviat au point de prélèvement P4.....	79
Figure IV-1 : Optimisation de la dose du coagulant.....	93
Figure IV-2 : Optimisation du pH de la coagulation.....	94
Figure IV-3 : Abattement de la DCO en fonction des doses du réactif et catalyseur à pH=3.....	96
Figure IV-4 : Optimisation de la dose du catalyseur (pH=3).....	97
Figure IV-5 : Optimisation du pH de Fenton.....	97
Figure IV-6 : Optimisation du temps de Fenton.....	98
Figure IV-7 : Traitement par le procédé Coagulation-Floculation suivi par le procédé Fenton.....	100
Figure IV-8 : Traitement par le procédé Fenton suivi par coagulation-floculation.....	101
Figure IV-9 : Optimisation de la concentration du charbon actif en grain (voie 1).....	103
Figure IV-10 : Traitement par la voie1.....	104

Figure IV-11 : Optimisation de la concentration du charbon actif en grain (voie 2).....	105
Figure IV-12 : Traitement par la voie2.....	105
Figure IV-13 : Dégradation de la couleur après chaque étape de traitement.....	106

Liste des abréviations

CET : Centre d'enfouissement technique

CSD : Centre de stockage des déchets

PEHD : Polyéthylène haute densité

AGV : Acides gras volatils

MES : Matières en suspension

MVS : Matières volatiles sèches

MO : Matières organiques

MM : Matières Minérales

DCO : Demande chimique en oxygène

DCO_i : Demande chimique en oxygène initiale

DCO_f : Demande Chimique en oxygène finale

DBO₅ : Demande biologique en oxygène au bout de 5 jours

pH : potentiel hydrogène

NTK : Azote total kjeldahl

PED : Pays en développement

PCI : Pouvoir calorifique supérieur

ETR : Evapotranspiration

CAG : Charbon actif en grain

CAP : Charbon actif en poudre

SAA : Spectroscopie d'absorption atomique

Temp. : Température

Conduc. : Conductivité

UV-Vis : Ultraviolet-visible

Introduction générale

Les accroissements démographiques, économiques et urbains sont à l'origine de différentes sources de pollution environnementale, et ce, en particulier dans les pays en développement (PED), moins préoccupés, moins sensibilisés et moins aptes à faire face aux risques sanitaires concomitants.

D'après les estimations du dernier recensement (Avril 2008), l'Algérie compterait plus de 36 millions d'habitants, le triple de ce qu'il en était au lendemain de l'indépendance. Cependant ce chiffre ne reflète pas une répartition hétérogène : on estime que 96% de la population vit sur 17% du territoire essentiellement dans le nord du pays et dans les villes [1].

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^{er} 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[2].

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. Comme toute activité industrielle, l'exploitation des C.E.T 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) [3]. 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 [4].

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, 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 [5].

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 [4], 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 combinaison de trois traitements : la coagulation-floculation, l'oxydation avancée de fenton et l'adsorption sur charbon actif en grain, 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, et leurs différentes techniques de traitement, ainsi que la description et l'Exploitation du CET d'Ouled Fayet

✚ 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 coagulation-floculation et l'oxydation fenton en essayant d'optimiser la dépollution par le biais de plusieurs paramètres et aussi en combinant ceux-ci avec l'adsorption sur charbon actif en grain. Enfin, la dernière partie consiste à exploiter les résultats obtenus et les comparés aux normes législatives Algérienne.

Chapitre I

Les déchets et leurs gestion

I-1- Définition des déchets :

Les déchets sont des matières normalement solides ou semi-solides résultant des activités humaines et animales qui sont indésirables ou dangereuses La Loi N°01-19 du 12/12/2001 relative à la gestion, au contrôle et à l'élimination des déchets arrête (officiellement) les définitions des différents types de déchets comme suit

Déchets : tout résidu d'un processus de production, de transformation ou d'utilisation et plus généralement toute substance, ou produit et tout bien meuble dont le propriétaire ou le détenteur se défait, projette de se défaire, ou dont il a l'obligation de se défaire ou de l'éliminer.

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.

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.

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.

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.

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.

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. [6]

I-2- Nature et origines des déchets :

Les déchets se distinguent soit par leur nature, c'est-à-dire la nature du matériau, ou par leur origine, c'est-à-dire l'activité génératrice de déchet [7] et [8].

I-2-1- Selon La nature des déchets :

Selon la nature des déchets on distingue quatre grandes classes:

a. Classe I : les déchets inertes :

Sans odeur, non fermentescibles, non toxiques, ils ne présentent pas de risque pour l'homme et son environnement. On y trouve notamment : déblais, gravats, etc....

b. Classe II : les déchets ménagers et assimilés :

Ils comprennent les déchets des ménages et les déchets industriels banals (DIB) des entreprises. Non toxiques eux aussi, ils représentent certaines caractéristiques de fermentescibilité. Ce type de déchets (contenant les ordures ménagères et les ordures assimilables) est acheminé vers les Centres d'Enfouissement Technique (tel que le site d'Ouled Fayet).

c. Classe III : les déchets spéciaux :

Contenant des éléments nocifs en plus ou moins grande quantité, ils présentent de grands risques pour l'environnement et doivent être éliminés avec des précautions particulières. En plus des grandes quantités produites par les petites et moyennes entreprises (PME), certaines quantités de ces déchets sont aussi produites par les ménages. Ce sont par exemple des solvants, peintures, acides,...etc. Les déchets radioactifs issus pour la plupart des hôpitaux et des centres d'imagerie sont aussi considérés comme des déchets spéciaux.

d. Classe IV : les déchets ultimes :

Ce sont des déchets qui ne peuvent plus faire l'objet d'une valorisation. (Loi Française du 13 juillet 1992).

I-2-2- Selon L'origine des déchets :

La différenciation des déchets, de par leur origine, permet de localiser le producteur des déchets, d'identifier le responsable de leur élimination et de connaître les types de collecte et de traitement qui y sont associés.

I-3- Classification des déchets :

Le but d'une classification peut être [9]:

- + **D'ordre technique** : afin de maîtriser les problèmes de transport, de stockage intermédiaire, de traitement et d'élimination finale ;
- + **D'ordre financier** : pour appliquer le principe du pollueur-payeur, tri entre les communes et entreprises qui ont assuré le financement ;
- + **D'ordre légal** : pour cerner la responsabilité causale relative à des questions de sécurité des populations ou de protection de l'environnement.

Nous donnons, dans le tableau I-1, les diverses possibilités de classification des déchets, nous présentons pour chaque cas des exemples caractéristiques [10] :

Tableau I-1 : Classification des déchets.

Classification selon l'état physique	Déchets solides : ordures ménagères, déchets des métaux, déchets inertes de caoutchouc et plastique, pailles...etc.
	Boue : boues de stations de traitement des eaux résiduaires, boues d'origines diverses (de traitement de surface, d'hydrocarbures, de peinture)
	Déchets liquides ou pâteux : goudrons, huiles usagées, solutions résiduaires, divers,.....etc.
	Déchets gazeux : CO ₂ , CH ₄etc.
Classification selon la nature chimique	Déchets acides : solutions résiduaires, acides divers (HCl, H ₂ SO ₄ HNO ₃), acides organiques, acides à l'état de gaz.
	Déchets basiques : soude et potasse résiduaires, liqueurs ammoniacales, chaux résiduaires
	Sels résiduaires : sulfate de calcium, carbonate de calcium, sulfate ferreux.
	Métaux : ferraille, carcasses de véhicules, déchets de métaux précieux Câbles.....etc.
	Déchets organiques : solvants usés, huiles usagées, boues d'hydrocarbures, liqueurs résiduaires, phénols....
	Déchets polymériques : déchets de caoutchouc et de plastique.
Classification par source de production	Déchets provenant de secteurs secondaires comme les déchets industriels toxiques et dangereux.
	Déchets industriels spécifiques : laitiers, scories.
	Déchets assimilables aux ordures ménagères : emballage, chiffon, balayures
	Déchets provenant de la distribution et des activités de service : déchets de commerce alimentaire, déchets des hôpitaux.

	<p>Déchets provenant du secteur primaire : déchets agricoles, déchets d'élevage, déchets végétaux, déchets des industries extractives, déchets des mines (stérile de charbon), déchets de carrières (calcaire, l'ardoise, marbre, argiles,.....).</p>
	<p>-Déchets provenant du traitement des effluents liquides gazeux : boue de traitement des influents liquides....</p>

I-4- Caractéristiques des déchets solides urbains :

La caractérisation des déchets urbains est le premier acte à faire en vue d'une gestion efficace de celle-ci.

- Les principaux critères à prendre en compte pour la collecte et le transport sont [9].

I-4-1- La consistance (solide, liquide ou pâteuse) : elle permet de déterminer s'il est nécessaire de prévoir des systèmes de transport étanches ;

I-4-2- 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 [9].

I-4-3- La densité : Elle met en évidence la relation qui existe entre le poids des ordures ménagères et le volume qu'elles occupent. Les ordures sont compressibles et leur densité varie au cours des différentes opérations qu'elles subissent du lieu de production, au lieu d'élimination.

Elle varie généralement suivant les pays et le mode de consommation entre 0,12 à 0,40 kg/m³.

En ce qui concerne les villes algériennes, on l'estime à des valeurs comprises entre 0,22 et 0,3 kg/m³. Elle s'élève à 0,35 lorsque les ordures sont entassées dans les véhicules traditionnels (bennes basculantes, tracteurs agricoles...).

Elle retombe entre 0,28 et 0,32 kg/m³ après enfouissement en fosse [11 et 12].

- Pour le choix de procédés de traitement, les paramètres à prendre en compte sont les suivants [13]:

I-4-4- Le 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 [9].

Cette quantité d'eau varie considérablement avec la proportion des constituants, des composants, du lieu géographique et de la saison dans laquelle on se trouve. Cette variabilité de la teneur en eau est généralement entre 25 et 60 % [9].

Les ordures algériennes ont un taux d'humidité moyen estimé à 60%. Cette valeur augmente sensiblement à la saison d'abondance des fruits [12].

Selon une étude récente (EEC-EDIL) [14] sur les ordures ménagères de la ville d'Alger, le taux d'humidité est de 49% mais le Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'environnement l'estime toujours entre 60 et 62% [19], l'eau a une influence sur le pouvoir calorifique des ordures ménagères et la rapidité de décomposition des matières organiques qu'elles renferment.

I-4-5- Le pouvoir calorifique (PC) :

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 [13].

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 [11] et [12].

La connaissance des deux paramètres qui sont l'humidité et le PCI est essentielle pour le choix du mode de traitement, incinération ou compostage. L'incinération n'est pas recommandable lorsque le PCI est inférieur à 7200 KJ/Kg, quand au compostage, il est possible pour un taux d'humidité compris entre 45% et 65% ($H_u > 50\%$) et il est pratiqué tant que l'humidité est inférieur à 70% [12].

I-4-6- Le rapport carbone/azote (C/N) :

Le rapport carbone/azote permet d'apprécier aussi bien l'aptitude des ordures au compostage que la qualité du compost obtenu. Un compost est valable à partir d'ordures ménagères ayant un rapport C/N ≤ 35 au départ. C'est dans cette zone que les microorganismes trouvent exactement la proportion de carbone et d'azote nécessaire à leur croissance [13].

Le rapport C/N du compost obtenu de ces ordures au terme d'une fermentation aérobie bien contrôlée oscille entre 18 et 20. Pour l'Algérie, le compost obtenu a un rapport C/N ≥ 15 [12].

I-5- Différents modes d'élimination et de traitement des déchets solides et urbains : [12]

Les déchets solides urbains, et essentiellement les ordures ménagères sont sources de nuisances (dégradation des paysages, fumées, danger pour la santé publique entraînés par la pollution des cours d'eau et des nappes souterraines ainsi que par la prolifération des germes pathogènes) .Que pourra t-on faire ? Comment s'en débarrasser ?

Plusieurs procédés peuvent être mis en œuvre à cette fin. Les plus classiques sont [11] et [12] :

I-5-1-La mise en décharge :

La mise en décharge est le procédé le plus largement utilisé pour les ordures ménagères et même pour certains déchets industriels, ce procédé permet certaines valorisations : récupération du gaz des décharges, récupération de terrains pour aménagements divers. Le seul procédé que l'on puisse recommander est la mise en décharge contrôlée.

a. La décharge contrôlée :

Ce type de décharge obéit à un certain nombre de règles où toutes les précautions sont prises pour éviter toutes les nuisances engendrées par la mise en décharge. La décharge contrôlée est plus préconisée.

Les règles de la méthode de la décharge contrôlée visent à obtenir la fermentation aérobie des matières organiques, les déchets y sont déposés selon des techniques bien maîtrisées et le site doit pouvoir être récupéré en fin d'exploitation pour d'autres usages.

b. Principe de la mise en décharge contrôlée [13] :

Les résidus sont répandus par couches successives d'épaisseur modérée, (environ 2 mètres), toute nouvelle couche n'est déposée que lorsque la température de la couche précédente résultant de la fermentation s'est abaissée à la température du sol naturel.

Les couches sont exactement nivelées et limitées par des talus réglés et peu inclinés pour que les ordures ne soient pas remises au jour par les pluies.

Le dépôt doit être suffisamment compact pour éviter les vides importants favorisant les risques d'incendie, sans excès toutefois afin de ne pas s'opposer au passage de l'air nécessaire à la fermentation aérobie.

I-5-2- Le compostage : [11,15 et 16]

Le compostage est défini comme une bio-oxydation des matières organiques, présentes dans les déchets, provoquée par des micro-organismes indigènes en conditions contrôlées. En effet, dès que les conditions physico-chimiques (aération, humidité, température) le permettent, les micro-organismes constituent une flore complexe (bactéries, levures, champignons, etc.), qui se met en activité rapidement. Cette activité se traduit par une dégradation microbienne aérobie de la matière organique solide générant une chaleur intense responsable de la phase thermophile (élévation de la température des déchets à 70°C en moyenne).

La montée de la température et la compétition microbienne permettent une hygiénisation du produit composté par une destruction des micro-organismes pathogènes et exercent une sélection sur la diversité microbiologique du compostage.

I-5-3-L'incinération :

L'incinération est un traitement thermique des déchets urbains ou industriels qui parfois sert en même temps à produire de l'énergie (vapeur utilisable dans un réseau de chaleur, ou le plus souvent l'électricité), basé sur la combustion avec excès d'air (oxygène). Ce traitement permet de réduire la masse des déchets de 70 % et leur volume de 90 % [17].

Ce mode est appliqué à des ordures ayant un PCI élevé (PCI >7200KJ/Kg) dû à la présence d'une forte proportion de papiers cartons, plastiques, etc....et une teneur en eau relativement faible (Hu<50%) [12]. 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 [11]et [18].

Dans le tableau I-2 nous résumons les avantages et inconvénients des différents types de traitements des déchets urbains.

Tableau I-2 : Avantages et inconvénients des différents types de traitements [14]

Système de traitement	Contraintes et conditions d'entretien	Avantages	Inconvénients
Décharge contrôlée	<ul style="list-style-type: none"> -Site convenable. -Nécessite une mise en oeuvre soignée -Importante quantité de matériaux de couverture -Matériel adéquate (compacteur 	<ul style="list-style-type: none"> -Procédé de traitement autonome. -Grande souplesse d'adaptation. -Coût faible. 	<ul style="list-style-type: none"> -Choix d'un site convenable. -Nécessité d'une exploitation rigoureuse. -Solution temporaire

	épandeur)	-Meilleur emploi du volume du site.	(capacité du site).
Compostage	-Existence d'un marché. -Quantité de déchets minimum 30T/j.		-Coût élevé à l'investissement. -Nécessite l'élimination des refus de traitement en décharge contrôlée. -Absence de souplesse d'adaptation aux quantités traitées.
Incinération	-Taux d'humidité faible (<50%). -Installation d'un incinérateur. -Quantité de déchet minimum 200T/J. -Personnel qualifié.	-Réduction importante du volume des déchets (de plus de 90 %) → cendre. -Récupération d'énergie (sous forme de production d'électricité). -Espace d'exploitation réduit.	-Pollution atmosphérique.

I-6- Récupération- Recyclage- Valorisation [13] et [15] :

La récupération, le recyclage et la valorisation de certains déchets s'avèrent nécessaires et servent à la protection de l'environnement puisqu'ils tendent à diminuer les quantités de déchets à stocker qui sont une source de pollution de l'air, des sols et des eaux souterraines.

I-6-1 Récupération [15]:

La récupération et l'opération de séparation d'un ou plusieurs composants d'un déchet à des fins de commercialisation ou de réutilisation. La vente des produits récupérés constitue le plus souvent l'objectif visé par les entreprises de récupération.

Les substances pouvant être récupérées sont les suivantes :

- Les métaux ferreux et non ferreux
- Les papiers
- Les textiles

- Les verres
- Les caoutchoucs
- Les matières plastiques
- Le bois

I-6-2 Recyclage - Valorisation [11, 13,15 et 19] :

Cette opération consiste à créer des débouchés pour des produits faisant l'objet d'une récupération, soit en les recyclant, soit en leur faisant subir des transformations qui en feront un ou plusieurs produits commercialisables et ayant des débouchés plus faciles.

En Algérie il y a possibilité de récupérer 760.000 tonnes/an [19] :

- + 385.000 tonnes/an de papier,
- + 130.000 tonnes/an de plastique,
- + 50.000 tonnes/an de verre,
- + 95.000 tonnes/an de matières diverses.

La valorisation de cette quantité de déchets correspondrait à un gain de 3,5 Milliards DA.

- **Le procédé de récupération des déchets plastiques** : les matières sont broyées, lavées et séparées selon chaque type puis régénérées en granulés.

- **Le procédé de recyclage du papier-carton** : le vieux papier est nettoyé pour enlever les couleurs et les salissures et autres objets étrangers. Lors de la fabrication du papier recyclé 50 % en moyenne de la matière première utilisée est composée de vieux papier.

- **Le procédé de recyclage du verre** : Dans l'industrie de verre, les matières de base, le sable, la soude et la chaux consomment une grande quantité d'énergie lors de la fusion. En revanche, lors de la fusion du verre récupéré, les besoins en énergie sont moindres. Le verre est broyé et séparé des morceaux de métaux, puis les corps étrangers sont triés et enlevés.

I-7-Différent types de pollutions engendrées par la décharge : [15]

Au niveau d'une décharge d'ordures, trois types de pollution peuvent avoir lieu :

I-7-1-La pollution chimique :

Cette pollution résulte de produits indésirables dans les eaux de lessivage. La nappe d'eau souterraine et le sol sont susceptibles d'être pollués principalement par les ions Na^+ , K^+ , NH_4^+ , Cl^- , Fe^{2+} , ou Mn^{2+} , résultant de la dégradation des résidus urbains.

Par contre, les métaux hautement toxiques et les hydrocarbures sont habituellement rares ou absents, si on ne met en décharge que les ordures ménagères proprement dites ou les déchets assimilables aux ordures ménagères.

I-7-2-La pollution bactériologique :

Cette pollution résulte des micro-organismes qui se développent dans la décharge et qui peuvent être entraînés par infiltration du lixiviats.

I-7-3-La pollution atmosphérique :

Lors de la dégradation des matières organiques par voie anaérobie, il y a production d'acides organiques qui se décomposent à leur tour en gaz carbonique et méthane, ce sont ces dégagements de gaz et autres vapeurs nauséabondes qui caractérisent la pollution atmosphérique.

I-8- Nuisances pour l'environnement [20] :

Le tableau I-3 ci-dessous résume les principales nuisances pour l'environnement.

Tableau I-3 : Nuisances et impacts

Nature des nuisances	Origines	Impacts
Envois	Papiers et plastiques, feuilles, textiles	Pollution du milieu naturel, atteintes au paysage
Odeurs	Déchets, fermentation, biogaz	Désagréments pour le personnel et les riverains
Poussières	Circulation des véhicules et engins	Désagréments pour le personnel et les riverains
Animaux	Attrait nutritif des déchets	Transport de maladies, gêne pour l'aviation, atteinte à la chaîne alimentaire
Incendies et explosion	Imprudences, déchets incandescents, Accumulation de biogaz	Danger pour le personnel, nuisances olfactives
Bruit	Circulation d'engins	Désagréments pour le personnel et les riverains

Défrichement déboisement	Implantation d'une installation de Stockage	Appauvrissement paysager, gêne visuel
Pollution des sols et des eaux	Infiltration du lixiviat	Dégradation milieu naturel Vecteur de maladie
Effet de serre	Biogaz non capté	Modification du climat, pathologie des plantes
Risques sanitaires	Toxicité des déchets, organismes Pathogènes	Maladies

I-9- Gestion des déchets urbains et industriels du Grand Alger

Les problèmes en matière de gestion des déchets solides :

Le problème de la gestion des déchets solides est un des problèmes qui gênent le secteur de l'environnement.

En effet, l'urbanisation accélérée, la croissance et la densité démographique dans les villes, ont eu pour conséquence une augmentation importante de ce type de déchets.

Face à cet état de fait, les collectivités locales éprouvent des difficultés à assumer la gestion des déchets solides, cette situation est due essentiellement [21] :

- Au manque de moyens humains et matériels.
- A l'absence d'une stratégie nationale en matière de gestion de déchets solides.
- Au manque de sensibilisation de la population de manière générale.
- A la fermeture depuis 15 ans de l'usine de compostage d'ALGER située à Gue de Constantine.
- A l'arrêt de la majorité des incinérateurs des grands hôpitaux, c'est le cas des deux incinérateurs de l'hôpital de Beni Messous.
- A l'absence de structures techniques spécialisées.
- A l'insuffisance de la réglementation, méconnaissance et non application des textes existants, notamment de la loi 83-03 du 05/02/1983 relative à la protection de l'environnement et le décret 84 -378 du 16/12/84 fixant les conditions de nettoyage, d'enlèvement et de traitement des déchets solides .

- Les insuffisances et les lacunes constatées dans la gestion des déchets urbains ont engendré la prolifération des décharges sauvages sur l'ensemble du territoire national où les usagers viennent déposer leurs déchets sans aucun contrôle, y compris les déchets industriels toxiques et hospitaliers.

I-10- Composition et évolution de la quantité des déchets dans la wilaya d'Alger :

Il existe plusieurs types de déchets, générés par les communes du grand Alger [21].

a) Les ordures ménagères (OMS): ce sont des déchets provenant des ménages et ceux de l'industrie ou artisans ayant des caractéristiques voisines des ordures ménagères pouvant être collectées par les services de ramassage dans des récipients prévus à cet effet, ils comprennent :

- Les déchets provenant des habitations, des collectivités telles que les cantines, casernes,...
- Les déchets encombrants : ce sont des déchets volumineux et d'origine domestique tels que; les vieux meubles, appareils électroménagers détériorés,...
- Les déchets provenant du nettoyage des voies publiques, des places de marchés et les déchets des écoles.

b) Les déchets assimilés : ce sont des déchets provenant de quelques unités industrielles et d'artisans, qui peuvent être assimilés à des déchets ménagers tel que :

- papier, bois, emballages et chiffons.

c) Les déchets dangereux : les camions de collectes des communes concernés passent par les centres sanitaires et les hôpitaux, ce qui explique la présence des déchets dangereux sur la décharge tels que ; seringues usées, pansement, médicaments périmés,...

Afin de mieux situer la composition et l'évolution des déchets de la ville d'Alger, nous avons résumé certaines données dans les tableaux suivants [22]:

I-10-1- Evaluation de la quantité des déchets dans la wilaya d'Alger :

Le tableau I-6 donne une estimation de la quantité de déchets au niveau de la Wilaya d'Alger [22]:

Tableau I-4: Estimation de la quantité totale des déchets urbains

<i>Année</i>	1994	2005	2010	2020
Population totale (millions de personnes)	26,7	34,8	38,0	44,3
Population agglomérée (millions de personnes)	19,0	24,4	26,6	26,6
Taux de génération de déchets (kg/habitant/an)	0,8	0,9	1,0	1,2

Production des déchets (millions de tonnes/an)	5,3	8,0	9,7	13,6
Taux de collecte (%)	80	80	80	80
Quantité de déchets déposés en décharges publiques (millions de tonnes/an)	4,2	6,4	7,8	10,9

I-10-2- Composition des déchets dans la Wilaya d'Alger [22] :

En Algérie, seules les quelques analyses de composition ont été effectuées, le tableau nous donne l'évolution de la composition des ordures ménagères de la ville d'Alger

Tableau I-5 : Evolution de la composition des ordures ménagères de la ville d'Alger [22]

Année	Matière organique (%)	Matière plastique (%)	Papiers et cartons (%)	Métaux (%)	Autres (%)	Source
1983	76	2	17	1,7	2,3	Robert gillet OMS Algerie
1991	71	6	8	0,6	14,4	Robert gillet OMS Algerie
1995	67	7	11	1,2	14,8	Robert gillet OMS Algerie
2008	70	10	8	4	8	PNUD-Guide

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 lixiviats.

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

Chapitre II

Les lixiviats

II-1- Définition : Le lixiviat est le liquide résiduel provenant de la percolation des eaux à travers les déchets. Il est chargé en polluants (organiques, minéraux, métalliques) par extraction des composés solubles des déchets. Ces eaux proviennent des précipitations, du ruissellement ou des déchets eux-mêmes. Sa composition et son volume sont difficiles à déterminer car la décharge constitue un réacteur complexe évoluant spontanément. Les mécanismes de formation des lixiviats sont très complexes. Les déchets enfouis servent de substrat aux micro-organismes (bactéries, levures, champignons) dont l'activité a des effets directs sur les conditions physico-chimiques du milieu (pH, potentiel redox) ou peuvent déclencher des phénomènes physico-chimiques secondaires (dissolution, précipitation). En retour, ces mécanismes biologiques se trouvent sous la dépendance des paramètres physico-chimiques du milieu [26].

II-2-Formation et composition des lixiviats : Trois sources d'eau contribuent à la formation de lixiviats :

- ✚ L'eau initialement contenue dans les déchets lors de leur mise en décharge.
- ✚ L'eau produite lors de la décomposition de la matière organique. Cette quantité d'eau s'étale sur plusieurs années, est fonction, notamment, de la composition et de la masse de déchets. Ce mécanisme est très dynamique.
- ✚ L'eau infiltrée au travers la couche de recouvrement lors d'épisodes pluvieux. Cette eau constitue la principale source de lixiviats rencontrée. La pluviométrie se transforme principalement en eau d'infiltration ou de ruissellement, la prépondérance de l'une par rapport à l'autre étant fonction de l'intensité de la pluie, de la topographie et de la pente du terrain, et de la nature de la végétation. Les déchets entreposés sur de longues années réagissent entre eux de manière complexe sous l'activité des agents atmosphériques (la pluie en particulier) et des micro-organismes [25].

II-3- Différents paramètres influant sur les lixiviats

II-3-1- Influence du climat et de l'hydrogéologie sur le lixiviat :

Dans la pratique, il a été remarqué que d'une région à l'autre, les conditions météorologiques, notamment la pluviométrie et l'évapotranspiration, peuvent varier du simple au double : quant à l'hydrogéologie autre facteur d'influence sur la quantité d'eau entrant et sortant de la décharge ; elle agit par deux moyens différents :

- ✚ L'hydrologie de surface se rapportant à l'influence des cours d'eau et du ruissellement sur le site.

✚ L'hydrogéologie de surface se rapportant plutôt à l'influence des systèmes aquifères et leurs mouvements dans le sol et aux alentours du site. Si les principaux facteurs d'influence sur la quantité de l'eau entrante ou sortante de la décharge sont effectivement : Le climat, l'hydrologie de surface et l'hydrogéologie, ces trois paramètres sont aussi important quant à la composition et à la concentration du lixiviat. En effet, l'eau provenant de l'une de ces sources et s'infiltrant au sein de la décharge, permet à la fois, la solubilisation plus ou moins complète des éléments solubles et l'entraînement mécanique des substances insolubles dans le lixiviat final [27].

II-3-2 Influence de la surface d'exploitation et de la hauteur des déchets sur les lixiviats :

Plus la surface d'exploitation est importante, plus l'influence de la pluviométrie se fait sentir. De plus, plus longtemps cette exploitation durera et plus longtemps elle sera exposée à l'influence des précipitations. Parallèlement, la hauteur des déchets dans une décharge peut influencer sur la quantité de lixiviats produites. En général, les décharges plus profondes absorbent plus d'eau avant la lixiviation mais produisent aussi des lixiviats sur une plus longue période de temps que les décharges moins profondes de surface similaire. De même, une grande hauteur de déchets permet d'atténuer l'influence des fluctuations climatiques extérieures sur la température interne de la décharge. En effet, une décharge profonde ou une hauteur de déchets importante se comporte comme une masse calorifugée ce qui permet de maintenir la température du milieu dans les limites compatibles avec le développement de certaines bactéries régissant la biodégradation (méthanogènes). Par contre, les phénomènes anaérobies deviennent prépondérants, si la hauteur des déchets est importante, car la pénétration de l'oxygène atmosphérique au sein de la décharge devient difficile. La dégradation des déchets sera plus lente, le processus anaérobie étant plus lent que le processus aérobie [27].

II-3-3- Influence du compactage sur les lixiviats :

Si le compactage présente certains avantages dans l'exploitation d'une décharge, il n'en est pas de même, en ce qui concerne la décomposition des déchets. En effet un compactage important diminue la surface d'échange entre les déchets et les bactéries et ralentit alors la décomposition des déchets rallongeant ainsi la durée de vie du flux potentiel des polluants contenus dans les lixiviats [25].

II-3-4- Influence de la couverture sur les lixiviats :

La couverture finale d'une décharge constitue un écran plus ou moins imperméable à la pénétration des eaux météorologiques. La constitution même des différentes couches qui la composent et le choix des

matériaux revêtent donc une grande importance pour répondre aux objectifs fixés. Nous pouvons citer comme autres paramètres influant sur les lixiviats :

- + La composition des déchets enfouis.
- + Le bilan hydrique.
- + Le mode de l'exploitation de la décharge.
- + L'âge de la décharge.

II-4- Quantité des lixiviats/ bilan hydrique [26] :

L'établissement du bilan d'eau d'une décharge est une opération complexe qui nécessiterait que chaque cas fasse l'objet d'une étude détaillée. En effet le nombre et la variété des facteurs qui influencent le bilan, et en particulier la quantité d'eau de percolation, rendent très délicate toute globalisation. Les facteurs qui ont une influence notable sur le volume des lixiviats sont :

- + La nature des déchets enfouis.
- + Les techniques d'exploitation.
- + Les conditions climatiques. Les propriétés géologiques du site interviennent dans la mesure où une partie des eaux peut s'infiltrer au lieu de s'écouler à l'extérieur, en fonction de la perméabilité du substratum. La méthode utilisée afin de calculer le bilan des entrées et des sorties d'eau dans un Centre d'Enfouissement Technique est celle du bilan hydrique. En général huit composantes du bilan hydrique (entrées et sortie d'eau) peuvent être définies sur un site de Centre d'Enfouissement Technique : L'équation de base du bilan hydrique peut s'écrire [26] :

$$E = P + ED - I - ETR + R_{ext} - R_{int} \pm \Delta ED$$

Avec: E: Quantité d'effluents pouvant être produite. P : Quantité d'eau pluviale tombant sur le site. ED : Eau de constitution des déchets. ETR : Evapotranspiration réelle. I : Eaux d'infiltration. R_{ext} : Quantité d'eau ruisselant de l'extérieur du site vers les fosses de collecte des eaux de ruissellement. R_{int} : Quantité d'eau ruisselant de l'intérieur du site vers l'extérieur. ΔED : Variation de la teneur en eau de déchets dans la décharge. Pluviométrie (P) : Il s'agit du terme principal en ce qui concerne les apports d'eau sur le site.

Dans les calculs il est possible de considérer, dans un premier temps, les valeurs de la pluviométrie moyenne qui serviront au dimensionnement des ouvrages (casiers, bassins), puis dans un second temps, les valeurs correspondant aux pluies annuelles (année la plus pluvieuse et année la plus sèche) pour observer

l'amplitude de leur influence sur l'exploitation du site. Eau des déchets (ED) : Les déchets enfouis peuvent être plus ou moins humides. Infiltration (I) : Une infiltration peut se produire dans le fond du site. Ruissellement (Rint) : Le ruissellement de l'intérieur vers l'extérieur du site est supposé en principe négligeable en raison de la digue périphérique délimitant les casiers d'exploitation. Un drain placé contre cette digue, coté déchet, doit permettre de diriger les eaux de percolation vers le point le plus bas. Les éventuels ruissellements à prendre en compte sont ceux qui se produiraient par débordement. Ruissellement (Rext) : d'éventuels apports d'eau de ruissellement de l'extérieur vers l'intérieur du site peuvent survenir si les fossés censés les capter sont inefficaces. Variation de la teneur en eau des déchets (ΔED) : la teneur en eau des déchets peut varier en raison de la pluviométrie reçue sur l'alvéole d'exploitation. Les déchets sont en effet susceptibles, en fonction de leur nature, d'absorber une certaine quantité d'eau. Evapotranspiration réelle (ETR) : présente l'eau du sol perdue par évaporation directe à partir d'une surface donnée et par transpiration végétale [26].

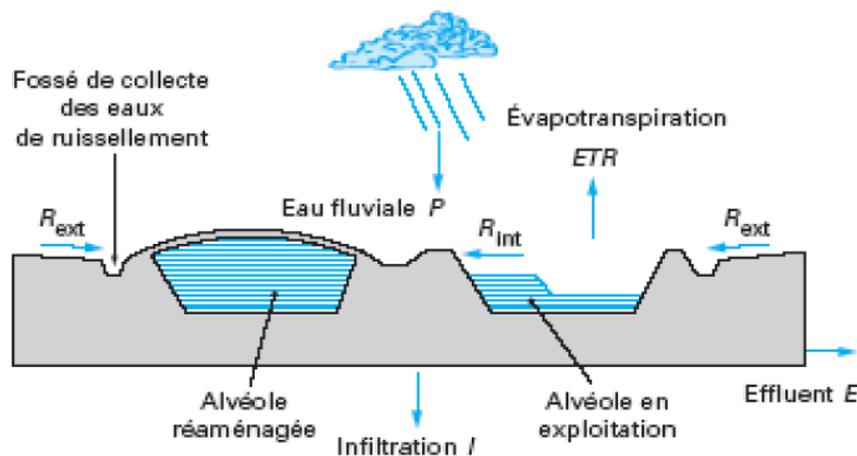


Figure II-1 : Principales composantes du bilan hydrique dans une décharge [26].

Dans des conditions d'exploitation conforme à la réglementation : Le ruissellement (Rext) est faible car il existe des réseaux de drainage de ces eaux externes au site. Le ruissellement (Rint) est également faible lors de l'exploitation du site. Rint est négligeable devant E et P. L'infiltration (I) doit être évitée autant que possible, que le substratum soit étanche naturellement ou non. On peut négliger Rext, Rint, I de sorte que :

$$E = P + ED - ETR \pm \Delta ED$$

II-5- Age des lixiviats : La synthèse des résultats d'analyses sur une trentaine de lixiviats a permis à MILLOT de classer ceux-ci en trois grandes familles [24]:

a. *Lixiviats jeunes* qui présentent :

- + Une charge organique élevée (DCO > 20 g/l).

- ✚ Une biodégradabilité moyenne ($DBO_5/DCO > 0,3$).
- ✚ Un pH de l'ordre de 6,5.
- ✚ Une concentration en acide carboxylique importante qui présente plus de 80% de la charge organique.
- ✚ Une teneur en métaux élevée (jusqu'à 2g/l).
- ✚ Un rapport COT/DCO voisin de 0,3.

b. Lixiviats stabilisés qui présentent :

- ✚ Une charge organique assez faible ($DCO < 2g/l$).
- ✚ Une biodégradabilité très faible ($DBO_5/DCO < 0,1$).
- ✚ Une absence d'acides carboxyliques.
- ✚ Une teneur en métaux faible $< 50mg/l$.
- ✚ Un pH légèrement supérieur à 7,5.
- ✚ Un rapport COT/DCO de l'ordre de 0,4 qui indique la présence de composés difficilement oxydables.

c. Lixiviats intermédiaires : Au cours du temps la composition des percolâts évolue, de celle typique des lixiviats jeunes vers celle des lixiviats stabilisés. Ils présentent notamment :

- ✚ Une charge organique avec une DCO comprise entre 3 et 15 g/l.
- ✚ Une biodégradabilité assez faible (DBO_5/DCO voisin de 0,2).
- ✚ Une concentration en acides carboxyliques représentant 20 à 30% de la charge organique.
- ✚ Un pH voisin de la neutralité. En principe la teneur en métaux baisse avec l'âge de la décharge et le poids moléculaire des constituants des lixiviats à tendance à augmenter [24].

II-6- Évolution du lixiviat au cours du temps (aspect biologique) :

Au début de l'évolution des lixiviats, la température diminue et la teneur en gaz carbonique en augmentant, favorise l'apparition de bactéries anaérobies strictes.

Cette phase présente l'avantage de produire du méthane (biogaz).

La teneur en CH_4 dans le gaz peut varier entre 40 et 60% en volume. La production du méthane peut durer plus d'une dizaine d'années.

En fonction des transformations effectuées par les différentes populations bactériennes anaérobies on peut considérer quatre étapes :

- ✚ L'hydrolyse de la matière organique

- ✚ L'acidogène
- ✚ L'acétogénèse
- ✚ La méthanogène

La figure suivante illustre les diverses étapes de la dégradation anaérobie.

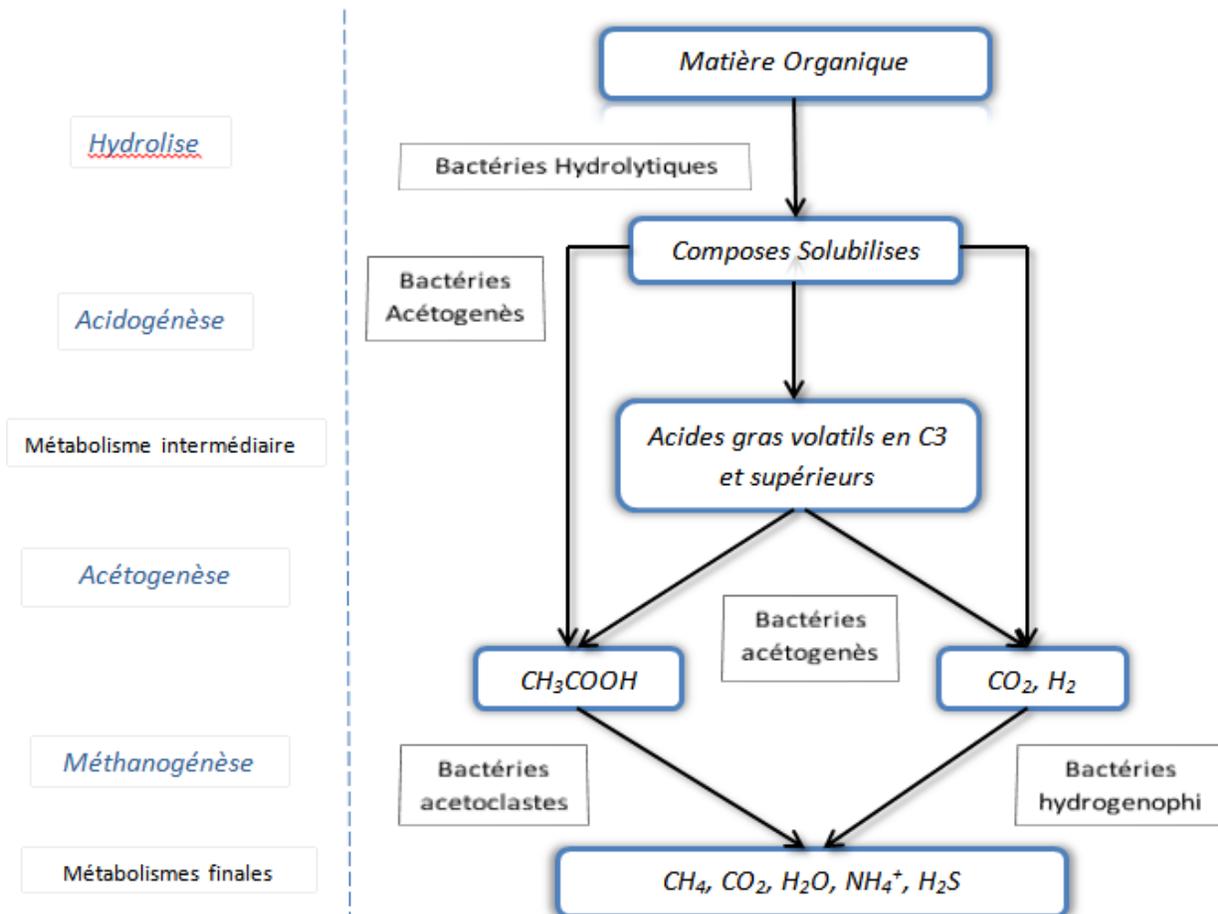


Figure II-2 : Les diverses étapes de la dégradation anaérobie [9].

a- Phase d'hydrolyse :

Au cours de cette phase les longues chaînes des matières organiques sont attaquées, notamment par divers enzymes produits par les bactéries elles mêmes. Le stade final sera un mélange de sucres simples, d'acides amines ou gras solubilisés. Cette phase se déroule en anaérobiose partielle.

b- Phase d'acidogène :

D'autres bactéries transforment, les produits finaux de l'hydrolyse :

- ✚ Soit directement en acide acétique et acétates avec formation de gaz carbonique et d'hydrogène.
- ✚ Soit en alcools et acides simples de la série grasse, acides gras volatils (butyrique, propénoïque, formique).

c- Phase d'acétogénèse :

Cette phase est le fait d'organismes anaérobies. Les acides gras et alcools formés au stade précédent sont transformés en acétates, gaz carbonique et hydrogène.

d- Phase méthanogène :

Elle est strictement anaérobie. Au cours de laquelle l'acide acétique et le méthanol sont transformés en gaz carbonique et en méthane. Le biogaz ainsi formé, comprend entre 45% et 60% de méthane, entre 35% et 50% de gaz carbonique, le reste étant constitué d'azote, de gaz sulfhydriques et de divers acides plus ou moins volatils et plus ou moins soufrés.

Dans une décharge cela se traduit par cinq étapes successives :

- ✚ Phase1 : Mise en place des déchets, remplissage des alvéoles.
- ✚ Phase2 : Passage progressif en anaérobiose, chute du potentiel redox, augmentation progressive de la charge organique.
- ✚ Phase3 : Acidogénèse, chute du PH, complexation des espèces métalliques, charges organique très élevées.
- ✚ Phase4 : Méthanogénèse, remontée progressive du PH, diminution de la charge organique, production importante de gaz.
- ✚ Phase5 : Maturation finale, stabilisation du gaz

II-7- Composition des lixiviats :

La composition chimique des eaux de lixiviation produites sur un lieu de décharge dépend de plusieurs facteurs, notamment la nature des déchets, l'âge de la décharge, le degré de décomposition, le taux d'humidité et la température des déchets ainsi que le taux d'infiltration de l'eau dans les déchets. 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 et le métal le plus présent. Il se combine avec les ions sulfurés pour donner du sulfure de fer noir [26].

Le **Tableau II-1** propose des fourchettes de valeurs des principaux paramètres entrant dans la composition des lixiviats en fonction de leur degré d'évolution. Il illustre bien la grande variabilité de la composition des lixiviats de décharges.

La DCO et la DBO5 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 II-I : Composition des lixiviats en fonction de leur évolution [26]

Paramètres	Phase I	Phase II	Phase III	Phase IV	Phase V	Valeurs limites rencontrées dans la littérature
Conductivité (ms/cm)	2450 à 3310	1600 à 17100	7700 à 2900		1400 à 4 500	1400 à 17100
pH	pH 6 à 7	7,7 à 4,7	6,3 à 8,8		7,1 à 8,8	3,7 à 8,8
Eh (mv)	(+ 40)	(+ 80) à -240)	(- 73) à (- 330)	-330	(+ 97) à (+163)	(-330) à (+163)
MES (mg/l)						549 à 1994
DCO (mg/O2l)	480 à 18 600	1 500 à 71 700	9 760 à 580		31 à 900	31 à 100 000
DBO ₅ (mg/O2l)	100 à 10900	1000 à 57700	3 400 à 600		4 à 120	2 à 90 000
NTK (mg/l)	180 à 860	14 à 1910	25 à 82		7 à 490	7 à 5 000
NH ⁴⁺ (mg/l)	120 à 225	2 à 1030	430 à 6		430 à 6	2 à 3 870
NO ³⁻ (mg/l)	0,1 à 51	19 à < 0,05	0		0,5 à 0,6	0 à 845
PO ₄ ³⁻ (mg/l)	0,6 à 1,7	120 à 0,16	14 à 0,7		0,16 à 14	0,16 à 154
K ⁺ (mg/l)	35 à 2 300	35 à 2 300	35 à 2 300		35 à 2300	2,8 à 3 770
Na ⁺ (mg/l)	20 à 7 600	20 à 7 600	20 à 7600		20 à 7600	0 à 7600
Ca ²⁺ (mg/l) Mg ²⁺ (mg/l)	190 à 490 68 à 96	70 à 3 900 3 à 1 140	490 à 76 505 à 81		76 à 254 81 à 190	60 à 7 200 3 à 15 600
Cl ⁻ (mg/l)	30 à 5 000	30 à 5 000	30 à 5 000		30 à 5 000	4,7 à 5 000
SO ₄ ²⁻ (mg/l)	10 à 458	3 240 à 10	0		5 à 40	1 à 3 240
Fe ²⁺ (mg/l)	68 à 372	2 200 à 90	336 à 115		4 à 20	0 à 5 500

Cu ²⁺ (mg/l)	0,085 à 0,39	2,2 à 0,005	0,03 à 0,18		0,02 à 0,56	0 à 10
Cd ²⁺ (mg/l)	<0,005 à 0,01	<0,005 à 0,39	< 0,005 à 0,1		0,004	0,005 à 17
Cr ³⁺ (mg/l)	0,23 à 0,28	18 à 0,06	0,06		0,05	0 à 18
Ni ²⁺ (mg/l)	0,02 à 1,55	79 à 0,03	01 à 1,0		0,07	0,02 à 79
Pb ²⁺ (mg/l)	0,001à 0,004	1,44 à 0,01	0,01 à 0,1		0,01 à 0,1	0 à 1,44
Zn ²⁺ (mg/l)	0,06 à 21	220 à 0,65	0,4 à 6		0,4	0 à 1 000
Durée approximative de chaque phase	9 à 10 ans et jusqu'à 20 ans				Plusieurs décennies	Indépendant du temps

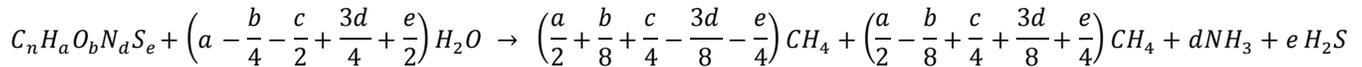
II-8- Formation du biogaz [26] Une tonne d'ordures ménagères contient généralement 150 à 250 Kg de matières organiques. Ces substances sont biodégradables. Sous l'effet de microorganismes agissant en milieu anaérobie, elles sont décomposées en quatre phases successives et transformées en gaz de décharge. Ce processus varie d'une décharge à l'autre, il est influencé par différents facteurs tels que : nature et composition des déchets, degré de compactage des ordures, taux d'humidité des ordures, couverture de la décharge ; en bref, des facteurs qui ont une influence directe sur la qualité de vie des microorganismes générateurs de méthane. Si le gaz de décharge est aspiré régulièrement et sous contrôle, il atteint, après réglage du système de captage, les valeurs moyennes suivantes :

- + CH₄ : 40 à 50% en volume ;
- + CO₂ : 35 à 45% en volume ;
- + N₂ : 5 à 15% en volume ;
- + O₂ : 0 à 3% en volume ;
- + Vapeur d'eau : saturé.

Le biogaz contient également des composés 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).

II-8-1- Evaluation de la production de biogaz d'un centre de stockage de déchets ménagers :

L'approche stœchiométrique consiste à considérer la composition élémentaire des différents constituants des déchets, les produits finaux de la réaction globale étant principalement le méthane et le dioxyde de carbone. Cette approche a été employée dans de nombreux cas. La quantité théorique de méthane produite par la dégradation supposée complète de chaque constituant est résumée par l'équation générale :



Une partie du carbone est convertie en biomasse. Cette fraction ne dépasserait pas 4% en masse et peut être donc négligée.

II-8-2- Elimination du biogaz :

II-8-2-1- Combustion : Compte tenu de la composition du biogaz, le processus de combustion par torchère doit répondre à trois niveaux de performances :

- Réaliser un bon mélange : il faut que le méthane se mélange à l'oxygène de l'air de combustion dans les bons rapports.
- Avoir une température de combustion suffisamment élevée pour le brûlage complet des hydrocarbures halogénés. Une température minimale de 900 °C est couramment admise.
- Permettre une durée de brûlage suffisamment longue pour réaliser la conversion totale des hydrocarbures halogénés.

Il existe deux types de torchères : les torchères ouvertes et les torchères fermées munies d'une chambre de combustion : Pour la torchère ouverte, la flamme est visible de l'extérieur et le bon déroulement de la combustion est constaté par l'inspection visuelle de cette flamme. Des points jaunes dans la flamme indiquent une combustion insuffisante. Pour la torchère fermée, la combustion s'effectue dans une chambre de combustion, la flamme n'est pas visible de l'extérieur. La qualité de la combustion se mesure par le taux de monoxyde de carbone dans le gaz de combustion. Les avantages d'une torchère fermée par rapport à une torchère ouverte sont :

- La température de combustion est plus élevée et la durée de brûlage plus longue, la combustion est donc meilleure.

- Les torchères fermées ne causent pas de nuisances visuelles la nuit.
- Les émissions peuvent être mesurées.

II-8-2-2- Valorisation : Le biogaz, de par son contenu en méthane, est un gaz énergétique. Différents types de valorisation sont envisageables :

- La production d'électricité autonome : elle n'est valable que si le site a de gros besoins en d'électricité.
- La revente d'électricité.
- La purification du gaz en vue de l'utilisation comme carburant.
- La production de chaleur.
- La cogénération (production de chaleur et d'électricité).
- La vente du gaz (en vue d'une de ces utilisations).

Conclusion :

Les lixiviats représentent une grande part de la pollution liée à une décharge. Contrairement au biogaz, qui aisément dispersé dans l'atmosphère, les lixiviats, de part leur nature liquide, est une source concentrée de polluants.

Le plus grand risque lié à la production de lixiviat 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.

Au-delà de ces considérations, les lixiviats doivent être traités comme des substances extrêmement 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.

Chapitre III

Traitement des lixiviats

III-1- Traitements biologiques :

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

Les traitements biologiques aérobies sont de plusieurs types [28] :

a. 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) [30].

b. Lagunage aéré : 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. Cette lagune 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 aéré est le procédé le plus répandu [30].

c. Les boues activées : technique comportant en principe un ouvrage de séparation des boues. On prévoit des concentrations en boues de l'ordre de 3 à 4 g/l et des temps de séjours assez courts de 6 à 15 h. Les boues séparées dans le clarificateur sont recyclées.

d. Les procédés à cultures fixées (lits bactériens, filtres biologiques) : les quelques installations existantes (principalement en Grande-Bretagne) ont souvent des problèmes de colmatage dû à la précipitation des hydroxydes métalliques.

Les traitements biologiques anaérobies sont deux types :

e. Le lagunage anaérobie : caractérisé par des temps de séjours très longs (> 50 jours).

f. La digestion anaérobie : généralement en digesteurs chauffés (autour de 35°C) remplis ou non de matériaux supports.

Les traitements anaérobies entraînent une production de méthane et peuvent aussi provoquer quelques nuisances olfactives (production d' H_2S par réduction du soufre) 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 DBO₅). Les rendements sont moins importants (40 à 60 %) sur les percolâts plus stabilisés et très faibles (< 10 %) sur lixiviats complètement stabilisés.

Généralement les traitements biologiques, qu'ils soient aérobies ou anaérobies, donnent des résultats comparables quand à l'élimination de la charge organique carbonée (avec toutefois un léger avantage pour l'aération prolongée). La différence principale concerne l'élimination de l'azote organique, qui est éliminé à plus de 95 % en traitement aérobie et seulement à 15 % ou 20 % en digestion anaérobie mésophile.

L'épuration anaérobie présente toutefois un double avantage :

Permettre une production moindre de boues en excès: 0.20kg MVS/kg COT contre 0.45 kg MVS/kg COT pour l'aération prolongée. D'autre part de produire un gaz riche en méthane (65 à 70 % de CH₄) en quantité importante (Environ 0,8 à 1 m³ de méthane par kg COT éliminé), gaz qui peut être récupéré.

III-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 (l'électrolyse, l'osmose inverse, l'échange d'ions, coagulation -floculation) [17]. Les principaux traitements sont l'oxydation par l'ozone, l'osmose inverse et l'évaporation - oxydation. Toutefois, la précipitation, la coagulation -floculation et l'adsorption restent des techniques employées.

a. 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 [30].

b. La précipitation chimique (généralement avec de la chaux) : son objectif principale est d'entraîner par précipitation une élimination des métaux sous forme d'hydroxydes métalliques. Les métaux concernés sont : Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Sn et Zn [29]. La précipitation se fait suivant la réaction suivante :



L'action de la chaux sur les lixiviats se traduit par [31] :

- ✚ Une production de boues,
- ✚ Une réduction de la charge organique soluble,
- ✚ Un dégagement d'ammoniaque,

✚ 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.

c. La coagulation floculation : son action est double. En effet, 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. Ce traitement se décompose en 3 étapes successives :

- La coagulation proprement dite qui consiste à déstabiliser les particules par actions de réactifs chimiques (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.
- 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 et aussi une production de boues.

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) [31].

d. 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 [30].

e. Filtration 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 [32] ; 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. Le charbon actif est un produit relativement cher, il sera donc réservé à des traitements de finition [31].

f. 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 absolu et remplace le clarificateur dans la chaîne de traitement classique [32].

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 quelle que soient les variations de la ressource.

g. Osmose inverse : largement utilisée pour la désalinisation de l'eau de mer, la technique de l'osmose inverse prend naturellement sa place dans le traitement des lixiviats. Ce procédé peut être placé après un traitement type BRM pour satisfaire à des normes sévères de qualité d'eau traitée.

L'osmose inverse ou hyper filtration, permet la rétention de petites molécules organiques, minérales ainsi que la plupart des sels. Les pressions appliquées pour cette filtration sont de l'ordre de 30 à 80 bars, selon la concentration en sels de l'effluent.

Un traitement finale doit être appliqué au concentrât (de 10 à 30 % en volume, selon la pression et la teneur en sels), par voie physico-chimique, incinération, ou incorporation à un procédé d'inertage [32].

Le tableau ci-après résume tous les procédés de traitement des lixiviats ainsi que leurs avantages et inconvénients.

Tableau III-1 : Avantages et inconvénients des différents procédés [28].

	Procédés	Avantages	Inconvénients	Sous-produits
Procédés biologiques	Lagunage aéré	Elimination de la DBO5 et de l'azote.	Dénitrification difficile, Encombrement important.	Boues biologiques en excès.
	Boues activées	Elimination de la DBO5 et de l'azote global.	Consommation énergétique pour l'apport de l'oxygène.	Boues biologiques en excès.

	Bioréacteur à membranes	Elimination de la DBO5, azote, DCO résiduelle, MES, bactéries, virus. Faible encombrement.	Consommation énergétique.	Boues biologiques en excès.
	Cultures fixée	Elimination de la DBO5 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
	Filtration sur charbon actif	Elimination de la DCO résiduelle, réduction des organo-halogénés et de la couleur.	Renouvellement des absorbeurs.	
	Ozonation (H2O2 ET/OU UV)	Elimination de la DCO, décoloration et augmentation du caractère biodégradable.	Sensibles aux variations de charges. Consommation énergétique.	
Procédés thermiques et membranaire	Evaporateur	Concentration maximale de la pollution. Utilisation de biogaz.	Dissipation partielle à l'atmosphère. Dépend de la qualité et de la quantité du biogaz.	Concentrat
	Evapocondensateur	Concentration maximale de la pollution et condensation des vapeurs. Utilisation du biogaz.	Dépend de la qualité et de la quantité du biogaz.	Concentrat
	Sécheur isoflash	Elimination de la charge polluante du lixiviat. Utilisation du biogaz.	Consommation énergétique.	Extrait sec pulvérulent.
	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.		Rétentats d'osmose (saumures).
autres	Traitement en station d'épuration externe	Pas d'investissement sur site.		

III-3-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, après avoir effectué dans certains cas un prétraitement.

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 [30].

En cas de rejet de ces effluents dans le milieu aquatique, les effluents doivent respecter les valeurs limites suivantes :

Tableau III-2 : Valeurs limites des lixiviats avant leur rejet dans le milieu naturel [28,31].

Paramètres	Valeurs limites
Température	30
PH	6,5 – 8,5
DCO (mg/l)	120
DBO5 (mg/l)	35
MES (mg/l)	35
Azote global (mg/l)	30
Azote ammoniacal (mg/l)	20
Phosphore total (mg/l)	10
Pb (mg/l)	0,5
Cr (mg/l)	0,5
Cd (mg/l)	0,2
Hg (mg/l)	0,01
Cu (mg/l)	0,5
Fe (mg/l)	3
Métaux totaux (mg/l) Pb,Cu,Cr,Ni,Zn,Mn,Sn,Cd,Hg,Fe,Al	15

III-4- Choix de la filière de traitement :

Il existe de nombreuses techniques de traitement applicables aux lixiviats de décharge, mais chacune d'elles est adaptée à un type de percolât. Plusieurs études ont confirmées que:

- les différentes techniques épuratoires sont complémentaires et ont des efficacités spécifiques;

- la mise au point d'une méthodologie de diagnostic permet de définir la ligne de traitement la mieux adaptée pour un lixiviat donné et de prévoir l'efficacité spécifique de chacune des étapes du traitement.

Cette méthodologie a été appliquée à une trentaine de lixiviats différents. La synthèse des résultats confirme la classification des percolâts en trois familles principales (voir tableau III.3) pour lesquelles a été définie une filière de traitement [31].

Tableau III-3 : Classification des lixiviats [31].

I	II	III
PH < 6,5 Charge organique élevée dont 70 à 90 % dus aux AGV DBO/DCO > 0,3 Traitement proposé : (prétraitement) aération prolongée coagulation-floculation	6,5 < PH < 7,5 charge organique peu élevée dont 10 à 30 % dus aux AGV 0,3 > DBO/DCO > 0,1 Traitement proposé : (prétraitement) aération prolongée coagulation -floculation	PH > 7,5 Pas d'AGV DBO/DCO < 0,1 Traitement proposé : coagulation-floculation traitement de finition charbon actif

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 coagulation-floculation permet d'éliminer les matières en suspension.
- 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

Les procédés de traitement

IV-1- Flocculation-Coagulation :

Les procédés de coagulation et de flocculation facilitent l'élimination des MES et colloïdales. Celle-ci est réalisée dans une étape ultérieure de séparation solide liquide: décantation, flottation ou filtration.

IV-1-1 Mécanisme de la Coagulation-Flocculation :

Les colloïdes sont donc des particules impossibles à décanter naturellement, et pour lesquelles les phénomènes de surface sont primordiaux. Ces phénomènes régissent la stabilité des suspensions colloïdales.

En effet, les colloïdes sont soumis à deux grands types de forces

- force d'attraction de Van der Waals, liée à la structure et à la forme des colloïdes ainsi qu'à la nature du milieu (EA),
- force de répulsion électrostatique, liée aux charges superficielles des colloïdes (EB).

La stabilité d'une suspension colloïdale dépend du bilan des forces d'attraction et de répulsion, dont le niveau énergétique est donné par : $E=EA+EB$ (Fig IV-1).

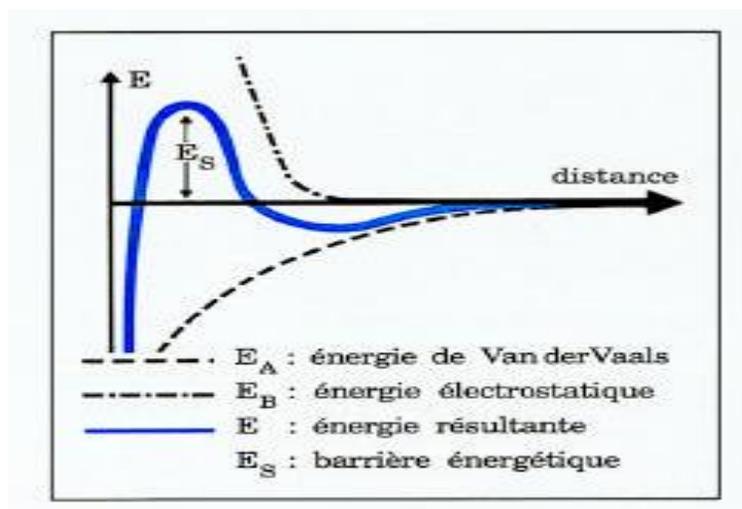


Figure IV-1 : Stabilité d'une suspension colloïdale [33]

Pour déstabiliser la suspension, il faut franchir la barrière énergétique ES. Pour cela, et afin de favoriser l'agglomération des colloïdes, il faut diminuer les forces de répulsion électrostatique. C'est la coagulation qui réalise cette déstabilisation.

IV-1-2- Mécanisme de la Coagulation-Floculation par la Théorie de la Double Couche :

Les colloïdes présents dans l'eau brute sont très généralement chargés négativement (imperfections du réseau cristallin, ionisation des groupements chimiques périphériques, ...).

Afin de neutraliser cette charge négative de surface, des ions positifs, présents dans l'eau brute ou ajoutés, viennent former une couche autour du colloïde. Diverses théories ont été avancées :

- **Théorie de HELMHOLTZ**: Une couche d'ions positifs recouvre intégralement la surface du colloïde et assure la neutralité de l'ensemble (couche adhérente).
- **Théorie de GOUM-CHAPMAN**. La couche d'ions positifs est inégalement répartie autour du colloïde; la neutralité est obtenue à plus grande distance (couche diffuse).
- **Théorie de STERN** qui rassemble les deux précédentes et considère la formation d'une double couche. La première couche est adhérente au colloïde, le potentiel y décroît rapidement. La seconde couche est plus diffuse, avec une diminution plus lente du potentiel (Figure IV-2).

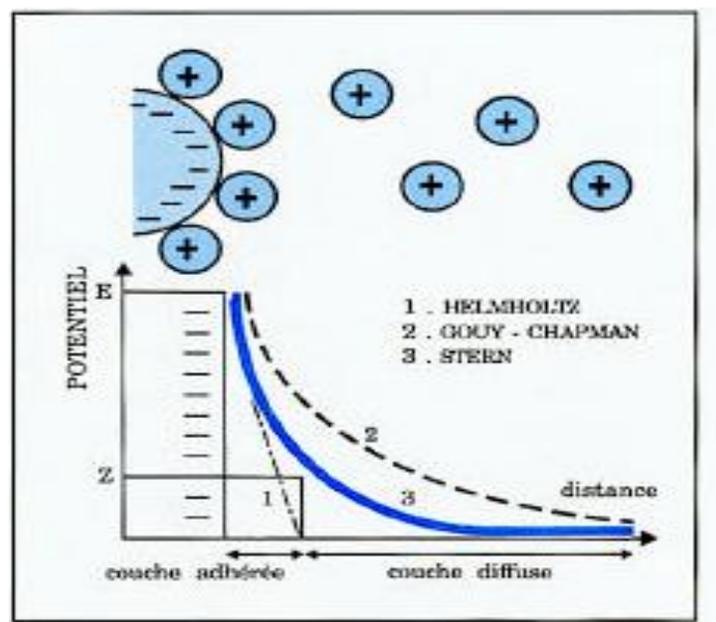


Figure IV-2 : Théorie de la double couche [33]

Le colloïde se déplace avec une partie de sa double couche. Cette couche, liée au colloïde, correspond à la couche fixe de la théorie de Stern. Le colloïde se caractérise par deux Potentiels :

- E : Potentiel à la surface du colloïde ou potentiel thermodynamique.
- Z : Potentiel à la surface du plan de cisaillement ou potentiel électrocinétique.

Ce potentiel Z, encore appelé potentiel Zêta, régit le déplacement des colloïdes et leur interaction mutuelle. L'électrophorèse permet de le définir: quand une particule est soumise à un champ électrique, elle atteint presque instantanément une vitesse telle qu'un équilibre s'établit entre la force électrique d'attraction et la force de frottement due à la viscosité du milieu.

Le calcul conduit à la relation suivante entre la mobilité électrophorétique et le potentiel Zêta :

$$Me = \frac{\varepsilon Z}{k\eta}$$

Me : Mobilité électrophorétique

ε : Constante diélectrique du milieu

η : Viscosité dynamique

k : 4 ou 6 suivant les hypothèses.

Des particules ayant le même potentiel électrocinétique Zêta possèdent la même mobilité électrophorétique indépendamment de leur diamètre.

Dans la théorie de la double couche, la coagulation est l'annulation du potentiel Zêta [33].

IV-1-3- Mécanisme de la Coagulation-Floculation par la Théorie Chimique :

Les énergies de liaisons covalentes étant de 20 à 50 fois supérieures aux énergies électrostatiques, une "**théorie chimique**" a été également introduite pour interpréter la déstabilisation des suspensions colloïdales. Ce modèle considère que la charge primaire d'une particule colloïdale est due à l'ionisation directe des groupements chimiques présents à sa surface (hydroxyles, carboxyles, phosphates, sulfates, ...). La déstabilisation se réalise par **réaction covalente** entre ces groupes et les ions métalliques polyvalents des coagulants. Cette théorie montre que la précipitation simultanée d'hydroxydes métalliques et le pontage interarticulaire sont des phénomènes importants dans la coagulation.

La coagulation est la déstabilisation des particules colloïdales par addition d'un réactif chimique : le coagulant.

La floculation est l'agglomération de ces particules "déchargées" en microfloc, puis en flocons volumineux et décantables, le floc. Cette floculation peut être améliorée par l'ajout d'un autre réactif: le floculant ou adjuvant de floculation.

Deux phénomènes de transport régissent la floculation. La floculation péricinétique liée à la diffusion brownienne (agitation thermique).

La vitesse de floculation ou variation du nombre de particules au cours du temps est donnée par

$$\frac{dn}{dt} = \frac{\alpha \cdot 4 \cdot T}{3 \cdot \eta \cdot n^2}$$

n : Nombre de particules par unité de volume

α : Fraction des chocs efficaces

k : Constante de Boltzmann

T : Température absolue

η : Viscosité dynamique

d : Diamètre de la particule.

La floculation orthocinétique est liée à l'énergie dissipée. L'efficacité de cette floculation qui permet d'obtenir le floc volumineux séparable est donnée par :

$$-\frac{dn}{dt} = \frac{1}{6} \cdot \alpha \cdot n^2 \cdot G \cdot d^3$$

Pour un régime laminaire, et

$$-\frac{dn}{dt} = k \cdot n^2 \cdot G \cdot d^3$$

Pour un régime turbulent [52].

Avec

$$G = \sqrt{\frac{P}{V \cdot \eta}}$$

G : Gradient de vitesse moyen (s^{-1})

P : Puissance réellement dissipée (W)

η : Viscosité dynamique (kg/m.s)

V : Volume occupé par le fluide (m^3).

IV-1-4- Facteurs Influençant la Coagulation-Floculation :

On cite le pH, les sels dissouts, la température, la turbidité, le type et la quantité du coagulant, la vitesse et la durée d'agitation...

IV-2- Le Procédé de Fenton

IV-2-1- Mr. Fenton :

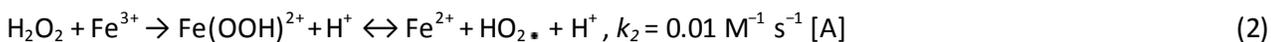
Henry John Horstman Fenton (18 Février 1854 - 13 Janvier 1929) est née en Angleterre. Il a suivi ces études a Magdalen College School, King's College London et Christ's College, Cambridge. Il est devenu demonstrator en chimie à Cambridge en 1878 et lecturer d'université en chimie de 1904 à 1924.

IV-2-2- Principe :

Le procédé de Fenton est basé sur des réactions d'oxydation avancée avec de l'eau oxygénée en présence d'un catalyseur ferreux générant ainsi des radicaux hydroxyles. Son utilisation est préconisée quand on a à faire à des molécules récalcitrantes, c'est-à-dire à des particules non biodégradables, tel que les déchets sanitaire des hôpitaux (les hormones, les antibiotiques...), les déchets d'industrie biologiques (les enzymes, certaines protéines...), les lixiviats des décharges...

Comme toute réaction radicalaire, le mécanisme de réaction est composé de trois phases partageant une série de réaction [34]:

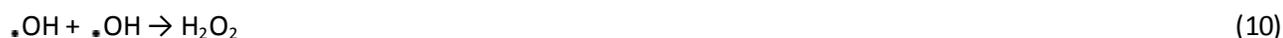
Initiation:



Propagation:



Terminaison:



Comme on peut le constater dans cette chaîne de réactions, la phase d'initiation n'est lancée qu'en présence d'ions ferreux dans un milieu riche en protons (pH=3) [34]. Des composés intermédiaire sont formées tel que les ions ferriques, et le $\text{Fe}(\text{OH})_2$. Ainsi, les radicaux $\cdot\text{OH}$ formés vont se multiplier lors de la phase de propagation et vont servir à oxyder la pollution, ne produisant que du CO_2 et de l'eau. Lors de la phase de terminaison, il y a recombinaison des radicaux produisant ainsi de l'eau oxygénée et l'oxygène.

IV-2-3- Les Types de Fenton :

Tout est une question de la forme du catalyseur ferreux.

a. Procédé de Fenton Classique :

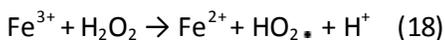
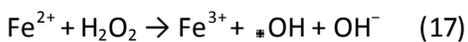
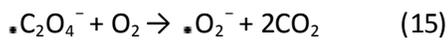
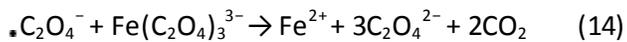
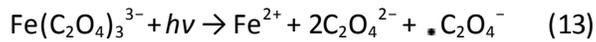
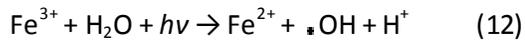
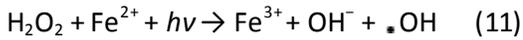
Rien de faramineux, la présence des ions ferreux est assurée par l'ajout progressive de ces derniers sous forme de sulfates de fer II 7 fois hydraté (ou tout autre composé générant des ions Fe^{2+}). Le rapport molaire $[\text{H}_2\text{O}_2]/[\text{Fe}^{2+}]$ pour un lixiviat intermédiaire ou stabilisé doit tendre vers 6 [34,35]. Bien qu'il soit simple et standard, les réactions (1) et (7) ont respectivement une constante de réaction de $70 \text{ M}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ et $3,2 \cdot 10^8 \text{ M}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$, une réaction qui favorise l'oxydation des ions Fe^{2+} en ions Fe^{3+} , alors que la réaction (2) nous montre que la constante de réaction qui favorise la réduction des ions Fe^{3+} en ions Fe^{2+} est à peine de 0,01 M/s ; une consommation des sulfates de fer lors de ce procédé est alors excessive et on assiste à la formation d'une quantité importante des boues, ce qui oblige un autre traitement de séparation de ces derniers.

b. Procédé d'Electro-Fenton :

Afin d'éviter la consommation abusive du catalyseur et limiter les boues, on a pensé à y remédier par adjonction d'une électrode de fer qui génère, en présence d'un milieu acide, les ions ferreux, qui, après leur réaction et transformation en ions ferriques, sont retransformés en ions ferreux par application d'un potentiel électrique. Plus donc la peine de rajouter des composés ferreux, et les boues auront disparus, reste à facturer l'électricité consommée.

c. Procédé Photo-Fenton :

En plus des ions ferreux, le procédé peut être boosté par les rayons ultra-violet, qui, sont connus pour leur pouvoir d'une part de former les radicaux hydroxyles [34], et de régénérer d'autre part les ions Fe^{2+} , en passant par l'oxalate. On peut songer à minimiser la quantité du $FeSO_4$ rien qu'avec les rayons solaires [34].

**IV-3- L'adsorption sur le charbon actif :**

L'adsorption est un phénomène physico-chimique de surface qui se produit en particulier par une modification de la concentration à l'interface de deux phases non miscibles (gaz/solide ou liquide/solide).[36]

Son principe repose sur l'accumulation à la surface ou à l'intérieur de l'absorbant de molécules contenues dans la phase à traiter grâce à des interactions physiques et/ou chimiques liées aux fonctions de surface. Le terme de surface doit s'étendre à la totalité de surface du solide poreux ou non poreux. L'efficacité de ces mécanismes dépendra donc du type d'adsorbant utilisé et de la nature des adsorbats.[37]

IV-3-1- Caractéristiques de l'adsorption :

La nature des liens entre l'adsorbant et l'adsorbat, permet de distinguer deux types d'adsorption selon la grandeur de l'énergie mise en jeu [38] :

- Adsorption physique : la nature des liaisons est de type " Van Der Waals ", de faibles énergies, lesquelles prennent forme dans le cas où les forces d'interaction moléculaire entre un solide et un fluide deviennent supérieures aux forces reliant les molécules de fluide entre elles, sans modification des charges chimiques. Une élévation de la température ou une diminution de la pression peut entraîner une désorption des molécules fixées c'est-à-dire que le phénomène est réversible.
- Adsorption chimique : Elle correspond à la création de véritables liaisons chimiques à l'interface des deux phases. Ces liaisons sont de type covalent, mais elles peuvent être légèrement polarisées. Les énergies mises en jeu sont plus grandes que dans le cas de la physisorption.

Tableau IV -1 : comparaison entre la physisorption et chimisorption[39]

<i>propriétés</i>	<i>Adsorption physique</i>	<i>Adsorption chimique</i>
température	Basse	Élevée
Chaleur d'adsorption	1 à 10 Kcal/mol	10 Kcal/mol
Liaison	Physique	Covalente
Processus	Non spécifique	Spécifique
Désorption	Facile	Difficile
Cinétique	Rapide	Lente
Formation	Multicouches	monocouche

IV-3-2- Description du mécanisme d'adsorption :

L'adsorption se déroule en plusieurs étapes [40] :

- Diffusion externe du soluté : Déplacement du soluté vers l'interface par la suite les molécules traversent les couches limites entourant l'absorbant avant d'atteindre leur surface (étapes 1 et 2).
- diffusion interne dans la structure poreuse du solide : cette deuxième étape implique la diffusion de l'adsorbat dans le système poreux de l'absorbant sous l'effet du gradient de concentration (étape 3).
- L'adsorption : cette troisième étape est très rapide pour le système d'adsorption physique, c'est la fixation sur des sites dits actifs (étape 4).

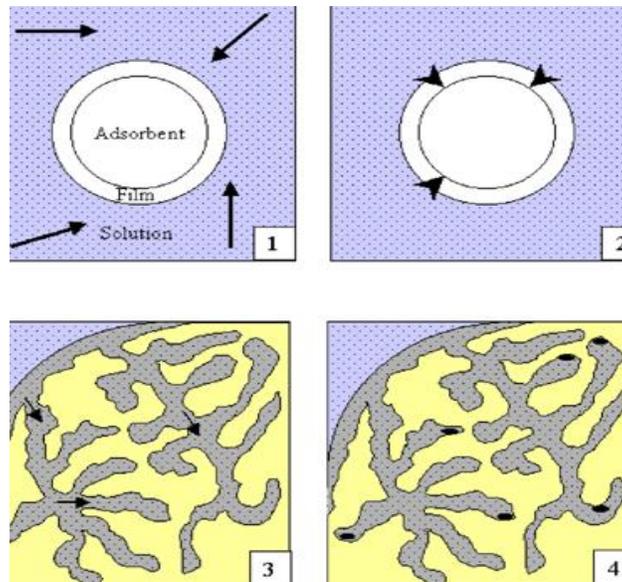


Figure IV-3 : Représentation schématique du phénomène d'adsorption

IV-3-3- Facteurs influençant l'adsorption :

L'efficacité d'un adsorbant vis-à-vis d'un adsorbât dépend d'un important nombre de paramètres dont les principaux sont [39] :

- les caractéristiques de l'adsorbant : polarité, volume poreux, surface spécifique, fonctions superficielles....
- les caractéristiques de l'adsorbât : polarité, solubilité, poids et saturation moléculaire...
- les paramètres physiques : température, pH

IV-3-4- Charbon actif :

Le charbon actif est l'adsorbant utilisé de façon préférentielle dans l'industrie pour les traitements de dépollution. Il est constitué d'atomes de carbone organisés en feuillets selon une structure graphite :

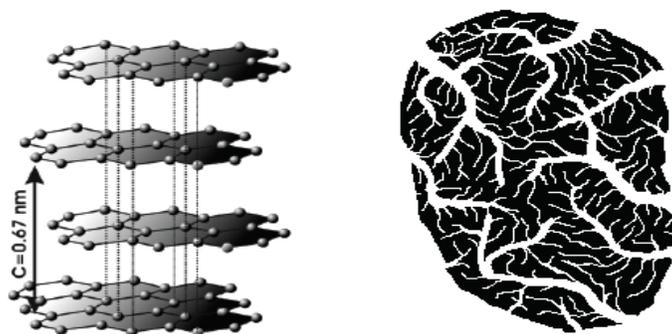


Figure IV-4 : structure chimique du charbon actif et représentation schématique de sa structure poreuse

Ces feuillets sont regroupés en une structure granulaire ou monolithique, traversée de pores allant de quelques Angströms (espaces inter-foliaires) à quelques dizaines de nanomètre.

Cette structure poreuse permet aux particules de charbon actif de développer une importante surface de contact avec le milieu extérieur.

La capacité d'adsorption du charbon actif dépend de sa surface spécifique, c'est-à-dire de la surface développée par unité de masse de matériau. Mais aussi de l'empreinte du soluté sur cette surface. Plus la taille de la molécule adsorbée est importante, plus elle occupera de surface et moins la quantité adsorbée par masse de charbon actif sera élevée.

Le charbon actif est également utilisé comme support d'adsorbants spécifiques par exemple des ligands de cations métalliques, ce qui augmente ses applications dans le domaine de la dépollution.

L'emploi du charbon actif comme adsorbant de molécules organiques se heurte toutefois encore au problème de sa régénération, Actuellement, le charbon actif saturé par des polluants est principalement récupéré sous forme de boues et incinéré. [41, 42]

Les Caractéristiques du charbon actif :

Le charbon actif est l'adsorbant le plus fabriqué et le plus utilisé industriellement. Il est considéré comme une des meilleures technologies du « contrôle environnemental ».

Le charbon actif est produit par la pyrolyse et l'activation thermique de précurseurs comme le bois, la tourbe ou des coques de fruits.

Les solides adsorbants qui ont un intérêt pratique sont ceux qui ont une surface spécifique (surface par unité de masse) importante, supérieure à $1000 \text{ m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$ avec un volume poreux de l'ordre de $1000 \text{ mm}^3 \cdot \text{g}^{-1}$

Les adsorbants utilisés pour retenir les composés organiques peuvent être microporeux (pores inférieure à 2nm), ou mésoporeux (pores de 2 à 50 nm). Selon leur mise en œuvre industrielle, les charbons actifs sont utilisés en grains ou en poudre. Les principales caractéristiques physiques sont résumées dans le tableau suivant :

Tableau IV-2 : les caractéristiques physiques des charbons actifs [42]

<i>caractéristique</i>	<i>gramme</i>
Surface spécifique ($m^2.g^{-1}$)	400 à 2 000
Taille des pores (nm)	quelques dizaines
Porosité interne	0,4 à 0,8

Conclusion :

On a retenu la combinaison des procédés de coagulation-floculation et l'oxydation Fenton avec l'adsorption sur charbon actif, ces procédés vont être appliqués pour le traitement des lixiviats vieux du centre d'enfouissement technique de Ouled Fayet d'Alger.

Chapitre V

Impacts des lixiviats sur l'environnement

V-1- Impact sur les eaux souterraines et de surface [43] :

La détérioration de la qualité des ressources en eau constitue une menace aussi importante que celle liée à l'accentuation du déficit hydrique: les eaux de surfaces sont menacées par le phénomène d'eutrophisation ; les cours d'eau demeurent à leur tour le réceptacle de rejets polluants de nature diverses ; les eaux souterraines, autrefois de bonne qualité, se trouvent actuellement menacées par diverses sources de pollution ponctuelle.

La percolation de lixiviat des déchets constitue, une source ou un vecteur de pollution des ressources en eau souterraines par infiltration, et superficielle par ruissellement pluvial.

V-2- Impact sur le sol [44] :

La quantité de polluants qui peut atteindre la nappe phréatique dépend de la quantité de contaminants s'échappant de la décharge, et également du comportement des substances organiques ou minérales à travers des lentilles sableuses et de l'argile.

Des essais en laboratoire ont montrés que dans les argiles, l'absorption est importante, cela signifie qu'une quantité considérable de substances chimiques peut se fixer sur la matrice poreuse du sol. A titre d'exemple: Les éléments Ca, Mg, Pb sont les plus retenus par la phase solide. L'infiltration d'un liquide ne dépend pas seulement de type de sol mais dépend aussi de type de liquides et les éléments chimiques qu'il contient, les résultats d'essais d'infiltration dans l'argile du Gault ont montré que les paramètres de transport sont influencés par le type de liquide infiltré, les valeurs de la diffusivité et la conductivité hydrauliques dans la colonne où s'infiltré le lixiviat sont supérieures aux celles mesurées dans la colonne où s'infiltré l'eau.

L'impact des lixiviats sur le sol se traduit par la réduction du temps de transit (le lixiviat traverse plus rapidement les couches du sol) et de la teneur en eau d'équilibre (la quantité d'eau que le sol peut retenir).

L'étude de la diffusion du soluté montre que la migration des ions se fait dans les deux directions, du lixiviat vers le sol qui lui provoque une pollution et du sol vers lixiviat qui provoque un appauvrissement en ions, la migration étant liée à la capacité d'échange d'ions.

V-3- Impact sur la flore [45] :

La végétation environnante pourrait être altérée par les émissions de biogaz (CH₄, CO₂), notons que la flore c'est la plus sensible aux émissions atmosphériques.

V-4- Impact sur l'air :

Les biogaz proviennent de la décomposition anaérobie des matières organiques par divers micro-organismes, cette décomposition forme diverses substances organiques volatiles, principalement du méthane (CH_4) et dioxyde de carbone (CO_2).

Le déplacement du biogaz dans le sol est également un phénomène complexe, le méthane contenu dans les biogaz étant plus léger que l'air, il a naturellement tendance à migrer verticalement vers la surface du sol et se dissiper dans l'atmosphère.

Ces biogaz peuvent s'accumuler dans des endroits clos, suite à une migration latérale ou sur le site et entraînent des explosions et des incendies.

V-5- Impact sur la santé humaine :

Le lixiviat peut migrer dans les eaux souterraines et de surface créant un panache de contamination. Le danger survient lorsque ce lixiviat entre en contact ou absorbé en quantité significative par des individus d'une population exposée, comme le cas des métaux toxiques contenus dans les déchets peut diffuser par lixiviation dans les sols puis dans les eaux souterraines.

Le métal également peut être absorbé par les plantes entrer par ce canal dans la chaîne alimentaire des composés cancérigènes tels que le benzène et les chlorures de polyvinyle. Peuvent être également présent dans un cas comme dans l'autre, les risques sanitaires peuvent être grave.

V-6- Impact des interférences sur les particules argileuses [46] :

V-6-1- Au niveau macroscopique :

Il peut y avoir altération des argiles au cours du temps lié à la solubilisation de la silice par des solvants acides ou basiques provoquant par exemple des microfissures.

V-6-2- Au niveau microscopique :

Il peut se produire une évolution de la perméabilité des argiles. En effet deux phénomènes sont susceptibles de se produire :

- Diminution du coefficient de perméabilité qui s'expliquerait par une décroissance de la taille des pores, due au gonflement des particules argileuses entraînant un retard de la transmission des fluides.

- Augmentation du coefficient de perméabilité due d'une part à une contraction des particules argileuses lorsque l'eau inter feuillet est chassée en créant des mini canaux par lesquels les fluides s'écoulent plus rapidement et d'autre part à un agrandissement de la taille des pores de la matrice qui peut être constaté après passage continu de solutions plus ou moins corrosives.

V-7- Influence de l'interaction entre le sol et les espèces inorganiques sur la composition finale du lixiviat :

L'interaction entre le sol et les espèces inorganiques influence largement dans la composition finale du lixiviat.

V-7-1- Comportement des ions :

La nature des ions se trouvant dans le lixiviat est très importante ainsi plus la charge est grande plus l'ion est absorbé (par exemple Al^{3+} est plus absorbé que Mg^{2+} et Mg^{2+} plus que Na^+). D'autre part les ions de même valeur sont d'autant mieux absorbés que leur rayon est grand (K^+ est plus absorbé que Na^+ , Ca^{2+} , Br^- que Cl^-). Ainsi la diminution de la concentration des métaux alcalins est provoquée par l'échange cationique de ces éléments avec l'argile et plus particulièrement avec la montmorillonite de calcium.

V-7-2- Comportement des métaux lourds :

Le comportement des métaux lourds est plus complexe que celui des ions. En effet, la mobilité des métaux lourds dans les sols argileux est fonction, du pH de la solution dont dépendent les phénomènes de précipitation, de la force ionique de la solution qui entraîne ou non une compétitivité entre les différents cations et de la capacité d'échange cationique du matériau argileux. Ainsi l'atténuation de ces cations a lieu sous forme d'échange d'ion et d'adsorption. CAMBELL et COLL ayant travaillé sur l'atténuation des polluants sur les argiles ont résumé dans le tableau suivant l'évolution des principaux métaux.

Tableau V-1 : l'évolution des principaux métaux [46].

	Cuivre (Cu)	Zinc (Zn)	Cadmium (Cd)
Conditions d'adsorption maximum	PH = 6 Par le sol le plus acide et argileux	6.3 < PH < 7.1 Pour le sol le plus acide est argileux	4 < PH < 5 Forte mobilité dans les sols acides et argileux la compétition est plus marquée pour Cd avec Al et Mn.
Influences des autres cations sur l'adsorption de l'ion.	PH < 5 Pas d'influence du Zn et du Cd pH = 8 diminution de l'adsorption du Cu en présence de Zn et Cd	A bas PH Cu et Cd diminue l'adsorption du Zn.	Adsorption plus faible en présence de Cu et Zn.
Le Cu s'adsorbe préférentiellement et sa présence inhibe l'adsorption du Zn et Cd. Diminution générale de l'adsorption a pH > 7 parallèlement, formation de complexe organométalliques stables, plus facilement en présence de Ca (CH ₂) que de NaOH qui disperse plus aisément la matrice organique.			

A priori, les réactions sol / lixiviat semblent être bénéfiques quant à la composition finale du lixiviat puisque certains polluants tels que les métaux lourds et certains éléments traces, sont retenus par les argiles et disparaissent de la composition du lixiviat [47].

Cependant, cette atténuation des polluants et le degré de mobilité dans le sol sont limités par la saturation de l'argile dans sa capacité d'échange cationique et anionique. En effet, lorsque les argiles n'offrent plus de possibilité d'échange d'ions, les polluants ne réagissent plus avec le sol et restent donc dans le lixiviat.

Ainsi selon GRIFFIN et ALL (1976) [48], on peut distinguer grossièrement quatre groupes de polluants en fonction de leur possibilité d'atténuation et de réaction avec le sol de la décharge et que l'on retrouvera donc dans la composition finale du lixiviat.

Tableau V-2 : Groupes de polluants en fonction de leur possibilité d'atténuation

Les groupes	Degré d'atténuation	Métaux
1 ^{er} groupe	Forte atténuation de polluant	Pb, Zn, Cd, Hg.
2 ^{ème} groupe	Atténuation moyenne du polluant	Fe, Si, K, NH ₄ ⁺ , Mg.
3 ^{ème} groupe	Faible atténuation du polluant	Na, Cl, matières organiques solubles.
4 ^{ème} groupe	Phénomènes de largage	Mn, Ca.

Il faut toutefois signaler que dans le cas des lessivât à forte concentration en produits organiques, c'est-à-dire la fraction liquide appartenant au déchet lui-même, ces phénomènes d'échange et d'adsorption deviennent moins importants.

V-8- Propagation de la pollution dans la nappe :

L'estimation de la charge polluante produite par lessivage et qui migre dans la zone non saturée permet d'avoir une idée sur la charge polluante qui peut pénétrer dans la nappe (zone saturée) et qui peut se propager à sa surface, au niveau de la frange capillaire.

Dans cette zone il est difficile d'estimer la vitesse de propagation de l'eau car de nombreux paramètres interviennent comme la dilution dans la nappe, la propagation différentielle dans les strates les plus perméables et les variations d'anisotropie (variation des propriétés des sols selon la direction considéré) et de densité des sols [55].

D'autres parts, les caractéristiques de la nappe et surtout le sens de son écoulement jouent un grand rôle dans la propagation de la pollution.

Il est notamment intéressant de savoir si la décharge est située en amont ou en aval des points de captage d'eau, dans ce dernier cas les risques de contamination d'une zone d'alimentation ou de drainage de la nappe sont exclus.

Le comportement des lessivât en zone non saturée et saturée d'aquifères poreux peut se résumer ainsi

- La biodégradation organique peut être considérable dans une décharge saturée. Les ions NH_4^+ persistent dans ces conditions les ions SO_4^{2-} et NO_3^- est réduits.
- L'eau souterraine oxygénée semble être bénéfique pour dégrader rapidement les composés (oxydations des sulfures et des ammoniums respectivement en sulfates et nitrates) [56].

Conclusion :

Les lixiviats se chargent donc de polluants organiques, minéraux et métalliques et risquent ainsi de provoquer la pollution de la nappe phréatique.

Par leur caractère polluant, les lixiviats doivent être traitées avant leur rejet éventuel en milieu naturel afin d'éviter la contamination des eaux souterraines. Des efforts permanents sont menés afin de doter les sites de stockage des déchets de drains pour capter les lixiviats avant de les traiter.

Chapitre VI

Exploitation du CET d'Ouled Fayet

L'imperméabilisation est une étape primordiale dans la conception d'un Centre d'Enfouissement Technique, car un site non imperméabilisé entraîne une infiltration des percolâts vers les eaux souterraines et par conséquent présente un réel risque pour l'homme et son environnement. C'est pour cela que l'imperméabilisation a fait l'objet d'une attention particulière lors de la construction du C.E.T d'Ouled Fayet.

VI-1- Présentation du site :

Le site de la décharge publique d'Ouled Fayet a été retenu par l'étude du Schéma Général d'assainissement du Grand Alger, approuvé par décret présidentiel n°76.53 en date du 25/03/76 qui recommandait l'aménagement de deux nouvelles décharges, l'une à l'Ouest (OULED FAYET), l'autre à l'Est (OULED MOUILLEH. Boudouaou). Le schéma a été mis en œuvre par le lancement des travaux de la décharge d'Ouled Fayet en 1988/ 1989 suite à un accord entre l'APC et le conseil populaire de la ville d'Alger. Le site a une superficie de 40 hectares dont 19 exploitables ; il est situé à 3 Km du chef lieu de la commune d'Ouled Fayet, entre les deux axes de circulation de la RN 36 à l'Est et le CW 142 à l'Ouest [58]. La décharge se trouve en amont du versant droit de l'Oued Ben Brahim affluent de l'Oued El Kerma. Il comporte des terrains marneux ou argileux favorables pour l'implantation d'une décharge, d'ailleurs 76 sondages ont été effectués par le laboratoire national de l'habitat. Les résultats ont aboutit à une parfaite étanchéité (perméabilité de 10-8 cm/s). La profondeur des casiers repose sur les marnes imperméables. La construction a débuté en février 1999 de manière à couvrir la totalité de l'assiette de la décharge. La décharge contrôlée d'Ouled Fayet, rassemble les déchets ménagers et assimilés (classe II) de 39 communes. Cette décharge en dépit de son rôle écologique, constituait une « **solution provisoire** » à court et moyen terme, aux problèmes urgent de l'élimination des déchets solides du Grand Alger, vue la saturation de la décharge de OUED SMAR. Elle fut par le passé une décharge sauvage; les déchets étaient déposés sans aucun contrôle, y compris les déchets industriels et hospitaliers. Ce site causait des nuisances aux habitants de la région, par la prolifération de rongeurs et d'insectes, le brûlage des ordures à ciel ouvert et le stockage anarchique des déchets. La mise en exploitation de la décharge contrôlée d'Ouled Fayet appelée aussi Centre d'Enfouissement Technique (C.E.T) a été précédé par des travaux d'aménagement général, ces travaux sont la conclusion de propositions visant à accélérer l'aménagement de la décharge qui était depuis son ouverture en 1988 un site de déversement sauvage des déchets solides provenant des communes limitrophes, ces propositions sont contenues dans l'étude de la collecte, du transport et de l'élimination des déchets solides du grand Alger; étude réalisée en 1995 par les firmes Kittelberg – Allemagne et EEC –Algérie avec le concours de la banque mondiale [59]. Les travaux d'aménagement, qui ont débuté en 1998, étaient indispensables à la mise en place d'un système

d'exploitation des déchets, visant en priorité à protéger l'environnement du site de toutes nuisances susceptibles d'être générées. Ces travaux portent notamment sur :

- 1- L'imperméabilisation du fond des casiers.
- 2- La mise en place de points de contrôle des eaux superficielles.
- 3- La mise en place d'une buse pour l'évacuation des eaux de pluie du bassin versant.
- 4- La mise en place d'une chemise de drainage pour l'évacuation des percolâts de chaque casier.
- 5- Les matériaux issus du déblai des casiers, devront faire l'objet d'un stockage de façon sélective afin de différencier les argiles, les sables et les terres végétales.
- 6- L'installation d'un bassin de stockage des eaux de percolation.
- 7- La mise en place et en service d'un pont bascule à l'entrée de la décharge.
- 8- La construction des bâtiments d'entretiens et des bureaux.
- 9- Les plantations périphériques intérieures et extérieures (mur de clôture) d'une longueur de 2600 m [58].



Figure VI-1: L'état de la Décharge avant 1998 [63].



Figure VI-2: L'état de la Décharge après 2002. (Casier d'enfouissement technique) [57]

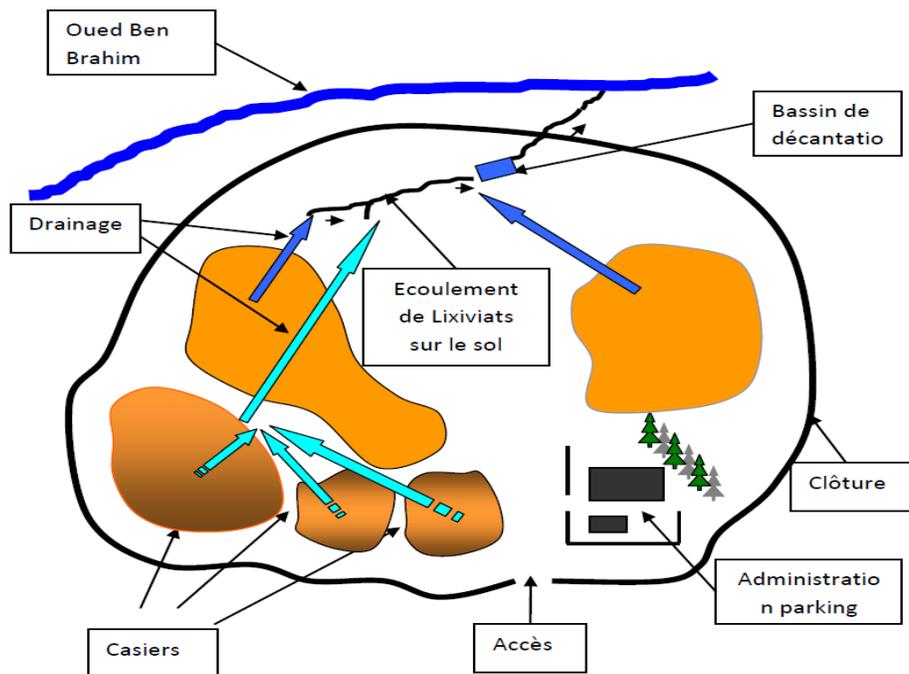


Figure VI-3 : Schéma Représentatif de Centre d'enfouissement Technique d'Ouled Fayet

VI-2- Imperméabilisation technique du fond de la décharge, le concept de confinement :

Pendant très longtemps, on s'est contenté de concevoir des aires de stockage de déchets comme une « boîte » étanche, avec un fond si possible argileux et des parois en argile ou en béton. Ce concept ne présente pas de sécurité absolue puisqu'à la moindre fuite, les effluents pollués sont en contact direct avec le sol et les nappes environnantes. Pour compléter une étanchéité, on doit prévoir un système de drainage qui collecte les fuites éventuelles. La meilleure sécurité en matière de stockage de déchets est obtenue en réalisant deux barrières étanches entre lesquelles est prévu un dispositif de drainage (**Figure V.4**). Une sécurité absolue peut être obtenue dans chaque compartiment, puisqu'en aucun cas l'eau polluée ne peut aller en contact avec la nappe phréatique. Les murs verticaux de telles enceintes sont des parois moulées dans le sol.

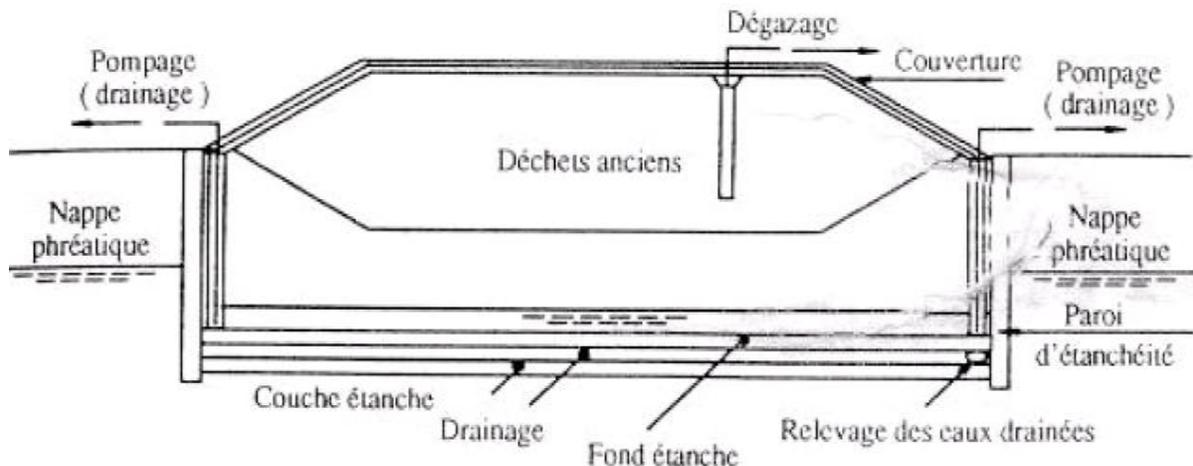


Figure VI-4 : Système de confinement avec drainage des déchets solides [58].

La réalisation d'une barrière étanche peut se faire selon trois options :

- a) sols naturels en place :** Ce sont des sols à dominance argileuse, marneuse ou limoneuse.
- b) Sols naturels recompactés :** Les sols de la décharge subissent une correction granulométrique par l'ajout de bentonite, une solution qui permet d'atteindre les seuils de perméabilité fixés.
- c) Géosynthétiques :** Les géosynthétiques sont de plus en plus utilisées dans des centres de stockage des déchets ou leur fonction est analogue à celle des autres applications du Génie Civil :

- ✚ étanchéité (geomembrane).
- ✚ Drainage (géotextile, géodrains).
- ✚ Filtration (géotextile).

Le site dispose suffisamment de matériaux argileux pouvant servir d'écran d'étanchéité minérale. A cet effet le fond du casier devra être imperméabilisé par une couche de 25 cm d'argile compactée et la pose d'une nappe géomembrane qui sera recouverte par une autre couche d'argile. (**Figure VI-5**)

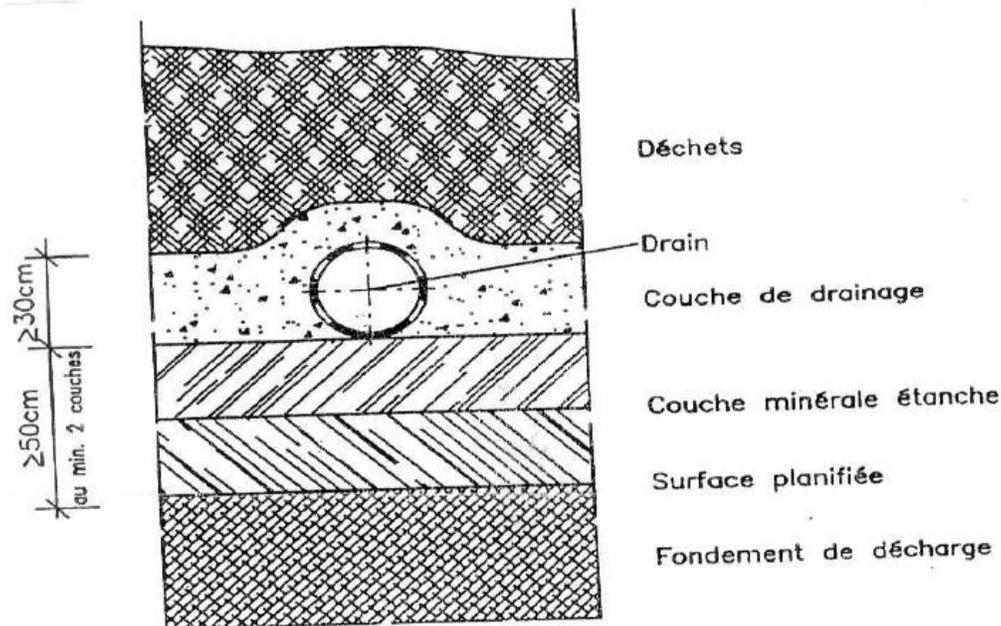


Figure VI-5 : Structure d'une minérale d'étanchéité. (KITTELBERGER, 1995) [58].

La géomembrane choisie par le C.E.T d'Ouled Fayet est en Poly Ethylène Haute Densité (PEHD), épaisse de 1,1 mm, conditionnée sous forme de rouleaux de 130 m de longueur et une surface de 975 m².

VI-3- Drains : Afin de limiter au maximum le risque de pollution des nappes, il est nécessaire de limiter les infiltrations d'eau sous les dépôts. Ainsi, deux types de mesures peuvent être envisagés :

VI-3-1- Aménagement du pourtour de la décharge : En raison de la situation topographique du terrain, il a été recommandé que chaque casier bénéficie selon sa situation dans le corps de la décharge, de sa propre inclinaison longitudinale et latérale. Cela permet aux eaux de percolation qui s'accumulent dans le fond imperméable de la décharge de s'écouler sur une pente vers la conduite de lixiviats la plus proche.

La méthode retenue est celle de la décharge compactée avec neuf casiers. Ces derniers nécessitent des travaux de terrassement sur une profondeur de 8m. Les casiers doivent être délimités par des remblais (section triangulaire) d'une hauteur de 3 à 4 m. Leurs talus doivent être munis d'une couche d'étanchéité semblable d'au moins 30 cm, qui doit être intensivement compactée pour éviter l'écoulement latéral des eaux de percolations lors de leur construction.

VI-3-2- Mise en place d'un système de drains internes : Relié à un système collecteur externe (lagune par exemple), ce procédé permet de réduire les infiltrations d'eau vers le bas de la décharge, il sera relié au bassin de stockage des eaux de percolation situé à l'Est du site. Ce système de gestion des eaux, système de drain interne est composé:

- a) Des points de contrôle des eaux.
- b) D'un système d'évacuation des eaux pluviales.

a) Points de contrôle des eaux : Pour le bon fonctionnement et contrôle de la quantité des eaux de surface, il est nécessaire de mettre en place des points de contrôle (**Figure VI-6**).

- Deux points de contrôle en amont de la décharge, l'un sur l'Oued Ben Brahim et l'autre sur son affluent intermittent.
- Deux points de contrôle sur l'avant de la décharge sur l'Oued Ben Brahim (point 1 et point 2).
- Deux points de contrôle au niveau de bassin de stockage des eaux de percolation point 3 et point 4).

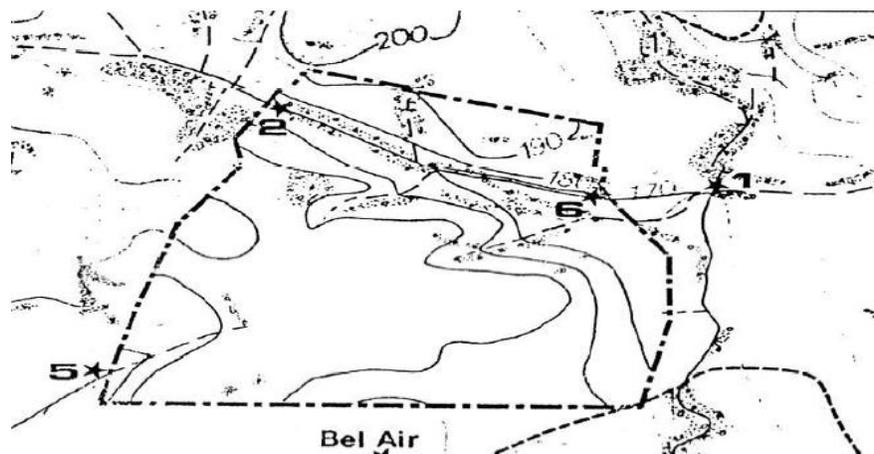


Figure VI-6 : Carte simplifiée de la localisation des points de contrôle des eaux (EDIL, 1999) [58].

b) Système d'évacuation des eaux pluviales : L'installation d'une buse dans l'axe de l'oued intermittent, de diamètre égale à 1500 mm et de longueur égale à 210 m voir **Figure VI-7**, en deux sections et comportant un ouvrage de changement de direction, permettant l'évacuation des eaux pluviales du bassin versant amont de l'Oued. En amont et en aval, un ouvrage de type retenue de barrage en béton armé est prévu du fond de l'Oued jusqu'à la côte topographique de 178 m. Au-dessus de la buse, est prévue une dalle de répartition de charge, séparée par un espace de terre de 1 à 1,50 m qui protégera la buse contre l'écrasement sous l'effet des déchets.

- Les drains des casiers 1 et 2 seront reliés au drain du casier 3 dès le début des travaux de mise en décharge.
- Pour les casiers 3, 4 et 5 en raison de leur taille, ils nécessitent un système particulier de récupération des percolâts consistant en la mise en place de canalisations souterraines reliées au bassin de stockage des eaux usées.

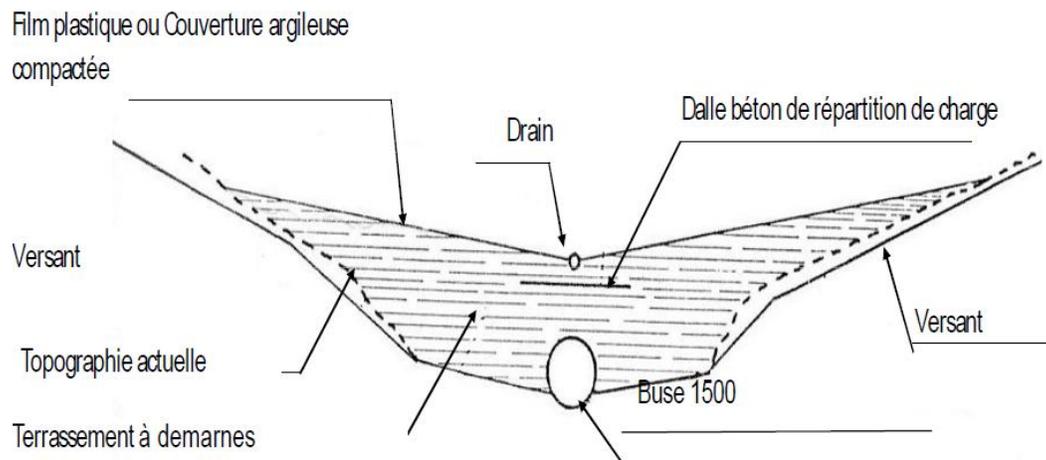


Figure VI-7: Carte schématique à travers l'OUED intermittent. (EDIL, Juillet 1999) [58].

VI-3-3- Moyens de traitement : Lorsque les eaux de percolations et de ruissellement sont collectées, elles sont acheminées vers deux (02) bassins ouverts, qui sont des fossés creusés et habillés d'un film PEHD d'environ 2 mm d'épaisseur, le sol doit présenter une faible inclinaison d'environ 1 à 1,5°, afin de faciliter leur collecte et leur épuration : Deux destinations sont envisagées pour les rejets :

- Recyclage sur la décharge par réaspersion afin de favoriser l'évaporation donc réduire la quantité des lixiviats et la décomposition de composants organiques des eaux de percolation.
- Traitement de la partie restante en station d'épuration de Staoueli

VI-4- Les déchets de la décharge d'Ouled Fayet : [60]

Le centre d'enfouissement technique d'Ouled Fayet a une capacité prévue de 6.000.000,00 m³, 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.

VI-4-1- Type des déchets autorisés : [58]

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. Tout autres déchets (toxique, septique, industriel, déchets d'abattoirs...etc.) sont strictement interdits. Les déchets admis et non admis au CET sont représentés dans le tableau VI-2 suivant :

Tableau VI-2 : Types de déchets admissibles et interdits Dans le CET d'Ouled Fayet [57].

Type de déchets admissibles	Types de déchets interdits
<ul style="list-style-type: none"> + 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. + Déchet de bois ; papier, carton. 	<ul style="list-style-type: none"> + Déchets dangereux et déchets industriels spéciaux. + Déchets d'activités de soins et assimilés. + Déchets radioactifs. + Déchets contenant plus de 50mg/Kg de PCB. + Déchets inflammables et explosifs. + Déchets liquides ou solides dont la siccité est inférieur à 30%. + Pneumatiques usagés.

VI-4-2- Quantité de déchets rejetés dans le CET [61] : Actuellement la quantité moyenne de déchets déversés dans le C.E.T d'Ouled Fayet est de 450 tonnes par jour. Le nombre moyen de voyages effectués par jour est de 100 voyages.

VI-4-3- Exploitation des casiers d'enfouissement : Le nombre de casiers exploités à ce jour est de 04 casiers, dont la quantité des déchets reçus pour chaque casier est donnée en tableau VI-3

Tableau VI-3 : quantité des déchets reçus au niveau du C.E.T d'Ouled Fayet pour chaque casier

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	179 923	5 539	185 462	554 680.27	50 090	604 770.27	604 770.27	165% (saturé)

Dans le tableau VI-4, nous donnons les quantités de déchets rejetés par chaque commune durant le premier

Tableau VI-4: Etat de déversement au niveau du CET de Ouled Fayet durant le 1er Trimestre 2010 [61].

	JANVIER		FEVRIER		MARS		Total Trimestriel	
	Nbr de voyage	Tonnage	Nbr de voyage	Tonnage	Nbr de voyage	Tonnage	Nbr de voyage	Tonnage
Entrée Payante	4,409	13,748.31	4,464	14,117.24	5,231	16,352.81	14,104	44,218.36
Entrée Gratuite	835	1,981.29	961	2,411.56	926	2,583.07	2,722	6,975.92
Les communes travaillant avec NET COM	6,520	19,297.89	5,810	16,371.92	6,333	18,800.21	18,663	54,470.02
Particulier	789	2,718.88	911	3,153.08	618	1,871.53	2,318	7,743.49
Total Ordures ménagères	12,553	37,746.37	12,146	36,053.80	13,108	39,607.62	37,807	113,407.79

L'augmentation du nombre de communes qui déversent leur déchets au CET d'Ouled Fayet : en 2001, ce nombre était de 6 communes, de 25 en 2003, de 27 en 2004, augmenté jusqu'à 54 communes aujourd'hui.

VI-5- Conception & Réalisation du CET d'Ouled Fayet :

VI-5-1- Les casiers d'enfouissement : Le tablea1 VI-5 donne : la profondeur, la capacité et le taux d'exploitation de chaque casier ainsi que la durée d'exploitation de chacun.

Tableau VI-5 : Exploitation des casiers d'enfouissement du CET d'Ouled Fayet [61].

Casier	Profondeur (m)	Capacité m3	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	11 %	En cours d'exploitation
Casier N°5	16	500.000 soit 250.000 tonnes de déchets compactés	165%	23 mois et 6 jours. Saturation définitive

VI-5-2- Imperméabilisation des casiers d'enfouissement [58] : Après étude du sol et des caractéristiques géologiques du site retenu pour l'implantation de la décharge, commence alors les travaux de terrassement, une excavation d'une dizaine de mètres de profondeur et d'une superficie de 10.000 m² 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.

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 [60].

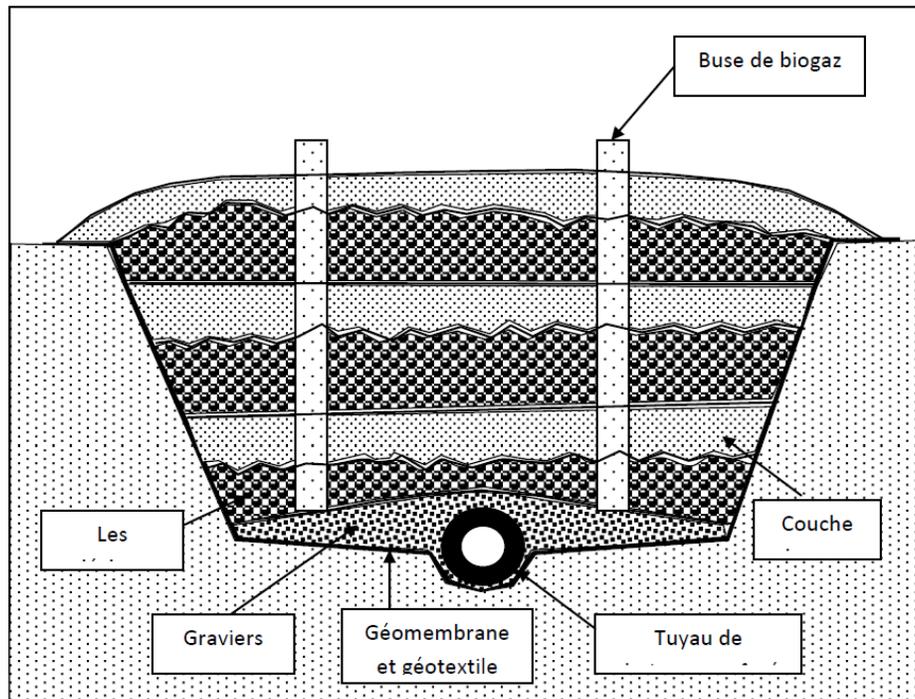


Figure VI-8: Schéma Représentatif d'un casier d'enfouissement technique [60]

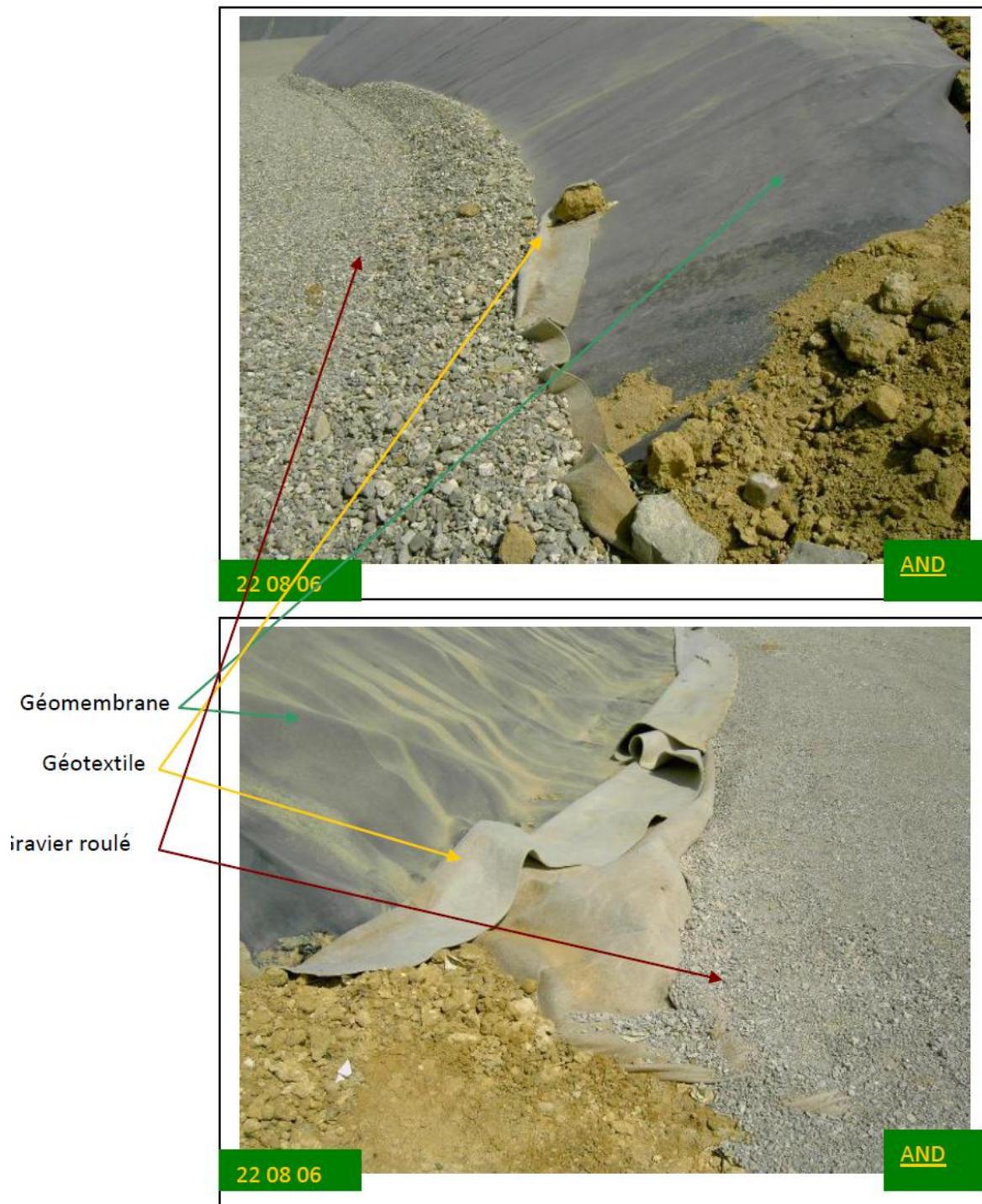


Figure VI-9 : Constituant du casier N°4 : géomembrane, géotextile et gravier roulé en dernier

VI-5-3- 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. En fond de décharge, la géomembrane doit jouer le rôle de barrière étanche et favoriser le drainage des lixiviats. Seules les géomembrane 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. 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 m² de surface, présentant les caractéristiques suivante : -Résistance à la rupture : 30N/mm² -Résistance à la déchirure : 215 N - Comportement dans l'eau perte : 0,1% La géomembrane en PEHD est résistante à la plupart des acides, aux produits pétroliers, aux bases et aux solutions du sel ; elle peut être en contact avec l'eau potable. Elle se dissout seulement dans quelque solution quand la température est plus élevée. Grâce à l'adjuvant de la suie, elle est résistante aux rayons U.V. Cependant les géomembrane 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. Une densité de 26 défauts par hectare (valeur haute) a été mesurée dans le fonds de décharges, et les débits de fuites des lixiviats au niveau de ces perforations peuvent être importants. Une géomembrane présentant des perforations, des soudures imparfaites, une mauvaise mise en œuvre ne remplit pas son rôle de barrière étanche. Les lixiviats la traversent et atteignent la barrière de sécurité passive. Si la couche argileuse arrive à saturation, les lixiviats pourront atteindre l'aquifère puis, à terme, contaminer les nappes d'eau souterraines. Pour tenter de limiter cette contamination, un système de drainage peut être mis en place sous la géomembrane pour recueillir le lixiviats [58].



Figure VI-10 : mise et soudure de la Géomembrane.

VI-5-4- Réseau de drainage des lixiviats Afin de capter et éviter l'accumulation des eaux de lixiviations vers le bas des casiers, un réseau est installé au fond des cellules. Les conduites sont en PVC perforés de 25 cm de diamètre.



Figure VI-11 : conduite 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.



Figure VI-12 : Tube de drainage



Figure VI-13 : Géotextile.

L'ensemble est recouvert d'une couche de gravier 50/25 de 40 cm d'épaisseur.



Figure VI-14 : la couche de gravier.

VI-5-5- Elimination des biogaz [62] Un système vertical de récupération des biogaz a été réalisé, qui consiste en des cheminées en buses et en béton perforé de 1m \varnothing . 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. Le biogaz au niveau des casiers n'est pas pris en charge (ni récupéré, ni brûlé), il s'échappe dans l'air.



Figure VI-15 : Système de récupération de BIOGAZ sans traitement, Ouled Fayet



Figure VI-16 : Refoulement de lixiviats vers l'extérieur au niveau du cheminé de récupération des Biogaz du Casier N° 1, Ouled Fayet

Bassin de décantation de lixiviats : Les eaux de percolation du casier N° 5 sont récupérées par un canal de réception dont le débit est estimé à 1.85 Litres/s dans un bassin ayant un volume de 124 m³ Il y a lieu de signaler, que la nature est considérée comme le réceptacle final pour lixiviats qui ne subissent aucun traitement au préalable.



Figure VI-17 : Le bassin de décantation de lixiviats.



Figure VI-18 : Canal de réception de lixiviats

Actuellement, le bassin de décantation est saturé et le drainage se fait directement vers l'oued de Ben Brahem à travers le canal d'évacuation.



Figure VI-19 : Canal d'évacuation de lixiviats vers l'Oued Ben Brahem.



Figure VI-20 : Réceptacle finale de lixiviats vers l'Oued Ben Brahem.

VI-6- 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. -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 : Préparation d'un sol favorable au développement de la végétation. Plantation d'une végétation qui s'adapte au milieu.

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) Le choix des espèces : En fonction du choix de réaménagement en relation avec le type du sol et des conditions environnementales, des espèces forestières ou herbacées pourront être plantées ou ensemencées. Il est conseillé de choisir des espèces adaptées au site et à la région, suivant les conditions climatiques et l'état physique du sol au moment de la plantation.



Figure VI-21 : Terrain cultivé en aval du CET d'Ouled Fayet

Conclusion :

Comme il a été mentionné lors de ce chapitre, la nature (Oued Ben Brahem) représente le réceptacle final des lixiviats issus du centre d'enfouissement technique de Ouled Fayet. Que peuvent-t-ils bien contenir ? Un traitement est-il nécessaire ? Quel genre de traitement leur conviendrait ? Et quelles sont les conditions optimales du traitement ? Ces questions vont être soulevées lors du prochain chapitre, tout en argumentant à travers une série d'expériences

2^{eme} Partie

Etude Expérimentale des Lixiviats Issus du CET d'Ouled Fayet

Les lixiviats du centre d'enfouissement technique sont de compositions diverses, selon les saisons, la pluviométrie, la nature des déchets, 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 : Turbidité, pH, conductivité, T°, DCO, DBO₅, DCO/DBO₅, NO₃⁻, NO₂⁻, PO₄⁻³, NH₄⁺, NTK, SO₄²⁻, MES, MVS, Résidu sec, Cl⁻, TH, Ca²⁺, Fe, Pb, Cd, Cu et de procéder ensuite au traitement des lixiviats du plus vieux casier par la combinaison de trois traitements : la coagulation-floculation, l'oxydation avancée de fenton et l'adsorption sur charbon actif.

I- Campagne de prélèvement :

Une campagne de prélèvements de douze 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 :

1. Prélèvement de trois échantillons le 27/04/2010, après une période pluviale.
2. Prélèvement de trois échantillons le 04/05/2010, après une période pluviale.
3. Prélèvement de trois échantillons le 20/05/2010, après une période ensoleillée.
4. Prélèvement de trois échantillons le 29/05/2010, après une période ensoleillée.

Le premier et le deuxième prélèvement correspondent à une période à forte pluie, contrairement aux autres prélèvements effectués dans des périodes ensoleillées où l'on ne s'attend pas à une dilution par les eaux de pluie ni à un lessivage plus fort qui augmenterait les teneurs des éléments facilement mobilisables. Les échantillons de lixiviat sont prélevés à une température ambiante variant entre 18 et 25°C.

II- Mode de prélèvement et de conservation:

Pour notre étude nous avons retenu quatre points de prélèvements P₁, P₂, P₃ et P₄ qui se différencient par l'âge des lixiviats, le premier P₁ se situe à la sortie du système de drainage verticale des biogaz du casier N°1 déjà fermés, le point P₃ se trouve sur le casier N°5 (bassin de stockage) qui est en cours d'exploitation. Les deux autres points de prélèvement P₂ et P₄, l'un se situant directement à la sortie du drain collecteur des casiers 1, 2 et 3 (P₂), l'autre un peu plus loin après passage de ces lixiviats par un trajet naturel à proximité du Oued Ben Brahem (P₄), ce dernier point est pris par coïncidence après une mauvaise reconnaissance du point de prélèvement. Nous illustrons en figures II-1 à II -5 le CET avec des photos des points de prélèvement.



Figure II-1 : Points de prélèvement des lixiviats



Figure II-2 : Vue du drain des biogaz au point de prélèvement P₁



Figure II-3 : Vue du lixiviat au point de prélèvement P_2

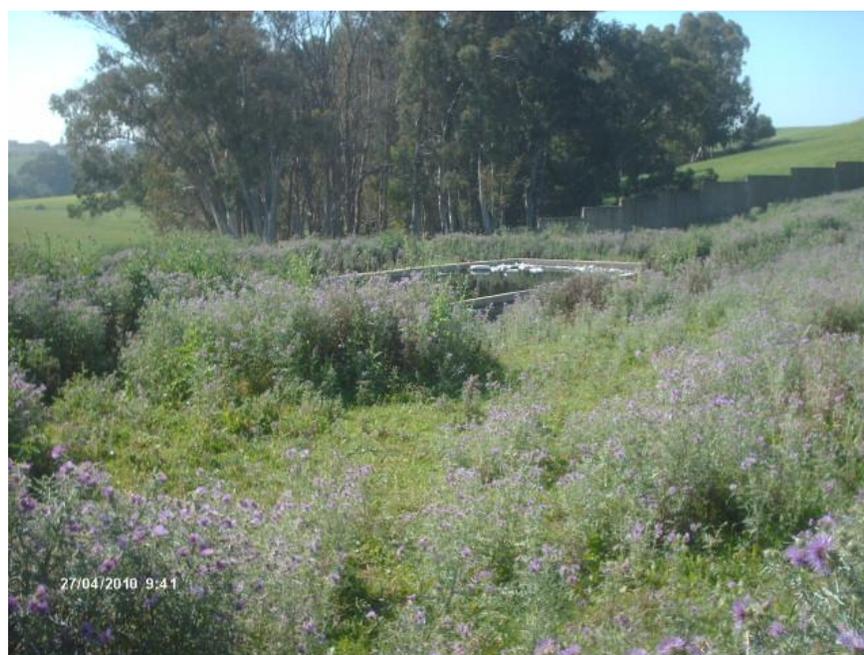


Figure II-4 : Vue du bassin de collection des lixiviats du casier 5 au point de prélèvement P_3



Figure II-5 : Vue du lixiviat au point de prélèvement P₄

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 réception des lixiviats, au niveau de laboratoire pédagogique du département Génie d'Environnement.

III-Caractérisation des lixiviats d'Ouled Fayet :

III-1- Méthodes d'analyse :

Les paramètres physico-chimiques pour caractériser les lixiviats d'Ouled Fayet ont été analysés selon les protocoles normalisés AFNOR et ISO [64], les méthodes et les normes sont portées en annexe I. Le Tableau III.1 regroupe les méthodes utilisées dans notre caractérisation.

Tableau III-1 : Méthodes d'analyses pour chaque élément.

Elément	Méthode
Turbidité	Mesure directe avec turbidimètre
pH	Mesure directe avec pH-mètre
V redox	Mesure directe avec pH-mètre
Conductivité	Mesure directe avec conductimètre
Température	Mesure directe avec thermomètre

DCO	Oxydation par le bichromate +spectrophotométrie
DBO	Respirométrie
Nitrate	Spectrophotométrie
Nitrite	Spectrophotométrie
O-phosphates	Spectrophotométrie
Ammoniaque	Spectrophotométrie
NTK	Minéralisation, distillation, titrage
Sulfates	Spectrophotométrie
MES/MVS	Différence de poids
Chlorures	Titrage
Ca ²⁺ et Mg ²⁺	Titrage
Métaux lourds	Spectroscopie d'absorption atomique

III-2- Résultats des analyses :

Les analyses physico-chimiques que nous avons effectuées ont été axées sur l'évaluation de la charge organique, de la biodégradabilité, et des éléments toxiques, les résultats obtenus sont représentés dans les tableaux III-2 à III-6.

Tableau III-2 : Teneurs des différents paramètres caractérisant les lixiviats

(Point de prélèvement P₁ (casier 1))

Paramètres	Jours de prélèvement			
	27/04/2010	04/05/2010	20/05/2010	29/05/2010
La couleur (Hazen)	/	625	625	750
La turbidité (NTU)	/	829	120	221
L'odeur	Nauséabonde	Nauséabonde	Nauséabonde	Nauséabonde
pH	7.7	7.64	7.68	7.65
P _{redox} (mV)	-38	-40.5	-43.3	-40
La conductivité (ms/cm)	35.3	26.2	7.68	7.68
La température (°C)	19.7	15.5	12.8	22.6
DCO (mg d'O ₂ /L)	9073.32	7515.40	8114.60	8474.12
DBO ₅ (mg d'O ₂ /L)	/	/	931	1609

DBO ₅ /DCO	/	/	0.115	0.190
NO ₃ ⁻ (mg/L)	36.22	31.96	28.89	34.65
NO ₂ ⁻ (mg/L)	3.73	3.37	5.86	6.73
PO ₄ ³⁻ (mg/L)	115.11	137.54	219.96	151.6
NH ₄ ⁺ (mg/L)	3872.87	3456.81	4683.15	4193.68
NTK (mg/L)	4257.2	6204.8	4956.2	4390.4
SO ₄ ²⁻ (mg/L)	758	745.71	578.53	549.03
MES (mg/L)	1173.33	1186.67	675.56	855.56
MVS (mg/L)	771.11	391.11	200	608.89
Résidu sec (g/L)	18.1	15.4	20.68	17.07
Cl ⁻ (mg/L)	4215.625	1846	5396	7810
TH (meq/L)	46.25	23.2	24.8	26
TH _{Ca2+} (mg/L)	550	163.2	272	960
Fe (mg/L)	/	/	/	20.22
Pb (mg/L)	/	/	/	2.16
Cd (mg/L)	/	/	/	0
Cu (mg/L)	/	/	/	4.3

Tableau III-3 : Teneurs des différents paramètres caractérisant les lixiviats*(Point de prélèvement P₂ (casiers 2, 3 et 4))*

Paramètres	Jours de prélèvement			
	27/04/2010	04/05/2010	20/05/2010	29/05/2010
La couleur (Hazen)	/	750	1000	750
La turbidité (NTU)	/	122	1000	1000
L'odeur	Nauséabonde	Nauséabonde	Nauséabonde	Nauséabonde

Traitement des lixiviats du CET d'Ouled Fayet

pH	8.4	8.33	8.58	8.54
P _{redox} (mV)	-78.6	-80.3	-94.8	-92.9
La conductivité (ms/cm)	25.3	19.05	5.99	5.93
La température (°C)	19.4	15.6	13.9	19.4
DCO (mg d'O ₂ /L)	7061.56	2310.49	6098.65	6248.45
DBO ₅ (mg d'O ₂ /L)	/	/	1128	1214
DBO ₅ /DCO	/	/	0.185	0.194
NO ₃ ⁻ (mg/L)	38.04	48.96	40.68	19.14
NO ₂ ⁻ (mg/L)	9.11	33.4	6.73	5.99
PO ₄ ³⁻ (mg/L)	47.73	34.24	57.54	222.53
NH ₄ ⁺ (mg/L)	2197.75	1252.37	2818.38	2994.20
NTK (mg/L)	52500	130200	95200	13300
SO ₄ ²⁻ (mg/L)	1285.5	1315.24	897.31	723.17
MES (mg/L)	522.22	331.11	631.11	2077.78
MVS (mg/L)	315.56	144.44	300	1824.44
Résidu sec (g/L)	13.54	9.39	10.78	14.95
Cl ⁻ (mg/L)	10295	10508	4118	7100
TH (meq/L)	86	31.2	44	44
TH _{Ca2+} (mg/L)	1760	556.8	768	560
Fe (mg/L)	/	/	/	8.74
Pb (mg/L)	/	/	/	2.1
Cd (mg/L)	/	/	/	0
Cu (mg/L)	/	/	/	5.8

Tableau III-4: Teneurs des différents paramètres caractérisant les lixiviats(Point de prélèvement P₃ (casier 5))

Paramètres	Jours de prélèvement			
	27/04/2010	04/05/2010	20/05/2010	29/05/2010
La couleur (Hazen)	/	1250	1125	625
La turbidité (NTU)	/	463	163	218
L'odeur	Nauséabonde	Nauséabonde	Nauséabonde	Nauséabonde
pH	7.42	8.48	8.39	8.34
P _{redox} (mV)	-22.8	-88.5	-84.1	-81.5
La conductivité (ms/cm)	27.3	36.7	6.91	6.96
La température (°C)	19.8	15.3	13.9	19.1
DCO (mg d'O ₂ /L)	26278.49	14497.61	16744.61	14872.11
DBO ₅ (mg d'O ₂ /L)	/	/	2820	2260
DBO ₅ /DCO	/	/	0.168	0.152
NO ₃ ⁻ (mg/L)	31.58	20.70	34.67	48.44
NO ₂ ⁻ (mg/L)	11.75	3.31	8.97	7.47
PO ₄ ³⁻ (mg/L)	368.25	75.70	75.70	284.11
NH ₄ ⁺ (mg/L)	6745.01	15391.43	5689.29	8000.68
NTK (mg/L)	7700	40320	5712	5152
SO ₄ ²⁻ (mg/L)	2156.2	680.12	1167.71	1376.68
MES (mg/L)	7540.43	180	448.89	686.67
MVS (mg/L)	2251.06	68.89	88.89	106.67
Résidu sec (g/L)	12.76	11.28	18.55	23.15

Cl ⁻ (mg/L)	3993.75	4402	5680	7100
TH (meq/L)	217.5	94	24	32
TH _{Ca2+} (mg/L)	5150	1680	320	480
Fe (mg/L)	/	/	/	11.36
Pb (mg/L)	/	/	/	1.92
Cd (mg/L)	/	/	/	0
Cu (mg/L)	/	/	/	3.98

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 les tableaux suivant :

Tableau III-5 : Teneurs moyennes des différents paramètres caractérisant les lixiviats des points de prélèvement P₁, P₂ et P₃

Paramètres	Point P ₁		Point P ₂		Point P ₃		Norme [65]
	Moyenne	Intervalle de variation	Moyenne	Intervalle de variation	Moyenne	Intervalle de variation	
La couleur (Hazen)	666.67	750 - 625	833.33	1000 - 750	1000	1250 - 625	
La turbidité (NTU)	390	829 - 120	707.33	1000 - 122	281.33	463 - 163	
pH	7.67	7.7 - 7.64	8.48	8.58 - 8.33	8.16	8.48 - 7.42	6,5-8,5
P _{redox} (mV)	-40.45	-43.3 - -38	-89.33	(-94.8) - (-80.3)	-69.23	(-88.5) - (-22.8)	
La conductivité (ms/cm)	19.22	35.3 - 7.68	10.32	19.05 - 5.99	19.47	36.7 - 6.96	
La température (°C)	17.65	22.6 - 12.8	16.3	19.4 - 13.9	17.03	19.8 - 13.9	30
DCO (mg d'O ₂ /L)	8294.36	9073.32 - 7515.4	4885.86	6248.45 - 2310.49	18098.21	26278.49 - 14497.61	120
DBO ₅ (mg d'O ₂ /L)	1270	1609 - 931	1171	1214 - 1128	2540	2820 - 2260	35
DBO ₅ /DCO	0.152	0.19 - 0.11	0.190	0.194 - 0.184	0.160	0.168 - 0.151	
NO ₃ ⁻ (mg/L)	32.93	36.22 - 28.89	36.26	48.96 - 19.14	33.85	48.44 - 20.70	
NO ₂ ⁻ (mg/L)	4.92	6.73 - 3.367	15.37	33.398 - 5.99	7.87	11.75 - 3.31	
PO ₄ ³⁻ (mg/L)	156.05	219.96 - 115.11	104.77	222.53 - 34.24	200.94	368.25 - 75.70	10
NH ₄ ⁺ (mg/L)	4051.63	4683.15 - 3456.81	2354.98	2994.20 - 1252.37	8956.60	15391.43 - 5689.29	
NTK (mg/L)	3007.2	6204.8 - 627.2	79566.67	130200 - 13300	14721	40320 - 5152	40
SO ₄ ²⁻ (mg/L)	657.82	758 - 549.03	978.57	1315.24 - 723.17	1345.18	2156.2 - 680.12	

MES (mg/L)	972.78	1186.67 - 675.56	1013.33	2077.78 - 331.11	2214	7540.43 - 180	40
MVS (mg/L)	492.78	771.11 - 200	756.29	1824.44 - 144.44	628.88	2251.06 - 68.89	
Résidu sec (g/L)	17.81	20.68 - 15.4	11.71	14.95 - 9.39	16.44	23.15 - 11.28	
Cl ⁻ (mg/L)	4816.91	7810 - 1846	7242	10508 - 4118	5293.94	7100 - 3993.75	
TH (meq/L)	30.06	46.25 - 23.2	39.73	44 - 31.2	91.88	217.5 - 24	
TH _{Ca2+} (mg/L)	486.3	960 - 163.2	628.27	768 - 556.8	1907.5	5150 - 320	
Fe (mg/L)	20.22	/	8.74	/	11.36	/	3
Pb (mg/L)	2.16	/	2.1	/	1.92	/	0,5
Cd (mg/L)	0	/	0	/	0	/	3
Cu (mg/L)	4.3	/	5.8	/	3.98	/	0,5

III-3- Interprétation des résultats :

III-3- 1- La couleur :

Pour le point P₁, les lixiviats étudiés avaient une couleur moyenne de 666 Hazen, plus foncée en période ensoleillée et plus claire en forte pluviométrie due à la dilution par les eaux de pluie, celles des points P₂ et P₄ sont plus intense respectivement de 1000 et 866 Hazen. 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. Ainsi plus ces composés sont présent plus la couleur est intense [33].

III-3- 2- L'odeur :

Les odeurs désagréables dégagées par les lixiviats avaient une similitude avec celles "des œufs pourris", plus prononcées pour le jeune au point P₂ que les autres points. 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 H₂S ;
- 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.

III-3- 3- La Température :

La température favorise le développement des micro-organismes dans les lixiviats, le lixiviat vieux (P₁) présente une température moyenne basse de 17.65 °C qui sans doute celle de la température ambiante, les autres points ont tous une température dans les environs de 18 °C ce qui signifie que les réactions exothermiques sont moins présentes, puisque l'âge des lixiviats dans les casiers 1, 2, 3 et 5 varie de 3 à 9 ans. Ces températures favorisent le développement de la flore mésophile, mais restent inférieures à la norme de rejet qui est de 30°C [65].

III-3- 4- Le Potentiel d'Hydrogène (pH) :

Ce paramètre caractérise un grand nombre d'équilibres physico-chimiques et dépend de facteurs multiples, dont l'origine de l'eau. Son évolution est une fonction linéaire du temps pour une courte période de vie de la décharge, qui est présentée dans le tableau III-7 [67] :

Tableau III-7: Evolution du pH des lixiviats en fonction du temps (où t est en année)

Age de la décharge	pH des lixiviats
0 à 2 ans	Acidification importante et variable
2 à 6 ans	$\text{pH} = 0,71.t + 4,5$
Après 6 ans	Stabilisation du pH à 8 - 8,5

La valeur moyenne du pH est de 7,67 pour P₁, ce qui caractérise un lixiviat intermédiaire, Cette valeur signifie que la phase d'acidogène est pratiquement dépassée. La valeur moyenne en P₂, P₃ et P₄ sont basiques et elles sont plus de 8 ce qui caractérise des lixiviats vieux où les AGV libérés dans la phase méthanogène fait que le pH remonte.

III-3- 5 - 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 [66]. .

Durant nos différentes analyses, les valeurs obtenues étaient très élevées cela est dû à 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).

III-3-6 - 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.

La DCO peut être réalisée plus rapidement que la DBO 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 .

Les résultats obtenus nous permettent de constater que nous sommes en présence d'une importante charge organique oxydable.

En effet la DCO moyenne est de 8294.36, 4885.86 et 7061.56 mg/L de O_2 aux points P_1 , P_2 et P_4 respectivement. Cette forte DCO rencontrée est due à la fraction organique constituée d'acides gras volatils dégradables, et aux métabolites non biodégradables. La valeur moyenne de la DCO des lixiviats du dernier casier exploité (P_3) reste très grande et elle est de 18098.21 mg/L de O_2 .

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.

Les résultats obtenus nous permettent donc de classer les lixiviats au point P_1 , P_2 et P_4 (Casier plus âgés) comme un lixiviat intermédiaire, alors que celui du point P_3 est un lixiviat jeune (casier5).

Ces valeurs sont très élevées par rapport à la norme qui est de 120 mg/l pour le rejet dans un milieu naturel [53].

III-3- 7- La demande biochimique en oxygène (DBO_5) :

La DBO (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 microorganismes, dans des conditions données (incubation pendant 5 jours, à 20° dans l'obscurité), on parle alors de la DBO_5 . Cette mesure est très utilisée pour le suivi des rejets des stations d'épuration, car elle donne une approximation de

la charge organique biodégradable [52]. Si le rapport DBO_5/DCO n'est pas constant, l'évolution de la DBO_5 moyenne suit souvent celle de la DCO. Cette importante charge organique est spécifique pour les lixiviats de décharge.

En effet, selon certains auteurs [66], les valeurs de la DCO dans le lixiviat varient de 400 à 90000 mg d' O_2/l , celle de la DBO_5 , de 250 à 28000 mg d' O_2/l .

Pour nos analyses les valeurs moyennes obtenues aux points P_1 , P_2 et P_3 sont respectivement 1270 mg d' O_2/L , 1171 mg d' O_2/L et 2540 mg d' O_2/L . Nous remarquons que ces valeurs sont élevées par rapport à la norme de rejet qui est de 35 mg/l, ces valeurs montrent la présence d'une concentration moyennement importante en matière organique biodégradable.

III-3- 8- Le rapport DBO_5/DCO :

Le rapport DBO_5/DCO caractérise la biodégradabilité des lixiviats. Plus le rapport est élevé, plus les lixiviats sont biodégradables. ($< 0,1$: non biodégradable, $> 0,8$: totalement biodégradable). Ce ratio est généralement corrélé à l'âge des lixiviats et donc au degré d'avancement de la stabilisation du massif [67].

Les valeurs moyennes de ce rapport sont de 0,152, 0,19 et 0,16 aux points P_1 , P_2 et P_3 respectivement.

En effet, le lixiviat au niveau du point P_1 présente :

- ✚ Un pH basique de l'ordre de 7,7
- ✚ Une charge organique avec une DCO de valeur moyenne de 8294.36 mg d' O_2/L (comprise entre 3 et 15 g/L).
- ✚ Une biodégradabilité de l'ordre $DBO_5 / DCO = 0,152$

D'après l'âge du casier 1 (9 ans) on peut synthétiser que ces lixiviats ont un caractère d'un lixiviat intermédiaire qui évolue vers un lixiviat stabilisé.

Les lixiviats des points P_2 , P_3 et P_4 se ressemblent pratiquement et ils présentent :

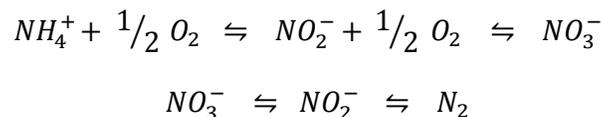
- ✚ Un pH moyen basique plus de 8
- ✚ Une charge organique élevée avec une DCO de valeur moyenne inférieure à 20 g/L de O_2 , avec une nette différence entre celle du point P_3 (18098.21 mg/L de O_2) et les autres points (P_2 et P_4).
- ✚ Une biodégradabilité (DBO_5 / DCO) moyenne entre 0,1 et 0,3

Alors, nous déduisons que ces lixiviats évoluent d'un lixiviats jeune vers un lixiviats stabilisé, et d'une manière proportionnelle avec l'âge des casiers (3 à 9 ans), donc nous sommes dans le cas de lixiviats intermédiaire.

III-3- 9- Les nitrates et nitrites (NO_3^- , NO_2^-) :

Les eaux usées en général contiennent de nitrates et souvent très peu de nitrites.

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_4^+) 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 [33]. La réaction chimique suivante résume le phénomène d'oxydation :



Les concentrations moyennes mesurées pour les nitrates sont de même ordre et elles sont de 32.93 mg/L, 36.26 mg/L, 33.85 mg/L et 38.04 mg/l respectivement aux points P₁, P₂, P₃ et P₄.

Par contre, en comparant entre les valeurs des nitrites obtenues pour les quatre points, nous constatons que celles de P₄ est nettement supérieure à celles des autres points, ceci peut s'expliquer par le fait que le processus de dénitrification a commencé et c'est un procédé qui repose sur l'élimination de nitrate en produisant des nitrites.

III-3- 10- 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 aérobie la minéralisation est ralentie [66].

Les valeurs moyennes obtenues aux points P₁, P₂, P₃ et P₄ sont respectivement 4051.63 mg/L, 2354.98 mg/L, 8956.60 mg/L et 2197.75 mg/L celles-ci sont nettement supérieures à la norme de rejet [65] qui est de 20 mg/L.

III-3- 11- L'Azote Kjeldahl (NTK) :

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

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

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

$$N_{GL} = N_{organique} + N_{ammoniacal} + N_{nitrites} + N_{nitrates}$$

Ces deux paramètres sont utilisés par la réglementation pour fixer les limites de rejet de l'azote dans le milieu naturel [52].

Les concentrations moyennes en azote kjeldhal aux points P₁, P₂, P₃ et P₄ sont respectivement de 3007.2 mg/L, 79566.67 mg/L, 14721 mg/L, 52500 mg/L, elles sont nettement supérieures à la norme de rejet qui est de 30mg/L.

On voit clairement que la concentration en azote kjeldhal (NTK) est très importante, ceci s'explique par la grande part de la matière organique dans la composition des ordures ménagères qui est la source principale de l'azote (67% en 2005).

III-3- 12- Les orthophosphates (PO₄³⁻):

Le phosphore est présent dans les lixiviats sous différentes formes :

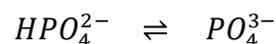
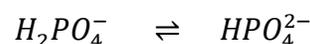
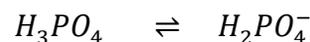
-Phosphore organique : comme les phospholipides, les phosphoprotéines.

-Phosphore minéral : dérivé de l'acide phosphorique comme les orthophosphates (PO₄³⁻, H₂PO₄⁴⁻ et HPO₄²⁻).

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 :



La présence de phosphore dans les eaux entraîne un développement important des algues microscopiques et macroscopiques [64].

Les résultats moyens obtenus en orthophosphates aux points P₁, P₂, P₃ et P₄ du CET d'Ouled Fayet pour les différents prélèvements sont respectivement 156.05 mg/L, 104.77 mg/L, 200.94 mg/L et 104.77 mg/L. Nous remarquons que ces valeurs sont très élevées par rapport à la norme qui est de 10 mg/L.

III-3- 13- 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 aux points P₁, P₂, P₃, P₄ sont respectivement de 972.78 mg/L, 1013.33 mg/L, 2214 mg/L et 522.22 mg/L .

Les valeurs sont très élevées par rapport à la norme qui est de 35mg/L. Ainsi on comprend mieux pourquoi les MES rentrent systématiquement en compte dans un bilan de pollution.

III-3- 14- 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 **[33]**.

La valeur moyenne de MVS obtenu pour le point P₁ (casier 1) atteint 480 mg/L et 492,78 en MMS (49% en MVS et 51% en MMS)

Pour les autres points P₂, P₃ et P₄ les valeurs moyennes en MMS sont 756.29 mg/L, 628.88 mg/L et 315.56 mg/L.

Les résultats de la matière minérale obtenus pour les quatre points sont relativement importants qui s'explique par l'âge des casiers (2 à 9 ans).

Conclusion :

La caractérisation physico-chimique des lixiviats du centre d'enfouissement technique d'Ouled Fayet montre qu'ils sont très chargés en matière organique (DCO moyenne entre 18000 et 4800 mg d'O₂/L, pour tous les points) avec une biodégradabilité (DBO₅/DCO) comprise entre 0,11 et 0,19.

D'après les résultats de ces paramètres et l'âge du premier casier on peut dire que les lixiviats du point P₁ ont un caractère d'un lixiviat intermédiaire qui évolue vers un lixiviat stabilisé.

Pour les points P₂ et P₄ on peut synthétiser que les lixiviats évoluent d'un lixiviat jeune vers un lixiviat stabilisé, donc nous sommes dans le cas de lixiviat intermédiaire avec une charge organique facilement biodégradable.

Les lixiviats du plus jeune casier N°5 (3 ans) a été distingué par une très importante et attendue, charge organique d'une DCO dépassant les 18000 mg/l, Or sa biodégradabilité DBO₅/DCO de 0.16 s'avère modérer ce qui nous conduit à induire que les lixiviats du point P₃ ont évolué d'un lixiviat jeune vers un lixiviat intermédiaire, donc nous sommes dans le cas de lixiviat intermédiaire.

Les résultats montrent aussi que ces lixiviats sont très chargés en matières en suspension (MES), la pollution minérale est également présente vu les concentrations en azote ammoniacal, orthophosphates, fer et plomb importantes dans les percolâts du CET d'Ouled Fayet.

Dans un cas comme dans l'autre, les valeurs obtenues sont au-delà des normes de rejet des effluents en milieu naturel. Ces lixiviats sont rejetés actuellement dans le milieu récepteur (Oued Ben Brahem) d'où la nécessité d'un traitement préalable de ces eaux contaminantes avant rejet.

IV- Traitement des Lixiviats :

Pour ce lixiviat du point P₁, avec les caractéristiques précitées, les procédés physico-chimiques de traitement sont fortement recommandés. Dans ce contexte, nous nous sommes attachés à examiner les trois procédés : la coagulation-floculation et l'oxydation avancée Fenton ainsi que leur combinaison, en suite une adsorption sur charbon actif en grain comme traitement tertiaire.

IV-1- Traitement par Coagulation-Floculation :

IV-1- 1- Matériels et Méthodes :

On a utilisé un Jar test équipé de 6 béchers d'un litre. Le stock des lixiviats est retiré du réfrigérateur, laissé pendant environ 2 heures à la température ambiante et agité pour remettre les particules décantées en suspension. Les essais sont réalisés sur 500 ml de lixiviat : une quantité inférieure pourrait porter préjudice sur les résultats finaux, une dose supérieure risque de faire déborder les lixiviats lors des phases rapides d'agitation. Le pH est ajusté par ajout, à l'aide de pipettes, d'acide sulfurique. On procède ensuite en trois phases successives :

-Une phase initiale avec une agitation rapide de 300 tr/min pendant une minute : c'est dans cette phase où l'on déverse le coagulant. Le coagulant utilisé est une solution de FeCl₃.6H₂O à une concentration de 208,2 g/l

(ce qui correspond à une concentration de 125 g/l de FeCl_3 déshydratée). On a utilisé ce coagulant pour les bons résultats qu'il a donné lors des études antérieures [68].

-Une phase lente ou la vitesse d'agitation est réduite jusqu'à 50 tr/min pendant 20 minutes : c'est le temps de réaction.

-Et une phase finale de repos d'une heure : elle correspond à la décantation des floccs.

Le prélèvement du surnageant se fait ensuite à l'aide d'une seringue à 1cm de l'interface air-eau, cet échantillon prélevé servira à la caractérisation des lixiviats ainsi traité (couleur, potentiel redox, pH et DCO). L'optimum correspond à la valeur minimale de la DCO obtenue après traitement, ou au maximum du taux d'abattement de la DCO défini comme suit :

$$\tau = \frac{DCO_i - DCO_f}{DCO_i} \times 100 (\%)$$

DCO_i : valeur de la DCO avant traitement.

DCO_f : valeur de la DCO après traitement.

Les résultats sont annexés dans l'annexe III.

IV-1- 2- Optimisation de la Dose du FeCl_3 :

Ce travail est basé sur les résultats des recherches antérieures faite sur ce procédé [68], où nous avons déduit qu'une faible dose de FeCl_3 et un pH légèrement acide suffisaient à pour avoir un bon rendement (Figure VI-1).

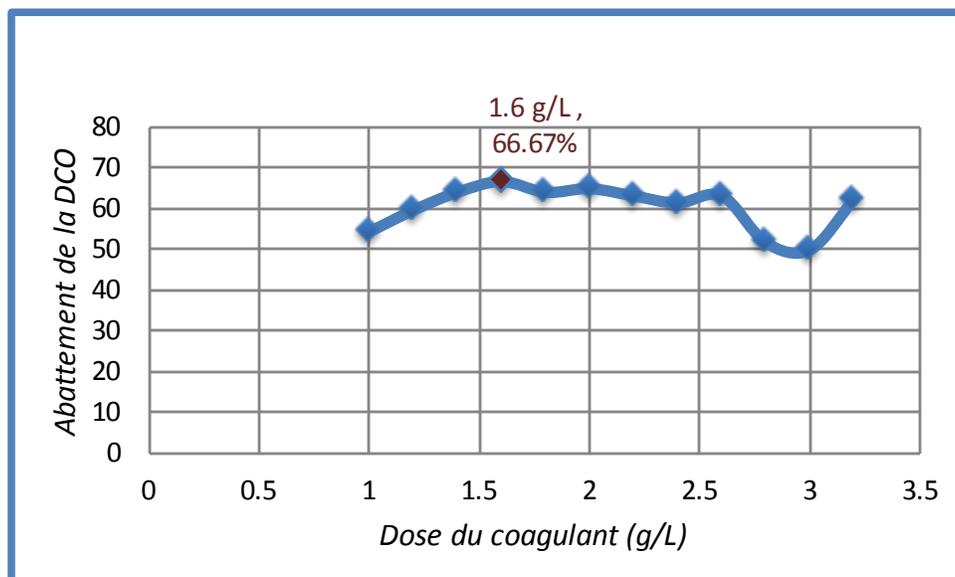
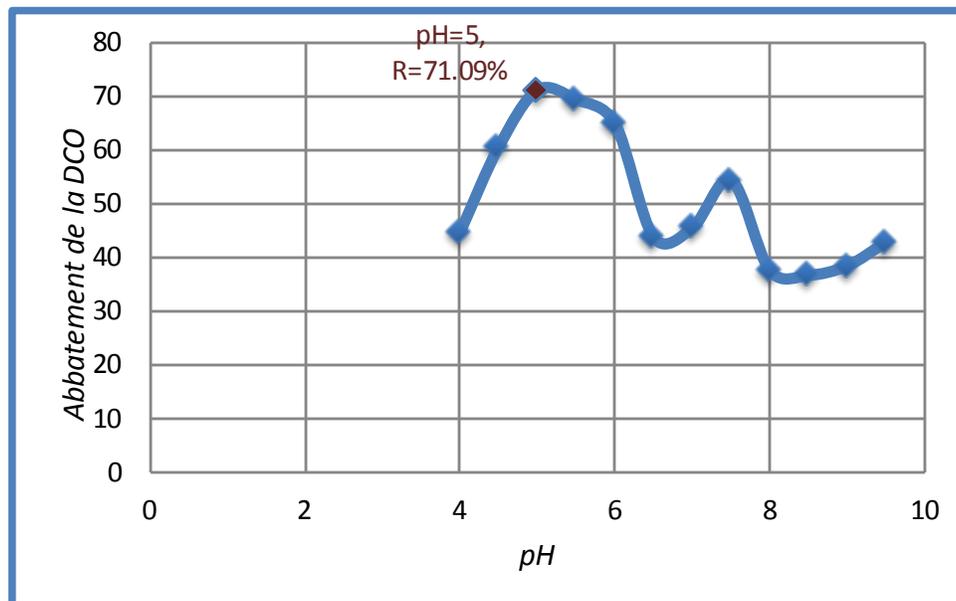


Figure IV-1 : Optimisation de la dose du coagulant**IV-1- 3- Optimisation du pH :**

A partir du résultat précédent (dose optimale à 1,6g/L), on varie les pH en maintenant la dose du coagulant constante. Les résultats obtenus sont illustrées en Figure VI-2. Le pH optimal se situe à 5 correspondant à un abattement de la DCO de 71,09%.

**Figure IV-2 : Optimisation du pH de la coagulation****IV-1- 4- Caractéristiques des Lixiviats Après Traitement :**

Le tableau suivant regroupe les valeurs caractérisant notre effluent traité par coagulation floculation:

Tableau IV-1 : Résultats de la caractérisation des lixiviats après traitement par coagulation-floculation

Paramètre	Avant traitement	Après traitement	Norme [53]
pH	7,65	5,14	6,5 – 8,5
La couleur (Hazen)	221	85	
La turbidité (NTU)	750	7,25	
DCO (mg d'O ₂ /L)	8474,72	2150,52	120
DBO ₅ (mg d'O ₂ /L)	1609	/	35
NO ₃ ⁻ (mg/L)	34,65	18	

NO ₂ ⁻ (mg/L)	6,73	1,76	
PO ₄ ³⁻ (mg/L)	151,6	9,31	10
SO ₄ ²⁻ (mg/L)	549,03	427,45	
NH ₄ ⁺ (mg/L)	4193,68	2115,74	

IV-1- 5- Discussions et Conclusions :

La coagulation a donné un rendement, après optimisation du pH et de la dose du coagulant, supérieur à 70%. Ce qui confirme les précédents travaux établis sur ce procédé.

La dose optimale du coagulant pour une DCO_i=8474,72 mg/L, est de 1,6g/L de FeCl₃, et pour une meilleure efficacité du procédé un PH acide de 5 permet d'atteindre un taux d'abattement de la DCO plus élevé de 71,09% qui correspond a un DCO_f=2150,52 mg/L.

Les boues issues du procédé sont nauséabondes, on en déduit qu'elles contiennent un fort taux de pollution. La pollution a été donc déplacée et concentrée sous forme de boues. Ces derniers doivent faire l'objet d'un traitement ou incinération avant rejet dans le milieu naturel.

IV-2- Traitement par Oxydation Avancée Fenton :

IV-2- 1- Matériels et Méthodes :

On remplit 6 béchers d'un litre avec 500ml de lixiviats en stock. Placés sous jar-test, on ajuste à l'aide d'un pH-mètre, d'une solution de H₂SO₄ 98% le pH désiré. On procède alors suivant 2 phases :

-Une première phase de réaction qui dure 2h, où la vitesse d'agitation est maintenue à 300tr/min, et ceci afin de réaliser un réacteur parfaitement agité en batch. Dès que le jar-test est lancée, on ajoute en même temps le réactif (H₂O₂ 50%, d=1,19) et le catalyseur (FeSO₄.7H₂O).

-Une deuxième phase de repos de 45 min, celle-ci permet la décantation des sels (notamment les sels ferriques) formés lors du processus.

On prélève ensuite quelques millilitres du surnageant à l'aide d'une seringue graduée pour analyse.

Le paramètre de suivi et d'optimisation est la DCO.

Les résultats sont annexés dans l'annexe IV.

IV-2- 2- Recherche du rapport molaire H_2O_2/Fe^{2+} Adéquat :

Lors de ces essais, on a maintenu la dose de H_2O_2 , tout en variant le rapport molaire H_2O_2/Fe^{2+} ce qui correspond à des quantités différentes du catalyseur, et ce pour trois concentrations différentes de H_2O_2 (5, 10 et 15 g/L).

Ces essais ont été préconisés en se référant sur les travaux faits sur les lixiviats [69], où on a remarqué qu'un rapport molaire H_2O_2/Fe^{2+} de 6 pour un lixiviat intermédiaire de DCO initiale ne dépassant pas les 5000 mg/L, suffisait pour avoir un rendement considérable,

A travers ces expériences, et en prenant en considération un lixiviat partiellement intermédiaire de DCO initiale plus importante, on a travaillé sur des rapports molaire H_2O_2/Fe^{2+} dans les environs de 6 toute en augmentant les doses de H_2O_2 .

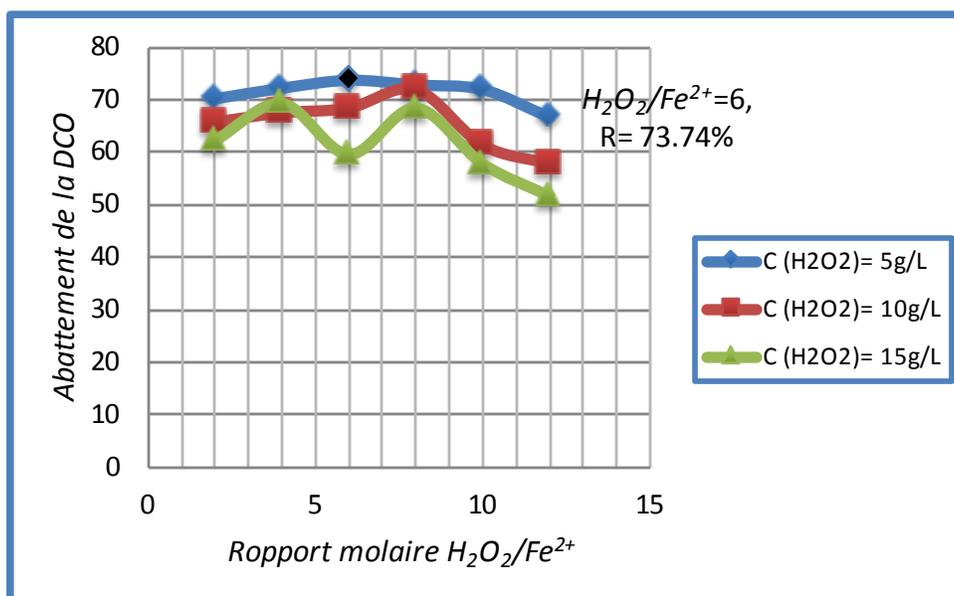


Figure IV-3 : Abattement de la DCO en fonction des doses du réactif et catalyseur à $pH=3$

Il en résulte que l'abattement maximal de la DCO ($R=73,74\%$) correspond à un rapport molaire H_2O_2/Fe^{2+} aux alentours de 6.

IV-2- 3- Optimisation de la Dose du H_2O_2 :

Une fois on a eu une approche sur le rapport H_2O_2/Fe^{2+} , on va maintenant affiner les quantités optimales de H_2O_2 et Fe^{2+} :

La figure IV-4 représente les taux d'abattelements de la DCO pour des valeurs de la dose de H_2O_2 comprise entre 2 et 7.

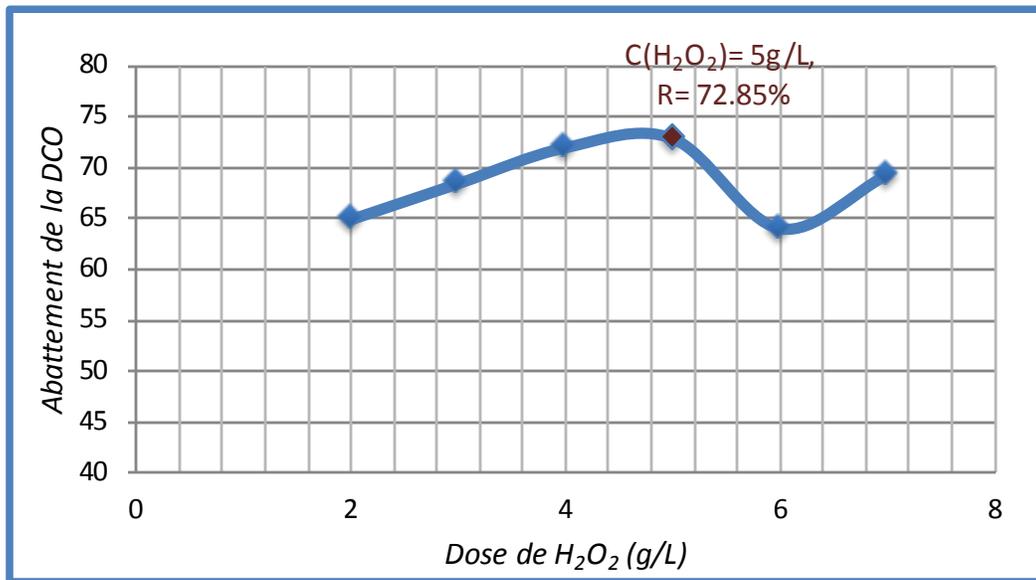


Figure IV-4 : Optimisation de la dose du catalyseur (pH=3)

IV-2- 4- Optimisation du pH :

Comme signalé au chapitre V.2, le procédé Fenton nécessite un milieu protonique pour enclencher la chaîne de réactions. Examinons dans la figure IV-5 l'influence de la concentration en proton sur le procédé :

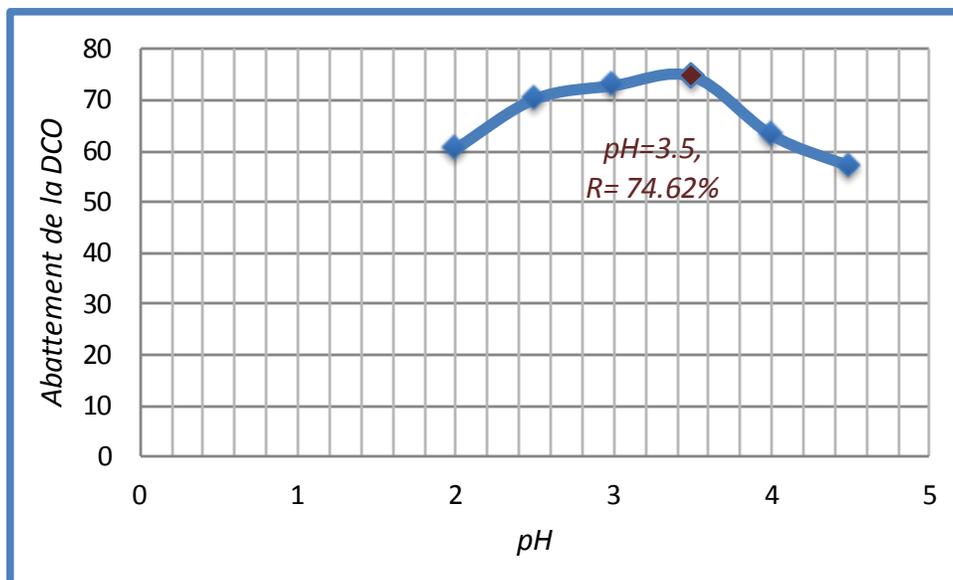


Figure IV-5 : Optimisation du pH de Fenton

Les résultats donnés en figure IV-5 montrent que le pH optimal est 3,5.

IV-2- 5- Effet du temps de réaction sur le rendement de l'oxydation fenton :

Le but de cet essai est d'analyser l'influence du temps de réaction sur l'efficacité du procédé Fenton.

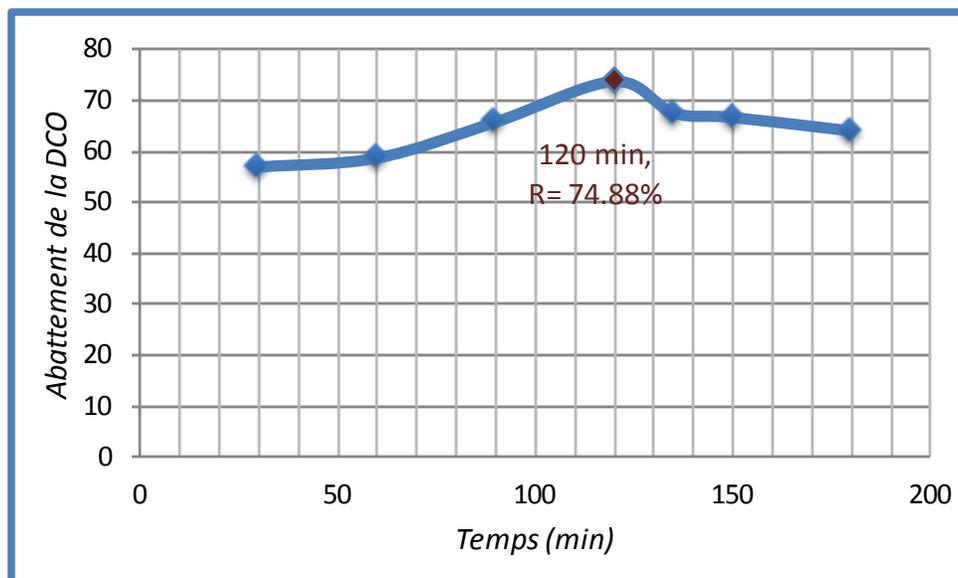


Figure IV-6 : Optimisation du temps de Fenton

Après cette expérience nous confirmons que le temps optimal de la réaction d'oxydation est de 2 heures.

IV-2- 6- Caractéristiques des Lixiviats Après Traitement :

Le tableau IV-2 regroupe les valeurs caractérisant notre effluent traité par fenton :

Tableau IV-2 : résultat de traitement par Fenton

Paramètre	Avant traitement	Après traitement	Norme [65]
pH	7,65	2,78	6,5 – 8,5
La couleur (Hazen)	221	250	
La turbidité (NTU)	750	158	
DCO (mg d'O ₂ /L)	8474,72	3274,0225	120
DBO ₅ (mg d'O ₂ /L)	1609	/	35
NO ₃ ⁻ (mg/L)	34,65	17,9966417	
NO ₂ ⁻ (mg/L)	6,73	2,118464	
PO ₄ ³⁻ (mg/L)	151,6	31,6750103	10

SO ₄ ²⁻ (mg/L)	549,03	393.497	
NH ₄ ⁺ (mg/L)	4193,68	2455.65	

L'abattement de la DCO est de plus de 70%.

IV-2- 7- Discussions et Conclusions :

Lors de l'optimisation, on s'est basé sur 4 paramètres : la quantité du réactif, la quantité du catalyseur, le pH et le temps de réaction.

Après le traitement, les boues issues du procédé Fenton étaient presque inodores, contrairement à celle produite par la coagulation-floculation. C'est parce qu'elles sont ferriques : elles sont produites lors de la transformation du Fe²⁺ en Fe³⁺ lors du processus et n'entraîne avec elles aucune pollution organique, vu que cette dernière est minéralisée et dégagée sous forme de CO₂ après oxydation, contrairement à la coagulation-floculation, on a alors, lors de ce procédé, une élimination de la pollution.

L'analyse est sensible au taux résiduel des réactifs et catalyseur après traitement : ainsi, on a pu non seulement optimiser les doses de manière à réduire au maximum le taux de pollution, mais aussi de sorte à économiser les réactifs.

Les conditions optimales de traitement par le procédé d'oxydation avancée Fenton pour un lixiviats intermédiaire sont :

- ✚ H₂O₂/Fe²⁺= 6 (rapport molaire)
- ✚ La dose C(H₂O₂)=5 g/L
- ✚ pH=3,5
- ✚ 2 heures de temps de réaction

En respectant ces conditions, on obtient un rendement de DCO de 74,62%.

IV-3- Combinaison des Traitements :

Deux voies ont été suivies :

IV-3-1- Coagulation-Floculation → Oxydation Fenton (Voie 1) :

On opère selon les conditions optimales précédemment trouvées lors des essais de coagulation (chapitre IV-1), soit à un pH=5 et une dose du coagulant de 1,6 g/L, pour une DCO initiale du lixiviat 8474,72mg/L. On obtient alors un lixiviat partiellement traité auquel on mesure la DCO₁. Cette DCO₁ nous a permis de connaître la quantité de H₂O₂ et de Fe²⁺ à ajouter lors du second traitement, et ceci en se référant sur les valeurs optimales obtenues lors de l'étude du procédé de Fenton (chapitre IV-2). Soit un rapport molaire H₂O₂/Fe²⁺=6. Le pH est aussi réajusté à 3,5, et ce, toujours, selon les conditions optimales trouvées lors du chapitre IV-2.

Les résultats obtenus sont illustrés en figure IV-7.

L'association de l'oxydation Fenton à la coagulation améliore d'une manière notable le rendement. L'abattement de la DCO passe de 74,62 % à 86,11%.

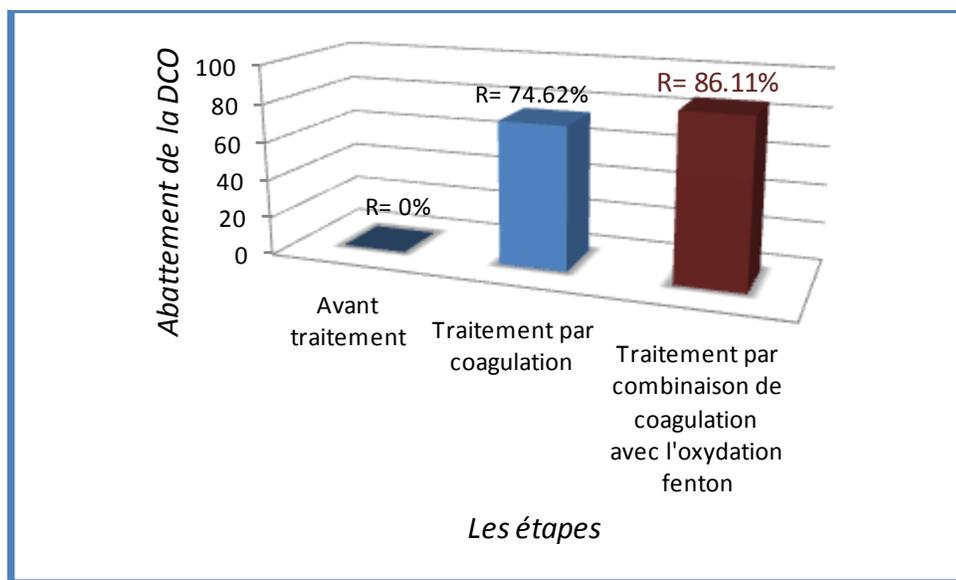


Figure IV-7 : Traitement par le procédé Coagulation-Floculation suivi par le procédé Fenton

IV-3-2- Oxydation Fenton → Coagulation-Floculation (Voie 2) :

Voyons maintenant ce qui se passe si on procède par un chemin inverse :

Les résultats de ce couplage de procédés est illustré en figure IV-8

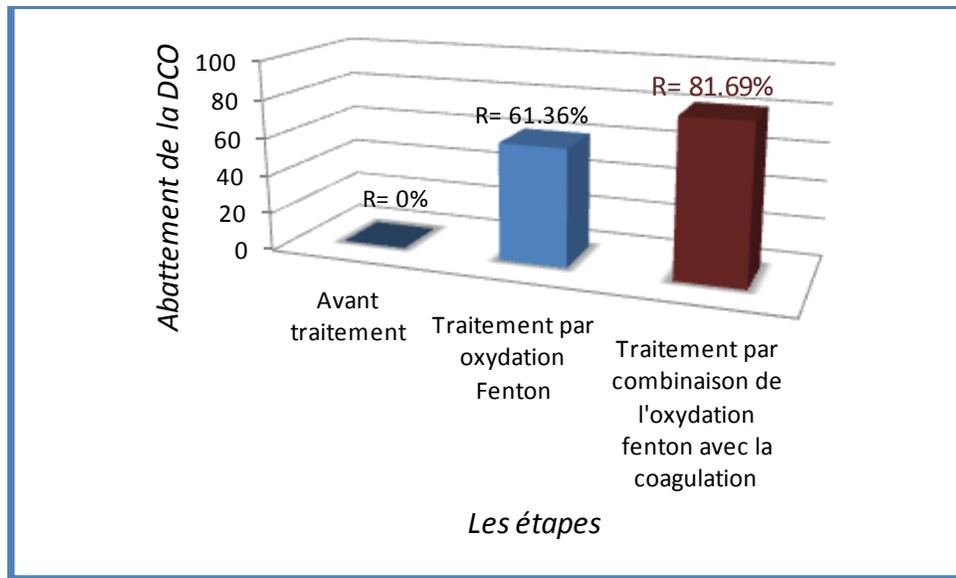


Figure IV-8 : Traitement par le procédé Fenton suivi par coagulation-floculation

IV-3-3- Caractéristiques des Lixiviats Après Traitement :

Le tableau IV-3 regroupe les valeurs caractérisant notre effluent traité par la combinaison de traitement coagulation-floculation-Fenton et vis versa :

Tableau IV-3 : résultat des traitements combinés

Paramètre	Avant traitement	Après traitement		Norme [65]
		Voie 1	Voie 2	
pH	7,65	2,86	4,94	6,5 – 8,5
La couleur (Hazen)	221	/	70	
La turbidité (NTU)	750	93	108	
DCO (mg d'O ₂ /L)	8474,72	1176.82	1551.32	120
DBO ₅ (mg d'O ₂ /L)	1609	/	/	35
DBO ₅ / DCO	0,19	/	/	
NO ₃ ⁻ (mg/L)	34,65	7.93	9.17	
NO ₂ ⁻ (mg/L)	6,73	0.84	0.48	
PO ₄ ³⁻ (mg/L)	151,6	1.60	0.86	10

SO ₄ ²⁻ (mg/L)	549,03	207.32	395.40	
NH ₄ ⁺ (mg/L)	4193,68	915.11	1751.29	

IV-3-4- Discussions et Conclusions :

L'ordre de combinaison des procédés de traitement influe de manière considérable sur l'efficacité. Il faut donc savoir choisir le bon ordre, et cela selon leur action.

Dans notre cas, il est conseillé de commencer par une coagulation-floculation, est ceci afin de dégager les grosses particules, pour enchaîner ensuite par un procédé d'oxydation Fenton qui permettra d'éliminer le restant des molécules récalcitrantes.

Cet ordre a aussi un intérêt économique, et cela parce que :

1-L'ajustement du pH consomme une quantité moindre d'acide sulfurique : un ajout d'une petite dose d'acide permettrait d'avoir un pH de 5, favorisant au départ une coagulation, après précipitation des boues ferriques, le pH diminue encore, ce qui favorise, après avoir rajouté une autre petite dose d'acide, l'actionnement du procédé de Fenton. Ce qui est impossible par le chemin inverse, ou l'on doit faire diminuer le pH jusqu'à 2,5 avec une grande quantité d'acide pour le procédé de Fenton, puis le remonter à nouveau jusqu'à 6 par une base pour la coagulation.

2-Sachant que les réactifs utilisés dans le procédé de Fenton sont plus coûteux que ceux utilisés dans la coagulation-floculation, commencer à traiter par Fenton gonflerait la facture.

Après le traitement par la combinaison des deux procédés, la coagulation-floculation et l'oxydation Fenton dans les conditions optimales, nous avons obtenu un rendement épuratoire de 86,11% de la DCO qui reste très raisonnables néanmoins il reste une DCO de 1176.82 mg/L qui est très élevée par rapport à la norme de rejet qui est de 120 mg/l. De ce fait, un autre traitement tertiaire de finition est nécessaire pour un meilleur abattement de la charge organique.

IV-4-Traitement tertiaire par adsorption sur charbon actif en grain :

IV-4-1- Coagulation-Floculation → Oxydation Fenton → Adsorption sur le CAG (Voie 1) :

Dans cette démarche nous allons chercher la masse optimale du charbon actif, puis utiliser cette dernière pour récupérer 1L de lixiviat traité pour une éventuelle caractérisation finale.

Nous avons traité 6L de lixiviat par la combinaison de la coagulation-floculation et de l'oxydation Fenton avec les paramètres optimaux en vu de prélever le surnageant et lui faire subir une adsorption sur charbon actif. En effet, nous avons ajouté pour 8 bécher contenant chacun 100 mL de lixiviat traité des masses variables de charbon actif, les résultats sont illustrés ci-dessous

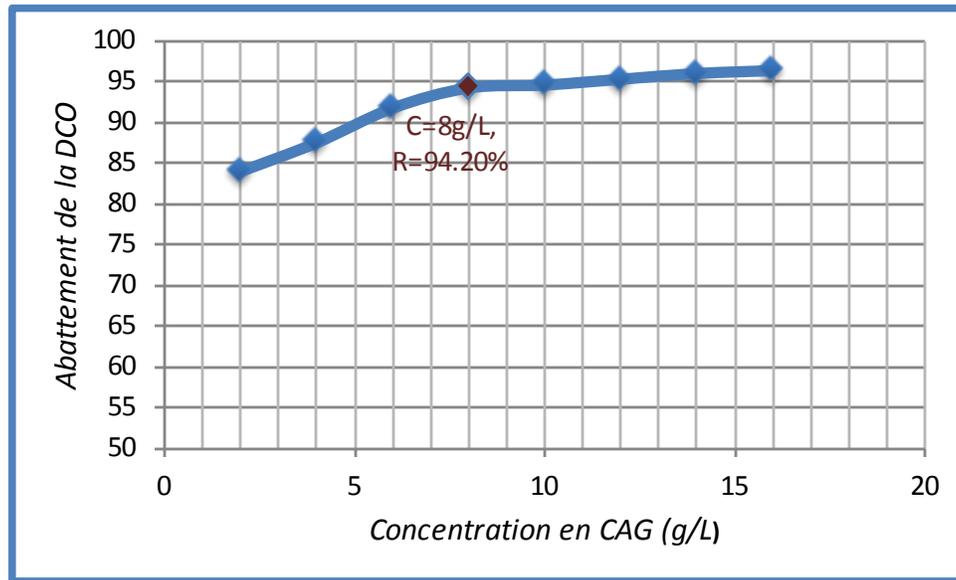


Figure IV-9 : Optimisation de la concentration du charbon actif en grain (voie 1)

La concentration optimale est de 8g/L même si le rendement augmente encore car au delà de ce point on remarque une consommation de plus en plus grande en CAG avec un rendement moins important. Vu le cout du charbon actif et de sa régénération, l'objectif était d'une part, d'arriver a un rendement épuratoire élevé près de la norme, et d'autre part, a un cout d'épuration moins important.

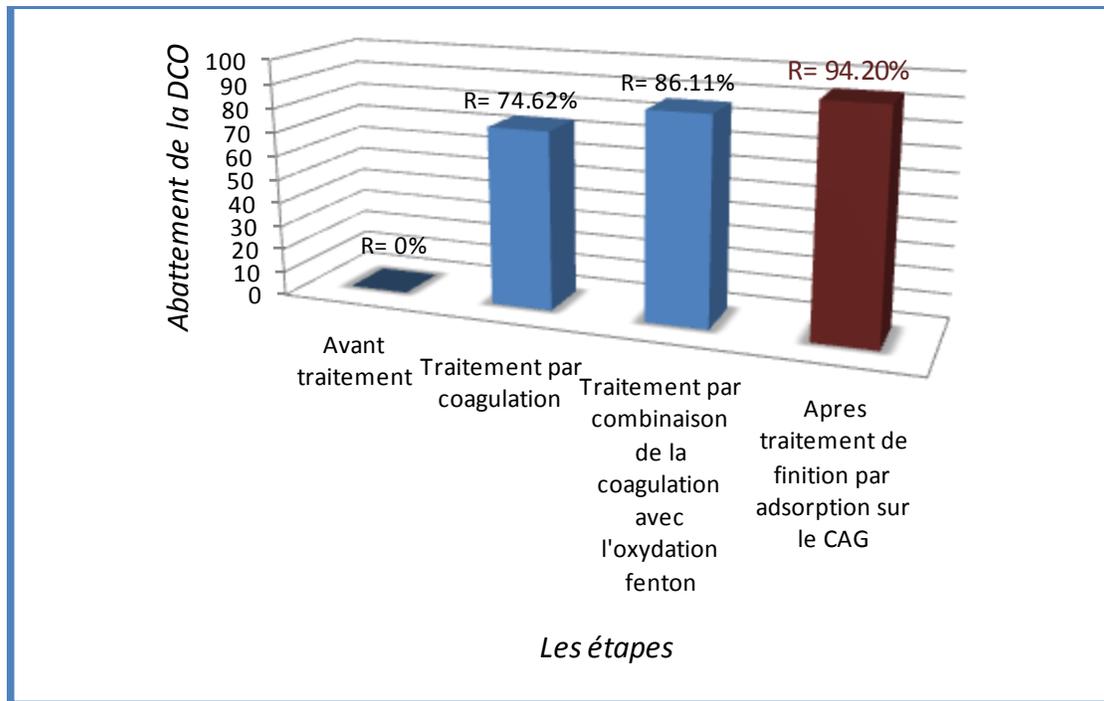


Figure IV-10 : Traitement par la voie1

L'application du traitement combiné (coagulation-Oxydation Fenton-Adsorption sur le CAG) sur le lixiviat intermédiaire nous a permis d'avoir une meilleure efficacité qu'avec la combinaison de deux procédés seulement.

Cependant un abattement de 94,20 % de la DCO a été atteint et une couleur très claire a été obtenue avec une concentration de charbon actif de 8 g/L.

La DCO finale du lixiviat traité étant de 500.69 mg/L, valeur qui n'est pas loin de la norme de rejet 120 mg/l.

IV-4-2- Oxydation Fenton → Coagulation-Floculation → Adsorption sur le CAG (Voie 2) :

On procède la même chose que précédemment mais cette fois-ci sur par voie 2.

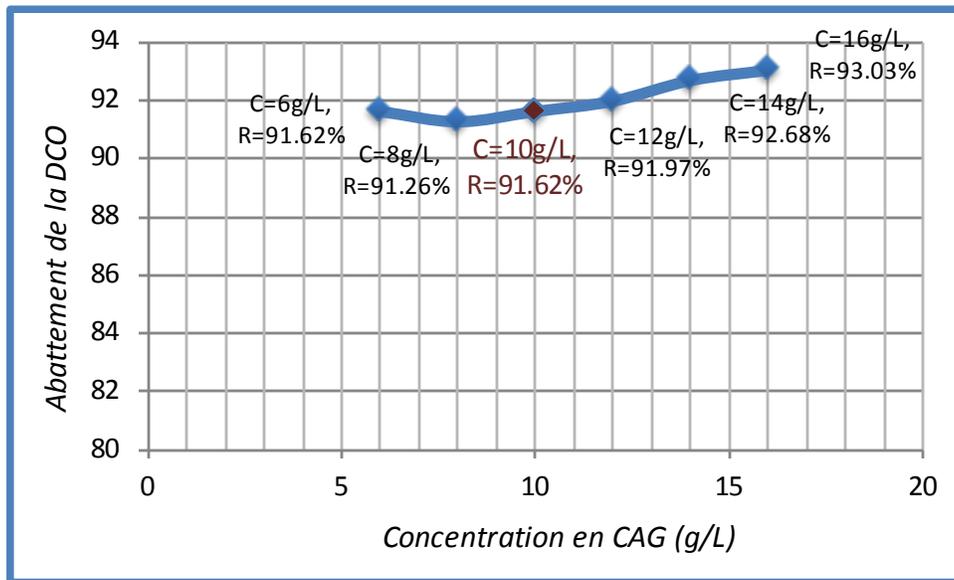


Figure IV-11 : Optimisation de la concentration du charbon actif en grain (voie 2)

La concentration optimale du charbon actif en grain est de 10g/L.

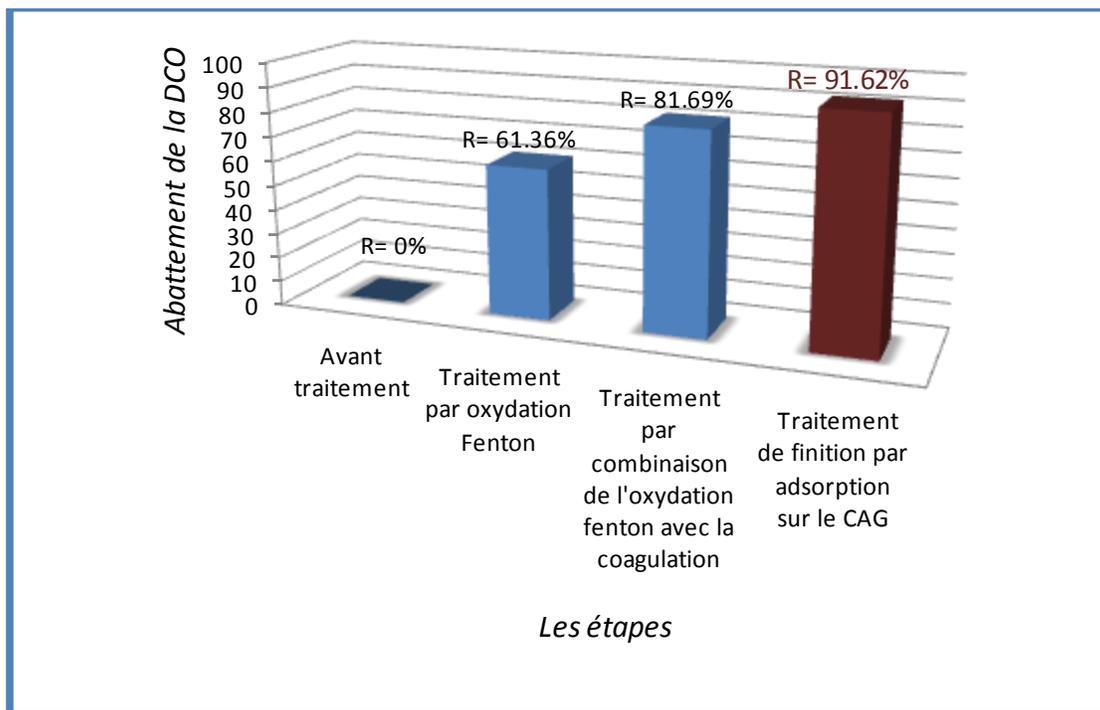


Figure IV-12 : Traitement par la voie2

La voie 2 nous a permis d'avoir un abattement de 91,62 % de la DCO et une couleur très claire avec une concentration de charbon actif de 10 g/L.

La figure ci-dessous montre la dégradation de la couleur des lixiviats après chaque étape de traitement classés de gauche à droite comme suit :

N°1	N° 2	N° 3	N° 4	N° 5	N° 6	N° 7
Avant traitement	Coagulation -floculation	Oxydation Fenton	Combinaison de la coagulation et de l'oxydation Fenton (voie1)	Combinaison de l'oxydation Fenton et de la coagulation (voie2)	Traitement tertiaire (voie1)	Traitement tertiaire (voie2)

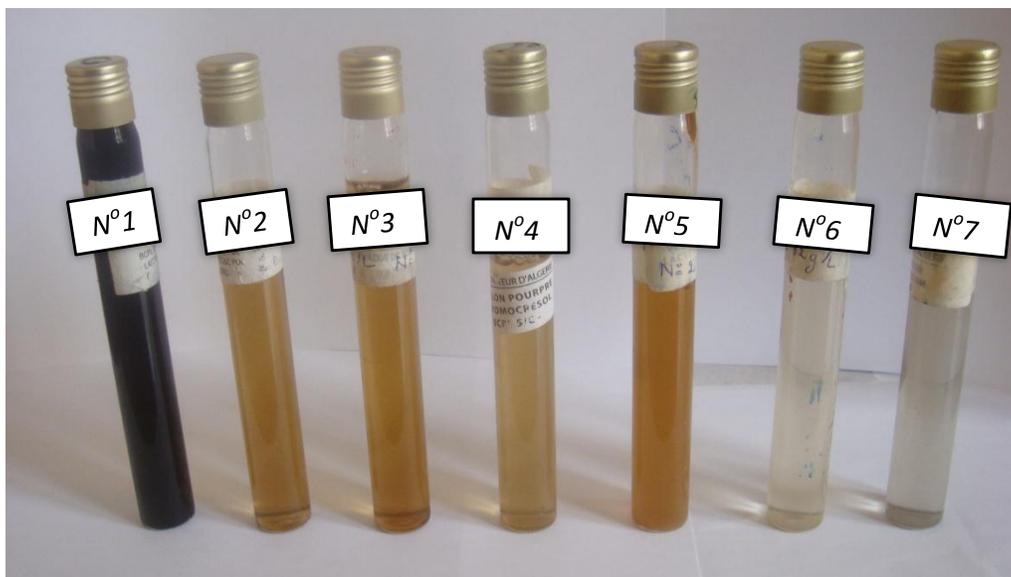


Figure IV-13 : Dégradation de la couleur après chaque étape de traitement

IV-4-3- Caractéristiques des Lixiviats Après Traitement :

Le tableau IV-4 regroupe les valeurs caractérisant notre effluent traité par les deux voies :

Tableau IV-4 : résultat du traitement tertiaire

Paramètre	Avant traitement	Après traitement		Norme [65]
		Voie 1	Voie 2	
pH	7,65	/	/	6,5 – 8,5
La couleur (Hazen)	221	15	15	
La turbidité (NTU)	750	29,79	76	

DCO (mg d'O ₂ /L)	8474,72	500.69	650.49	120
DBO ₅ (mg d'O ₂ /L)	1609	/	/	35
DBO ₅ / DCO	0,19	/	/	
NO ₃ ⁻ (mg/L)	34,65	2.76	0.26	
NO ₂ ⁻ (mg/L)	6,73	0.088	0.097	
PO ₄ ³⁻ (mg/L)	151,6	0.72	0.85	10
SO ₄ ²⁻ (mg/L)	549,03	141.97	270.83	
NH ₄ ⁺ (mg/L)	4193,68	190.72	136.34	
NTK (mg/L)	4390.4	338.8		40

Les résultats montrent qu'avec une concentration en CAG de 8g/L nous obtenons un rendement d'élimination de l'ordre de 94,20% pour une DCO initiale de 8474,72 mg/L, un taux d'élimination des nitrates NO₃⁻ de 92 % , et de 92,3% de NTK (96,75% de l'azote ammoniacale) ainsi qu'une élimination de 99,9% des orthophosphates.

IV-4-4- Discussions et Conclusions :

Lors de ces expériences on a constaté que l'adsorption sur le charbon actif en grain (forte porosité) comme traitement tertiaire est un procédé efficace pour l'élimination des orthophosphates, de l'azote sous ses différentes formes (organique, ammoniacal, nitrites, nitrates), et aussi pour la réduction de la couleur. Grâce a ce procédé un taux d'abattement de 94% (voie 1) a été atteint.

En fin de chaine de traitement ce procédé a un rôle important dans la réduction de la matière organique et de la couleur.

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 inadaptées 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 percolâts 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 physico-chimique par combinaison de la coagulation-floculation, de l'oxydation avancée Fenton et de l'adsorption sur charbon actif en grain. L'explication est liée d'une part au vieillissement du casier (N°1) de stockage (9ans), ce qui entraîne la formation de lixiviats de moins en moins biodégradables, et d'autre part au durcissement permanent des exigences réglementaires de rejet vers le milieu naturel.

Notre travail s'est aussi effectué sur un lixiviat partiellement intermédiaire, issu d'un casier fermé depuis plus de 8 ans, de DCO_i de l'ordre de 8000mg/L.

À la lumière des résultats obtenus, les performances de la combinaison des traitements ne font pas de doute quant à l'élimination de la matière organique présente dans les lixiviats. Un abattement de 94% de la DCO a été atteint correspondant à un DCO_f de 500 mg/L, mais cette valeur reste supérieure à la norme de rejet et dans un souci de les améliorer, une optimisation des conditions opératoires de l'adsorption sur le CAG (PH, vitesse d'agitation, temps de contact ...) est recommandé.

D'autre part, le traitement des lixiviats s'accompagne d'une production de quantités de boues non négligeables (environ 400mL pour 1L de lixiviat traité) dont il faut se débarrasser. Plusieurs filières sont recommandées pour l'élimination de ces boues, mais le choix doit être tributaire du coût d'installation, de

la valeur ajoutée du produit qui en résulte et de l'impact que pourrait avoir la filière retenue sur l'environnement. La mise en décharge (appelée aussi stockage) s'avère une technique peu valorisante et est légalement interdite dans de nombreux pays. L'incinération de boues a un coût prohibitif et présente un risque lié à l'impact de gaz toxiques sur l'environnement tel que celui de la dioxine. La valorisation énergétique (production de biogaz comme source de chaleur et d'électricité) et la valorisation biologique ou agricole (production d'engrais et de compost) constituent des technologies vertes permettant de transformer les boues en produits à haute valeur ajoutée en minimisant les risques de pollution. Le recyclage ou valorisation agricole des boues après compostage contribue à une réintégration des éléments minéraux et organiques dans les sols, ce qui permet de se rapprocher des cycles naturels

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.

✚ 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

- [1] M.A.T.E (Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement), Agence Nationale de déchets (AND), DOUNIA, Alger, Rapport 2008.
- [2] Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement, Programme d'Aménagement Côtier (PAC) "Zone côtière algéroise", Lutte contre la pollution liée aux déchets solides, Centre d'Activités Régionales, Algérie, Avril 2005.
- [3] B. Claus, P. Robert, Chimie de l'environnement ; air, eau, sols, déchets', 1^{ière} Ed, Deboeck, Paris, 2004.
- [4] Commission Européenne (SMAP-II), Projet Régional de Gestion des Déchets Solides dans les Pays du Maghreb et du Mashreq, Rapport sur la conception et le développement d'une unité de suivi des contrats dans la wilaya d'Alger, Algérie, juillet 2006.
- [5] Journal officiel de la république Algérienne, N° 43, Algérie, juillet 2007.
- [6] Ministère de l'aménagement du territoire, de l'Environnement et du Tourisme (MATET), Le guide des techniciens communaux pour la gestion des déchets ménagers et assimilés, 2008
- [7] C. BERTHE : Etude de la matière organique contenue dans des lixiviats issus de différentes filières de traitement des déchets ménagers et assimilés. Thèse de doctorat de l'université de LIMOGES, Laboratoire des Sciences de l'Eau et de l'Environnement.
- [8] ENDA Maghreb, Projet de protection de la biodiversité et ressources en eau du bassin versant de la MOULAYA (PBREM), 2003.
- [9] L. YVES MAYSTER et al . *Déchets Urbains Nature et Caractérisation* ; Presses Polytechnique et Universitaire Romandes ; 1ère Edition ; Lausanne, 1 994.
- [10] M. MURAT : Valorisation des déchets et sous produits industriels. Paris (1981).
- [11] R.DORFFMAN : Les résidus urbains, cahier de l'A.G.T.M.H. Techniques et documentation. Tome 1. Paris (1975).
- [12] Étude internationale des politiques et pratiques de la mise en décharge des déchets Ménagers et industriels. 1996 ADIT.
- [13] A.SEBTI : Valorisation des déchets solides urbains. Thèse de Magister, ENP, Alger, Génie de chimique (2006/2007).
- [14] F. MAMMERRI : Caractérisation des lixiviats de la décharge d'OULED FAYET et proposition d'un traitement, PFE ENP, Génie de l'Environnement, (2008).
- [15] S.KHIATI et S.BENAMMAR : Etude physico-chimique des eaux de lixiviation et contribution à l'étude de leur traitement, PFE à ENP, Génie chimique (2007).
- [16] Smaïl ABOULAM : Recherche d'une méthode d'analyse du fonctionnement des usines de tri-compostage des déchets ménagers. Fiabilité des bilans matière .THESE de DOCTORAT Institut National Polytechnique de Toulouse N° : 2216 (15 avril 2005).
- [17] www.techno-science.net l'encyclopédie libre Wikipédia –environnement-
- [18] R. GOURDON- *Traitement Biologique des Déchets* ; Traité Environnement ; Volume G 2060 ; Techniques de l'Ingénieur ; France (2003).
- [19] M.A.T.E (Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement), Agence Nationale de Déchets (AND), Rapport 2003 (DAR DOUNIA).
- [20] Martin Pépin AINA : Expertises des Centres d'Enfouissement Technique des déchets urbains dans les PED : Contributions à l'élaboration d'un guide méthodologique et à sa validation expérimentale sur sites. Thèse de doctorat de l'université de LIMOGES, Laboratoire des Sciences de l'Eau et de l'Environnement, (Septembre 2006).
- [21]: H.Hadimi, K.Soltani « Réhabilitation du site de la décharge sauvage d'Ouled Fayet »; thèse de PFE.USTHB, 1998.
- [22]:M.E.T.A (Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'environnement) :2003, programme d'aménagement côtier (PAC).

- [23] : HAMOURI.K et DJEMAA.R : 2006, Evaluation de la pollution des lixiviats de la décharge d'Ouled Fayet et proposition d'un traitement. Projet de fin d'étude, USTHB.
- [24] : M.BELKACEMI, Contribution a l'étude des interactions dans le système déchets-sol-eau (cas de la décharge d'Oued-Smar), Thèse de magister, E.N.P. 1993.
- [25] : BILLARD.H : (date non mentionnée), Centre de stockage de déchets « exploitation » Technique de l'ingénieur, Traité environnement, G2-102.
- [26] F.BOUDJLIDA, CHERFI.M, contribution au traitement des lixiviats du centre d'enfouissement technique d'Ouled Fayet, Projet de fin d'étude, USTHB 2007.
- [27]:H.BILLARD, Centres de stockage des déchets « exploitation », Techniques de l'ingénieur, traité environnement, G 2 102,1999.
- [28] : L.KHOUKHI, H.MECHERI « Valorisation d'une biomasse Mycélienne Activée dans le traitement par biosorption des eaux chargées en Fer et en Manganèse ».P.F.E, U.S.T.H.B, 2003.
- [29] : AGHTM, La décharge a un avenir : le centre de stockage ; TSM, numéro 1, janvier 2000.
- [30]: F.OZANNE, « Les lixiviats de décharge, le point des connaissances en 1990 », A.G.H.T.M, Juin 1990.
- [31] : P.COURANT et D.AMAR, « Les technologies disponible en matières de traitement des lixiviats », l'eau, l'industrie, les nuisances 1 992.
- [32] Memento technique de l'eau, tome 1(1989), Degremont.
- [33] TONNI AGUSTIONO KURNIAWAN, WAI-HUNG LO AND G.Y.S. CHAN (2006), Radicals-catalyzed oxidation reactions for degradation of recalcitrant compounds from landfill leachate, Department of Applied Biology and Chemical Technology, State Key Laboratory of Chinese Medicine and Molecular Pharmacology, The Hong Kong Polytechnic University, Hung Hom, Kowloon, Hong Kong.
- [34] HUI ZHANG, HEUNG JIN CHOI, AND CHIN-PAO HUANG (2006), Treatment of landfill leachate by Fenton's reagent in a continuous stirred tank reactor, Department of Environmental Engineering, Wuhan University, China, Department of Civil and Environmental Engineering, University of Delaware, Newark, DE 19716, USA
- [35] M. D. LeVan, G. Carta, C. M. Yon. Adsorption and ion exchange, Perry's Chemical Engineers Handbook, McGraw-Hill, Inc. (1999)
- [36] Detoc, Elimination des pesticides par le charbon actif dans les eaux destinées à la consommation humaine. Agence de l'Eau Loire-Bretagne 1998,.
- [37] N. Boudries, " Biosorption des métaux lourds sur une biomasse Mycelienne ", Thèse de magist`ere, ENP, 1997.
- [38] C.E. Chitour, " physico-chimie des eaux ", OPU, V02, 1992.
- [39] A.Mme BOUCIF,"Étude de la co-adsorption de deux pesticides sur un charbon actif en poudre",Thèse de magistère l'ENSP,2009.
- [40]. M. W. Jung, K. H. Ahn, Y. Lee, K. P. Kim, J. S. Rhee, J. T. Park, K. J. Paeng, « Adsorption characteristics of phenol and chlorophenols on granular activated carbon (GAC) », Microch. J. V.70, 2001, pp.123-131.
- [41]. S. Hazourli, « adsorption et electrosorption de composés organiques sur charbon actif
- [42] : L'INSA de LYON : Transfert par Infiltration de l'eau et de soluté dans les sols non sature, Janvier 2002.
- [43] : Laboratoire de physique : Impact de la décharge sur les eaux souterraines. (Juin 2005).
- [44] : Surveillance actuelle de l'environnement, décharge industrielle de Benfor, Mesure d'intervention en cas de contamination. (Novembre 2005).
- [45]: D.J.V.CAMPBELL, A.PARKER, J.F.REES: attenuation of potential pollutants in land fill leachate by lower green sand (septembre 1982).
- [46] : Etude bibliographique sur les lixiviats produits par la mise en décharge des déchets industriels. commissions des communautés européennes (1986).
- [47]: GRIFFEN, SHIMP: Attenuation of pollutants in municipals landfill leachate by passage through cly, EUV-SCI-technol (octobre 1976).

- [48] : LEVESQUE.L : Les micropolluants minéraux dans les eaux superficielles continentales. Chrome, Cuivre, Nickel, Rapport N°6. Paris (1979).
- [49] : MEINCK.F : Les eaux résiduaires industrielles.ed.HRW. (1968).
- [50] : LEVESQUE.L : Les micropolluants minéraux dans les eaux superficielles continentales. Chrome, Cuivre, Nickel, Rapport N°5. Paris (1978).
- [51] : LEVESQUE.L : Les micropolluants minéraux dans les eaux superficielles continentales. Chrome, Cuivre, Nickel, Rapport N°4. Paris (1978).
- [52] : FRANCOIS RAMADE : Eléments d'écologie, écologie applique. Ed.Mc.Graw -hill. (1982).
- [53] : CHERGUI.A : Quantification de la charge polluante des eaux usées d'anabib, unité profil a froid et gros tube. Projet de fin d'études. (1987).
- [54] : GILL FRIANT : Les décharges contrôlées des résidus urbains, risque de pollution des eaux (Mai-Juin 1983).
- [55] : ANDRD : La décharge contrôlée des résidus urbains. Cahier technique de la direction de l'eau de la prévention des pollutions et des risques. N°6 (1981).
- [56] : M.A.T.E (Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement), Rapport 2003 (DOUNIA).
- [57] : MEZOUARI.F : 2004, Les décharges publiques du grand Alger et leur impact sur l'environnement, aspects réglementaires, urbanistiques et techniques. Thèse de Magister, EPAU, Alger.
- [58] : HAMOURI.K et DJEMAA.R : 2006, Evaluation de la pollution des lixiviats de la décharge d'Ouled Fayet et proposition d'un traitement. Projet de fin d'étude, USTHB.
- [59] : ATTOU.F : 1990, Caractérisation du lixiviat de la décharge de Oued Smar et estimation de son impact sur la nappe souterraine. Projet de fin d'étude, E.N.P.
- [60] Cahiers technique de Centre d'enfouissement technique d'Ouled Fayet
- [61] : BILLARD.H : (date non mentionnée), Centre de stockage de déchets « exploitation » Technique de l'ingénieur, Traité environnement, G2-102.
- [62] : F.MAMMERI, 2007, caractérisation des lixiviats de la décharge d'Ouled Fayet et proposition d'un traitement. Projet de fin d'étude, E.N.P.
- [63] Rapport fournis par l'Office National d'Assainissement (ONA) : 2007, Paramètre, Méthodes et Normes d'Analyse.
- [64] Journal officiel de la république algérienne n°26, 24 Rabie El Aouel 1427 ,23 Avril 2006.
- [65] M.BELKACEMI : Contribution à l'étude des interactions dans le système déchets SOL-EAU. (Cas de la décharge de Oued Smar). Thèse de magister. ENP. Département Environnement. (Juin 1993).
- [66] Martin Pépin AINA : Expertises des Centres d'Enfouissement Technique des déchets urbains dans les PED : Contributions à l'élaboration d'un guide méthodologique et à sa validation expérimentale sur sites. Thèse de doctorat de l'université de LIMOGES, Laboratoire des Sciences de l'Eau et de l'Environnement, (Septembre 2006).
- [67] ISMAIL AHMED RAOUF (2008) Caractérisation et traitement des lixiviats générés par les déchets du centre d'enfouissement technique d'Ouled Fayet, Ecole nationale polytechnique.
- [68] TONNI AGUSTIONO KURNIAWAN, WAI-HUNG LO AND G.Y.S. CHAN (2006), Radicals-catalyzed oxidation reactions for degradation of recalcitrant compounds from landfill leachate, Department of Applied Biology and Chemical Technology, State Key Laboratory of Chinese Medicine and Molecular Pharmacology, The Hong Kong Polytechnic University, Hung Hom, Kowloon, Hong Kong.

Détermination de la demande chimique en oxygène (DCO)

Standard Methods

Principe : Oxydation chimique des matières réductrices par un excès de $K_2Cr_2O_7$. Cette oxydation se réalise en milieu acide (H_2SO_4), en présence de sulfate de mercure comme catalyseur ($HgSO_4$), à ébullition à reflux pendant 2 heures dans un ballon ou un tube muni d'un réfrigérateur.

Réactifs :

- Acide sulfurique [H_2SO_4] à environ 4mol/l
- Acide sulfurique-sulfate d'argent
- Dichromate de potassium à 0,04 mol/l et contenant le sulfate de mercure (II)

Appareillage :

- Appareil à reflux
- Bloc chauffant
- Spectrophotomètre

Mode opératoire :

- Introduire dans un tube à fond plat de DCO 2,5 ml de l'échantillon à analyser.
- Ajouter 1,5 ml de dichromate de potassium $K_2Cr_2O_7$ (qui contient du $HgSO_4$).
- Ajouter lentement et avec précaution 3,5 ml d'acide sulfurique-sulfate d'argent en agitant soigneusement le tube et en refroidissant sous un courant d'eau froide de façon à éviter toute perte de substances organiques volatils.
- Porter à ébullition dans un bloc chauffant pendant 2 h.

Expression des résultats :

- Effectuer la lecture sur le photomètre à $\lambda = 600$ nm.
- La teneur en DCO est déduite du graphe d'étalonnage.

Détermination de la Demande Biochimique en Oxygène

NFT 90-103

Principe : L'échantillon d'eau introduit dans une enceinte thermostatée est mis en incubation en présence d'air. Les micro-organismes présents consomment l'oxygène dissous qui est remplacé en permanence par l'oxygène en provenance du volume d'air situé au dessus de l'échantillon. L'anhydride carbonique (CO₂) dégagé est piégé par l'hydroxyde de potassium. Cette détermination en oxygène crée une dépression qui est enregistrée par une élévation du niveau de mercure.

Mode opératoire :

La prise d'essai dépend de la charge de l'échantillon, qui elle-même dépend de l'origine de l'échantillon industriel ou urbain, de la couleur, de l'odeur et de la charge en matières en suspension. Voici le volume de l'échantillon d'après la DBO présumée

La charge	DBO présumée mg/l	Prise d'essai	facteur	La charge	DBO présumée mg/l	Prise d'essai	facteur
Très faible	0 - 40	432	1	Très faible	0 - 35	428	0.1
Faible	0 - 80	365	2	Faible	0 - 70	360	0.2
Moyenne	0 - 200	250	5	Moyenne	0 - 175	244	0.5
Plus que la moyenne	0 - 400	164	10	Plus que la moyenne	0 - 350	157	1.0
Un peu chargée	0 - 800	97	20	Chargée	0 - 700	94	2.0
Chargée	0 - 2000	43.5	50	Très chargée	0 - 1400	56	4.0
Très chargée	0 - 4000	22.7	100				

Dosage des MES par centrifugation

NFT 90-015

Principe : la séparation des MES de l'eau se fait par centrifugation. L'échantillon est mis en rotation à grande vitesse. L'application de la force centrifuge sur les particules solides permet de les rassembler dans le fond du tube sous forme d'un culot. Ce culot sera lavé puis récupéré et mis à sécher à 105°C. Le résidu sec est ensuite pesé. Il correspond aux MES contenues dans l'échantillon.

Appareillage :

- Centrifugeuse
- Dessiccateur

Mode opératoire :

- Attendre que les échantillons soient à température ambiante.
- Homogénéiser le contenu du flacon par agitation.

Si cela est possible, introduire la totalité de l'échantillon dans le pot de la centrifugeuse, de volume de 200 à 500 ml, et centrifuger 20mn environ. Le volume VE en ml doit conduire la pesée d'au moins 30mg de MES.

- Eliminer l'eau surnageante, remettre en suspension le culot dans de l'eau distillée (en remplissant jusqu'au niveau initial) et centrifuger pendant 20mn.
- Recueillir le culot déposé dans une capsule préalablement séchée à 105°C et pesée à 0,1 mg près : M1. Rincer le pot de centrifugation deux fois, avec chaque fois environ 20ml d'eau distillée et recueillir les eaux d'entraînement dans la capsule.
- Sécher ensuite la capsule et son contenu à 105°C ± 2°C, laisser refroidir dans un dessiccateur et peser à 0,5 mg près :M2 .Recommencer les opérations de séchage, de refroidissement et de pesée jusqu'à ce que la différence entre deux pesées successives ne dépasse pas 0,5mg.

Expression des résultats : La teneur en MES est calculée à partir de la formule suivante :

$$[MES] = \frac{(M2 - M1) \times 1000}{VE} \text{ (mg/l)}$$

Détermination des MVS

Principe : les matières organiques ont la propriété d'être minéralisées à haute température :



Les molécules produites par calcination de la MO sont sous forme gazeuse à haute température et vont donc se volatiliser.

C'est pour cette raison que l'on détermine la teneur en MO par calcination à 550°C et par pesée du résidu (les cendres) qui représente les matières minérales. Par différence entre la masse de matières sèches initiale et la masse de matières minérales restante, on détermine la masse de matières organiques.

On peut donc écrire : **MES = Matières organiques (MVS) + Matières minérales (MM)**

Mode opératoire :

Cette analyse peut être effectuée après la détermination des MES.

- A la fin de cette analyse, déterminer le poids P1 en g, correspond au poids de la coupelle en porcelaine et des matières sèches qu'elle contient.
- Placer ensuite la coupelle en porcelaine dans un four à 550°C pendant une durée de 2 heures.
- Après refroidissement dans un dessiccateur, la coupelle, ne contient plus que de les cendres, est à nouveau pesée : poids P2 en g.

La différence (P2 - P1) représente le poids des MVS de l'échantillon.

Expression des résultats : le taux de MVS en % est donné par la formule suivante :

$$MVS(\%) = \left(\frac{P1 - P2}{P1 - P0} \right) \times 100$$

P0 : poids de la coupelle vide initialement.

Dosage Des Nitrites (NO_2^-)

ISO 6777-1984

Principe : Les nitrites réagissent avec la sulfanilamide pour former un composé diazoïque qui, après copulation avec le N-1-Naphtyléthylènediamine dichloride donne naissance à une coloration rose mesurée à 543 nm.

Réactifs :

Réactifs de diazotation :

- Sulfanilamide.
- N-1- Naphtyléthylènediamine.
- Acide phosphorique (d=1,7).
- Eau distillée

Appareillage :

Spectrophotomètre UV-Vis

Mode opératoire :

- Dans une fiole jaugée introduire 150ml de l'échantillon à analyser.
- Ajouter 1ml du réactif de diazotation.
- Attendre au moins 20mn après l'ajout du réactif, l'apparition de la coloration rose indique la présence des nitrites.

Expression des résultats :

- Effectuer la lecture sur le spectrophotomètre à $\lambda = 543 \text{ nm}$.
- La teneur en nitrates est déduite de la courbe d'étalonnage.

Dosage De L'Azote Ammoniacal (NH_4^+)

ISO 7150/1-1984

Principe : Mesure spectrophotométrique à 655nm du composé bleu formé par réaction de l'ammonium avec les ions salicylate et hypochlorite en présence de nitroprussiate de sodium comme catalyseur.

Réactifs :

Réactif A :

- Acide dichloroisocyanurique.
- Hydroxyde de sodium.
- Eau distillée

Réactif B :

- Tri citrate de sodium.
- Salicylate de sodium.
- Nitroprussiate de sodium.
- Eau distillée

Appareillage :

Spectrophotomètre UV-Vis

Mode opératoire :

- Introduire dans une fiole 1ml de l'échantillon à analyser
- Compléter à 100ml avec de l'eau distillée et mélanger.
- Prélever 10ml de cette dernière solution et ajouter 4ml de réactif A+ 4ml de réactif B
- Compléter jusqu'à 50ml par de l'eau distillée
- Prévoir une fiole avec 10ml d'eau distillée pour le blanc réactif
- Laisser reposer pendant 1h 30mn

Effectuer la lecture spectrophotométrique à 655 nm.

Expression des résultats : les résultats sont déduits à partir de la courbe d'étalonnage.

Dosage des nitrates

ISO 7890-3 et NFT 90-045

Principe : En présence de salicylate de sodium, le nitrate donne du paranitrozonylate de sodium de couleur jaune susceptible d'un dosage colorimétrique.

Réactifs :

- Solution de salicylate de sodium à 0,5%
- Solution d'hydroxyde de sodium à 30%
- H₂SO₄ concentré
- Tartrate double de sodium et de potassium :
 - Hydroxyde de sodium
 - Tartrate de sodium et de potassium
 - Eau distillée

Appareillage :

- Spectrophotomètre UV-Vis

Mode opératoire :

- Prendre 10ml de l'échantillon à analyser.
- Ajouter 2à3 gouttes de NaOH à 30%.
- Evaporer à sec au bain marie à température comprise entre 75°C et 88 °C puis laisser refroidir.
- Dissoudre le résidu dans 2ml de H₂SO₄, laisser au repos 10min.
- Ajouter 15ml de l'eau distillée et 15ml de tartrate double de sodium et de potassium

Expression des résultats : les résultats sont déduits à partir de la courbe d'étalonnage.

Dosage de l'azote Kjeldahl NTK

Norme ISO 5663-1984

Principe : Transformation de l'azote organique en azote ammoniacal que l'on sépare et mesure par titrage.

Réactifs :

- Acide sulfurique pur H₂SO₄ (pur à 98%, d=1.84).
- Catalyseur de minéralisation : sulfate de potassium (99.5 g) + sélénium en poudre (5 g).
- Solution d'acide borique : acide borique (10 g) + eau distillée (qsp 1000 ml).
- Solution d'hydroxyde de sodium 30%
- Solution d'acide sulfurique à 0.1 N.
- Indicateur de Tashiro (bleu de méthylène + rouge de méthyle).

Appareillage :

- Digesteur (Gerhardt)
- Distillateur (Gerhardt)

Mode opératoire :

- Minéralisation : Prendre 50ml d'échantillon + 1g de catalyseur + 10 ml d'acide sulfurique pur + 4heures de minéralisation, à la fin laisser refroidir à température ambiante.
- Distillation : Après avoir transvasé le contenu de chaque tube dans une éprouvette, diluer jusqu'à 100ml Fixer le tube dans le distillateur, l'ajout de la solution NaOH se fait de manière automatique, tout comme la distillation et le nettoyage.

Expression des résultats : par titrage avec de l'acide sulfurique à 0.1 N jusqu'au virage de couleur.

$$NTK = \frac{VE \times C \times 14 \times 1000}{P} \text{ (mg/l)}$$

VE: volume en ml de l'acide sulfurique utilisé pour le dosage.

C : la concentration en mol/l de l'acide sulfurique.

P : le volume de la prise d'essai.

Dosage Des Sulfates

Rodier

Principe : Cette méthode est basée sur le fait que les ions SO_4^{-2} se précipitent en milieu acide et en présence du chlorure de baryum (BaCl_2) pour former (BaSO_4). Ce dernier est stabilisé à l'aide d'une solution de Tween 20. Les suspensions homogènes sont mesurées au spectrophotomètre.

Réactifs :

- Solution d'acide chloridrique 1/10 en volume.
- Solution chlorure de baryum :
 - Solution de Tween 20 (20ml)
 - Chlorure de baryum dihydraté (10g)
 - Eau distillée (qsp 1000ml)

Appareillage :

Spectrophotomètre UV-Vis

Mode opératoire :

- Introduire dans un tube 50ml d'échantillon
- Ajouter 1ml de la solution d'acide chloridrique
- Ajouter 5ml de la solution BaCl_2
- Agiter énergiquement et laisser reposer pendant 15mn
- Agiter de nouveau et analyser au spectrophotomètre à 650 nm.

Expression de résultats : se référer à la courbe d'étalonnage

Dosage Des Ortho phosphates (PO_4^{3-})

ISO 6878/1-1986

Principe : Les ions orthophosphates en solution acide et en présence d'ions molybdate et antimoine forment un complexe d'antimonyl-phosphomolybdate qui, après réduction par l'acide ascorbique, donne un complexe de molybdène fortement coloré en bleu. Le développement de la coloration est accéléré par l'utilisation d'un catalyseur, le tartrate double de potassium et d'antimoine. La mesure de l'absorbance de ce complexe se fait à 880nm et permet de déterminer la concentration en orthophosphates de l'échantillon.

Appareillage :

Spectrophotomètre UV-Vis

Réactifs :

-Réactif combiné :

- Solution acide sulfurique 15% en volume.
- Solution de molybdate d'ammonium 4%.
- Solution tartrate double d'antimoine et de potassium 2,8%.
- Eau distillée.

-Solution d'acide ascorbique à 2%

-Réactif de compensation

Mode opératoire :

- Introduire dans une fiole de 25ml 20ml d'échantillon à analyser.
- Ajouter quelques millilitres du réactif de compensation jusqu'à élimination de la couleur.
- Ajouter 1ml de solution d'acide ascorbique.
- Ajouter 4 ml du réactif combiné.
- Attendre exactement 30mn pour effectuer la lecture au spectrophotomètre à $\lambda = 880$ nm.

Expression des résultats : les résultats sont déduits à partir de la courbe d'étalonnage.

Dosage des métaux

ISO N° 82-88

Procédure d'analyse :

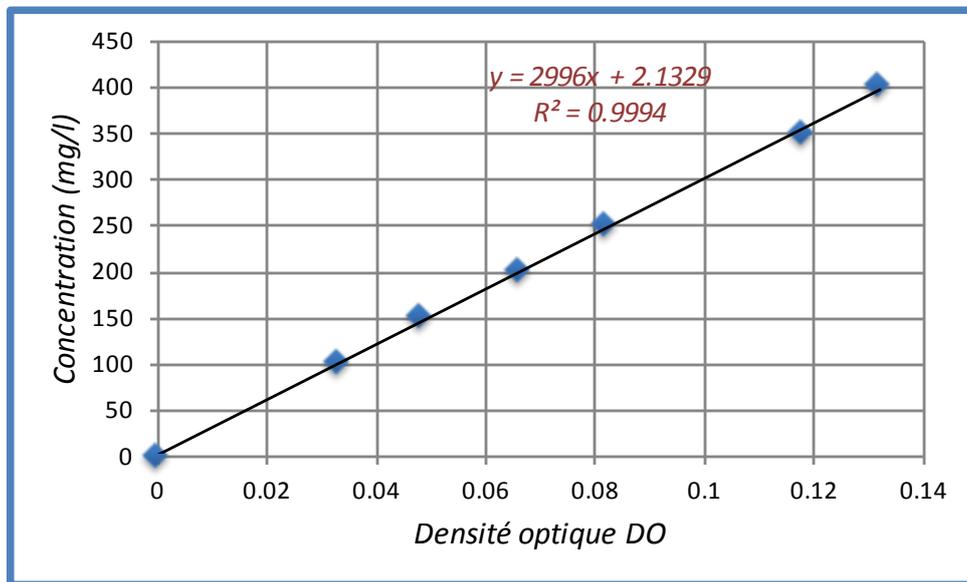
- Attaquer les échantillons avec (5ml HNO₃ + 2 ml H₂O₂) pour 100 ml d'échantillon
- Procéder à la digestion des échantillons dans des fioles de 100 ml et ajuster avec de l'eau distillée.
- Passer à la détermination des métaux (Cd, Cr, Cu, Co, Ni, Fe, Pb, Zn) par la spectrométrie d'absorption atomique (SAA).

Expression des résultats : le résultat est donné directement en mg/l à l'aide de l'interface SOLAAR par ordinateur.

Courbes d'étalonnage :

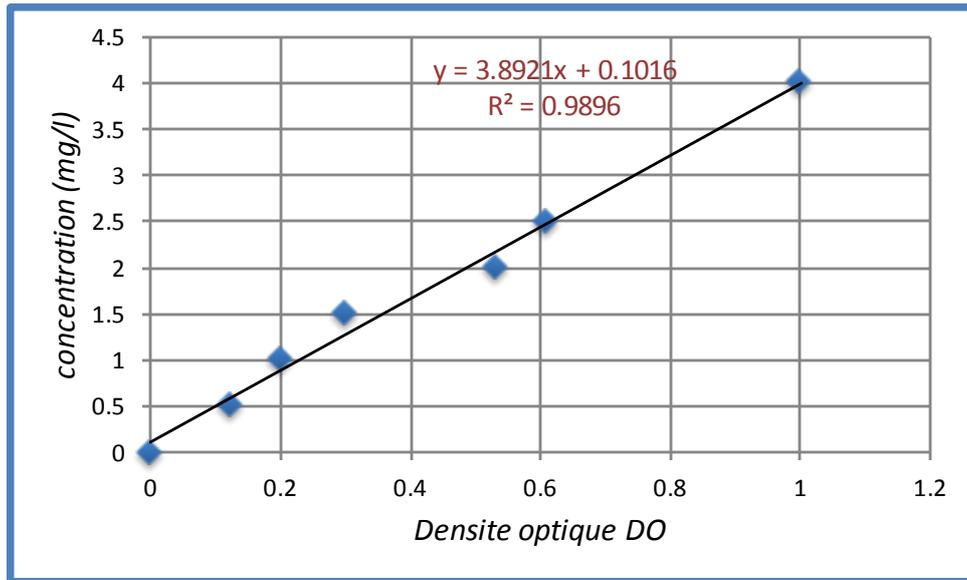
La demande chimique en oxygène DCO :

Concentration (mg/l)	La densité optique (DO)
0	0
100	0,033
150	0,048
200	0,066
250	0,082
350	0,118
400	0,132



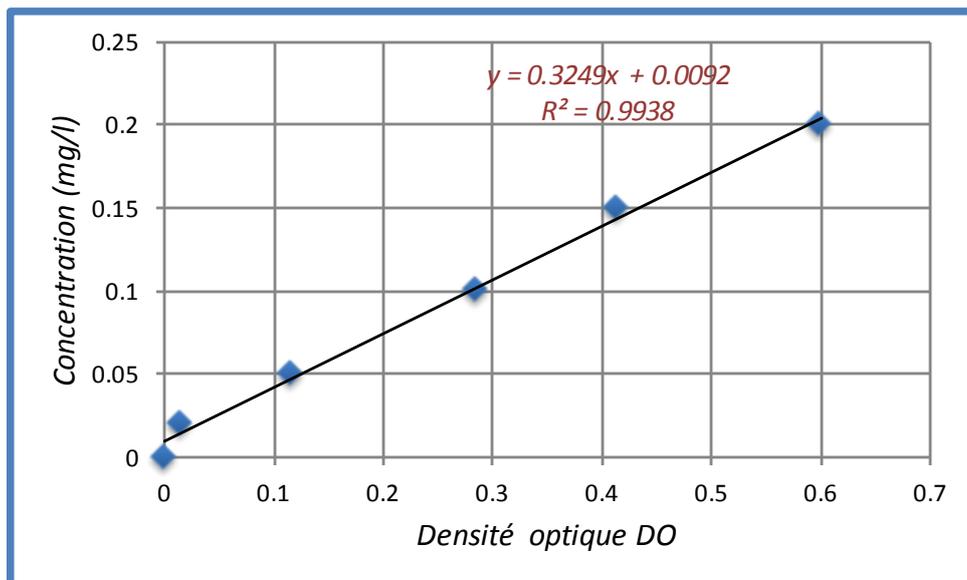
Les nitrates NO_3^- :

Concentration (mg/l)	La densité optique (DO)
0	0
0,5	0,125
1	0,201
1,5	0,301
2	0,532
2,5	0,611
4	1,002



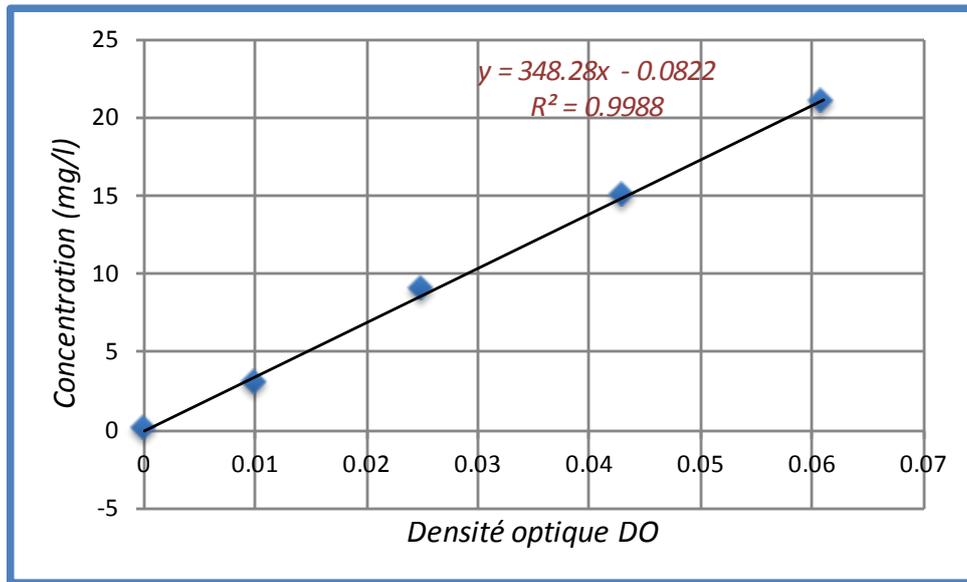
Les nitrites NO_2^- :

Concentration (mg/l)	La densité optique (DO)
0	0
0,02	0,015
0,05	0,116
0,1	0,285
0,15	0,414
0,2	0,6



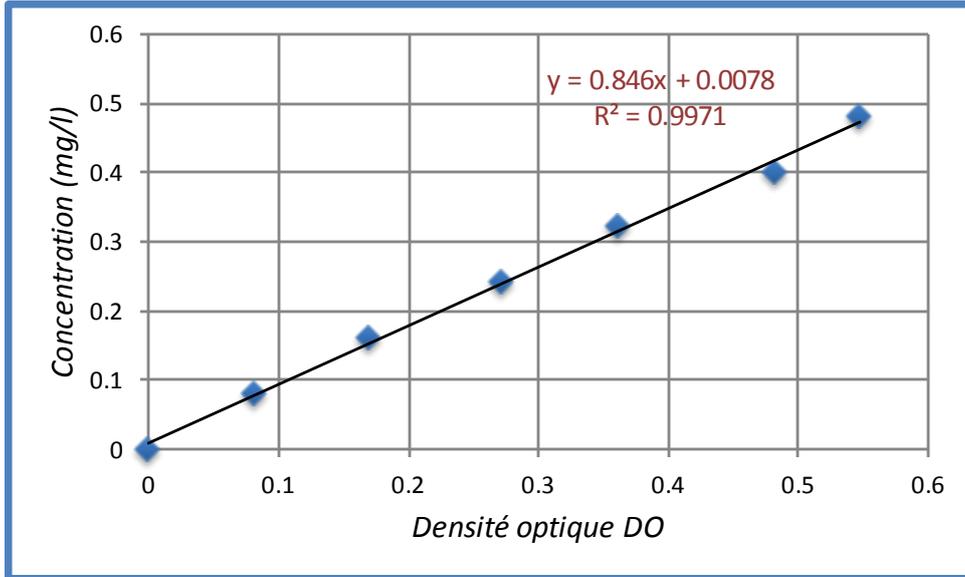
Les sulfates SO_4^{2-} :

Concentration (mg/l)	La densité optique (DO)
0	0
3	0,01
9	0,025
15	0,043
21	0,061



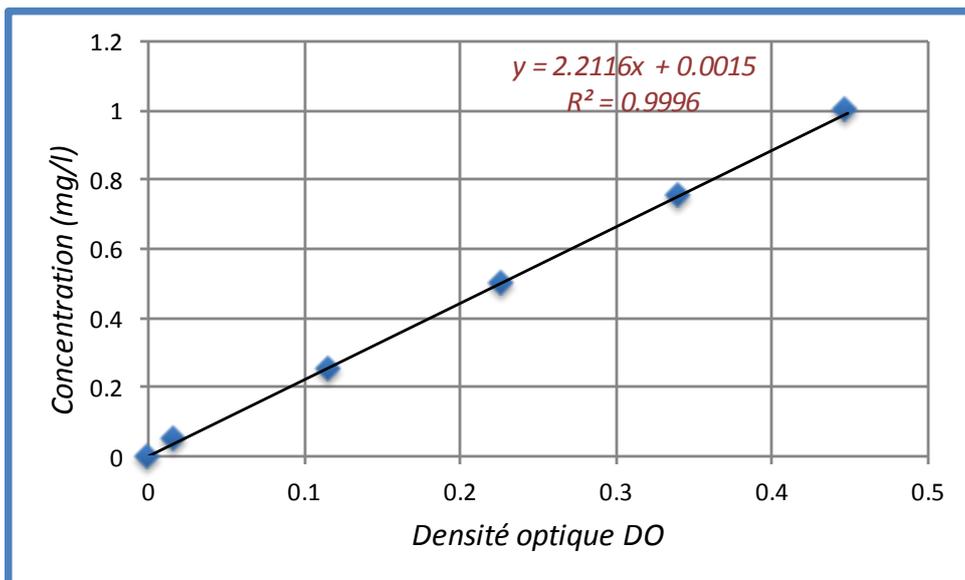
L'azote ammoniacal NH_4^+ :

Concentration (mg/l)	La densité optique (DO)
0	0
0,08	0,08
0,16	0,16
0,24	0,24
0,32	0,32
0,4	0,4
0,48	0,48



Les orthophosphates PO_4^{2-} :

Concentration (mg/l)	La densité optique (DO)
0	0
0,05	0,017
0,25	0,116
0,5	0,227
0,75	0,341
1	0,448



Traitement par coagulation-floculation

Optimisation de la dose du coagulant à pH=4,5 :

N°_tube	pH _i	DCO _i (mg/l)	FeCl ₃ (g/l)	DCO _f (mgO ₂ /l)	Couleur (Hazen)	Turbidité (NTU)	V _{boues} (mL)	τ(%)
1	4,5	8474.12	1	3873.22	150	29,09	220	54.29
2	4,5	8474.12	1.2	3423.82	125	15,89	230	59.59
3	4,5	8474.12	1.4	3049.32	100	14,33	230	64.01
4	4,5	8474.12	1,6	2824.62	100	14,1	240	66.67
5	4,5	8474.12	1.8	3049.32	125	113	240	64.02
6	4,5	8474.12	2	2974.42	125	74	240	64.89
7	4,5	8474.12	2.2	3124.22	150	123	210	63.13
8	4,5	8474.12	2.4	3274.02	150	154	200	61.36
9	4,5	8474.12	2.6	3124.22	175	117	240	63.13
10	4,5	8474.12	2.8	4097.92	175	129	210	51.64
11	4,5	8474.12	3	4247.72	175	136	200	49.87
12	4,5	8474.12	3.2	3199.12	225	77	205	62.25

Optimisation du pH:

N°_tube	pH _i	DCO _i (mg/l)	FeCl ₃ (g/l)	DCO _f (mgO ₂ /l)	Couleur (Hazen)	Turbidité (NTU)	V _{boues} (mL)	τ(%)
1	4	8474.12	1,6	4697.12	150	97	200	44.57
2	4.5	8474.12	1,6	3348.92	100	16,42	230	60.48
3	5	8474.12	1,6	2450.12	85	7,25	280	71.08
4	5.5	8474.12	1,6	2599.92	70	28,24	290	69.31
5	6	8474.12	1,6	2974.42	125	23,99	290	64.89
6	6.5	8474.12	1,6	4772.02	1000	1000	130	43.68
7	7	8474.12	1,6	4622.22	1000	1000	120	45.45
8	7.5	8474.12	1,6	3873.22	1000	1000	120	54.29
9	8	8474.12	1,6	5296.32	500	78	110	37.5
10	8.5	8474.12	1,6	5371.22	425	65	110	36.61
11	9	8474.12	1,6	5221.42	625	104	100	38.38
12	9.5	8474.12	1,6	4846.92	750	126	80	42.80

Traitement par fenton

Recherche du rapport molaire H_2O_2/Fe^{2+} Adéquat :

N°	pH	DCO _i (mg/l)	C(g/L) H ₂ O ₂	m (g) FeSO ₄	nH ₂ O ₂ / nFe ²⁺	DCO _f (mg/l)	Couleur (Hazen)	Turbidite (NTU)	V _{boues} (ml)	τ (%)
1	3	8474.12	5	10.21	2	2525.02	125	121	180	70.20
2	3	8474.12	5	5.10	4	2353.64	125	160	120	72.22
3	3	8474.12	5	3.40	6	2225.42	175	240	160	73.73
4	3	8474.12	5	2.55	8	2300.32	200	212	160	72.85
5	3	8474.12	5	2.04	10	2375.22	350	611	170	71.97
6	3	8474.12	5	1.70	12	2824.62	250	9,9	180	66.67
7	3	8474.12	10	20.42	2	2899.52	300	184	120	65.78
8	3	8474.12	10	10.21	4	2749.72	250	78	120	67.55
9	3	8474.12	10	6.80	6	2674.82	350	143	110	68.43
10	3	8474.12	10	5.10	8	2375.22	425	1,51	110	71.97
11	3	8474.12	10	4.08	10	3274.02	425	17,04	100	61.36
12	3	8474.12	10	3.40	12	3573.62	625	142	100	57.82
13	3	8474.12	15	30.63	2	3199.12	275	286	80	62.24
14	3	8474.12	15	15.31	4	2599.92	300	418	90	69.31
15	3	8474.12	15	10.21	6	3423.82	300	28,07	80	59.59
16	3	8474.12	15	7.65	8	2674.82	500	111	80	68.43
17	3	8474.12	15	6.11	10	3573.62	625	14,79	50	57.82
18	3	8474.12	15	5.09	12	4097.92	875	15,05	50	51.64

Optimisation de la Dose du H₂O₂ :

N°	pH _i	DCO _i (mg/l)	C(g/L) H ₂ O ₂	m (g) FeSO ₄	nH ₂ O ₂ / nFe ²⁺	DCO _f (mg/l)	pH _f	Couleur (Hazen)	Turbidite (NTU)	V _{boues} (ml)	τ (%)
1	3	8474.12	2	1.35	6	2974.42	2.72	125	121	120	64.89
2	3	8474.12	3	2.03	6	2674.82	2.71	125	160	100	68.43
3	3	8474.12	4	2.71	6	2375.22	2.7	175	240	120	71.97
4	3	8474.12	5	3.39	6	2300.32	2.7	200	212	120	72.85
5	3	8474.12	6	4.07	6	3049.32	2.69	350	611	120	64.01
6	3	8474.12	7	4.75	6	2599.92	2.68	250	9,9	120	69.31

Optimisation du pH :

N°	pH _i	DCO _i (mg/l)	C(g/L) H ₂ O ₂	m (g) FeSO ₄	nH ₂ O ₂ / nFe ²⁺	DCO _f (mg/l)	pH _f	Couleur (Hazen)	Turbidite (NTU)	V _{boues} (ml)	τ (%)
1	2	8474.12	5	3.39	6	3348.92	2.11	250	16,24	120	60.48
2	2.5	8474.12	5	3.39	6	2525.02	2.5	250	10,28	100	70.20
3	3	8474.12	5	3.39	6	2300.32	2.67	200	26,69	120	72.85
4	3.5	8474.12	5	3.39	6	2150.52	2.78	250	158	120	74.62
5	4	8474.12	5	3.39	6	3124.22	2.94	250	580	120	63.13
6	4.5	8474.12	5	3.39	6	3648.52	2.95	175	76	120	56.94

Effet du temps de réaction sur le rendement de l'oxydation fenton :

N°	pH _i	DCO _i (mg/l)	C(g/L) H ₂ O ₂	m (g) FeSO ₄	nH ₂ O ₂ / nFe ²⁺	Temps (min)	DCO _f (mg/l)	pH _f	Couleur (Hazen)	Turbidite (NTU)	V _{boues} (ml)	τ (%)
1	3,5	8474.12	5	3.39	6	30	3648.52	2.11	250	239	120	56.94
2	3,5	8474.12	5	3.39	6	60	3498.72	2.5	350	203	100	58.71
3	3,5	8474.12	5	3.39	6	90	2899.52	2.67	200	186	120	65.78
4	3,5	8474.12	5	3.39	6	120	2225.42	2.95	200	124	120	73.73
5	3,5	8474.12	5	3.39	6	135	2749.72	2.78	300	107	120	67.55
6	3,5	8474.12	5	3.39	6	15	2824.62	2.94	500	235	120	66.66
7	3,5	8474.12	5	3.39	6	180	3049.32	2.95	250	327	120	64.01

Traitement par adsorption sur le CAG

Coagulation-Floculation → Oxydation Fenton → Adsorption sur le CAG (Voie 1) :

Optimisation de la concentration du charbon actif en grain :

N°	C _{CAG} (g/l)	pH	DCO _i (mg/l)	DCO _f (mg/l)	Couleur (Hazen)	Turbidité (NTU)	τ (%)
1	2	6,5	8474.12	1369.52	50	32,62	83.94
2	4	6,5	8474.12	1069.92	70	22,18	87.48
3	6	6,5	8474.12	710.40	40	29,15	91.72
4	8	6,5	8474.12	500.68	15	18,94	94.20
5	10	6,5	8474.12	470.72	15	14,43	94.55
6	12	6,5	8474.12	410.80	15	29,79	95.26
7	14	6,5	8474.12	350.88	15	66	95.97
8	16	6,5	8474.12	320.92	15	69	96.32

Oxydation Fenton → Coagulation-Floculation → Adsorption sur le CAG (Voie 2) :

Optimisation de la concentration du charbon actif en grain :

N°	C _{CAG} (g/l)	pH	DCO _i (mg/l)	DCO _f (mg/l)	Couleur (Hazen)	Turbidité (NTU)	τ (%)
1	6	6,5	8474.12	710.40	40	92	91.61
2	8	6,5	8474.12	740.36	20	92	91.26
3	10	6,5	8474.12	710.40	20	104	91.61
4	12	6,5	8474.12	680.44	15	131	91.97
5	14	6,5	8474.12	620.52	15	76	92.67
6	16	6,5	8474.12	590.56	15	122	93.03

Résumé : L'étude de la caractérisation des lixiviats partiellement stabilisés du CET d'Ouled Fayet a montré que ces derniers présentent une très forte charge polluante. La DCO atteint des niveaux moyens de l'ordre de 8200 mg/l. Ces lixiviats ont fait l'objet d'un traitement physico-chimique par coagulation-floculation avec $FeCl_3, 6H_2O$, par oxydation avancée Fenton et par adsorption sur charbon actif en grain. La combinaison de ces trois procédés a abouti à un abattement de la charge organique et minérale dépassant les 94%.

Mots clés: décharge contrôlée, traitement des lixiviats, caractérisation, coagulation-floculation, oxydation, Fenton.

الخلاصة : لقد أظهرت دراسة للتوصيف المرتشحة استقرت جزئياً من موقع المكب اولاد فايت أن لديهم حمل التلوث عالية جداً. ووصل الطلب على الاكسجين الكيماوي متوسط المستويات من 8200 ملغم / لتر. و لقد عولجت هذا التلوث بطرق كيميوية فيزيائية : التليد تخثر بواسطة $FeCl_3, 6H_2O$, فنتون المتقدمة الأوكسدة, و امتصاص على الكربون المنشط المحيب. وأدى الجمع بين هذه الأساليب الثلاثة الى الحد من الموارد المعدنية والعنوية إلى ما يزيد عن 94% .
كلمات البحث : مراقبة أداء والعلاج من الرشح وتوصيف والتخثر ، التليد ، الأوكسدة ، فنتون ، الامتزاز

Abstract : The study of the characterization of partially stabilized leachate from the landfill site of Ouled Fayet has shown that they have a very high pollution load. Chemical oxygen demand reached average levels of about 8200 mg / l. These leachates have been a physico-chemical coagulation-flocculation with $FeCl_3, 6H_2O$, Fenton advanced oxidation and adsorption on granular activated carbon. The combination of these three methods has led to a reduction of the mineral and organic load in excess of 94%.

Keywords: discharge control, treatment of leachate, characterization, coagulation-flocculation, oxidation, Fenton, adsorption.