

République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Ecole Nationale Polytechnique  
Département de Génie de l'Environnement  
Laboratoire des Sciences et Techniques 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 :

**Caractérisation et traitement par  
électrocoagulation et électro-fenton des lixiviats  
du CET M'SILA et de STAOUELI**

Présenté par :

**TOUAHRIA Ahlem**

Soutenu publiquement le **28 juin 2012** devant le jury composé de :

<b>Présidente :</b>	Mme .J.ARRAR	Maître de Conférences A	ENP
<b>Promoteur :</b>	Mr .R.KERBACHI	Professeur	ENP
<b>Examineurs :</b>	Mr. A.NAAMANE	Maître de Conférences B	ENP
	Mr. Y .KERCHICH	Maître A.A	U. Media

**ENP 2012**

Laboratoire des Sciences et Techniques de l'Environnement (LSTE)  
Ecole Nationale Polytechnique (ENP)  
10, Avenue des Frères Oudek, BP. 182, 16200 El Harrach, Alger, Algérie  
[www.enp.edu.dz](http://www.enp.edu.dz)

## *DEDICACE*

*Du fond du cœur, je dédie ce modeste travail à la mémoire de celle qui n'est plus de ce monde mais n'empêche reste ma muse, à toi Maman.*

*A l'homme qui me donne la force, le courage et la détermination d'avancer dans ma vie (à toi mon frère Noureddine)*

*A mes sœurs qui enchantent, et font de ma vie un réservoir de joies : Keïra, Saadia, Madjda, Warda et Sihem.*

*A mes frères : Ameer, Tayeb, Ahmed, Ali, Moukhtar et Mohamed.*

*A tous mes petits amours : Nadjet, Cirine, Hanna, Tallal et Loudjaine*

## **REMERCIEMENT**

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

*Ce travail a été effectué au niveau du laboratoire des sciences et technique de l'environnement (LSTE) du département de génie de l'environnement de l'école nationale polytechnique (ENP) sous la direction du Pr. R.KERBACHI*

*Je tiens à exprimer ma plus grande gratitude mon encadreur : Pr.R.KERBACHI de m'avoir encadrée et appris le sens de la responsabilité.*

*Ma reconnaissance va à l'égard du Dr.J.ARRAR, Maitre de conférences à l'école nationale polytechnique d'avoir accepter de présider le jury de ce mémoire.*

*Je remercie les membres du jury Dr., Dr.A.NAAMAN et Mr.Y.KERCHICH de m'avoir fait l'honneur d'accepter d'examiner mon travail..*

*Je tiens également à remercier Yacine MEDKOUR pour l'aide inestimable qu'il m'a apportée tout au long de ce travail.*

*Je tiens également à remercier mes amis*

*Wided ,Marya,Hadjer ,Sabrina et sihem*

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

## ملخص

دراسة خصائص المياه الناتجة عن مركز الدفن التقني لمسيلة و سطاوالي الشابة السن. اثبتت ان هذه الاخيرة تحتوي على نسبة كبيرة من التلوث حيث بلغت القيمة المتوسطة من التلوث 14000-16000 مع/ل.

عولجت هذه المياه بطريقتين كهروكيميائيتين الاولى هي التخثر الكهربائي حصلنا بهذه الطريقة على تخفيض للتلوث بنسبة تفوق 90 بالمئة و الثانية هي الطريقة الكهربائية لفنتن حصلنا بهذه الطريقة على نتائج افضل من الاولى مع تخفيض للتلوث بنسبة وصلت 100 بالمئة

**الكلمات المفتاحية:** مركز الدفن التقني, معالجة المياه الفذرة, التخثر الكهربائي, الطريقة الكهربائية لفنتن.

## Résumé :

L'étude de la caractérisation des lixiviats jeunes du CET de M'Sila et de Staoueli a montré que ces derniers présentent une très forte charge polluante. La DCO a atteint des niveaux moyens de l'ordre de 14000-16000 mg O<sub>2</sub>/L. Ces lixiviats ont fait l'objet de deux différents types de traitements électrochimiques. Le premier est l'électrocoagulation, ce procédé a abouti à un abattement de la charge organique de plus de 90%. Le second, est l'électro-fenton, cette technique a donné de meilleurs résultats avec un abattement de la pollution atteignant une valeur de 100 %.

**Mots clés :** C.E.T, traitement des lixiviats, électrocoagulation, l'électro-fenton.

## Abstract:

The characterization of young leachates of the CET of M'Sila and Staoueli showed that they present a very high level of pollution. DCO reached average levels of around 14000-16000 mg O<sub>2</sub>/L. These leachates have been treated by two different types of electrochemical treatment. The first one was the electro-coagulation. This treatment reduces the organic pollution over 90%. The second one was: the electro-Fenton and gave better results than the first one with a reduction of 100%.

**Keywords:** C.E.T, treatment of leachates, electro-coagulation, electro-Fenton.

# SOMMAIRE

Introduction Générale .....	1
<b>Chapitre I : Les déchets solides et leur gestion .....</b>	<b>3</b>
Qu'est ce que les déchets ? .....	3
I.1. Définition des déchets solides : .....	3
Déchets : .....	3
Déchets ménagers et assimilés : .....	4
Déchets encombrants : .....	4
Déchets spéciaux : .....	4
Déchets spéciaux dangereux : .....	4
Déchets d'activité de soins : .....	4
Déchets inertes : .....	4
I.2. Classification des Déchets : .....	5
I.2.1. Selon la nature : .....	5
I.2.2. Selon le mode de traitement et d'élimination .....	5
Les déchets inertes : .....	5
Les déchets banals : .....	5
Les déchets spéciaux : .....	5
Les déchets dangereux : .....	5
I.2.3. Selon le comportement et les effets sur l'environnement .....	5
Les déchets inertes : .....	5
Les déchets fermentescibles : .....	5
Les déchets toxiques : .....	6
I.2.4 – Selon l'origine : .....	6
Les déchets industriels : .....	6
Les déchets urbains : .....	6
I.3. Les déchets ménagers : .....	7
I.3.1. Définition : .....	7
I.3.2. Déchets assimilables aux déchets ménagers .....	7
I.3.3. Production et évolution des déchets ménagers : .....	8
I.3.3.1. Quantités générées et leur variabilité : .....	8
I.3.3.2. Mesure de la production des déchets ménagers : .....	8
I.3.3.3. Quelques exemples de production (kg/hab. / j ou par an) .....	8
I.3.4. Caractères physico-chimiques de déchets ménagers : .....	9
I.3.4.1. La composition : .....	9
I.3.4.2. Densité (ou masse volumique): .....	9
I.3.4.3. Humidité et pouvoir calorifique: .....	9
I.3.4.3.1. L'humidité (h %): .....	9
I.3.4.3.2. Le pouvoir calorifique: .....	10

I.3.4.3. Humidité et pouvoir calorifique: .....	9
I.3.4.3.1. L'humidité (h %): .....	9
I.3.4.3.2. Le pouvoir calorifique: .....	10
Le Pouvoir Calorifique Supérieur (P.C.S.): .....	10
Le Pouvoir Calorifique Inférieur (P.C.I.): .....	10
I.3.4.4. Rapport carbone/azote (C/N): .....	10
I.3.5. Variabilité des différents paramètres: .....	10
I.3.6. Intérêt des déchets ménagers: .....	11
I.4. Comment éliminer les déchets ménagers écologiquement ? .....	11
* L'incinération : .....	11
* Le compostage : .....	12
a) Historique .....	12
b) Définitions .....	12
c) Objectifs .....	12
Le recyclage: .....	13
But du recyclage : .....	13
Les métaux ferreux : .....	13
Aluminium : .....	13
Papier : .....	13
Verre : .....	13
Plastique : .....	13
Traitement biologique anaérobie : la méthanisation .....	13
a) Historique .....	13
b) Objectifs .....	13
* Le traitement mixte : .....	14
I.5. les différents types de décharge : .....	14
I.5.1. la décharge brute : .....	14
I.5.2. la décharge contrôlée : .....	15
La décharge contrôlée traditionnelle : .....	15
b) La décharge de déchets broyés : .....	15
c) La décharge compactée : .....	15
<b>Chapitre II: Généralités sur les lixiviats .....</b>	<b>16</b>
II.1. Les lixiviats de décharge : .....	17
II.1.1 Origine et composition : .....	17
• La DCO (demande chimique en oxygène) : .....	17
• La DBO5 (demande biologique en oxygène) : .....	17
• Le COT (carbone organique total) : .....	17
• Le rapport DBO5 / DCO : .....	18
• Le rapport DCO / COT : .....	18
• L'azote Kjeldahl : .....	18
II.1.2. Système d'étanchéité drainage des lixiviats : .....	19
II.2. Composition, évolution des lixiviats et quantification des volumes produits : .....	20
• Les lixiviats jeunes : .....	21
• Les lixiviats intermédiaires : .....	21

• Les lixiviats âgés ou stabilisés :	21
II.3. Différents paramètres influant sur les lixiviats :	22
II.3.1. Influence du climat et de l'hydrogéologie sur le lixiviats :	22
II.3.2 Influence de la surface d'exploitation et de la hauteur des déchets sur les lixiviats :	23
II.3.3. Influence du compactage sur les lixiviats :	23
II.3.4. Influence de la couverture sur les lixiviats :	23
II.4. Formation du biogaz	24
Le biogaz :	24
1. phase 1 :	24
2. phase 2 :	24
3. phase 3 :	24
4. phase 4 :	24
5. phase 5 :	24
• Combustible :	24
• Odorant :	24
• Explosif :	24
• Corrosif :	24
Participant à l'effet de serre :	25
II.4.1 Evaluation de la production de biogaz d'un centre de stockage de déchets ménagers	26
II.4.2. Elimination du biogaz :	26
II.4.2.1. Combustion :	26
• Pour la torchère ouverte :	26
• Pour la torchère fermée :	26
II.4.2.2. Valorisation	27
II.5. Risques environnementaux et sanitaires :	27

## Chapitre III : Procédés de Traitement des Lixiviats de Décharge

.....	<b>28</b>
III.1. Procédés physico-chimiques :	29
III.1.1. Coagulation-floculation :	29
III.1.1.1. Coagulation :	30
• Facteurs influençant la coagulation :	30
• Influence du pH :	30
• Influence des sels dissous :	31
• Influence de la température :	31
Influence du coagulant :	31
• Influence de la turbidité :	31
• Influence de la vitesse d'agitation :	32
Coagulation de la couleur	32
III.1.1.2. Floculation :	32
• Floculant :	33
• Adjuvants de floculation :	33
III.1.2. Le Procédé de Fenton :	33
III.1.2.1. Mr. Fenton :	33

III.1.2.2. Principe :	33
III.1.3. Les Types de Fenton :	34
<i>a. Procédé de Fenton Classique :</i>	34
<i>b. Procédé d'Electro-Fenton :</i>	35
<i>c. Procédé Photo-Fenton :</i>	35
III.1. 3. Précipitation chimique :	36
• Précipitation par la chaux :	36
Action sur les métaux lourds :	36
III.1.4. Autres Traitements :	37
• Filtration sur charbon actif :	37
• Oxydation par l'ozone	38
• Osmose inverse :	38
• Traitement membranaires :	38
• Nanofiltration (NF) :	38
• Ultrafiltration :	39
• Microfiltration (M.F.)	39
• Résines échangeuses d'ions	39
III.2. Traitement biologiques :	39
III.2.1. Lagunage	40
• Lagunage naturel (aérobie)	40
• Lagunage aéré	40
• Lagunage anaérobie	40
III.2.2. Boues activées :	41
III.2.3. Culture fixée :	41
• Le film biologique :	41
• Lits à ruissellement (lits bactériens)	42
• Lits granulaires :	42
III.3. Combinaisons de traitements :	42
• Bioréacteur à membranes (BRM) :	42
III.4. Traitement des boues :	43
• Déshydratation des boues :	43
III.5. Rejets en station d'épuration urbaine :	43
III.6. Choix de la filière de traitement :	46
Conclusion :	47

## **Chapitre IV : Présentations des sites** .....48

VI.5.Evaluation et gestion des déchets ménagers ville de M'sila :	49
VI.5.1. Centre d'Enfouissement Technique de la wilaya de M'sila :	49
VI.5.1.1. caractéristique générale du site:	49
<b>1. identification:</b>	49
Coordonnées géographiques:	50

2. Propriété du sol (Pédologie) :	51
3. Hydrographie :	51
Caractéristique du CET :	52
Zone de couverture du CET :	52
* Composante physique :	52
Equipement d'exploitation du CET :	53
Equipement de transport et de collecte des déchets :	54
Mise en place de la structure de gestion (EPIC) :	55
VI.5.2. Centre d'Enfouissement Technique de Stoueli :	56
VI.5.2.1. identification :	56
VI.5.2.2. Caractéristique du CET :	56
VI.5.2.3. Zone de couverture du CET :	56

## **Chapitre V : Etude expérimentale** .....57

I. Etude expérimentale :	58
I.1. Points de prélèvement des lixiviats :	58
I.2. Campagnes de prélèvement des échantillons de lixiviats :	59
I.3. Méthodes d'analyses des paramètres de pollution :	59
I.4. Méthodes de traitement des lixiviats :	59
I.4.2. Traitement par électrocoagulation :	60
* Principe du procédé d'électrocoagulation :	60
• Conception du réacteur :	60
• Procédure expérimental du test de traitement :	61
V.4.2. Traitement par électro-fenton	62

## **Chapitre V : Résultats et discussion** .....63

II. Résultats et discussion de la charge polluante véhiculée par les lixiviats :	64
• <i>Interprétations des résultats</i> :	64
• pH :	64
• La température :	64
• Le potentiel redox :	64
• la DCO :	64
• la DBO5 :	64
• Le rapport DBO5/DCO:	65
• MES :	65
• MVS :	66

• NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> / NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> / NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> :	.....66
• SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> :	.....67
• Cl <sup>-</sup> :	.....67
• HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> :	.....67
IV.2. Traitement des lixiviats :	.....68
IV.2.1. Traitement par électrocoagulation :	.....69
IV.2.1. 1. <i>Optimisation des paramètres d'électrocoagulation</i> :	.....69
<i>Les résultats</i> :	.....69
* <i>Effet de la distance inter-électrode</i> :	.....70
* <i>Effet de la vitesse d'agitation</i> :	.....71
• Effet de l'Intensité du courant :	.....72
• <i>Effet de pH</i> :	.....73
• <i>Effet de temps</i> :	.....74
IV.2.1..2. <i>Caractéristiques des Lixiviats Après Traitement</i> :	.....76
IV.2.1..3. <i>Discussions et Conclusions</i> :	.....78
IV.2.2. Traitement par électro-fenton :	.....79
IV.2.2..1. <i>Optimisation des paramètres d'électro-fenton</i> :	.....79
• <i>effet des doses de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub></i> :	.....80
• <i>Effet de pH</i> :	.....81
IV.2.2. 2. <i>Caractéristiques des Lixiviats Après Traitement</i> :	.....83
IV.2.2..3. <i>Discussions et Conclusions</i> :	.....85
IV. Conclusions :	.....86
Conclusion Générale	.....89
Références Bibliographiques	.....95
<b>ANNEXE I : Méthodes d'analyses</b>	.....99



# **Introduction générale**

## Introduction générale

La production de déchets ménagers dépasse les 7 millions de tonnes par an, selon les chiffres de l'Agence Nationale des Déchets (AND) et d'après les dernières données officielles, la quantité de déchets produite par habitant et par jour est estimée, en Algérie, à 1,1 kg dans les grandes villes, sans doute plus à Alger, la capitale.

Cette situation est aggravée par la trop grande concentration de la population sur la bande littorale accompagnée d'une urbanisation rapide et anarchique, notamment à la périphérie des grandes villes, avec une densité de population très forte par rapport à la densité moyenne nationale. Il en résulte de fortes pressions sur l'environnement et on s'accorde à dire que la gestion des déchets constitue sans doute le problème environnemental n°1 en Algérie.

La gestion des déchets concerne tous les types de déchets, qu'ils soient solides, liquides ou gazeux, chacun possédant sa filière spécifique. Les manières de gérer les déchets diffèrent selon qu'on se trouve dans un pays développé ou en voie de développement, dans une ville ou dans une zone rurale, que l'on ait affaire à un particulier, un industriel ou un commerçant.

Le code communal (du 7 avril 1990) confie aux Assemblées Populaires Communales (APC) la responsabilité en matière de gestion des déchets produits par la consommation des ménages. Cette responsabilité leur a été confirmée par la loi relative à la gestion, au contrôle et à l'élimination des déchets, du 12 décembre 2001.

Stocker les déchets dans une décharge est la méthode la plus traditionnelle de s'en débarrasser, et encore la plus courante dans la plupart des pays. Cependant la mise en décharge qui tient compte des aspects environnementaux est sans doute difficile à réaliser. En effet la décharge est un réacteur biologique où des transformations biologiques ont lieu sur plusieurs dizaines d'années. Les processus mis en jeu entre les déchets et entre les déchets et l'environnement donnent naissance à des lixiviats fortement chargés et à la formation de biogaz.

Dans sa stratégie environnementale, l'Algérie a dès le début du 21<sup>ème</sup> siècle, tracé un programme qui vise à éradiquer les quelques 30.000 décharges sauvages éparpillées à travers le pays. En matière d'élimination des déchets, la phase prioritaire prévoyait l'aménagement et l'équipement de plus de 65 centres d'enfouissement technique (CET).

Les CET sont appelés à être gérés par des établissements publics à caractère industriel et commercial (Epic) qui seront chargés des activités de tri, de collecte, de transport, de traitement, de valorisation et d'élimination des déchets au niveau du centre. Ces Epic doivent réfléchir à des actions pour la récupération et la valorisation des déchets d'emballage et au mode de concession des activités en amont des CET.

Plusieurs des CET mis en place sont de nos jours confrontés à divers problèmes, notamment celui de la prise en charge des lixiviats générés.

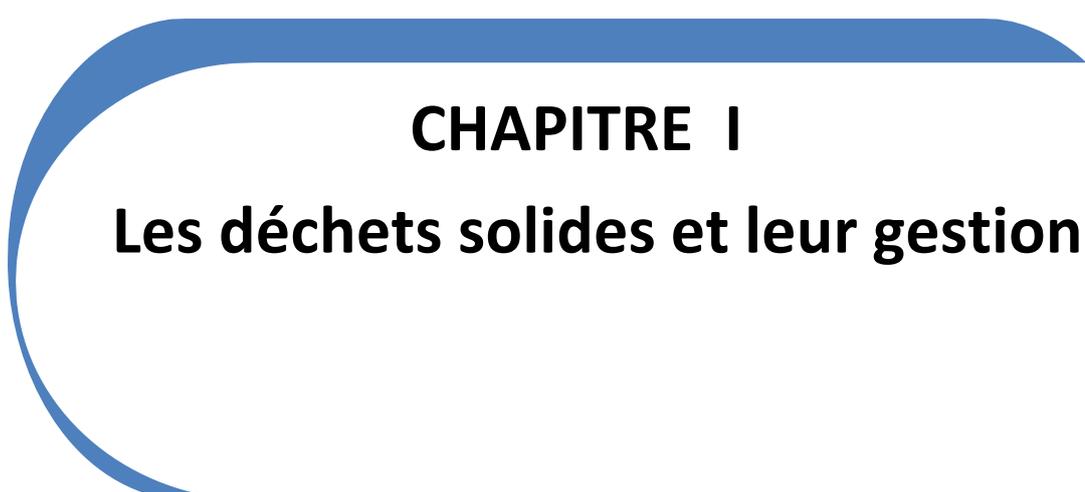
C'est dans ce contexte, que nous nous intéressons dans cette étude, à la caractérisation et le traitement des lixiviats générés au niveau des récents C.E.T de Staouali et M'sila.

Les traitements consistent en des procédés physico- chimiques qui permettent de minimiser ou d'éliminer totalement la pollution et ses conséquences sur l'environnement et l'homme en particulier.

Nous avons développé notre sujet sous forme de chapitres :

- Le premier chapitre porte sur les déchets et leur gestion, un point indispensable si on considère que les déchets sont à l'origine de la formation des lixiviats de décharges.
- Le second chapitre est une présentation des lixiviats de décharges ainsi que de leurs caractéristiques.
- Dans le troisième chapitre, sont abordés les traitements utilisés pour lutter contre les nuisances engendrées par les lixiviats de décharges.

- Le quatrième chapitre est consacré à la présentation des C.E.T de Staouali et M'sila, ainsi que son mode d'exploitation.
- Le cinquième chapitre comporte la description de nos essais de laboratoire
- les résultats obtenus, leurs interprétations, et les conclusions à en tirer sont présentés en chapitre VI



**CHAPITRE I**  
**Les déchets solides et leur gestion**

L'activité de l'homme engendre des déchets solides notamment ménagers qu'on appelle déchets urbains et qui constituent une source importante de pollution de l'environnement. En Algérie, on estime que la quantité des déchets ménagers produite annuellement au niveau national est estimée à 5.2 millions de tonnes soit 10 millions m<sup>3</sup> [1].

### **I.1. Définition des déchets solides :**

La notion de déchets peut être définie de différentes manières selon le domaine et l'intérêt d'étude et parfois l'origine et l'état du déchet.

Parmi les nombreuses définitions existantes, nous pouvons mentionner celles qui nous paraissent les plus intéressantes :

On appelle déchet tout résidu d'un processus de production, de transformation, d'utilisation ou de consommation abandonné ou destiné à l'abandon [2].

En France, dans la loi du 15 juillet 1975, un déchet est défini comme étant « tout résidu d'un processus de production, de transformation ou d'utilisation, toute substance, matériau, produit ou plus généralement tout bien nuisible abandonné ou que son détenteur destine à l'abandon » [3].

La directive du Conseil Européen en date du 18 mars 1991 reprend la notion de « substance ou objet dont le détenteur se défait ou dont il a l'intention ou l'obligation de se défaire ».

D'après cette définition, un objet est un déchet non pas seulement lorsque son détenteur le destine volontairement à l'abandon, mais également si, pour une raison de santé publique, son élimination est nécessaire [4].

En Algérie, 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.»<sup>[5]</sup>

## **I.2. Classification des déchets :**

### **I.2.1. Selon leur nature :**

La classification des déchets d'après leur nature aboutit à trois catégories essentielles : déchets solides, déchets liquides et déchets gazeux.

### **I.2.2. Selon le mode de traitement et d'élimination :**

Les professionnels et chercheurs s'accordent à regrouper les déchets solides en quatre grandes familles, selon :

- **Les déchets inertes :**

Généralement constitués d'éléments minéraux stables ou inertes au sens de leur incompatibilité avec l'environnement et qui proviennent de certaines activités d'extraction minières ou de déblais de démolition (terre, gravats, sables, stériles, ...etc.)

- **Les déchets banals :**

Cette catégorie regroupe essentiellement des déchets constitués de papiers, plastique, cartons, bois produits par des activités industrielles ou commerciales et déchets ménagers.

- **Les déchets spéciaux :**

Ils peuvent contenir des éléments polluants et sont spécifiquement issus de l'activité industrielle (boues de peintures ou d'hydroxyde métallique, cendres d'incinération...etc.). Certains déchets sont aussi dits spéciaux lorsque leur production importante sur un même site entraîne des effets préjudiciables pour le milieu naturel (mâchefers des centrales thermiques, phosphogypse, ainsi que certains déchets provenant des laboratoires universitaires et hospitaliers...etc.).

- **Les déchets dangereux :**

Issus de la famille des déchets spéciaux, ils contiennent des quantités de substances toxiques potentiellement plus importantes et présentent de ce fait beaucoup plus de risques pour le milieu naturel (poussières d'aciéries, rejets organiques complexes, bains de traitement de surface contenant soit du chrome, cyanure ou une forte acidité, les matériaux souillés par les P.C.B, les déchets de C.F.C. et mercuriels.

### **I.2.3.Selon leur comportement et les effets sur l'Environnement :**

A ce titre on distingue :

- **Les déchets inertes :**

Pouvant être différenciés suivant leur caractère plus ou moins encombrant, en débris plus ou moins volumineux jusqu'aux carcasses d'automobiles, chars, avions, bus,...etc.

- **Les déchets fermentescibles :**

Principalement constitués par la matière organique, animale ou végétale à différents stades de fermentation aérobies ou anaérobies.

- **Les déchets toxiques :**

Poisons chimiques ou radioactifs qui sont générés soit par des industries, soit par des laboratoires ou tout simplement par des particuliers qui se débarrassent avec leurs ordures de certains résidus qui devraient être récupérés séparément (ex : flacons de médicaments, seringues, piles et autres gadgets électroniques ...etc.)

### **I.2.4 – Selon l'origine :**

Pour les besoins de notre travail, nous avons opté pour une classification comprenant seulement deux (02) grandes classes de déchets solides en se basant sur la source de déchets : Déchets industriels et Déchets urbains.

- **Les déchets industriels :**

Hormis les résidus assimilables aux ordures ménagères, tant par leur nature que par leur volume modeste, on distingue dans cette classe :

\* Les déchets inertes : Provenant de chantiers de construction, transformation des combustibles et de l'énergie (gravats, cendre, ...etc.), métallurgie (scorie, laitiers, mâchefers, ...etc.).

\* Les déchets des industries agricoles et alimentaires

\* Les déchets pouvant contenir des substances toxiques par des industries variables (ex. : ateliers artisanaux, galvanoplastie, chromage, miroiterie, ... etc.).

\* Les déchets radioactifs : Le transport et la destruction des déchets industriels posent des problèmes particuliers dont la solution –consentie ou imposée- devra être à la charge des industries polluantes avec si besoin une aide appropriée des gouvernements.

- **Les déchets urbains :**

A partir de la notion « d'ordure ménagère », vocable par lequel on a longtemps désigné les résidus des ménages correspondant, de par leur origine et leur nature, à une certaine limitation en quantité et en dimensions, on a été conduit du fait de l'évolution du niveau de vie répercuté par les caractéristiques quantitatives et qualitatives des déchets, à passer à la notion plus générale de résidus ou déchets urbains.

Selon le mode d'enlèvement des déchets on distingue quatre catégories :

\* Les déchets constitués par des éléments de faible dimension (ordures ménagères, ordures de marché, déchets artisanaux et commerciaux assimilables aux ordures ménagères.

\* Les déchets hospitaliers qui, sans exceptions, font l'objet de collecte séparée.

\* Les déchets encombrants appelés aussi « monstre » constitués par des objets volumineux qui ont été réformés et mis au rebus (vieille baignoire, vieux sommier...etc.)

\* Les souillures qui proviennent du nettoyage et du balayage des voies publiques (feuilles, branchage, déchets des plages, ...etc.).[5]

### **I.3. Les déchets ménagers :**

#### **I.3.1. Définition :**

La grande majorité des services chargés de la gestion des déchets des différents pays définissent les ordures ménagères comme un ensemble de résidus hétérogènes dans lesquelles on trouve:

- Les détritiques de toute nature générés par les ménages (déchets de nourriture, de préparation de repas, balayures, textile, journaux .... etc.).
- Les déchets de bureaux, commerces, industries et administrations, déchets des cours et jardins dans la mesure où ces déchets peuvent prendre place dans une limite à fixer, dans les récipients individuels ou collectifs aux fins d'enlèvement par les services municipaux;
- Les crottins, fumier, feuilles mortes, bois résidu du nettoyage et du balayage de la voirie, jardins, cimetières, parcs, etc., rassemblés aux fins d'évacuation.
- Les détritiques de foires, Souks et marchés, etc. ...

- Les résidus des collectivités (cantines, écoles, casernes, hospices, prisons ... etc.), ainsi que les résidus des hôpitaux ayant un caractère ménager que l'on rassemble dans des récipients appropriés.
- Tout objet abandonné sur la voie publique, ainsi que les cadavres des petits animaux.

**Cette énumération exclue formellement :**

- Les déblais, gravats, décombres et débris des chantiers de travaux publics et constructions.
- Les déchets industriels et commerciaux.
- Les déchets anatomiques et infectieux des hôpitaux et abattoirs ainsi que les pansements, les médicaments, seringues et autres objets pouvant véhiculer des pollutions bactériologiques ou médicamenteuses.
- Tous les objets qui, en raison de leur encombrement, poids ou nature, ne pourraient être chargés dans les véhicules de collectes.

**Remarque :**

Cette définition des déchets ménagers insiste sur le fait que les résidus doivent être rassemblés, que leur encombrement ne doit pas excéder une certaine limite, et qu'ils doivent être stockables dans des récipients appropriés au système de collecte en vigueur.

**1.3.2 .Déchets assimilable aux déchets ménagers:**

En raison de la nature et de l'encombrement d'un certain nombre de déchets, ceux-ci peuvent être assimilés à des déchets ménagers et traités, à ce titre, nous citerons : Certains déchets industriels non toxiques, à condition qu'ils puissent être stockés dans des récipients appropriés à la collecte des ordures ménagères (cas des industries à caractère artisanale, petite industrie du bois, panneaux, papier carton, artisanat textile, petite industrie agroalimentaire, ... etc.).

Les déchets des marchés à caractère essentiellement alimentaire (fruits et légumes, boucheries, poissonneries) sans pour autant exclure d'autre résidus tel que : les emballages [5].

**1.3.3 .Production et évolution des déchets ménagers :**

**1.3.3.1. Quantités générées et leur variabilité :**

Les quantités de déchets ménagers générées dans une ville dépendent essentiellement de :

- 1) L'habitat (milieu rural ou urbain avec un taux généralement plus faible en milieu rural) ;
- 2) Le niveau de vie, les habitudes et les mœurs de la population (la production tend à s'accroître avec le niveau de vie ; ex. Zones résidentielles par rapport aux autres zones) ;
- 3) Les conditions climatiques, ainsi que les variations annuelles et saisonnières ;
- 4) Les mouvements plus ou moins importants de la population au cours de l'année : Foires, pèlerinage, vacances annuelle, etc ;

5) Des modes de conditionnement des denrées et des marchandises [5].

### I.3.3.2. Mesure de la production des déchets ménagers :

Les quantités de déchets ménagers produites peuvent s'exprimer en poids ou en volume. Cependant, en raison de la compressibilité des déchets ménagers, seul le poids constitue une donnée fiable et mesurable sur un pont-bascule.

On mesure alors les quantités de déchets ménagers en kg/habitant/jour ou par année. Par contre pour définir la taille des récipients, l'estimation des volumes est nécessaire.

#### Remarque :

En pratique et en particulier dans les pays en voie de développement, on devra toujours faire la distinction entre les quantités de déchets ménagers générées et les quantités de ces ordures collectées, ces dernières étant souvent inférieures aux premières [5].

### I.3.3.3. Quelques exemples de production (kg/hab. / j ou par an): [5]

Ces exemples figurent dans le Tableau ci-après.

**Tableau 1** : Quelques exemples de production de déchets par pays et par habitant.

ZONES DE PRODUCTION	PRODUCTION (KG/HAB./J)
Pays hautement industrialisés	1,1 - 1,2
Pays moins avancés	0,35
France (moyenne nationale)	1
Zone urbaine de France	0,8 - 1
Zone rurale de France	0,6 - 0,8
Logement ou hôtel	0,6 - 0,8
Campings	0,3 - 0,5
Passage	0,1 - 0,2

Donc l'évolution de la production est essentiellement liée à deux facteurs :

- L'évolution démographique ;
- L'évaluation quantitative par habitant.

### I.3.4. Caractères physico-chimiques de déchets ménagers [5] :

#### I.3.4.1. La composition :

Il est important de connaître la composition des déchets ménagers pour permettre, entre autre, un meilleur choix de matériel de collecte et une évaluation des gisements en matériaux récupérables, dans l'hypothèse d'une collecte sélective.

D'une ville (ou même d'un quartier) à l'autre, la composition des déchets ménagers peut être sensiblement différente.

### I.3.4.2. Densité (ou masse volumique) :

La densité met en évidence la relation qui existe entre la masse des déchets ménagers et le volume qu'ils occupent. Comme les ordures ménagères sont essentiellement, compressibles, leur densité varie au cours des différentes manipulations auxquelles elles sont soumises.

Le Tableau suivant figure quelques exemples de densités des déchets ménagers.

**Tableau 2:** Quelques exemples de densités des déchets ménagers.

VILLES	DENSITÉ EN POUBELLE	DENSITÉ EN BENNE TASSEUSE	DENSITÉ APRÈS FOISONNEMENT EN DECHARGE
PARIS	0.1	/	/
GENEVE	<0,1	/	/
VILLES ALGERIENNES	0,22 - 0,30	0,45 - 0,55	0,28 - 0,32

**Remarque :** En règle générale, la densité en poubelle est d'autant moins grande que les ordures proviennent de quartiers où le standard de vie est plus élevé.

### I.3.4.3. Humidité et pouvoir calorifique:

#### I.3.4.3.1. L'Humidité (H %) :

Les déchets ménagers renferment une quantité d'eau, qui est celle contenue dans leurs composants. La teneur globale en eau est essentiellement fonction des proportions respectives des composants, ainsi que des saisons, latitudes et de l'origine géographique et sociale des populations qui en sont la source. Pour des ordures fraîches et stockées à l'abri des intempéries, l'humidité varie entre :

- (35 - 40) % : Europe, avec un max. en été et un min. en hiver ;
- (60 – 62) % : pour une grande ville Algérienne ;
- (65 - 70) % et plus : Pour les pays tropicaux.

Pour les ordures non protégées, donc exposées aux intempéries, l'humidité des déchets ménagers peut atteindre des valeurs extrêmes, c'est à dire déshydratation complète ou sursaturation.

#### I.3.4.3.2. Le Pouvoir calorifique:

En matière de déchets ménagers considérés comme combustibles, on utilise soit:

- **Le pouvoir calorifique supérieur (P.C.S.) :**

Qui prend en compte la chaleur de vaporisation de l'eau contenue dans les déchets ménagers pendant la combustion.

- **Le pouvoir calorifique inférieur (P.C.I.) :**

Qui ne tient pas compte de la chaleur de vaporisation de cette eau pendant la combustion.

C'est ce dernier (le P.C.I.) qui est d'usage dans les pays méditerranéens.

En règle générale, le P.C.I. est inversement proportionnel à l'humidité.

*Les déchets ménagers n'ont jamais été un bon combustible, mais lorsqu'ils contiennent plus de 50% d'humidité, ils sont réellement impropres à l'incinération et c'est là le cas des déchets ménagers en Algérie.*

Donc la connaissance des deux paramètres P.C.I. et H% sont étroitement liés et leur connaissance est essentielle pour le choix du mode de traitement (incinération ou compostage...).

#### **I.3.4.4. Rapport Carbone/Azote(C/N):**

Ce paramètre mesure la qualité des ordures ménagères pour leur valorisation en tant qu'amendements organiques, c'est à dire qu'il permet d'apprécier aussi bien l'aptitude des ordures ménagères au compostage que la qualité du composte obtenu.

Un compost est valable à partir du rapport C/N < 35 au départ de la fermentation aérobie et contrôlée et en obtenant un rapport de  $18 \leq C/N \leq 20$

En fin de fermentation pour le cas de l'Algérie le C/N dépasse rarement 15.

#### **I.3.5.Variabilité des différents paramètres:**

Les déchets urbains, en général et les déchets ménagers en particulier, sont sujets à des variations plus ou moins importantes mais toujours sensibles aussi bien dans les quantités générées que dans la nature et les proportions de leurs composants.

Tous les paramètres physico-chimiques sont fonctions des divers facteurs, à savoir:

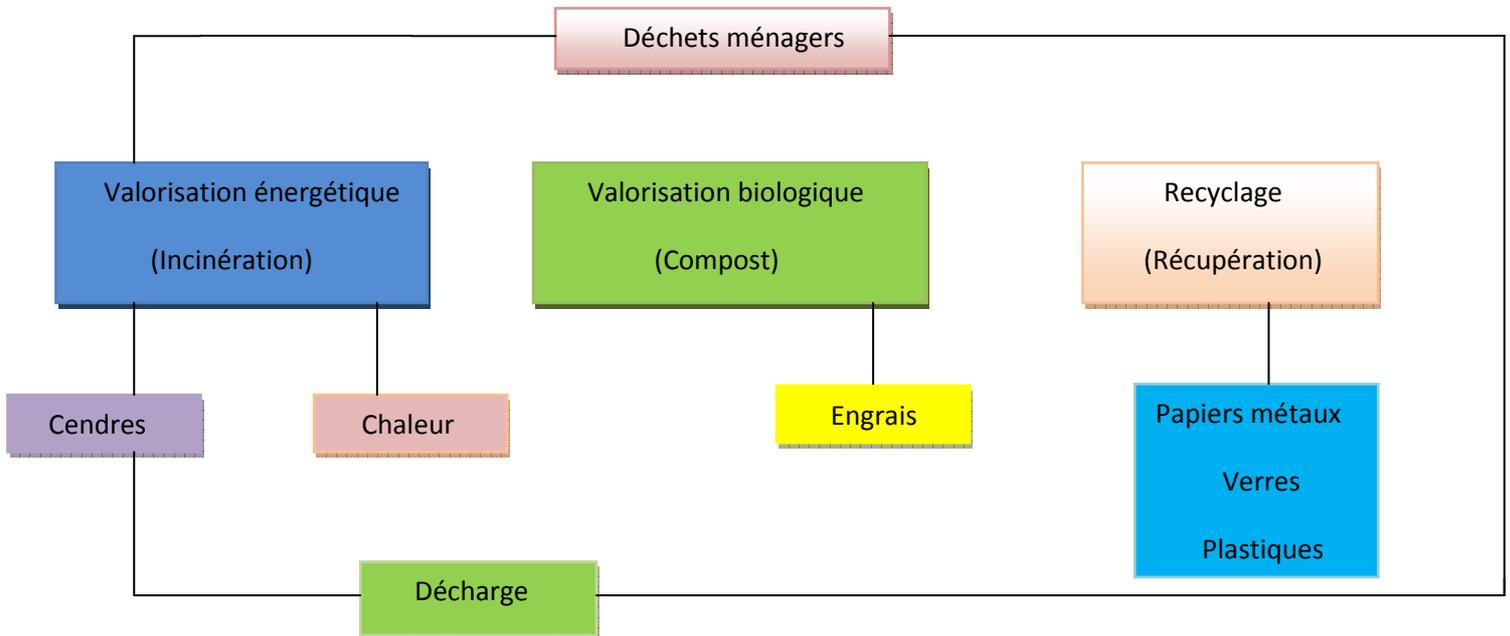
- Temps ;
- Facteur socio-économique ;
- Situation géographique et conditions climatiques.

#### **I.3.6. Intérêt des déchets ménagers :**

Depuis le milieu des années 70 et plus précisément le début des augmentations des prix pétroliers en 1974, on assiste à un changement important dans la façon de considérer les déchets urbains. Cela se traduit par le fait qu'il ne faut plus les regarder comme des matériaux à éliminer par tous les moyens, mais plutôt comme de la matière première.

#### I.4. Comment éliminer les déchets ménagers Ecologiquement ? [5]

Le schéma donné ci-dessous résume le devenir et les opérations de traitement/valorisation que peut suivre un déchet produit et collecté



Il existe ainsi plusieurs modes de valorisation des déchets ménagers dont les plus connues sont :

- **L'incinération** : avec récupération d'énergie

Ce traitement consiste à détruire les déchets par le feu ou plus exactement par une combustion aussi complète que possible des déchets. Vis-à-vis de l'incinération, la caractéristique la plus fréquemment utilisée est le PCI, ce procédé est utilisé pour des déchets ayant un PCI élevé ( $PCI > 7200 \text{ KJ/Kg}$ ) et une teneur en eau relativement faible ( $Hu < 50\%$ ). L'incinération est souvent couplée à une récupération d'énergie. En effet, l'incinération d'une tonne d'ordures ménagères produit entre 1,5 à 2 tonnes de vapeur, soit un équivalent d'énergie de 300 à 350 KWh [6].

- **Le compostage** : avec utilisation du compost comme engrais

Le principe du compostage est très ancien mais le terme n'apparaît dans un texte réglementaire qu'au début du XX<sup>ème</sup> siècle (1905). Cette technique s'est développée en France dans les années 50-60 comme un procédé de traitement global des ordures ménagères entre autres.

Cependant, ce n'est qu'avec la crise énergétique de 1973 et les réflexions qui s'en suivirent que le compostage s'est imposé comme filière à part entière de traitement et de valorisation des déchets. Le compostage des O.M. a ensuite régressé avec la complexité croissante des O.M. et face à la concurrence de techniques moins coûteuses (mise en décharge) ou plus radicales (incinération) [7].

Le compostage est défini comme étant la décomposition biologique thermophile, en présence d'oxygène et dans des conditions contrôlées, de biodéchets collectés séparément, sous l'action de micro- et de macro-organismes, afin de produire du compost. Le compost, produit final du compostage, est de la « matière humique stable, assainie, riche en matière organique et non nauséabonde, qui résulte du compostage des biodéchets». Il est composé pour l'essentiel d'une fraction organique stabilisée et de composés minéraux. L'action de composter est donc de produire de la matière organique de type humique stable [7].

#### **Les objectifs du compostage sont :**

- 1- Stabilisation du déchet pour réduire les pollutions ou nuisances associées à son évolution biologique, dues principalement à la présence de matières organiques biodégradables. On parle de stabilisation biologique ou biostabilisation de la matière organique.
- 2- Réduction du gisement par diminution de la masse de déchet.
- 3- Production d'un compost valorisable comme amendement organique des sols agricoles [7].

- **Le recyclage:**

Le recyclage de matières recyclables contribue positivement à diminuer la quantité des déchets évacués vers les centres d'enfouissement techniques et à augmenter leur durée de vie ce qui entraîne une économie considérable dans les matières premières [5]

#### **But du recyclage :**

Le recyclage est bénéfique au niveau économique et environnemental. Il permet d'économiser les ressources naturelles et l'énergie et donc contribue au développement durable. Il existe un gisement important de déchets récupérables et recyclables tels que:

- Les métaux ferreux :

Le recyclage d'une tonne de déchets de fer permet une économie de 2500 unités énergétiques pour les besoins énergétiques de transformation.

- Aluminium :

En refondant l'aluminium recyclé, nous économisons 90% de l'énergie nécessaire aux méthodes d'obtention de l'aluminium de son métal, le fait de refondre une tonne d'aluminium nous permet d'économiser 4 tonnes.

- Papier :

La construction d'une usine de recyclage de papier nous revient de 50 à 80% moins cher que la construction d'une usine de production de papier à partir du bois de l'alfa.

- Verre :

Une tonne de verre broyé recyclé nous permet d'économiser 1200Kg de matières premières et 80Kg de fuel.

- Plastique :

Son recyclage contribue à réduire considérablement le volume des déchets vides dans les Centre d'Enfouissement Technique ainsi que la pollution des sites [5].

Il y a existe également d'autres modes de traitement sur site :

**\* Traitement biologique anaérobie : la méthanisation**

**a) Historique**

La méthanisation, filière de valorisation des déchets organiques, a pris une importance industrielle conséquente. Plus encore que le compostage, elle est apparue comme une alternative compétitive aux problèmes de dépense énergétique posés après la crise pétrolière de 1973 [7].

**b) Objectifs**

La méthanisation est un processus de digestion anaérobie pouvant répondre à un double objectif de valorisation énergétique par récupération de méthane (CH<sub>4</sub>) et de stabilisation des déchets organiques. Le biogaz est utilisé comme combustible et le digestat, produit solide final de la digestion anaérobie, est utilisable comme amendement organique sur les terres agricoles (Éventuellement après une opération de maturation aérobie complémentaire) [7].

**\* Le traitement mixte :**

Ce traitement combine le procédé de compostage et celui d'incinération. L'installation de traitement est composée d'une unité de compostage pouvant assurer l'élimination de 40 à 60 % des déchets et d'une unité d'incinération pouvant traiter jusqu'à 90 % des ordures.

Le fonctionnement de ces deux unités est modulé en fonction de la demande du composte, outre l'incinération des ordures non compostées, le four assure l'élimination des refus de compostage [7].

### **I.5. L'élimination par mise en décharge :**

Il existe deux grandes familles de décharges :

- La décharge brute, appelée aussi décharge simple ou sauvage
- La décharge contrôlée avec ou sans broyage préalable, ou sous forme compactée  
Dans cette famille, on compte Les Centres d'Enfouissement Techniques CET qui sont des décharges contrôlées plus élaborées.

#### **I.5.1. la décharge brute :**

Ce mode d'élimination consiste à déverser purement et simplement les déchets, soit dans un trou préalablement fait soit sur une ancienne carrière sans prendre de précautions spéciales [8]. En Algérie, on compte plus de 30000 décharges sauvages.

#### **I.5.2. la décharge contrôlée :**

Une décharge est dite contrôlée lorsque toutes les dispositions sont prises pour éviter les nuisances. C'est un procédé de traitement relativement simple ne nécessitant pas une infrastructure importante.

On distingue trois types de décharges contrôlées :

##### **a) La décharge contrôlée traditionnelle :**

Ce procédé consiste à déposer les ordures suffisamment tassées (densité entre 0,6 et 0,8 t/m<sup>3</sup>) en couches successives d'épaisseur modérée (2 m au maximum) afin de favoriser la circulation de l'air. Les couches doivent être soigneusement nivelées, la couverture des couches se fait de préférence avec des matériaux pulvérulents (sable), de 10 à 30 cm d'épaisseur, dans un délai de 48 h est si possible le jour même. La couverture doit former une couche homogène et perméable pour l'eau et l'air.

Dans le cas où des déchets industriels spéciaux sont admis sur la décharge, il est préférable de les disposer en couches inclinées et de les couvrir avec un matériau imperméable. Les voies d'accès à la décharge doivent être présentes et celle-ci doit être entourée par une clôture et des plantations [8].

##### **b) La décharge de déchets broyés :**

Les ordures ménagères sont fractionnées à l'aide d'un broyeur à marteaux ou à couteaux. Après fermentation en tas, le produit est répandu en couches de 1,5 m ou plus. En revanche, si la fermentation se fait sur la décharge, les broyats seront répandus en couches minces d'environ 0,5 m d'épaisseur. Cette technique conduit à un produit dense et homogène avec un broyage, un produit passant à la maille de 50 mm donne de bons résultats.

Les matières organiques présentes dans la couche superficielle sont transformées par voie aérobie, en couche inerte qui protège les couches profondes.

Enfin, les risques d'incendie sont réduits en raison de la compacité de la masse d'ordures [8].

**c) La décharge compactée :**

Dans cette décharge, les ordures sont épandues en couches minces (30 à 50 cm), puis fortement compactées à l'aide d'un compacteur épandeur type « pied de mouton » (densité finale comprise entre 0,8 et 1,0 t/m<sup>3</sup>).

Le matériau de recouvrement est souvent destiné à améliorer l'apparence de la décharge. En effet le degré de compactage des déchets rend la prolifération des mouches et des rongeurs difficile et réduit les risques d'incendie [8].

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 compactée qui représente le CET. Cependant après le dépôt des déchets dans un C.E.T, deux importantes conséquences sur l'environnement sont à noter :

- **La formation du biogaz :** Il est normalement récupéré dans un CET
- **Les jus de décharge ou les lixiviats :** Cet effluent véhicule une pollution extrêmement élevée. Il est lui aussi collecté et traité dans le cas d'un CET et ce afin d'éviter toute nuisance et dégradation de l'environnement

Notre étude portera sur l'étude de la nature et de l'ampleur de la pollution de lixiviats de CET et sur les possibilités de son traitement. Les caractéristiques des lixiviats et les différents modes de traitement seront développés dans les chapitres suivants.



# **Chapitre II**

## **Généralités sur les lixiviats**

Les lixiviats sont des effluents toxiques issus des centres de stockage des déchets. Ils sont composés de multiples éléments organiques et minéraux.

La première étape de ce chapitre est donc de décrire les phénomènes de formation, d'origines physico-chimiques et biologiques, mis en jeu. Par la suite, une classification des lixiviats est présentée en fonction de leur composition, celle-ci pouvant s'avérer très variable. Un comparatif avec les effluents de compostage peut alors être établi. La variabilité des lixiviats se situe également au niveau des volumes produits quotidiennement. Le rejet de ces effluents étant soumis à des normes, il est nécessaire d'envisager un traitement par des procédés flexibles de haute performance capables d'éliminer l'ensemble des polluants.

Les lixiviats de centre de stockage, appelés "jus de décharges" résultent de la percolation, au travers du massif de déchets, de l'eau contenue dans les déchets et de celle apportée par les précipitations

Les lixiviats sont le résultat de la percolation des eaux météoriques aux travers des déchets. Avec ce processus les eaux se chargent mécaniquement et surtout chimiquement en substances minérales et organiques [9].

## **II.1. Les lixiviats de décharge :**

### **II.1.1 Origine et composition :**

Les lixiviats sont chargés bactériologiquement et surtout chimiquement, de substances tant minérales qu'organiques. Ils peuvent se mélanger aux eaux de surface comme aux eaux souterraines et donc constituer un élément polluant tant par leur aspect quantitatif que qualitatif (éléments écotoxicologiques). La source principale en eau d'une décharge vient des précipitations. Il faut toutefois tenir compte de l'humidité des déchets et, parfois au niveau des eaux superficielles et souterraines en cas de crue ou de pluies soudaines et violentes.

L'eau traversant la couche de déchets va se charger en substances polluantes telles que la matière organique soluble résultant de l'activité biologique de la décharge, des constituants inorganiques comme les métaux lourds, et des germes qui peuvent être très dangereux pour la santé et l'environnement. Il est difficile de prévoir la composition des lixiviats car elle dépend de la nature des déchets, du volume des précipitations, ainsi que du stade de dégradation atteint. Plusieurs paramètres physico-chimiques peuvent être utilisés pour définir la composition d'un lixiviat telles que :

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

Quantifie l'état d'oxydation des substances présentes dans les lixiviats,

- **La DBO5 (demande biologique en oxygène) :**

Quantifie la biodégradabilité des lixiviats.

- **Le COT (carbone organique total) :**

Quantité totale de carbone présent dans les lixiviats

- **Le rapport DBO5 / DCO :**

Représente la biodégradabilité

- **Le rapport DCO / COT :**

Représente l'état d'oxydation des lixiviats

- **L'azote Kjeldahl :**

Azote ammoniacal et azote organique

### **II.1.2. Système d'étanchéité et drainage des lixiviats :**

Les eaux ayant percolé à travers les déchets et qui ont mis en solution diverses substances sont appelées lixiviats (ou percolas).

Ces lixiviats ne peuvent en aucun cas se répandre dans l'environnement, ni percoler librement dans le sol ou le sous-sol afin d'éviter la contamination des eaux de surface, du sol et des nappes phréatiques.

Un système d'étanchéité protégeant les parties exposées du sol (fonds, flancs) est dès lors nécessaire pour empêcher cet effet d'entraînement. De plus, les eaux seront collectées par un système de drainage et traitées par la suite.

Le système d'étanchéité est constitué de matériaux minéraux de faible perméabilité (argile) et de matériaux synthétiques (par exemple géomembrane en PolyEthylène Haute Densité). On parle alors d'une double étanchéité. Les matériaux à utiliser, ainsi que leurs caractéristiques sont définis dans les conditions sectorielles relatives à l'exploitation des CET. Au-dessus de la couche d'étanchéité, un système de drainage est placé pour collecter les lixiviats. Il s'agit d'un ensemble de couches de matériaux minéraux de grande perméabilité (gravier, sables,...), séparée par des couches synthétiques (géotextiles de protection).

On parle de système d'étanchéité – drainage.

Les eaux ainsi drainées sont alors récoltées par un réseau de tuyauterie et rassemblées afin de subir un traitement dans une station d'épuration.

De plus, lors de la réhabilitation, un système de couverture étanche et drainant (dôme) est prévu afin d'éviter la percolation des eaux de pluie à l'intérieur de la masse de déchets.

La composition des lixiviats est fonction de nombreux facteurs (nature des déchets enfouis, mode d'exploitation du CET, conditions climatiques, ...) ; en fonction du type de lixiviats, les paramètres à prendre en compte lors de l'analyse des lixiviats sont:

- Les paramètres généraux : température, pH, conductivité électrique, matières en Suspension
- Les sels : chlorures, sulfates, sulfures, phosphore, ....
- Les paramètres organiques : DBO5, DCO, azote total, ammonium
- Les métaux lourds : Fe, Mn, Zn, Cu, Cr, Ni, Cd, Hg, ...
- Les substances organiques : HAM, HAP, hydrocarbures chlorés, ...

## II.2. Composition, évolution des lixiviats et quantification des volumes produits :

Les compositions chimique et biochimique des lixiviats sont non seulement très diverses mais aussi variables dans le temps et dans l'espace. Plus de 200 familles de composés organiques ont pu être identifiées au cours des nombreuses études menées sur la caractérisation des lixiviats de centre de stockage. Parmi eux, des composés carbonés cycliques ou aromatiques, des composés benzéniques mais aussi des alcools, éthers, cétones, acides, phénols, phtalates, furanes et enfin des composés azotés, soufrés et phosphorés. Parmi toutes ces molécules certaines, comme le chloro- et dichlorobenzène, le toluène, le styrène, le naphtalène et les xylènes, sont reconnues comme des polluants prioritaires et représentent une menace sérieuse pour l'environnement. La composition globale des lixiviats est le plus fréquemment déterminée grâce à des analyses physico-chimiques, dérivées du traitement des eaux. Cette qualité physicochimique dépend de nombreux facteurs tels que le mode d'exploitation du CSDU (la gestion du site, sa topographie, sa situation géographique et le degré de compaction des déchets), les variations climatiques saisonnières (précipitation, humidité, évapotranspiration...), mais surtout de la nature des déchets entreposés, et du stade d'évolution du casier de déchets (âge).

Étant donnée la synergie de l'ensemble des facteurs mentionnés ci-dessus, il est difficile de prédire la composition moyenne d'un lixiviats d'un site donné. Le tableau 2 propose, à ce sujet, les domaines de variation des principaux paramètres physico-chimiques, relevés dans la littérature. Les auteurs relèvent classiquement quatre types de polluants:

- la matière organique dissoute ou en suspension, issue de la biomasse, exprimée généralement en Demande Chimique en Oxygène (DCO) (les AGV, les substances humiques et fulviques...)
- les micropolluants organiques (hydrocarbures, composés organohalogénés...)
- les composés minéraux majeurs sous forme ionique ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ...) ainsi que d'autres composés tels que les borates, les sulfites...
- les cations de métaux lourds à l'état de traces, sous forme majoritairement complexée par des ligands minéraux ( $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ) ou organiques (macromolécules de type humique et fulvique). Quelques remarques sont d'ailleurs à retenir concernant la caractérisation de ces effluents:
  - la DCO varie de 70.900 à 900 mg.L-1, suivant le lieu et le degré de maturation du Lixiviats
  - L'activité biologique régnant à l'intérieur de l'alvéole de stockage impose des valeurs de pH comprises, à peu d'exception près, entre 5,8 et 8,5
  - Le rapport DBO5/DCO, qui traduit la biodégradation "potentielle" des lixiviats, diminue très rapidement avec l'âge du centre de stockage des déchets. Des valeurs proches de 0,7 sont atteintes sur les sites jeunes alors que les lixiviats vieux affichent des rapports inférieurs à 0,05. Cette diminution de la

biodégradabilité de l'effluent est due au relargage dans le milieu de grosses macromolécules organiques, du type substances humiques.

**Tableau 3: Variation de la composition moyenne des lixiviats en fonction de l'âge du CET**  
[9]

Origine	DCO(mg.L-1)	DBO5 (mg.L-1)	DBO5/DCO	pH	N-NH4+
Jeunes					
Canada	13800	9660	0,7	5,8	42
Chine, Hong-Kong	15700	4200	0,27	7,7	2260
Chine, Mainland	19900	4000	0,20	8	3917
Grèce	70900	26800	0,38	6,2	3100
Italie	10540	2300	0,22	8,2	5210
Turquie	16200_20000	10800 - 11000	0,55 - 0,67	7,3_7,8	1120_2500
Intermédiaires					
Allemagne	4000	800	0,2	–	800
Chine, Hong-Kong	7439	1436	0,19	8,22	–
Italie	5050	1270	0,25	8,38	1330
Pologne	1180	331	0,28	8	734
Taiwan	6500	500	0,08	8,1	5500
Turquie	9000	–	–	8,15	1270
Stabilisés					
Brésil	3460	150	0,04	8,2	800
Corée du Sud	1409	62	0,04	8,57	1522
Finlande	556	62	0,11	–	159
France	500	7,1	0,01	7,5	430
Malaisie	1533_2580	48_105	0,03_0,04	7,5_9,4	-
Turquie	10000	-	-	8,16	1590

Enfin, toutes ces études montrent d'une part, que la majorité de l'azote est présente sous forme ammoniacale et d'autre part, que les métaux lourds semblent très affectés par l'évolution temporelle du lixiviats. Suivant le stade d'évolution biologique des déchets, trois types de lixiviats ont été distingués [5] :

- \* les lixiviats jeunes,
- \* les lixiviats intermédiaires,
- \* les lixiviats âgés ou stabilisés.

- **Les lixiviats jeunes :**

Se caractérisent par une charge organique élevée relativement biodégradable (seuil de biodégradabilité DBO5/DCO > 0,3) constituée principalement d'Acides Gras Volatiles (AGV). Ces lixiviats peuvent être chargés en métaux (jusqu'à 2 gr.L-1) du fait de leur pH relativement bas (< 6,5). Ils correspondent aux premières phases non méthanogènes de l'évolution d'un CET

- **Les lixiviats intermédiaires :**

Au fur et à mesure que le CET vieillit et que les déchets se stabilisent, la charge organique diminue et les AGV se raréfient (20 à 30 % de la charge du lixiviats) au profit de composés de hauts poids moléculaires. L'émergence de ces composés tend à diminuer la biodégradabilité du lixiviats. De ce fait, le pH est voisin de la neutralité et la charge en métaux devient négligeable. Ces lixiviats correspondent globalement à la phase méthanogène stable.

- **Les lixiviats âgés ou stabilisés :**

Sont caractérisés par une faible charge organique, composée essentiellement des substances humiques (acides fulviques et humiques) de hauts poids moléculaires. Sont également présents des composés de faibles poids moléculaires tout aussi réfractaires à la biodégradation (DBO5/DCO < 0,1). Ces lixiviats stabilisés correspondent à la phase de maturation du CET.

Toutes ces caractéristiques sont résumées dans le tableau 3. Ainsi, avec le temps, les teneurs en métaux des lixiviats diminuent rapidement avec les AGV. Parallèlement, le poids moléculaire des constituants organiques augmente. La présence de ces acides humiques et fulviques de hauts poids moléculaires est importante à souligner du fait de leur affinité avec les polluants. Ces espèces fortement complexantes sont en effet responsables du transport et du comportement des principaux polluants dans l'environnement, en particulier les métaux et les polluants hydrophobes. Ces composés sont également reconnus comme responsables de la coloration brune/noirâtre des lixiviats

**Tableau 4: Évolution temporelle des lixiviats [9]**

	Jeune	Intermédiaire	Stabilisé
Âge (année)	<5	5_10	>10
PH	6,5	6,5_7,5	>7,5
DCO (mg.L-1)	>10000	4000_10000	<4000
DBO5/DCO	>0,3	0,1_0,3	<0,1
Composés organiques	80 % AGV	5-30 % AGV + Acides humiques et fulviques	acides humiques et fulviques
Métaux lourds (mg.L-1)	<2000	–	<50

Les lixiviats d'un CSDU stabilisé sont donc globalement moins chargés que ceux d'un jeune centre, mais plus difficile à biodégrader.

La pollution organique biodégradable des lixiviats est présente, en général, durant les dix premières années d'exploitation du centre de stockage. La période de 30 ans (prescrite par la réglementation dans certains pays) permet d'assurer largement la collecte et le traitement des lixiviats les plus chargés. Hormis l'évolution dans le temps, la composition des lixiviats dépend de la nature des déchets enfouis, la présence ou l'absence de matière organique fermentescible étant prépondérante.

Enfin, les conditions climatiques conjuguées au mode d'exploitation du site jouent sur les quantités de lixiviats produites et donc a fortiori sur leur qualité. Afin de positionner les lixiviats dans la classification des effluents industriels, il est intéressant de les comparer à des effluents qui, au premier abord, peuvent s'en approcher: par exemple, les effluents de compostage.

Au cours de la phase de compostage actif, des déchets (déchets verts, boues issues des stations d'épuration) sont biodégradés par des microorganismes pour donner notamment de l'eau appelée "jus de compost" ou plus généralement lixiviats. Comme dans les casiers de centre de stockage, ce liquide va percoler à travers les déchets et s'enrichir en composés organiques et minéraux pouvant être toxiques. La composition de cet effluent est donnée dans le tableau 3. Il apparaît clairement que ces effluents sont très variables d'un site à l'autre mais également de façon saisonnière pour un même site. Le rapport DBO5/DCO est supérieur à 0,5, ce qui démontre la forte biodégradabilité de ces lixiviats.

L'ensemble des paramètres analytiques des effluents de compostage met en avant leur similarité avec les lixiviats de centres de stockage dits "jeunes", c'est-à-dire à haute biodégradabilité.

### **II.3. Différents paramètres influant sur les lixiviats :**

#### **II.3.1. Influence du climat et de l'hydrogéologie sur le lixiviats :**

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 importants 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 [10].

### **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 [10].

### **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 [8].

### **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. Formation du biogaz [9,11] :**

##### **Le biogaz :**

Le biogaz est un sous-produit de dégradation de la matière organique fermentescible, le cycle complet s'articule en 5 phases :

##### **1. phase 1 :**

Elle est le départ du cycle ; lors de la courte phase aérobie, l'oxygène et l'azote de l'air y compris le principal produit de dégradation de la matière organique fermentescible, le gaz carbonique (CO<sub>2</sub>), sont les composants essentiels.

##### **2. phase 2 :**

Durant cette phase à lieu l'hydrolyse, l'acidogénèse et l'acétogénèse, il y a production d'acides gras volatils, d'alcools, d'ammoniac, de CO<sub>2</sub> et d'H<sub>2</sub>.

##### **3. phase 3 :**

La méthanogénèse démarre, parallèlement le taux de CO<sub>2</sub> diminue et les autres gaz ou produits volatils majeurs disparaissent.

##### **4. phase 4 :**

Elle est appelée phase méthanogène stable et dure plusieurs années au cours de laquelle la production de méthane atteint son maximum.

##### **5. phase 5 :**

Dans cette dernière phase la production de biogaz chute pour finalement cesser au profit d'un retour des conditions aérobies.

Les caractéristiques du biogaz sont les suivantes :

##### **• Combustible :**

le méthane est le principal combustible contenu dans le biogaz, dont le pouvoir calorifique est fonction de sa teneur ;

##### **• Odorant :**

le biogaz est composé d'éléments malodorants présents sous forme de traces, comme le mercaptans ou le sulfure d'hydrogène ;

##### **• Explosif :**

Lorsque la teneur en méthane est comprise entre 5 et 15 %, l'oxygène entre 15 et 20 % avec un taux de dioxyde de carbone ne dépassant pas 25 % ;

##### **• Corrosif :**

Les composés soufrés additionnés à l'humidité rendent le biogaz corrosif ;

**• Participant à l'effet de serre :**

Le méthane et le dioxyde de carbone sont les deux principaux gaz à effet de serre additionnel.

En France, le bilan national édité annuellement par CITEPA (Centre Interprofessionnel Technique d'Etudes de la Pollution Atmosphérique) fait apparaître une contribution de 25 % du biogaz des décharges pour 2000 et 17 % pour 2001. D'après ces données si l'on considère les seules émissions de méthane par rapport au PRG (Pouvoir de Réchauffement Global exprimé en équivalent CO<sub>2</sub>), la contribution des décharges aux émissions nationales de gaz à effet de serre représenterait à elle seule environ 3% en 2000 et 2,2 % en 2001. On constate que cette participation diminue progressivement avec la réglementation qui oblige au captage du biogaz.

Une tonne d'ordures ménagères contient généralement 150 à 250 Kg de matières organiques. Ces substances sont biodégradables. Sous l'effet de microorganismes agissant en milieu anaérobie, elles sont décomposées en quatre phases successives et transformées en gaz de décharge. 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 :

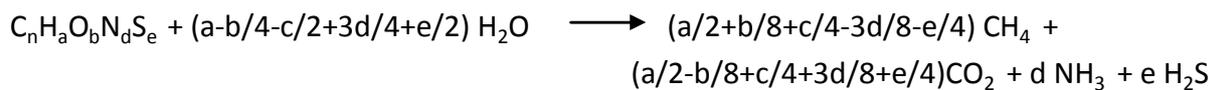
- CH<sub>4</sub> : 40 à 50% en volume
- CO<sub>2</sub> : 35 à 45% en volume
- N<sub>2</sub> : 5 à 15% en volume
- O<sub>2</sub> : 0 à 3% en volume
- Vapeur d'eau : saturé

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.4.1 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.4.2. Elimination du biogaz :

#### II.4.2.1. 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.4.2.2. 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).

#### **II.5. Risques environnementaux et sanitaires :**

Les lixiviats représentent une grande part de la pollution liée à une charge. Contrairement au biogaz, qui aisément dispersé dans l'atmosphère, les lixiviats, de part leur nature liquide, sont une source concentrée de polluants. Le plus grand risque lié à la production de lixiviats est la contamination de la nappe phréatique. Cela aurait pour conséquence de polluer les puits d'eau de consommation et donc de priver la population d'un élément vital à sa survie.

Dans le même ordre d'idée, il est nécessaire de ne pas utiliser les lixiviats comme eau de consommation.

En cas de consommation d'une eau polluée par des lixiviats, les risques encourus sont de graves intoxications pouvant entraîner des maladies irréversibles et la mort. Signalons également que la pollution des réserves d'eau potable par des micro-organismes pathogènes peut provoquer des épidémies. 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 [5].



**Chapitre III**  
**Traitement de lixiviats**

Les lixiviats représentent une grande part de la pollution liée à une décharge. Les lixiviats, de part leur nature liquide, sont une source concentrée de polluants. Le plus grand risque lié à la production de lixiviats est la contamination de la nappe phréatique. Cela aurait pour conséquence de polluer les puits d'eau de consommation et donc de priver la population d'un élément vital à sa survie donc il faut éliminer cette pollution. Les procédés les plus courants dans le domaine du traitement des lixiviats sont :

### **III.1. Procédés 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) [12].

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 [13].

#### **III.1.1. Coagulation-floculation :**

Les procédés de coagulation et de floculation facilitent l'élimination des MES et colloïdales. Celle-ci est réalisée dans une étape ultérieure de séparation solide liquide: décantation, flottation ou filtration [12].

La floculation-coagulation a été utilisée pour le déplacement des composés organiques non-biodégradables et des métaux lourds du lixiviats de décharge. Le procédé de coagulation déstabilise les particules colloïdales par l'addition d'un coagulant. Pour augmenter la dimension particulaire, la coagulation est habituellement suivie de la floculation des particules instables. Cette technique facilite le déplacement des solides en suspension et des particules colloïdales d'une solution. L'approche générale pour cette technique inclut l'ajustement de pH et comporte l'addition des sels de ferrique/aluminium comme coagulant pour surmonter les forces répulsives entre les particules [14].

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 percolâts 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) [13].

#### **III.1.1.1.Coagulation :**

La charge électrique et la couche d'eau qui entourent les particules hydrophiles tendent à éloigner les particules les unes des autres et, par conséquent, à les stabiliser dans la solution. Le but principal de la coagulation est de déstabiliser ces particules pour favoriser leur agglomération [15].

- **Facteurs influençant la coagulation :**

Afin d'optimiser la coagulation, il faut tenir compte de plusieurs variables en interrelation, comme le pH, les sels dissous, la température de l'eau, le coagulant utilisé, les conditions de mélange, la turbidité et la couleur [15].

Les coagulants métalliques (tels que  $\text{FeCl}_3$ ,  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ ,  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ ,  $\text{CaCl}_2$ , ...) sont particulièrement sensibles au pH et à l'alcalinité. Si le pH n'est pas dans la zone optimale, la clarification est mauvaise, les ions métalliques peuvent se dissoudre, plus la dose de coagulant diminue, et plus le floc devient sensible aux variations du pH [16].

- **Influence du pH :**

Le paramètre le plus important à prendre en considération lors de la coagulation est la variation du pH. Pour chaque eau, il existe un intervalle de pH pour lequel la coagulation a lieu rapidement, intervalle qui est fonction du coagulant utilisé, de sa concentration et de la composition de l'eau à traiter.

Pour les sels de Fer et d'aluminium, les plages de pH optimales s'étendent respectivement de 4 à 6 et de 5 à 7, pour certaines eaux, il faut par fois corriger le pH à l'aide de divers produits (acides, chaux ou soude) [15].

- **Influence des sels dissous :**

Les influences exercées par les sels dissous sont la modification de l'intervalle de pH optimal, la durée de la floculation, la quantité de coagulant utilisée, mais aussi la quantité résiduelle de coagulant [15].

- **Influence de la température :**

L'influence de la température de l'eau sur la coagulation a été peu étudiée, néanmoins il a été établi que lorsque la température est proche de 0°C, les floccs décantent difficilement.

Une diminution de la température de l'eau entraîne une augmentation de sa viscosité ; c'est ce qui explique les difficultés de décantation du floc [15].

- **Influence du coagulant :**

Le choix du coagulant peut influencer les caractérisations de la coagulation.

Le choix du coagulant et la concentration optimale, pour une eau donnée, ne peuvent être déterminées qu'après avoir effectué des essais en laboratoire [15].

- **Influence de la turbidité :**

Si en règle générale, la dose des sels de métaux augmente avec la turbidité, il est bien connu que les eaux très turbides flocculent rapidement, on peut par ailleurs faire les constatations suivantes :

- Il faut ajouter une concentration minimale de coagulant pour obtenir une quantité de boues minimale.
- Lorsque la turbidité augmente, il faut augmenter la concentration du coagulant. Cette dernière ne varie toute fois pas de façon linéaire en fonction de l'augmentation de la turbidité.
- La coagulation des eaux très chargées, telles que les lixiviats de décharges, est toujours difficile car elles exigent des concentrations de coagulant plus importantes que des eaux moins chargées : telles que les eaux usées urbaines [15].

- **Influence de la vitesse d'agitation :**

L'injection du coagulant doit être extrêmement énergique pour qu'il se disperse rapidement et uniformément, une fois la solution homogène, la vitesse d'agitation doit être diminuée pour obtenir de bons floccs décantables, soit des conditions optimales d'agitation rapide de 300 tr/min pendant 2 min qui sera suivie d'une agitation lente à une vitesse de 50 tr/min pendant 20 min [15].

- **Coagulation de la couleur**

En générale, la couleur d'une eau est due à la décomposition de matières organiques contenues dans l'humus des sols. Elle dépend donc d'une grande variété de composés organiques, dont les substances humiques, lesquelles sont des polymères dont la masse moléculaire varie de 800 à 50000.

Des études ont révélé que 90 % des particules responsables de la couleur avaient un diamètre supérieur à 3.5 nm. On peut dire que les particules responsables de la couleur sont de natures organiques, hydrophiles, petites et chargées négativement [15].

### **III.1.1.2. Flocculation :**

La flocculation est le transport et la mise en contact des particules déstabilisées qui s'associent et forment des floccs plus volumineux par rapport à l'état initial.

La flocculation a pour but d'accroître par une agglomération, le volume, le poids et la cohésion de l'agglomérat formé. Ce grossissement est obtenu par création d'une turbulence modérée afin d'augmenter la probabilité de rencontre des floccs.

L'agglomération des particules neutralisées en micro-floccs puis en floccs volumineux et décantables s'effectue grâce à deux phénomènes :

- Le mouvement Brownien de particules ou flocculation péricinétique.
- Le déplacement des particules du fluide ou flocculation orthocinétique [10].

- **Floculant :**

Les floculants clarifient l'eau en se combinant avec les particules en suspension de façon à permettre à ces particules d'être rapidement et facilement séparées de l'eau. Toutes les industries rejetant des effluents turbides utilisent les floculant telles que l'industrie des mines, les usines de papeterie et autres.

- **Adjuvants de floculation :**

Les polymères organiques (silice activée) et polymères naturels (starches, algues) sont les premiers à avoir été utilisés. Mais l'utilisation d'adjuvants de floculation synthétiques permet de minimiser la production de boues. Si l'on combine ces adjuvants de floculation avec différentes techniques de séparation, on peut produire des boues denses qui seront directement traitées dans des unités de déshydratation [6].

### ***Traitement par électrocoagulation :***

#### ***\* Principe du procédé d'électrocoagulation :***

L'électrocoagulation-floculation est basée sur le principe d'anodes solubles. Il s'agit de générer, en imposant un courant continu entre des électrodes (en fer, aluminium ou alliage), des cations métalliques ( $Al^{3+}$  ou  $Fe^{2+}$ ) qui vont jouer le rôle de coagulant pour permettre la déstabilisation des particules en suspension et le piégeage des métaux en les précipitant. La formation d'hydroxydes (de fer ou d'aluminium) et la géométrie particulière des réacteurs d'électrocoagulation entraînent des phénomènes de floculation. L'électrolyse conduit à la formation de microbilles, les floccs formés ont donc une forte tendance à flotter, aussi sont-ils généralement séparés de l'eau traitée par flottation à air dissous.

Le traitement complet comporte une phase de traitement par électrocoagulation (E.C) puis une phase de séparation par décantation dans la cuve d'électrocoagulation

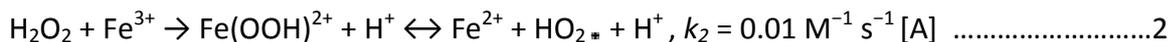
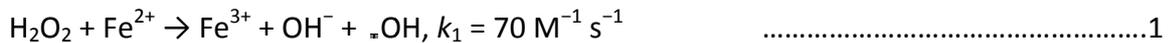
### III.1.2. Le Procédé de Fenton

#### III.1.2.1. Principe :

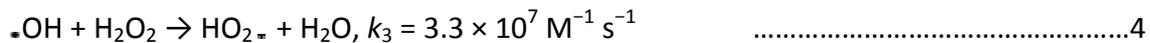
Le procédé de Fenton est basé sur des réactions d'oxydation avancée avec de l'eau oxygénée en présence d'un catalyseur ferreux générant ainsi des radicaux hydroxyles. Son utilisation est préconisée quand on a à faire à des molécules récalcitrantes, c'est-à-dire à des particules non biodégradables, tel 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 [17]:

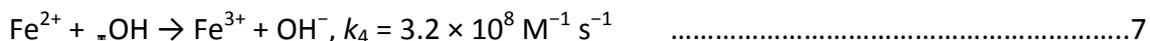
#### Initiation:



#### Propagation:



#### Termination:



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) [17]. 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<sub>2</sub> 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.

### III.1.3. Les Types de Fenton :

Tout est une question de la forme du catalyseur ferreux.

#### **a. Procédé de Fenton Classique :**

La présence des ions ferreux est assurée par l'ajout progressive de ces derniers sous forme de sulfates de fer( II) . 7 H<sub>2</sub>O (ou tout autre composé générant des ions Fe<sup>2+</sup>). Le rapport molaire [H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>]/[Fe<sup>2+</sup>] pour un lixiviat intermédiaire ou stabilisé doit tendre vers 6 [17,21].

Bien qu'il soit simple et standard, les réactions (1) et (7) ont respectivement une constante de réaction de 70 M<sup>-1</sup>.s<sup>-1</sup> et 3,2.10<sup>8</sup> M<sup>-1</sup>.s<sup>-1</sup>, une réaction qui favorise l'oxydation des ions Fe<sup>2+</sup> en ions Fe<sup>3+</sup>, alors que la réaction (2) nous montre que la constante de réaction qui favorise la réduction des ions Fe<sup>3+</sup> en ions Fe<sup>2+</sup> 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-violets, qui, sont connus pour leur pouvoir d'une part de former les radicaux hydroxyles [22], et de régénérer d'autre part les ions Fe<sup>2+</sup>, en passant par l'oxalate. On peut songer à minimiser la quantité du FeSO<sub>4</sub> rien qu'avec les rayons solaires [22].

$\cdot\text{C}_2\text{O}_4^- + \text{O}_2 \rightarrow \cdot\text{O}_2^- + 2\text{CO}_2$ .....	11
$\text{C}_2\text{O}_4^- + \text{Fe}(\text{C}_2\text{O}_4)_3^{3-} \rightarrow \text{Fe}^{2+} + 3\text{C}_2\text{O}_4^{2-} + 2\text{CO}_2$ .....	12
$\text{Fe}(\text{C}_2\text{O}_4)_3^{3-} + h\nu \rightarrow \text{Fe}^{2+} + 2\text{C}_2\text{O}_4^{2-} + \cdot\text{C}_2\text{O}_4^-$ .....	13
$\cdot\text{Fe}^{3+} + \text{H}_2\text{O} + h\nu \rightarrow \text{Fe}^{2+} + \cdot\text{OH} + \text{H}^+$ .....	14
$\text{H}_2\text{O}_2 + \text{Fe}^{2+} + h\nu \rightarrow \text{Fe}^{3+} + \text{OH}^- + \cdot\text{OH}$ .....	15
$\text{Fe}(\text{OH})^{2+} + h\nu \rightarrow \text{Fe}^{2+} + \cdot\text{OH}$ .....	16
$\text{Fe}^{2+} + \text{H}_2\text{O}_2 \rightarrow \text{Fe}^{3+} + \cdot\text{OH} + \text{OH}^-$ .....	17
$\text{Fe}^{3+} + \text{H}_2\text{O}_2 \rightarrow \text{Fe}^{2+} + \text{HO}_2\cdot + \text{H}^+$ .....	18
$\cdot\text{OH} + \text{RH} \rightarrow \text{R}\cdot + \text{H}_2\text{O}$ .....	19
$\text{R}\cdot + \text{O}_2 \rightarrow \text{RO}_2\cdot$ .....	20

### III.1. 3. Précipitation chimique :

Compte tenu de sa capacité, sa simplicité et son coût peu élevé, la précipitation chimique est un procédé très conseillé dans le traitement des eaux polluées telles que les lixiviats, car elle permet la réduction de la masse non biodégradable (DCO), de l'azote et des métaux lourds [14].

La précipitation chimique consiste à transformer les ions dissous dans l'eau en solides insolubles en utilisant des précipitants chimiques, généralement des hydroxydes, MAP ( $\text{Mg}/\text{NH}_4^+/\text{PO}_4^{3-}$  : Magnésium, Ammonium, Phosphate) ou de la chaux, en fonction de ce qu'on cherche à éliminer.

- **Précipitation par la chaux :**

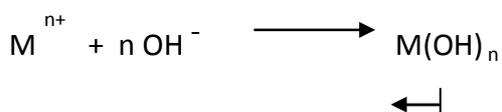
**Action sur les métaux lourds :**

Son efficacité 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. La précipitation se fait suivant la réaction suivante

**[23] :**



L'action de la chaux sur les lixiviats se traduit par [24] :

- 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.

Dans une étude faite par F.Çeçen et coll. (2000), il a été démontré qu'une dose de 8g/l de chaux permettait d'éliminer 46% de Pb(II), 51% de Ni(II), 72% de Cu(II), 78% de Fe(II), et jusqu'à 98% de Mn(II) [25].

#### **III.1.4. Autres Traitements :**

- **Filtration sur charbon actif :**

Parmi les techniques de traitement passées en revue ci-dessus, l'adsorption est la méthode la plus généralement appliquée pour le déplacement des composés organiques récalcitrant du lixiviats de décharge. Fondamentalement, l'adsorption est un procédé de transfert de masse par lequel une substance est transférée à partir de la phase liquide à la surface d'un solide, et devient limitée par des interactions physiques et/ou chimiques.

En raison de ses propriétés physiques inhérentes, grande superficie, structure microporeuse, capacité élevée d'adsorption et réactivité de surface, l'adsorption utilisant le charbon actif granulaire (GAC) ou le charbon actif par poudre (PAC) a suscité une attention considérable pour le déplacement des polluants organiques et inorganiques de l'eau usagée souillée.

Le traitement du lixiviats de décharge en utilisant une adsorption séparée de GAC, une alumine activée granulaire (GAA) et/ou un chlorure ferrique (FC) a été également effectué. Parmi les trois adsorbants étudiés, GAC s'est avéré l'adsorbant le plus efficace pour le déplacement des métaux lourds (Cd(II), de Cu(II), de Cr(III), de Mn(II), de Pb(II) et de Zn(II)). Environ 80 –96% métaux lourds avec une première concentration de 184 mg/l pouvaient être enlevés à une gamme de pH de 6 –7,7 avec 2 g/l de GAC [22].

- **Oxydation par l'ozone**

L'ozone est un gaz instable obtenu par l'activation électronique de l'oxygène. Le processus en est le suivant: l'activation électronique de l'oxygène et sa dissociation partielle sous forme d'oxygène radicalaire sont obtenues au moyen d'un champ électrique dérivant d'un potentiel

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 [22].

- **Traitements membranaires :**

- **Osmose inverse :**

Avec des flux élevés et la capacité de fonctionner la température large finie et pH s'étendent, RO sont un autre traitement physico-chimique alternatif pour le lixiviats stabilisé. Dans l'application de RO, n'importe quel dissolvant qui contient des cations en métal est passé par une membrane de telle manière que les concentrations en métal soient réduites.

Avec le taux du rejet 98- 99% pour les contaminants organiques et inorganiques, le RO peut être utilisé pour le déplacement des métaux lourds, des matériaux de suspension colloïdale et des solides dissous du lixiviats de décharge [26].

Elle utilise les propriétés de membranes semi-perméables à travers lesquelles l'eau migre, alors que tous les solutés sont rejetés, à l'exception de quelques molécules organiques très voisines de l'eau (faible masse molaire, polarité forte) [7].

- **Nanofiltration (NF) :**

En raison de ses propriétés uniques entre les membranes de l'ultrafiltration (UF) et de l'osmose inverse (OI), la NF a trouvé un endroit dans le déplacement des composés organiques récalcitrant et des métaux lourds du lixiviats de décharge. Ce processus de traitement a la capacité d'enlever des particules avec un poids moléculaire plus haut que 300 aussi bien que les substances inorganiques par des interactions électrostatiques entre les ions et les membranes.

La signification de cette membrane se situe dans ses frais extérieurs, qui permettent aux corps dissous chargés plus petits que les pores de membrane d'être rejetés, avec de plus grands corps dissous et sels neutres [7].

Il s'agit d'une variante des membranes d'O.I. d'introduction assez récente caractérisée par :

- un passage des sels monovalents relativement élevé: 30 à 60 %,
- un passage des sels bivalents beaucoup plus faible: 5 à 15 %,
- un passage des solutés organiques du même type que les membranes d'osmose [22].

- **Ultrafiltration :**

Les membranes d'ultrafiltration, de structure plus lâche (asymétrique ou composite), ne permettent plus de rejeter que les solutés les plus grossiers (macromolécules) et a fortiori tous éléments particuliers tels que les virus et bactéries.

Elles sont communément caractérisées par leur "point de coupure": taille de la protéine de plus faible masse molaire rejetée par la membrane. On trouve ainsi des membranes industrielles à point de coupure allant de  $2 \cdot 10^3$  à  $10^5$  daltons [12].

- **Microfiltration (M.F.)**

Ces membranes n'altèrent plus du tout la composition de la solution; seuls les matières en suspension, colloïdes, bactéries ...sont rejetés (filtrés).

Dans ce cas, les phénomènes décrits ci-dessus comme conséquence du rejet des solutés (Pression osmotique - concentration de polarisation) disparaissent et l'on retrouve à leur place les phénomènes de filtration sur milieux poreux peu épais: colmatage par accumulation d'un gâteau, ou colmatage interne aux pores [12].

- **Résines échangeuses d'ions**

Un échangeur d'ions est un solide insoluble (des macromolécules portant des groupements ionisables) qui, au contact d'une solution ionique, peut échanger les ions qu'il contient avec d'autres ions de même signe présents dans la solution.

On les utilise sous forme de grain très fin. Pour accélérer les échanges et atteindre l'état d'équilibre en un temps aussi court que possible, par présentation d'une surface maximum de contact avec la solution ;

Actuellement, on réalise des échangeurs d'ions organiques grâce à la stabilité de certains polymères synthétiques face au caractère acide, basique, oxydant ou réducteur de nombreuses solutions ioniques. Les caractéristiques parfaitement reproductibles de ces échangeurs d'ions artificiels ont permis de connaître avec précision le phénomène d'échange et de développer de nombreuses applications [12].

## III.2. Traitement biologiques :

### III.2.1. Lagunage

- **Lagunage naturel (aérobie)**

Le rayonnement solaire est la source d'énergie qui permet la production de matière vivante par les chaînes alimentaires aquatiques (chaînes trophiques).

L'épuration des effluents est réalisée essentiellement par des **bactéries aérobies** dont l'oxygène

- les **microphytes** ou algues microscopiques. Ce sont essentiellement des algues vertes ou bleues difficilement séparables,

- les **macrophytes** ou végétaux macroscopiques qui comprennent des formes libres (ex. lentilles d'eau) ou fixées (ex. roseaux). Les jacinthes d'eau peuvent [12].

- **Lagunage aéré**

L'apport d'oxygène est essentiellement assuré de façon artificielle: aérateurs mécaniques flottants ou fixes, insufflation d'air. En l'absence d'un compartimentage bien délimité le réacteur biologique peut se rapprocher d'un système à mélange intégral. Les équilibres biologiques sont voisins de ceux du procédé classique par boues activées bien qu'un certain développement algal soit inévitable.

La concentration en micro-organismes est faible et la décantation du floc bactérien très médiocre.

Les lagunes aérées sont souvent suivies de vastes lagunes de décantation (éventuellement équipées de systèmes d'évacuation des boues) [12].

- **Lagunage anaérobie**

Dans ces lagunes, le rendement d'épuration escompté dépend essentiellement du développement d'une fermentation méthanique. Il n'est, de ce fait, applicable que sur des effluents à forte concentration et, le plus souvent, à titre de prétraitement avant un deuxième stade d'épuration de type aérobie.

Dans ceux-ci se développent des phénomènes de fermentation anaérobie avec minéralisation de la matière organique et dégagement de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> (et éventuellement H<sub>2</sub>S). Ces dépôts sont particulièrement importants en l'absence de brassage et sur des effluents contenant beaucoup de matières en suspension décantables [12].

### III.2.2. Boues activées.

Les procédés par boues activées comportent essentiellement une phase de mise en contact de l'eau à épurer avec un floc bactérien en présence d'oxygène (**aération**) suivie par une phase de séparation de ce floc (**clarification**).

Ils sont en fait une intensification de ce qui se passe dans le milieu naturel. La différence provient d'une plus grande concentration en micro-organismes et, par conséquent, d'une demande volumique en oxygène plus importante. De plus, pour maintenir en suspension la masse bactérienne, une agitation artificielle est nécessaire. Actuellement, la recherche de rendements d'épuration plus élevés liée à la fréquente nécessité d'éliminer l'azote, ainsi que l'exploitation relativement délicate des systèmes à forte charge, renouvellent l'intérêt des traitements à faible charge [12].

### III.2.3. Culture fixée :

- **Le film biologique :**

La plupart des micro-organismes sont capables de coloniser la surface d'un solide quand ils disposent de composés organiques, de sels minéraux et d'oxygène. La fixation se fait par l'intermédiaire d'une matière gélatineuse à base d'exopolymères produite par les bactéries et à l'intérieur de laquelle ces dernières ont une certaine mobilité. La colonisation initiale d'un solide s'effectue sur un certain nombre de sites privilégiés et à partir de ces sites, il y a développement continu du biofilm, jusqu'à ce que la surface totale du support soit couverte par une couche monocellulaire.

L'oxygène et les nutriments véhiculés par l'eau à traiter, diffusent à travers l'épaisseur du biofilm, jusqu'à ce que cette épaisseur soit telle que les amas cellulaires les plus profonds ne soient plus atteints par l'oxygène et les nutriments [12].

- **Lits à ruissellement (lits bactériens)**

Le principe de fonctionnement d'un lit bactérien, quelquefois appelé filtre bactérien ou filtre percolateur, par analogie au terme anglais "biofilter", consiste à faire ruisseler l'eau à traiter sur une masse de matériau, de surface spécifique comprise entre 50 et 200 m<sup>2</sup>.m<sup>-3</sup>, servant de support aux microorganismes épurateurs qui y forment un film plus ou moins épais [12].

- **Lits granulaires**

L'activité d'une culture bactérienne dépend, en particulier, de sa surface d'échange avec le substrat et l'oxygène. Dans les boues activées, cette surface est restreinte du fait de l'état floculé des micro-organismes, état floculé qui est indispensable si on veut obtenir une séparation correcte boue-eau traitée dans l'ouvrage de séparation finale.

Plus le floc est important, plus la diffusion du substrat et de l'oxygène vers les microorganismes situés à l'intérieur est ralentie [12].

### **III.3. Combinaisons de traitements :**

L'hétérogénéité, la composition changeante d'une saison à une autre et d'une région à une autre, font des lixiviats de décharges des eaux très difficiles à traiter, c'est pour cela qu'un traitement à lui seul peut être insuffisant, d'où le besoin de combiner deux ou plusieurs traitements afin de dépolluer au mieux ces eaux

- **Bioréacteur 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. L'installation est de petite dimension.

Ce système permet de traiter la quasi totalité de la DBO<sub>5</sub>, jusqu'à 80 % de la DCO, 95 % de l'azote ammoniacal et la totalité des micro-organismes. Restent les métaux et les sels

Les points forts du BRM sont les suivants :

- Possibilité de travailler avec des concentrations importantes en biomasse dans le bioréacteur assurant des rendements accrus et une compacité des ouvrages.
- Haut niveau d'automatisation assurant une fiabilité et une facilité de fonctionnement.
- Qualité de l'eau traitée constante quelles que soient les variations de la charge [10].

#### III.4. Traitement des boues :

Il n'existe pas de traitement d'épuration d'eau sans production de résidus concentrés contenant les matières de pollution et les produits de transformations insolubles. Ces résidus, appelés « BOUES », ont diverses origines. Il convient de les traiter d'une manière rationnelle, économique, sans pour autant conduire à d'autres nuisances.

Le traitement de ces boues se fait en différentes étapes [22]:

- **Réduction de la masse organique :**

Par stabilisation (aérobie ou anaérobie), ou par digestion

- **Épaississement des boues :**

Soit par gravité, ou encore par flottation ou électro-flotation.

- **Conditionnement des boues :**

Un conditionnement qui sera chimique ou thermique.

- **Déshydratation des boues :**

Qui est soit naturelle ou mécanique.

Après cela, les boues, selon leur origine, seront dans le cas général, incinérées, pour ce qui est des boues issues des processus physico-chimiques, les cendres qui en résultent seront stockées en C.E.T de classe I. Quand aux boues biologiques, leur forte teneur en nutriments (N, P, ...) en fait de très bons fertilisants.

### III.5. 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 [27].

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

**Tableau III-1 : Valeurs limites des lixiviats avant leur rejet dans le milieu naturel (normes algériennes)[28].**

Température	30
pH	6.5-8.5
DCO (mg/l)	120
DBO5 (mg/l)	35
MES (mg/l)	35
Azote globale (mg/l)	30
Azotes ammoniacal(mg/l)	20
Phosphor 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 (Pb,Cu,Cr,Ni,Zn,Mn,Sn,Cd,Hg,Fe,A)(mg/l)	15

Le tableau N°III.2 résume tous les procédés de traitement des lixiviats ainsi que leurs avantages et inconvénients.

**Tableau III-2 : Avantages et inconvénients des différents procédés [29].**

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

### III.6. 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.

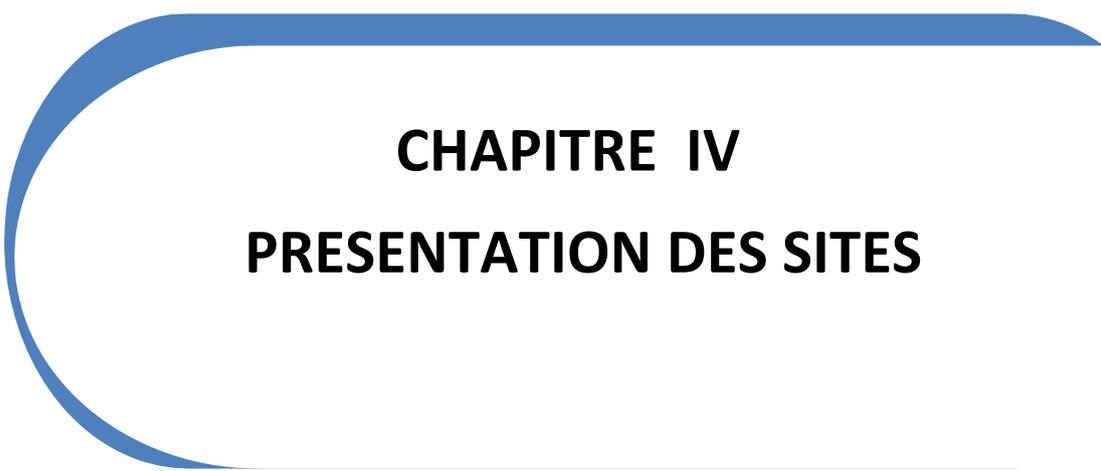
Plusieurs études ont confirmé que:

- 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 lixiviats 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 [30].

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

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



**CHAPITRE IV**  
**PRESENTATION DES SITES**

Comme notre travail a porté sur l'étude des lixiviats de deux CET (Msila et Staoueli), nous allons présenter dans ce chapitre quelques données concernant la gestion des déchets mises en place dans ces deux villes

## **IV.1. Gestion des déchets ménagers dans la ville de M'sila :**

la commune de M'sila qui est le chef lieu de wilaya abrite une population de 151719 hab. (estimation 2008). la quantité des déchets ménagers produite est estimée à 75.8 t/j soit 27667 t/an. En application de la loi 01-19 du décembre 2001 relative au gestion des déchets solides urbains et dans le cadre du programme spécial du gouvernement qui vise à éradiquer les décharges sauvages (Programme PROGDEM initié en 2003) , M'sila a bénéficié d'un projet d'une étude d'un schéma directeur de la gestion des déchets solides ménagers qui a été validé par le MATET en date 18/10/2005 et de la réalisation et équipement d'un CET qui est opérationnel

### **IV.1.1. Centre d'Enfouissement Technique de la wilaya de M'sila**

**[33] :**

#### **IV.1.1.1 caractéristiques générales du site:**

- Nom du CET: Mouilha
- maître d'ouvrage: La direction de l'environnement

##### **1. identification:**

- classe: ménagers
- Wilaya: M'sila
- Commune: de M'sila
- Lieu : Mouilha
- Accessibilité: N° RN60
- Visibilité du site: Terrain vague domanial, en forme de dépression naturelle

## 2. Coordonnées géographiques:

Longitude x : 275.8-276.8

Latitude y : 663-663.5

Altitude: 530Mètres.

- Vocation du site: Terrain inculte
- Etat initial du site : décharge communale
- Délimitation du site : A l'est par des terrains incultes, A l'ouest par un talweg (Oued Mouilha) et l'agglomération secondaire de Mouilha, Au nord par des terrains incultes et la commune d'Ouled Mansour, Au sud par l'agglomération chef lieu de M'sila
- Distance chef lieu wilaya: 07Km
- Distance chef lieu commune:07Km
- Date de mise en service du CET: opérationnel depuis 10/11/2010
- La figure IV.1 présente une photo du CET de M'SILA



**figureIV .1 : Centre d'enfouissement technique de M'sila (l'Entrée)**

**3. Propriété du sol (Pédologie) :**

Terrain sédimentaire caractérisé par des formations quaternaires; Terrasse caillouteuse ou la qualité agronomique

**4. Hydrographie :**

Cours d'eaux proches : La proximité de oued Mouilha (coté ouest du site) principal affluent de oued K'sob, qui s'écoule du nord –est pour se jeter dans le chott el hodna)

**5. Profondeur de la nappe phréatique : 5 Mètres****6. Existence de critère d'exclusion ou de restriction :**

Distance des Habitations 2 Km

Distance par rapport aux zones militaires /

Distance par rapport aux parcs nationaux ou zones naturel...../.....

Distance par rapport aux aéroports 57 km

- La figure IV.2 présente une photo du CET de M'SILA après compactage



**figureIV .2: Centre d'enfouissement technique de M'sila(les déchets après compactage)**

**\* Caractéristique du C E T :**

\* Superficie 32 Ha

\* Capacité : 879,113.m<sup>3</sup>

\* Durée de vie estimée 22.années

\* Nombre de casier 6 avec un seul bassin de décantation de lixiviats

\* Capacité des casiers:180.870 m<sup>3</sup>, 118.912 m<sup>3</sup>, 101.940 m<sup>3</sup>, 141.315 m<sup>3</sup>, 151.650 m<sup>3</sup>, 184.426 m<sup>3</sup>

\* Durée de vie des casiers: 4.5 ans, 3 ans, 2.5 ans ,3.5 ans ,4 ans , 4.5 ans.

**● Zone de couverture du CET**

Nombre des communes touchées : 01

Les communes touchées : la commune de M'sila

Population touchées : 146741 hab (population estimée 2005)

**\* Composante physique :**

- superficie du terrain d'assiette 22 ha
- 01 casier d'enfouissement d'une capacité de 180.870 m<sup>3</sup>, durée de vie 5 ans
- 01 loge gardien
- 01 pont bascule
- 02 hangars couverts pour engins.
- 01 atelier d'entretien.
- Cuve Gaz oil
- Réservoir d'eau
- 01 Groupe Electrogène 100 KVA

## Equipement d'exploitation du CET :

- 01 chargeur à chenille
- 01 compacteur épandeur à pied de mouton
- 01 camion à benne 2.5t
- 01 Camion à benne 10 tonnes
- 02 Citerne tractable 3000 L
- 01 Camion citerne 6000

La figure IV.3 présente une photo du CET de M'sila (vue d'un casier avec couverture des déchets)



**figureIV .3: Centre d'enfouissement technique de M'sila (vue d'un casier avec couverture des déchets)**

La figure IV.3 présente une photo de l'équipement du CET de M'sila



figureIV .1d :Equipement du Centre d'enfouissement technique de M'sila

## 1- Equipement de transport et de collecte des déchets :

- 02 bennes tasseuses 7+1
- 01camion lève conteneur (Ampli Roll)
- 01Tracteur Agricole
- 01 Remorque 05 tones à verin

**NB:** Le matériel ci-dessus à été mis a disposition de l'APC M'sila en date du Décembre 2008

- La superficie de réhabilitation de décharge de la commune de M'sila : 16 Ha

La figure IV.3 présente une photo du CET de M'sila (déchets après compactage avec vue sur la buse de sortie du biogaz)



**figureIV .1 e: Centre d'enfouissement technique de M'sila (déchets après compactage avec vue sur la buse de sortie du biogaz)**

### **Mise en place de la structure de gestion (EPIC) :**

- EPIC créée par arrêté interministériel du 08/11/2008
  - Conseil d'administration créé par arrêté de Monsieur le wali sous le n° 373 Du 08 /03/2009
  - Conseil d'administration installé le 19/04/2009
  - Désignation d'un directeur par Monsieur le Wali : Monsieur AIWAZ LAKHDAR comme gestionnaire du CET par arrêté N°2151 du 10/12/2009.
  - Installation du gestionnaire EPIC le 10/12/2009
- 
- La superficie du Centre d'enfouissement technique des déchets inertes: 06 ha
  - La superficie du Centre d'enfouissement technique des déchets ménagers: 21 ha

La figure IV.3 présente une photo du CET de M'sila (étanchéité par géomembrane et géotextile)



**figureIV .1f : Centre d'enfouissement technique de M'sila (étanchéité par géomembrane et géotextile)**

La superficie de réhabilitation de décharge de la commune de M'sila : 16 Ha

La superficie du Centre d'enfouissement technique des déchets inertes: 06 ha

### **VI.5.2. Centre d'Enfouissement Technique de Stoueli [34] :**

Comme nous n'avons pas pu obtenir l'ensemble des informations sur ce centre, les données présentées sont très limitées :

#### **VI.5.2.1.identification:**

- classe: ménagers
- Wilaya: Alger
- Commune: de Staouali
- Lieu : Staouali
- il a 3 bassins de décantation de lixiviats
- Date de mise en service du CET: opérationnel depuis novembre 2010

**VI.5.2.2.Caractéristique du C E T :**

\* Superficie 8 Ha

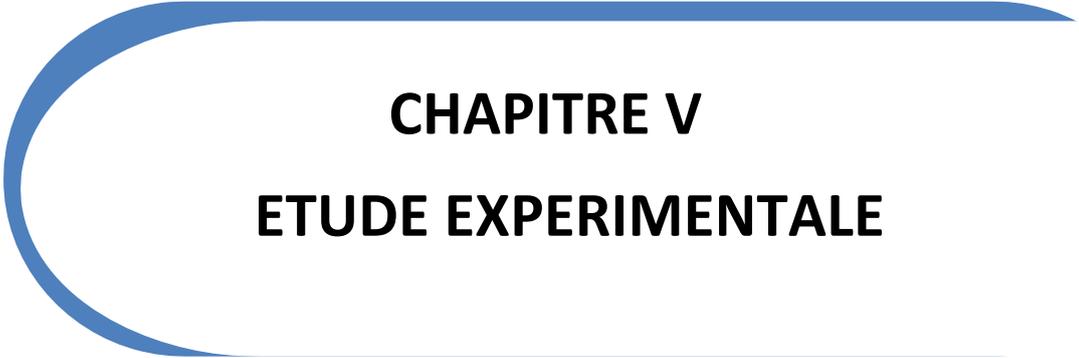
\* Nombre de casier 1.

\*le débit des déchets :200 tonnes/jour

**VI.5.2.3.Zone de couverture du CET**

Nombre des communes touchées : 05 communes de l'ouest de la wilaya d'Alger :

AinBenian , Chéraga, Staouali, Zéralda, Sidi-fredj,



**CHAPITRE V**  
**ETUDE EXPERIMENTALE**

Dans le cadre de notre travail, nous nous sommes intéressés à l'étude des lixiviats générés par deux CET, celui de M'sila et celui de Staouali. Ces deux derniers présentent des caractéristiques différentes de point de vu de la nature des déchets, la quantité, le climat (pluviométrie), etc.

L'étude portera essentiellement sur la caractérisation des lixiviats issu de ces CET, l'estimation de leurs types et leurs âges ainsi que leurs traitements.

### V.1. Points de prélèvement des lixiviats :

- **CET de M'SILA :**

A M'sila, nous avons retenu deux points de prélèvements P1 et P2 (figures V.1 et V.2) et qui peuvent représenter deux lixiviats de caractéristiques physico-chimiques et biologiques différentes

- Le point P1 :

Ce poste de prélèvement représente le bassin de décantation du casier vers lequel convergent les lixiviats drainés à partir du CET. C'est un bassin fermé ou l'écoulement ne peut se faire que par débordement.



Figure V .1 : prélèvement à partir du bassin de décantation

- le point P2 :

Il se situe au niveau du casier lui-même (ce point est particulièrement difficile d'accès). En ce site, les lixiviats stagnent en surface



Figure V.2 Prélèvement de lixiviats stagnant en surface

- **CET DE STAOUELI :**

A Staouali, nous avons effectué les prélèvements au point P à partir du bassin de décantation. Il y a en fait trois bassins qui sont liés entre eux, mais nous avons retenu le premier bassin qui reçoit directement et en premier les lixiviats du casier. Les deux autres bassins sont décantés depuis longtemps et ne sont plus représentatifs des lixiviats drainés du casier.

## V.2. Campagnes de prélèvement des échantillons de lixiviats :

Afin d'effectuer une caractérisation des lixiviats, nous avons réalisé deux campagnes de prélèvement échelonnées dans le temps à raison de deux prélèvements par site :

### M'SILA :

- 1ère campagne de prélèvement des échantillons, effectuée le : **20/03/2012** (après une période pluviale) ;
- 2ème campagne de prélèvement des échantillons, effectuée le : **14/04/2012** (après une période sèche) ;

### STAOUELI :

- 1ère campagne de prélèvement des échantillons, effectuée le : **16/04/2012** (après une période sèche) ;
- 2ème campagne de prélèvement des échantillons, effectuée le : **09/05/2012** (après une période pluviale) ;

Les lixiviats sont collectés dans des flacons en plastique (PEBD) préalablement rincés avec l'effluent et remplis à raz-bord, puis sont transportés au laboratoire où ils seront conservés au réfrigérateur à 4°C de manière à limiter toute évolution biologique.

### V.3. Méthodes d'analyses des paramètres de pollution :

Le tableau V.1 regroupe les méthodes analytiques utilisées dans l'étude des différents paramètres de pollution. Les détails des méthodes d'analyse sont donnés dans l'annexe I.

**Tableau V.1. Méthodes d'analyses des paramètres de pollution**

Paramètre	Méthode
Température	Mesure directe avec thermomètre
Ph	Mesure directe avec pH-mètre
DCO	Oxydation par le bichromate + spectrométrie
MES/MVS	Différence de poids
E redox	Mesure directe avec pH-mètre
Résidu sec	Différence de poids
DBO <sub>5</sub>	Spectrométrie
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Colorimétrie
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	Colorimétrie
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Colorimétrie
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	Colorimétrie
Cl <sup>-</sup>	Titration
Métaux lourds	Spectroscopie d'absorption atomique

### V.4. Méthodes de traitement des lixiviats :

#### V.4.1. Traitement par électrocoagulation :

- **Conception du réacteur :**

Le réacteur utilisé est une cellule d'électrocoagulation d'une géométrie cylindrique et d'une capacité volumétrique de 1 litre (bêcher en verre d'un litre qui permet d'effectuer le suivi visuel du processus d'électrocoagulation).

La conception de cette cellule d'électrocoagulation par la mise au point d'un filtre qui permet de piéger les floccs formés par mécanisme de flottation au cours de l'électrocoagulation a déjà démontré son efficacité. Les deux électrodes utilisées sont en fer d'une surface active de 29 cm<sup>2</sup> (Figure V.1 et V.2)). Le générateur utilisé est de marque Phywe

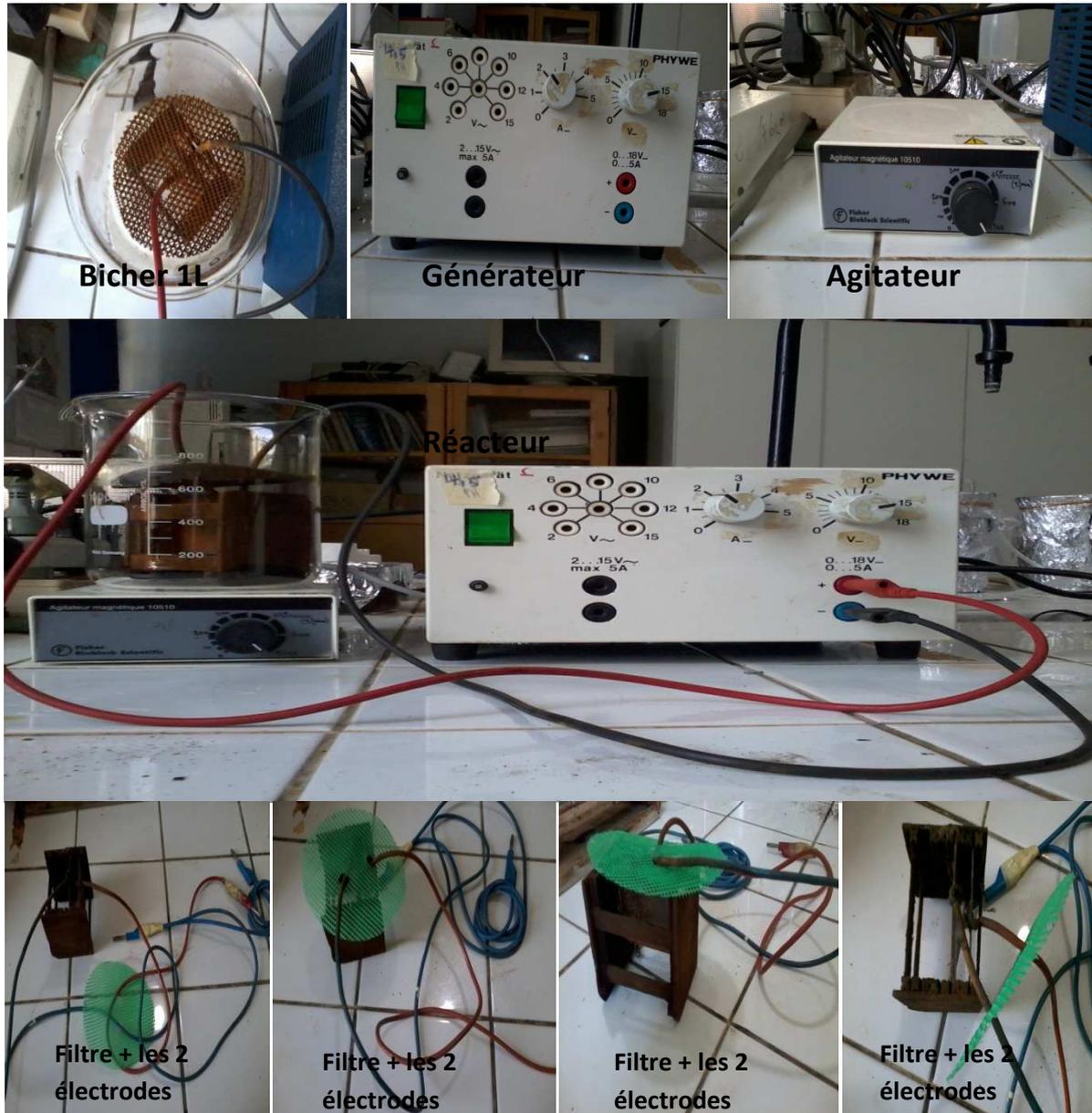


Figure V.3 : les composants du montage expérimental de l'E.C.

### Procédure expérimental du test de traitement :

Les électrodes utilisées au cours de nos expériences sont des électrodes en fer d'une surface active de  $29 \text{ cm}^2$ . La distance inter électrode ( $e$ ) est de : 1,3 ; 1,8 ; 2,5 et 3,7 cm.

Le pH est varié de 4,5 à 8. L'intensité du courant ( $i$ ) est de : 2 ; 2,5 ; 3 et 3.5 A.

Un volume de 600 ml de lixiviat est traité pendant 90 min. au cours de ce traitement des prélèvements des échantillons sont effectués afin de calculer les rendements d'abattement de la DCO et de tracer ainsi la cinétique d'électrocoagulation en fonction des paramètres d'optimisation choisis et en fonction du temps de traitement.

Nous avons travaillé sur deux réacteurs en parallèle (fig. 4), chacun dédié à un CET, de façon qu'on puisse suivre visuellement les différences dans le traitement (s'il y en a) et aussi bien sur de gagner du temps et d'avancer rapidement dans le travail



Figure V.4 : montage du réacteur d'électrocoagulation avant commencer le traitement

#### V.4.2. Traitement par électro-fenton

Pour le traitement par la méthode d'électro-Fenton, nous utilisons le même réacteur que celui décrit dans la technique d'électrocoagulation. Les mêmes électrodes sont également utilisées. La procédure expérimentale suit les mêmes étapes que celles de l'électrocoagulation. La seule différence réside dans l'utilisation de  $H_2O_2$  comme oxydant.



**CHAPITRE VI**  
**RESULTATS ET DISCUSSIONS**

## VI.1 Caractérisation des lixiviats : ampleur de la pollution véhiculée par les lixiviats :

Les analyses physico-chimiques et biologiques que nous avons effectuées ont été axées sur l'évaluation de la charge organique et minérale, de la biodégradabilité, des principaux paramètres de pollution ainsi que des éléments toxiques.

Il nous a été impossible d'évaluer les débits de lixiviats produits, car les regards sont enfouis à l'intérieur du bassin.

Les résultats de caractérisation des lixiviats obtenus sont représentés dans les tableaux N° VI.1 à VI.4. Une comparaison des principaux paramètres de pollution est donnée en tableau VI.5 et VI.6.

### 1. CET DE M'SILA :

**Tableau VI.1. Teneurs des différents paramètres de pollution caractérisant le lixiviats P1 du CET de M'sila**

Paramètres	P1		Intervalle de variation	Moyenne	Norme
	23/03/2012	14/04/2012			
Température (°c)	23	22.9	22.9-23	22.95	30
pH	8.48	7.73	7.73-8.48	8.11	6,5 – 8,5
E redox (mV)	-88	-37.4	(-88)-(-37.4)	-62.7	
DCO (mg O <sub>2</sub> /L)	6132.07	10566.37	6132.08-10566.37	8349.23	120
DBO <sub>5</sub> (mg O <sub>2</sub> /L)	/	3680	/	3680	35
DBO <sub>5</sub> /DCO	/	0.35	/	0.35	/
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg/L)	8.79	80.60	8.79-80.60	44.7	/
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/L)	n.d.	17.46	n.d.-17.46	8.73	/
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (mg/L)	2.29	0.43	0.43-2.29	1.36	/
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> (mg/L)	/	/	/	/	10
MES (g/L)	11.44	12.69	11.44-12.69	12.06	40
MVS (g/L)	/	3.45	/	3.45	/
Cl <sup>-</sup> (mg/L)	8340.73	4334.5	4334.5-8340.72	6337.62	/
SO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> (mg/L)	116.7	/	/	116.7	/
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/L)	1830	6100	1830-6100	3965	

*n.d.= non décelable*

**Tableau VI.2. Teneurs des différents paramètres de pollution caractérisant le lixiviats P2**

Paramètres	P2		Intervalle de variation	Moyenne	Norme
	23/03/2012	14/04/2012			
Température (°c)	22.1	22.6	22.1-22.6	22.35	30
pH	7.82	7.27	7.27-7.82	7.55	6,5 – 8,5
E redox (mV)	-51	-10.9	(-51)-(-10.9)	-30.95	
DCO (mg O <sub>2</sub> /L)	10849.06	19230.77	10849.06-19230.77	15039.92	120
DBO <sub>5</sub> (mg O <sub>2</sub> /L)	/	/	/	/	35
DBO <sub>5</sub> /DCO	/	/	/	/	/
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg/L)	6.74	135.99	6.74-135.99	71.365	/
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/L)	<i>n.d</i>	24.44	0-24.44	12.22	/
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (mg/L)	2.12	<i>n.d</i>	0-2.12	1.6	/
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> (mg/L)	/	/	/	/	10
MES (g/L)	3.61	28.86	3.61-28.86	16.25	40
MVS (g/L)	/	7	/	7	/
Cl <sup>-</sup> (mg/L)	7618.3	7355.6	7355.6-7618.3	7486.95	/
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/L)	2745	5337.5	2745-5337.5	4041.25	
SO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> (mg/L)	83.33	/	/	83.33	/

**Tableau VI.3. Comparaison des principaux paramètres de pollution des lixiviats**

Paramètres	VALEUR MOYENNE P1	VALEUR MOYENNE P2
Température (°c)	22.95	22.35
pH	8.11	7.55
E redox (mV)	-62.7	-30.95
DCO (mg d'O <sub>2</sub> /L)	8349.23	15039.92
DBO <sub>5</sub> (mg d'O <sub>2</sub> /L)	3680	/
DBO <sub>5</sub> /DCO	0.35	/
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg/L)	44.7	71.36
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/L)	8.73	12.22
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (mg/L)	1.36	1.6
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/L)	3965	4041.25
MES (g/L)	12.06	16.25
MVS (g/L)	3.45	7
Cl <sup>-</sup> (mg/L)	6337.62	7486.95
SO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> (mg/L)	116.7	83.33
type réelle de lixiviats	Lixiviats intermédiaires	Lixiviats jeunes

Au poste P1, le prélèvement a été effectué à la surface du bassin (le surnageant du bassin). Il s'agit probablement d'un lixiviat qui était en phase de dégradation assez avancée (début de prétraitement biologique). On y relève alors une DCO très faible par rapport au point P2 et un pH plus alcalin. Ce lixiviat ne semble donc pas être représentatif de l'âge réel du CET et du processus biologique qui est en cours dans le CET.

## 2. CET DE STAOUALI :

**Tableau VI.4. Teneurs des différents paramètres de pollution caractérisant le lixiviat P du CET de Staoueli**

Paramètres	P		Intervalle de variation	Moyenne	Norme
	16/04/2012	09/04/2012			
Température (°c)	22.6	23.1	22.6-23.1	22.85	30
pH	7.7	7.84	7.7-7.84	7.77	6,5 – 8,5
E redox (mV)	-33.1	-57	(-57)-(-33.1)	-45.05	
DCO	16604	14400	14400-16604	15502	120
DBO <sub>5</sub> (mg d'O <sub>2</sub> /L)	5510	5970	5510-5970	5740	35
DBO <sub>5</sub> /DCO	0.33	0.42	0.33-0.42	0.38	/
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg/L)	179.66	176.44	176.44-179.66	178.05	/
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/L)	20.95	0	0-20.95	10.48	/
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (mg/L)	52.94	02.21	0.21-52.94	27.57	/
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> (mg/L)	/	/	/	/	10
MES (g/L)	7.37	7.47	7.37-7.47	7.42	40
MVS (g/L)	2.77	2.8	2.77-2.8	2.79	/
Cl <sup>-</sup> (mg/L)	2232.95	2364.3	2232.95-2364.3	2298.63	/
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	5337.5	4575	4575-5337.5	4956.25	
SO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	/	1001.67	/	1001.67	/
type réelle de lixiviats	Lixiviats relativement jeunes				

D'après les paramètres globaux des lixiviats étudiés on peut déduire que les teneurs en polluants correspondent à celles de lixiviats relativement jeunes (taux élevés en DCO, DBO<sub>5</sub>, pH faiblement basique et le rapport DBO<sub>5</sub>/DCO > 0.3) pour les deux Centres d'Enfouissement Technique. L'analyse des AGV qui aurait pu conforter cette conclusion n'a pas pu être réalisée et ce par faute de moyens analytiques.

### ***Interprétations des résultats :***

- **pH :**

Ce paramètre caractérise un grand nombre d'équilibres physico-chimique et dépend de facteurs multiples, dont l'origine de l'eau. Les valeurs moyenne trouvée du pH est de :

- **M'SILA** : 8.11 pour P1 et de 7.55 pour P2
- **STOUELI** : 7.77 pour P

Ces pH signifient que nous avons dépassé l'étape acétogène et que les lixiviats se trouvent en début de phase mathanogène, qui favorise l'autoépuration.

Selon la norme, la valeur du pH doit être comprise entre 6,5 et 8,5 dans tous les cas de rejets en milieu naturel. Du point de vue pH uniquement, ces lixiviats, sont conformes à la norme de rejet.

- **Le potentiel redox :**

Le potentiel redox moyen de nos échantillons prélevés étant négatif :

- **M'SILA** : -62.7 mV pour P1 et de -30.95 mV pour P2
- **STOUELI** : -45.05 mV pour P

Donc ces lixiviats constituent des milieux réducteurs où la phase oxydée de l'azote ne doit pas être prépondérante

- **la DCO :**

L'analyse de nos échantillons a montré que les lixiviats du point P2 présente une charge organique minérale plus élevée que celle du point P1 pour le CET de M'SILA. Ce dernier présente une DCO similaire à celle de Staouali :

- **M'SILA** : 8349.23 mg/l pour P1 et 15039.92 mg/l pour P2
- **STOUELI** : 15502 mg/l pour P

Sachant que la DCO moyenne des eaux urbaines est de l'ordre de 160 mg d'O<sub>2</sub>/l [2], les valeurs obtenues pour nos échantillons montrent que ces derniers sont fortement chargés en matières organiques oxydables.

- **la DBO5 :**

Les moyennes des valeurs obtenues aux points P1 et P2 sont respectivement :

- **M'SILA** : 3680 mg d'O<sub>2</sub>/l pour P1.
- **STOUELI** : 5740 mg d'O<sub>2</sub>/l pour P

Ces teneurs indiquent la présence d'une concentration importante en matière organique biodégradable. Le domaine de variation des ces deux paramètres dépend aussi bien de la nature de la décharge et son mode de gestion que de l'étape de fermentation

que traversent les déchets. Pour ces deux CET, la phase de maturation ou de stabilisation est loin d'être atteinte.

- **Le rapport DBO5/DCO:**

Le rapport DBO5/DCO qui évolue dans le temps indique le caractère organique d'un milieu, et son degré de biodégradabilité, il donne des informations sur l'âge de la décharge, c'est-à-dire la nature des transformations biochimiques qui y règnent. Si le rapport DBO5/DCO n'est pas constant, l'évolution de la DBO5 moyenne suit souvent celle de la DCO. Cette importante charge organique est spécifique pour les lixiviats de décharge. La valeur moyenne de ce rapport est de :

- **M'SILA** : 0.35 au P1
- **STAOUALI** : 0.38 au point P

Donc on peut dire que nos lixiviats ont un bon degré de biodégradabilité (>0.3)

- **MES :**

La concentration en MES pour nos échantillons est très élevée, qu'elle soit d'origine organique (décomposition de MO végétales, animales ou d'acides humiques,...), minérale (sables, argiles, limons,...) ou biologique (bactéries, plancton, algues, virus,...). Elle correspond à la pollution solide.

Les lixiviats étudiés arboraient une couleur de :

- **M'SILA** : vert allant vers le noir pour le point P1 et une couleur noire foncée pour le P2
- **STAOUALI** : vert allant vers le noir pour les deux points P

Ceci doit être dû essentiellement à la présence de matières humiques et de composés de hauts poids moléculaires et aux sulfures métalliques.

Ces produits peuvent être d'origine minérale (sables, limons, argiles, ...) ou organique (produits de la décomposition des matières végétales ou animales, acides humiques ou fulviques par exemple). A ces composés s'ajoutent les micro-organismes tels que bactéries, plancton, algues et virus [12].

En générale, la turbidité de l'eau est causée par des particules de matière inorganique (particules de glaise et d'argile) alors que sa couleur est imputable à des particules de matière organique et de sulfure de métal (le Fer par exemple) [15].

Les lixiviats des deux CET sont très chargés en MES, les concentrations moyennes en MES au point P1, P2 et P sont respectivement de :

- **M'SILA** : 12.06 g/l pour le point P1
- **STOUELI** : 7.42 g/l pour le point P

Ces valeurs sont très élevées par rapport à la norme de rejet qui est de 35mg/l.

- **MVS :**

On entend par matières volatiles sèches la partie des matières en suspension susceptibles d'être volatilisées à 565°C. Les MVS sont généralement assimilées aux matières organiques en suspension. Les valeurs obtenues atteignent :

- **M'SILA** : elle est de l'ordre de 3.45 g/l pour le P1 et de 7 g/l pour P2
- **STOUELI** : 2.79 g/l pour le point P.

- **NO<sub>2</sub><sup>-</sup> / NO<sub>3</sub><sup>-</sup> / NH<sub>4</sub><sup>+</sup> :**

Les autres formes de pollution qu'on relève dans les lixiviats étudiés sont celles liées à leur richesse en azote. Les valeurs moyennes obtenues aux points P1, P2 et P sont respectivement de :

- **M'SILA** : 44.7 mg/L et 71.365 mg/L
- **STOUELI** : 178.05 mg/L

Celles-ci sont nettement supérieures à la norme de rejet qui est de 20 mg/l.

On remarque par ailleurs de très faible taux en nitrites et en nitrates

Les concentrations moyennes mesurées pour les nitrates sont de :

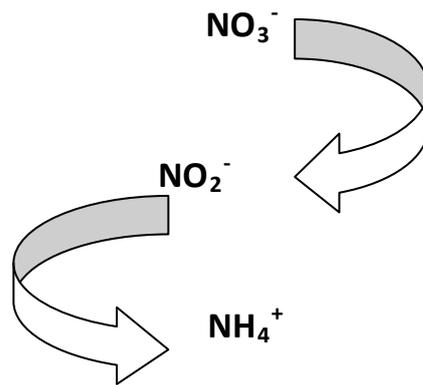
- **M'SILA** : 8.73 mg/l et 12.22 mg/l respectivement aux points P1 et P2,
- **STOUELI** : 10.48 mg/l au point P

Et celle de nitrites sont de :

- **M'SILA** : 1.36 mg/l et 1.6 mg/l respectivement aux points P1 et P2,
- **STOUELI** : 27.57 mg/l au point P

En comparant entre les valeurs des nitrites Nitrates et l'Ammoniac. Ceci s'explique par le fait que le lixiviat soit un milieu réducteur, donc c'est surtout l'azote sous sa forme réduite qui prédomine (N-ammoniacal).

On peut aussi supposer que le processus de dénitrification a commencé et c'est un procédé qui repose sur l'élimination de nitrates en produisant des nitrites pour être à la fin l'azote sous la forme ammoniacal suivant le schéma :



- $\text{SO}_4^{2-}$  :

Les teneurs élevées en  $\text{SO}_4^{2-}$  pour les CET de M'SILA et de Stoueli .

- $\text{Cl}^-$  :

Notre lixiviat présente des teneurs très élevées en termes de  $\text{Cl}^-$ .

Les valeurs moyennes en  $\text{Cl}^-$  au point P1, P2 et P sont respectivement de :

- **M'SILA** : 6337.62 et de 7486.95 mg/l
- **STOUELI** : 2298.63 mg/l

- $\text{HCO}_3^-$  :

Les valeurs moyennes en  $\text{HCO}_3^-$  au point P1, P2 et P sont respectivement de :

- **M'SILA** : 3965 et 4041.25 de 7117.81 mg/l
- **STOUELI** : 4956.25 mg/l ; Ils sont élevés

**Pour conclure :**

Les résultats obtenus montrent que les lixiviats étudiés véhiculent une forte charge organique (DCO) biodégradable ( $\text{DBO}_5/\text{DCO} > 0.3$ ), une forte charge minérale et une pollution azotée importante sous forme principalement d'azote ammoniacal. La caractérisation nous a montré aussi que les lixiviats sont relativement jeunes

**Tableau IV.5. Comparaison des principaux paramètres de pollution des types de lixiviats**

Paramètres	M'SILA	STOUELI
Température (°c)	22.95	22.85
PH	8.11	7.77
E redox (mV)	-62.7	-45.05
DCO	8349.23	15502
DBO <sub>5</sub> (mg d'O <sub>2</sub> /L)	3680	5740
DBO <sub>5</sub> /DCO	0.35	0.38
NH <sup>4+</sup> (mg/L)	44.7	178.05
NO <sup>3-</sup>	8.73	10.48
NO <sup>2-</sup>	1.36	27.57
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	/	/
MES (g/L)	12.06	7.42
MVS (g/L)	3.45	2.79
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/L)	3965	4956.25
Cl <sup>-</sup> (mg/L)	6337.62	2298.63
SO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> (mg/L)	116.7	1001.67
type réelle de lixiviats	Lixiviats intermédiaires	Lixiviats relativement jeunes

La comparaison entre les charges polluantes véhiculées par les lixiviats des deux CET montre que nous sommes en présence de lixiviats qui ont des caractéristiques assez similaires aussi bien du point de vue charge organique, caractère biodégradable, que des teneurs des autres paramètres de pollution. La petite différence relevée au niveau du pH indique toutefois que les lixiviats du CET de M'sila ont dépassé la phase acidogénèse et constituent donc des lixiviats intermédiaires

## VI.2 Traitements des lixiviats :

Les traitements que nous allons effectuer portent sur les lixiviats prélevés au point P1 pour M'sila et P pour Staoueli dont les caractéristiques ont été citées ci-dessus.

L'électrocoagulation ainsi que l'électro-fenton sont des procédés très utilisés pour le traitement des eaux usées, plusieurs études les ont mentionnées pour le traitement des lixiviats de décharge .

### **VI.2.1 Traitement par électrocoagulation :**

Cette partie porte sur l'optimisation de la performance épuratrice de l'unité d'électrocoagulation. La performance du réacteur conçu et les paramètres influençant l'efficacité d'enlèvement de la DCO seront les principales lignes à discuter.

#### ***VI.2.1. 1 Optimisation des paramètres d'électrocoagulation :***

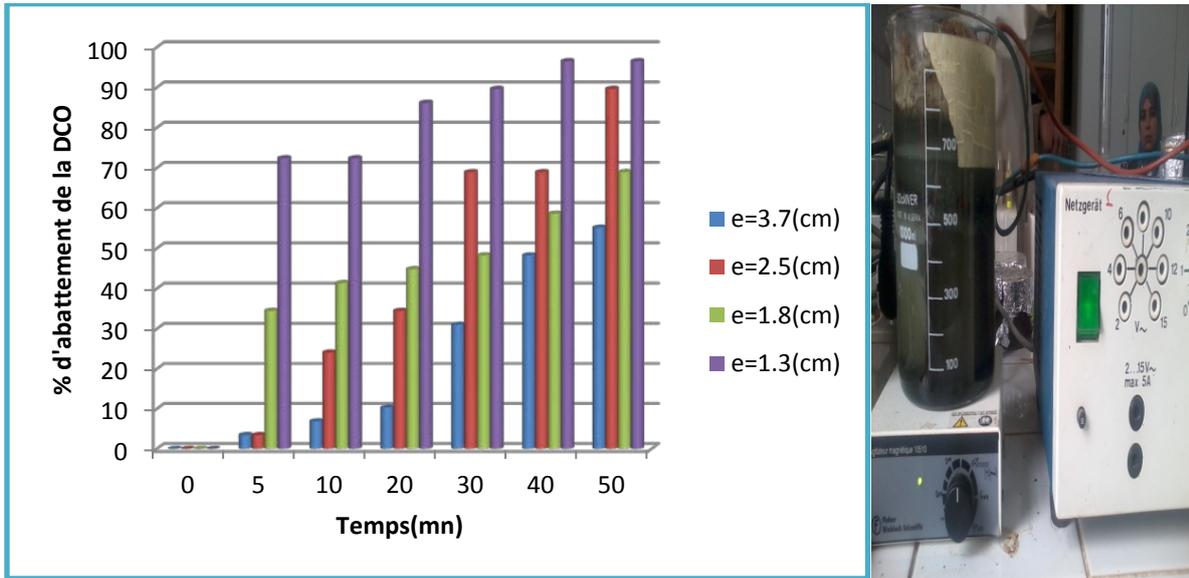
Les nombreux mécanismes impliqués dans le processus d'électrocoagulation, sont régis par divers paramètres (conditions opératoires), dont certains ont une influence majeure sur l'abattement de la DCO. De ces paramètres, quatre ont été retenus pour cette étude :

1. La distance inter électrode (e) : 1.3, 1.8, 2.5 et 3.7 cm
2. La vitesse d'agitation (v) : 100, 150, 200 et 250 tr/min ;
3. Intensité du courant (i) : 2, 2,5 et 3 et 3.5 A ;
4. Le pH : l'ajustement du pH a été choisi pour cinq valeurs (4, 4.5, 5, 5.5 et pHi)

#### **\* *Effet de la distance inter-électrode***

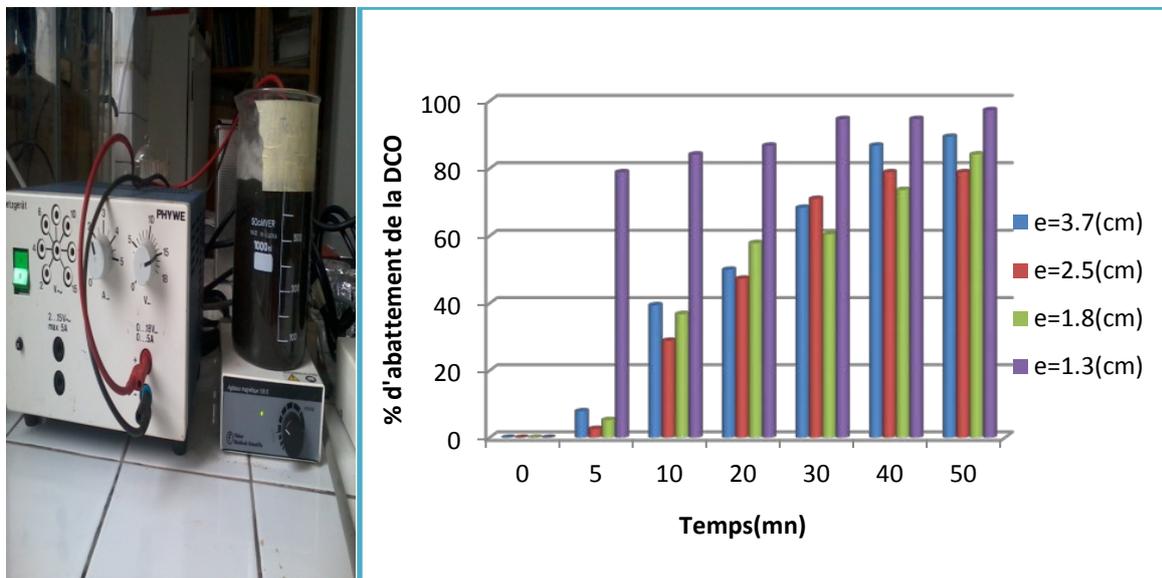
Les résultats obtenus dans l'optimisation de la distance inter-électrode sont résumés en figures VI.1 et VI.2 respectivement pour les lixiviats de M'sila et Staoueli. Les tableaux donnant les valeurs du suivi de la DCO sont donnés en annexe 3. Les distances ont été variées de 1,3 à 3,7 cm. Les paramètres fixés au départ sont : v = 200 tr/mn ; i = 2,5 A et pH = pHinitial du lixiviat

**1. M'SILA :**



**Figure IV.1. Effet de la distance inter-électrode sur l'abattement de la DCO ( $v = 200$  tr/mn ;  $i = 2,5$  A et  $pH = 8,11$ )**

**2. STOUELI :**



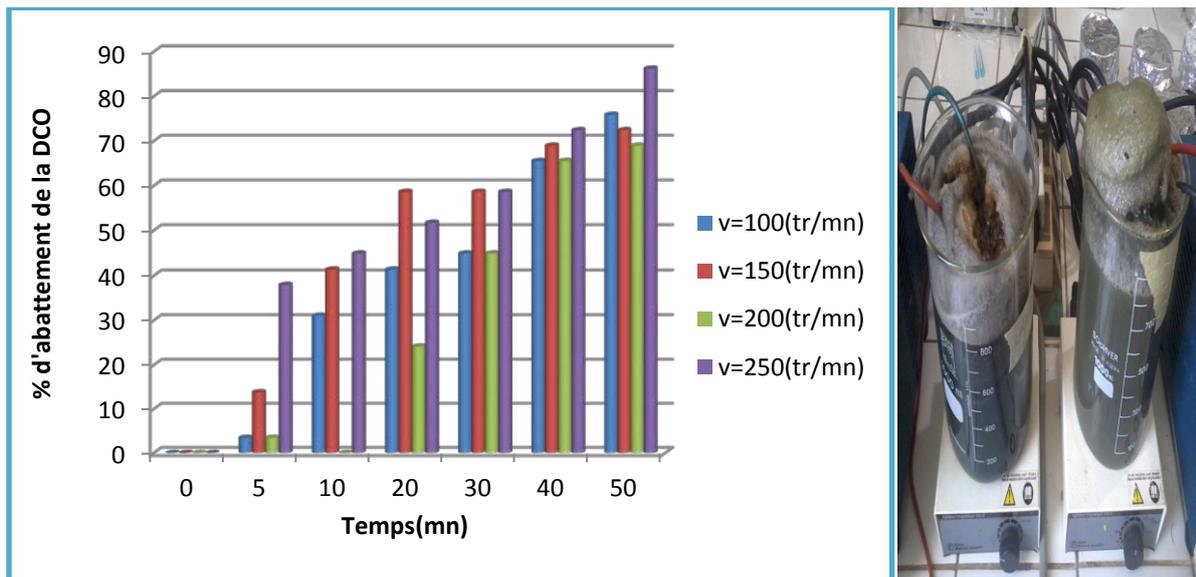
**Figure IV.2. Effet de la distance inter-électrode sur l'abattement de la DCO ( $v = 200$  tr/mn ;  $i = 2,5$  A et  $pH = 7,8$ )**

On a remarqué que pour les conditions ( $v = 200$  tr/mn ;  $i = 2,5$  A et  $pH = pH_i$ ) le % d'abattement de la DCO atteint ses valeurs max pour  $e=1.3$  cm pour les deux CET. C'est cette distance inter-électrode qui sera prise pour le reste de l'optimisation du traitement

• **Effet de la vitesse d'agitation :**

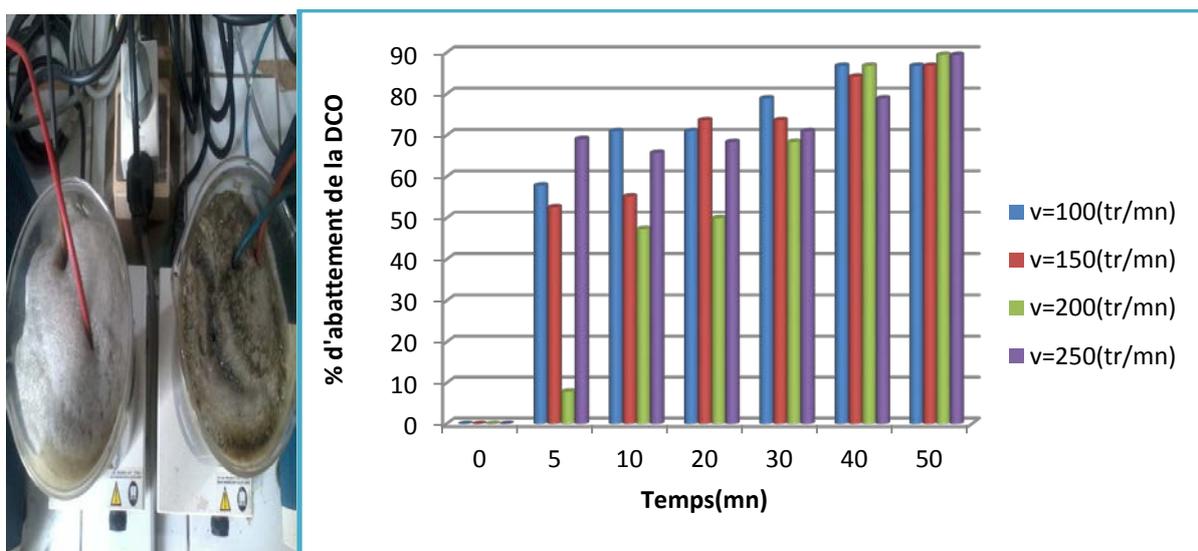
Les résultats obtenus dans l'optimisation de la vitesse d'agitation sont résumés en figures VI.3 et VI.4 respectivement pour les lixiviats de M'sila et Staoueli. Les tableaux donnant les valeurs du suivi de la DCO sont donnés en annexe 3. Les vitesses ont été variées de 100 à 250 tr/mn . Les paramètres fixés au départ sont :  $e = 1,3 \text{ cm}$ ,  $i = 2,5 \text{ A}$  et  $\text{pH} = \text{pH}_{\text{initial}}$  du lixiviat

**1. M'SILA :**



**Figure IV.3. Effet de la vitesse d'agitation sur l'abattement de la DCO ( $e = 1,3 \text{ cm}$  ;  $i = 2,5 \text{ A}$  et  $\text{pH} = 8,11$ )**

**2. STAOUELI :**



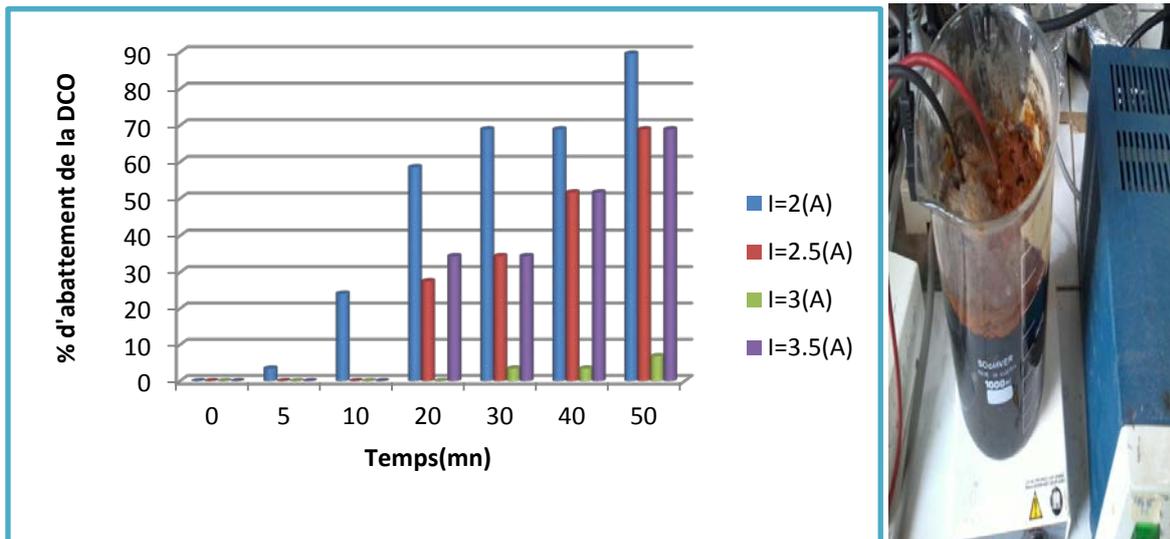
**Figure IV.4. Effet de la vitesse d'agitation sur l'abattement de la DCO ( $e = 1,3 \text{ cm}$  ;  $i = 2,5 \text{ A}$  et  $\text{pH} = 7,8$ )**

On constate que pour les mêmes conditions opératoires le % d'abattement de la DCO atteint ses valeurs maximales pour  $v=250$  tr/mn pour le CET de M'SILA et 100 tr/mn pour le CET de STOUELI

- **Effet de l'Intensité du courant :**

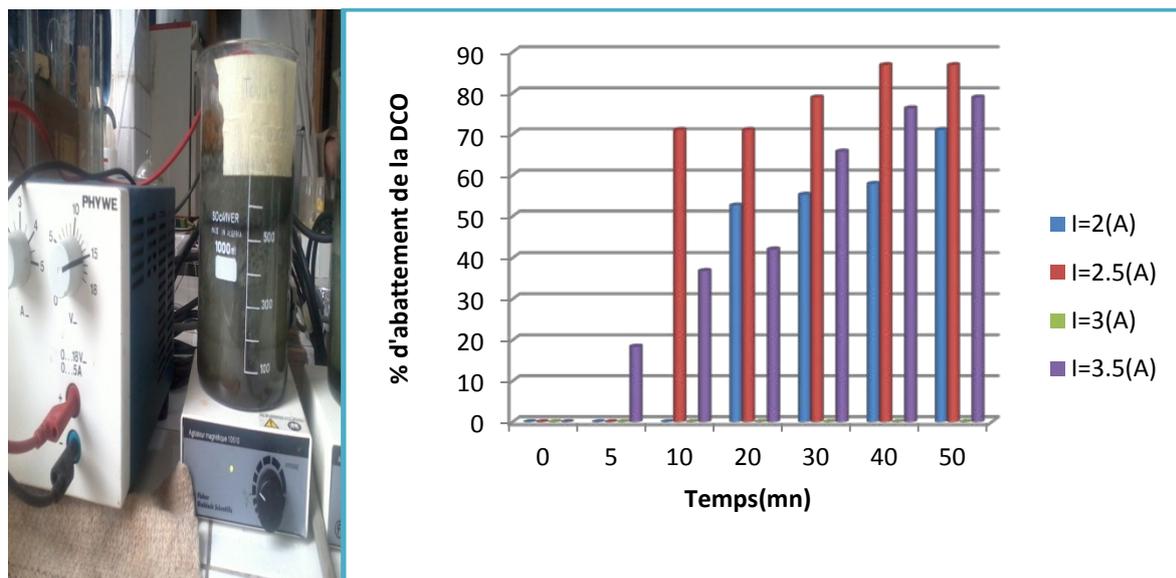
On a maintenant optimisé la vitesse aussi donc on va travailler avec des valeurs fixés pour  $e=1.3$ cm et  $v=100$ tr/mn pour le C.E.T de Stoueli et  $v=250$  tr/mn pour le C.E.T de M'sila

**1. M'SILA :**



**Figure IV.5. Effet de l'intensité du courant sur l'abattement de la DCO ( $e=1.3$ cm ;  $v = 250$  tr/mn et  $pH = 8.1$ )**

**2. STOUALI :**



**Figure IV.6. Effet de l'intensité du courant sur l'abattement de la DCO ( $e=1.3$ cm ;  $v = 100$  tr/mn et  $pH = 7,8$ )**

Pour un  $pH=pH_i$  et pour les conditions opératoires que sont déjà fixés (pour chaque CET) on atteint les rendements max pour  $I=2$  A pour le CET de M'SILA et 2.5 A pour le CET de STOUELI

- **Effet de pH :**

Maintenant on a tous les paramètres fixés pour les deux C.E.T il nous reste que l'optimisation de pH, donc on va travailler avec des valeurs fixés en :

- Pour le C.E.T de M'sila :  $e=1.3$  cm,  $v=250$  tr/mn et  $I=2$ A
- Pour le C.E.T de Stoueli :  $e=1.3$  cm,  $v=100$  tr/mn et  $I=2.5$ A

Les figure IV.7 et IV.8 montre bien l'effet du pH sur la cinétique d'élimination de la DCO

**1. M'SILA :**

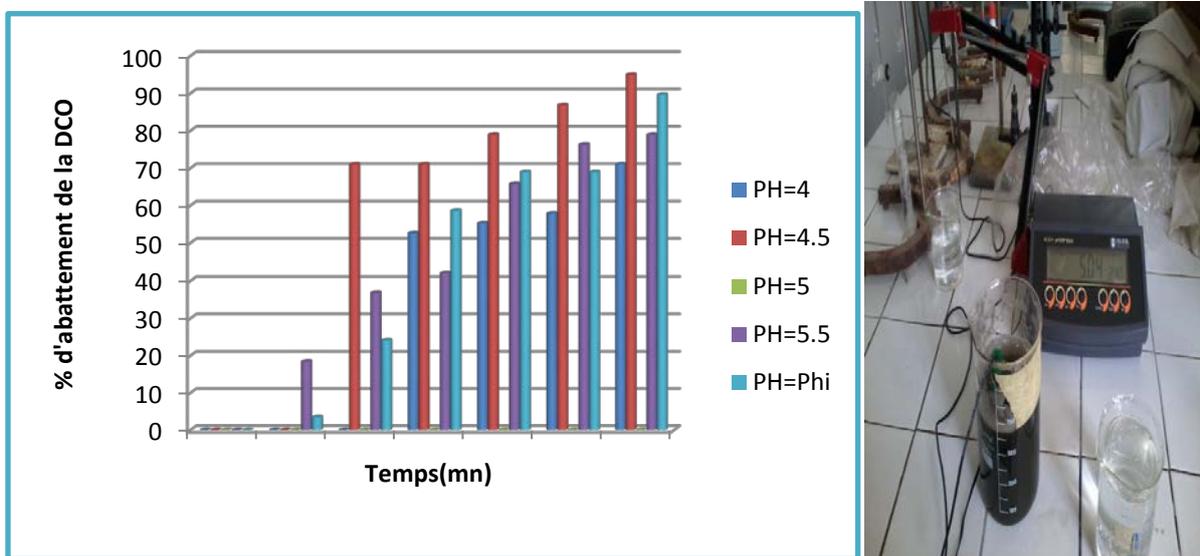


Figure IV.7. Effet du pH sur l'abattement de la DCO( $e=1.3$ cm ;  $v = 250$  tr/mn et  $I=2$ )

**2. STOUELI :**

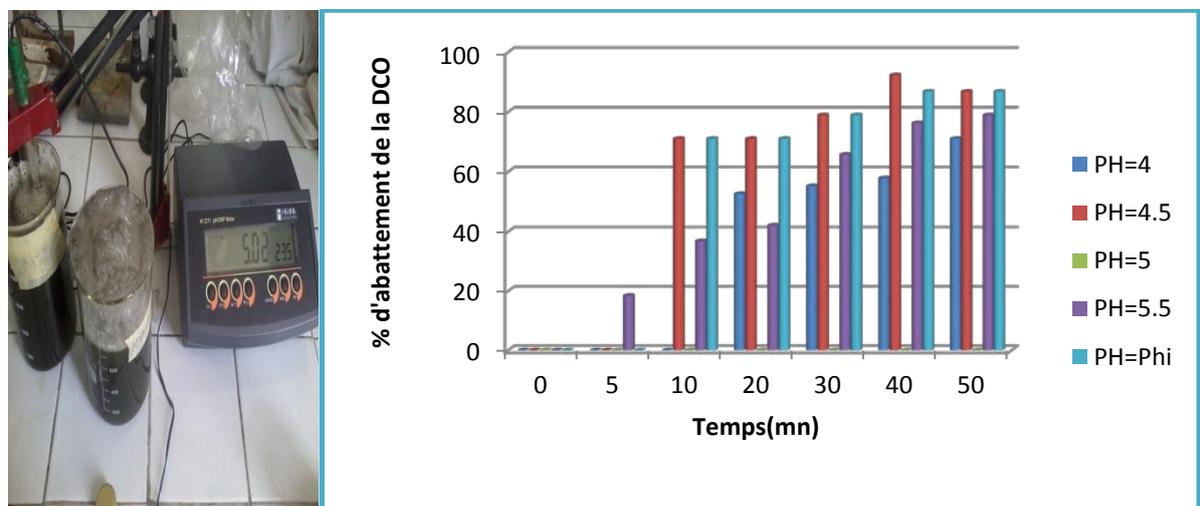
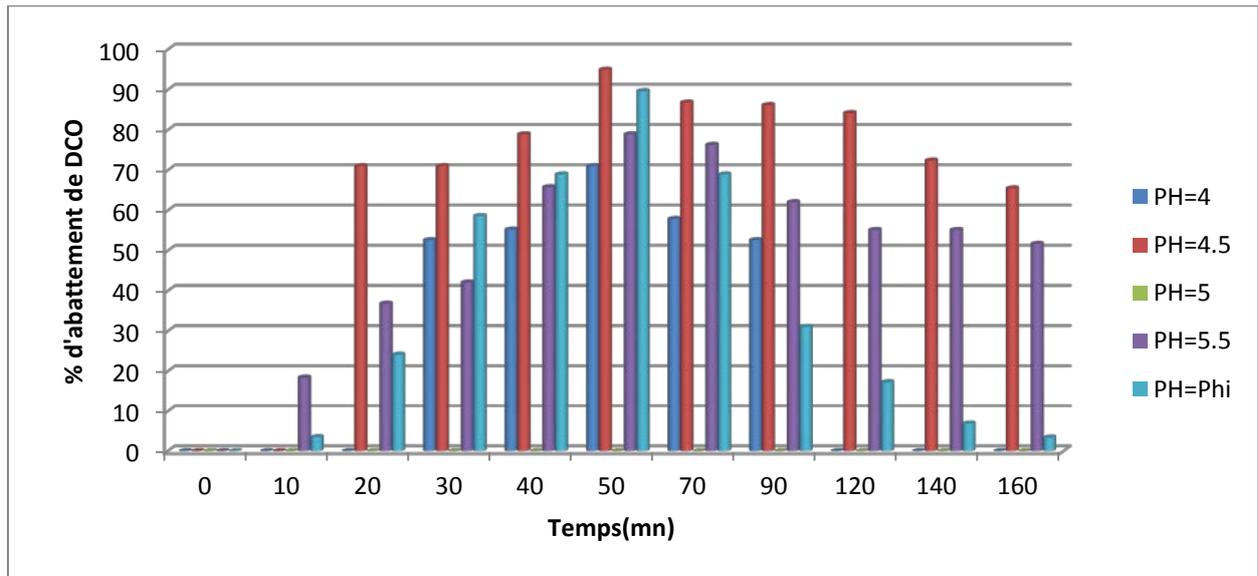


Figure IV.8. Effet du pH sur l'abattement de la DCO( $e=1.3$ cm ;  $v = 100$  tr/mn et  $I=2.5$ )

Au cours de notre traitement on a remarqué que la durée d'agitation ne peut pas être prolongée au-delà du max optimisé si non notre solution devient colloïdale homogène difficilement décantable. On observe parallèlement une augmentation de la DCO. Ainsi la durée d'agitation est un facteur important qu'il faut également optimiser dans le traitement par électrocoagulation, Les figure IV.9 et IV.10 montre bien l'effet de la durée de l'agitation

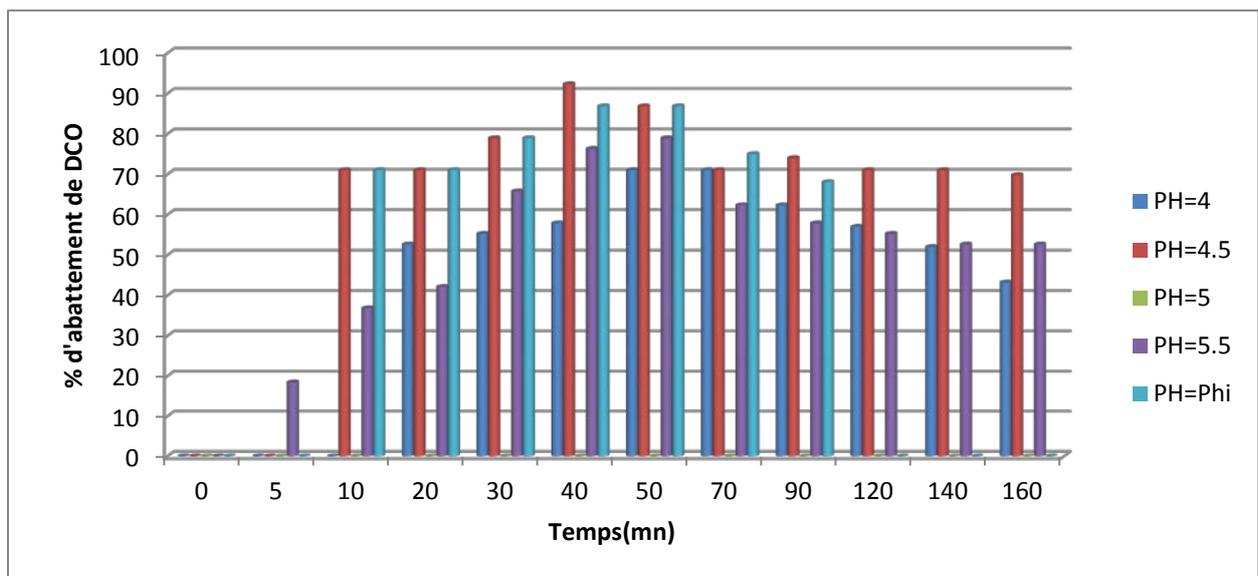
• **Effet du la duré de l'agitation :**

1. **M'SILA :** on remarque que le% est max pour 50mn



**Figure IV.9. Effet du temps sur l'abattement de la DCO(e=1.3cm ; v = 250 tr/mn ;pH=4.5 et I=2 A)**

2. **STOUALI :** on remarque que le% est max pour 40mn



**Figure IV.10. Effet du temps sur l'abattement de la DCO (e=1.3cm ; v = 100 tr/mn ;pH=4.5 et I=2 A)**

L'abattement final de la DCO de 95% pour le CET de M'SILA et de 92% pour le CET de STOUELI a lieu pour les conditions optimales suivantes :

- Pour le CET de M'sila :  $e=1.3$  cm,  $v=250$  tr/mn,  $I=2A$ ,  $pH=4.5$  et  $T=50$  mn
- le CET de Stoueli :  $e=1.3$  cm,  $v=100$  tr/mn,  $I=2.5A$ ,  $pH=4.5$  et  $T=45$ mn

Pour illustrer le changement de couleur observé au cours du traitement des lixiviats, nous présentons en figure VI une série de photos montrant la clarification et la performance du traitement appliqué.

- Lixiviats avant traitement :



- Lixiviats au cours du traitement :



- Lixiviats après traitement (phase de décantation):



### III.2.2. Caractéristiques des Lixiviats Après Traitement :



Figure IV.11 : phase de décantation de lixiviats après traitement

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

#### 1. M'SILA :

Tableau III.2.1. Comparaison des principaux paramètres de pollution des types de lixiviats avant et après traitement

Paramètres	Avant traitement	Après traitement
Température (°c)	22.9	19.7
PH	7.73	8.3
E redox (mV)	-37.4	/
DCO	10566.37	377.4
DBO <sub>5</sub> (mg d'O <sub>2</sub> /L)	3680	382
COT (mg/g)		
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg/L)	80.60	1.92859
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/L)	17.46	71.9465
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (mg/L)	0.43	0
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> (mg/L)	/	/
MES (g/L)	12.69	9.24
MVS (g/L)	3.45	2.9
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/L)	6100	915
Cl <sup>-</sup> (mg/L)	4334.5	722.43
SO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> (mg/L)	116.67	850

On remarque qu'on a un abattement dans les teneurs de tous les paramètres presque. Pour le SO<sub>4</sub><sup>3-</sup> on peut faire la comparaison avec la valeur moyenne =116.67 donc on constate qu'on a une augmentation considérable due à l'ajout de l'acide sulfurique.

## 2. STOUELI :

**Tableau III.2.2. Comparaison des principaux paramètres de pollution des types de lixiviats**

Paramètres	Avant traitement	Après traitement
Température (°c)	22.6	19.3
PH	7.7	8.7
E redox (mV)	-33.1	/
DCO	16604	754.7
DBO <sub>5</sub> (mg d'O <sub>2</sub> /L)	5510	23
DBO <sub>5</sub> /DCO	0.33	0.03
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg/L)	179.66	3.501
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/L)	20.95	151.57
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (mg/L)	52.94	0
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> (mg/L)	/	/
MES (g/L)	7.37	7.01
MVS (g/L)	2.77	2.1
Cl <sup>-</sup> (mg/L)	2232.95	423
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/L)	5337.5	915
SO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> (mg/L)	1001.67	1416

On peut dire la même chose que le premier CET sauf que l'augmentation de sulfate est beaucoup plus grande dans le CET de M'sila (de 116 à 850) par rapport a celle de Stoueli(de 1001 à 1400) .

### Remarque :

La comparaison s'est faite entre les points P1 (n'est pas le moyen entre les deux p1 et P2 parce qu'on a fait le traitement pour le point P1) des deux CET juste avant le traitement et après le traitement.

### III.2.3. Discussions et Conclusions :



**Figure IV.12 : dégradation de la couleur après traitement**

Après l'optimisation des paramètres, l'électrocoagulation nous permet d'atteindre un très bon rendement supérieur à 95%.

A la fin de traitement du lixiviat par ce procédé et après une phase de décantation pendant 2 heures, on a remarqué que la formation des boues est malgré tout assez importante. Ces dernières doivent faire l'objet d'un traitement ou incinération avant rejet dans le milieu naturel.

Quant aux caractéristiques de notre nouveau effluent après traitement, il est parfaitement conforme aux normes de rejet, sauf qu'on a une augmentation au niveau de sulfate (à cause de l'ajout de l'acide sulfurique pour l'ajustement de pH) et de fer (due à l'oxydation des plaques de fer)

L'élimination des polluants par l'électrocoagulation donne un rendement légèrement plus élevé pour le CET de M'SILA (95% d'abattement de la DCO contre 92% pour Staoueli)

## VI.2.2. Traitement par électro-fenton :

Ce traitement suit les mêmes étapes que ceux de l'électro coagulation. On doit seulement optimiser les doses ajoutées de  $H_2O_2$  et le PH. Les autres paramètres ( $e$ ,  $v$ ,  $i$ ) déterminés dans l'électrocoagulation sont reconduits ici. Le pH sera varié dans les domaines acides : pH de 2 à 3,5.

### III.2.2.1. Optimisation des paramètres d'électro-fenton :

Comme on a déjà optimisé des paramètres dans la 1ere partie donc on va directement travailler avec :

#### M'SILA :

- La distance inter-électrodes  $e=1.3cm$
- L' intensité  $I=2 A$
- La vitesse d'agitation  $v=250 tr/mn$

#### STOUALI :

- La distance inter-électrodes  $e=1.3cm$
- L' intensité  $I=2.5 A$
- La vitesse d'agitation  $v=100 tr/mn$

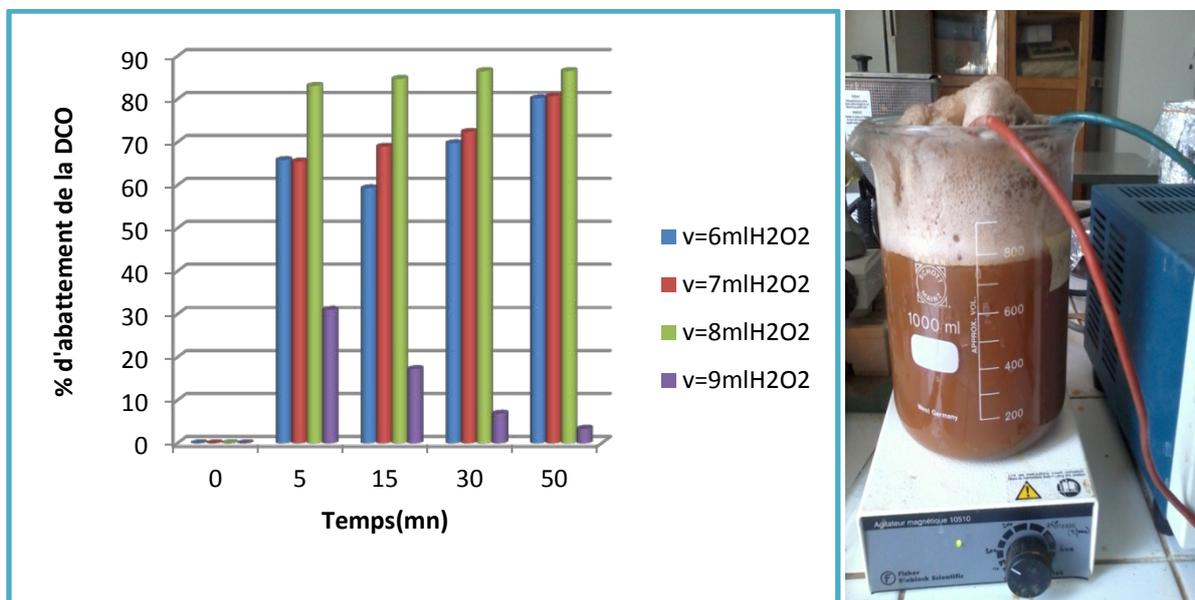
Donc il nous reste que l'optimisation des doses de  $H_2O_2$  et puis l'optimisation de pH



Figure IV.13 : montage du réacteur d'électro-fenton au cours du traitement

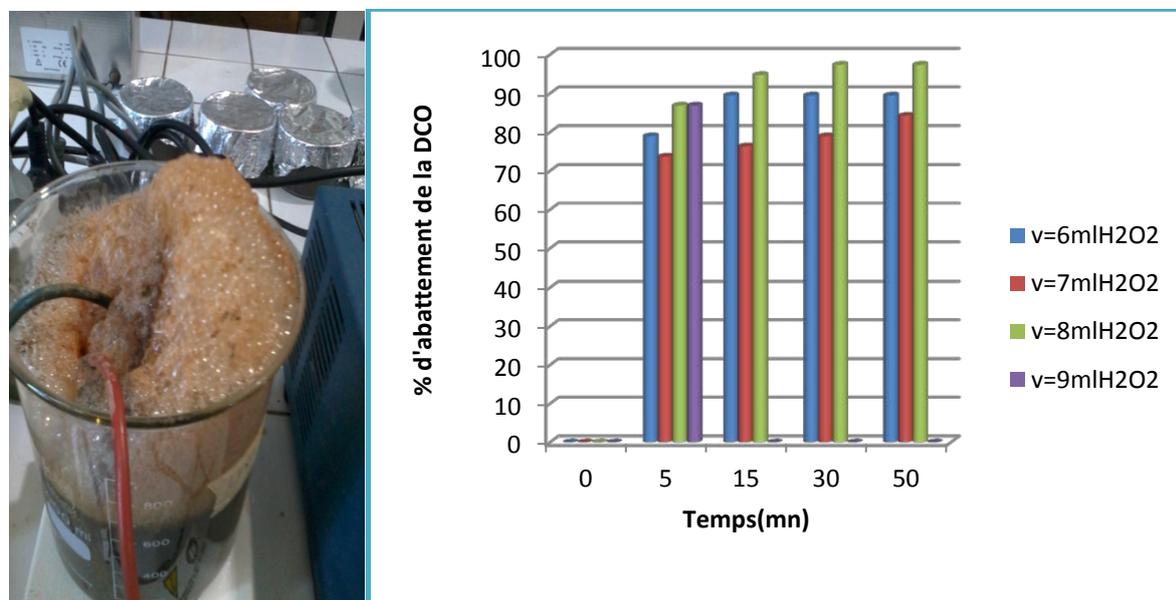
• *effet des doses de  $H_2O_2$  :*

1. *M'SILA :*



**Figure IV.14. Effet des doses de  $H_2O_2$  sur l'abattement de la DCO (avec :  $pH = pH_i$ )**

2. *STOUALI :*

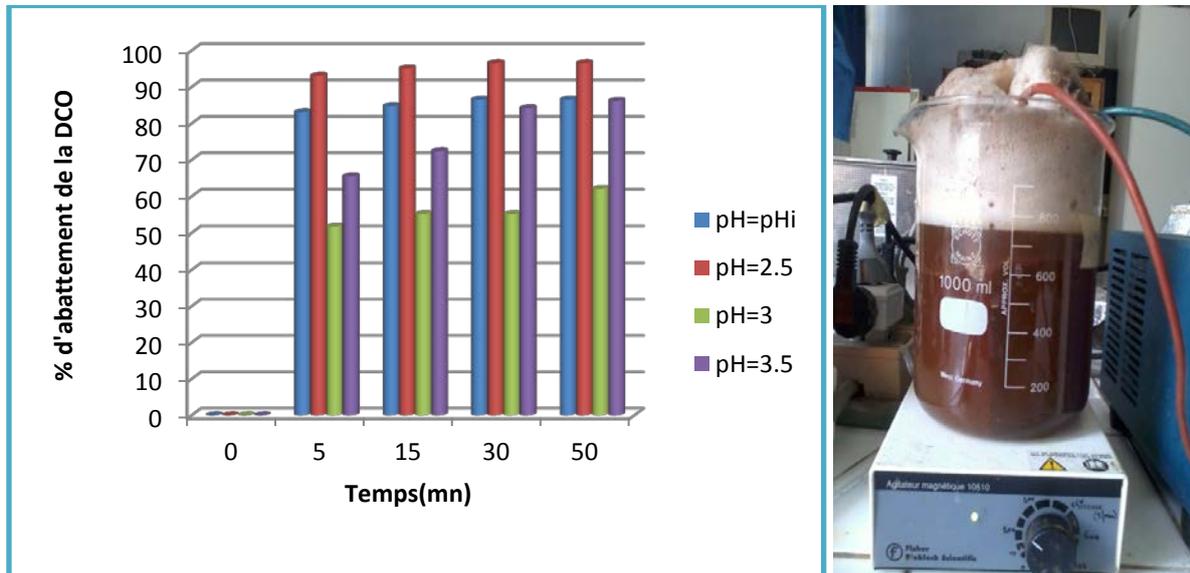


**Figure IV.15. Effet des doses de  $H_2O_2$  sur l'abattement de la DCO (avec :  $pH = pH_i$ )**

On constate que pour les mêmes conditions opératoires le % d'abattement de la DCO atteint ses valeurs max pour la même dose de  $H_2O_2$  pour les deux CET

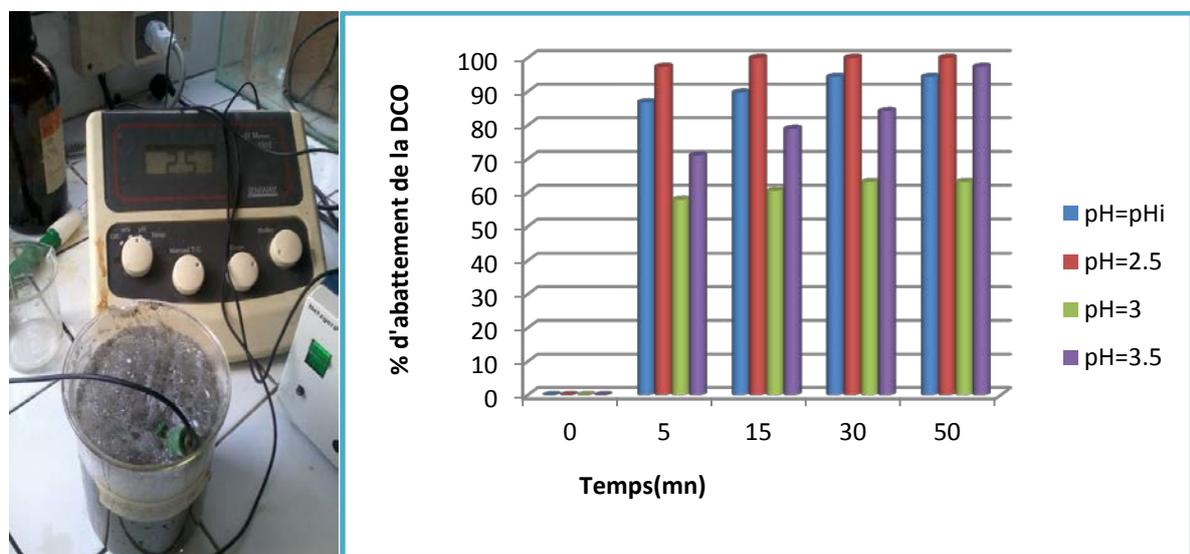
- **Effet de pH :**

1. **M'SILA :**



**Figure IV.16. Effet du pH sur l'abattement de la DCO**

2. **STOUELI :**



**Figure IV.17. Effet du pH sur l'abattement de la DCO**

L'abattement final de la DCO est de 100% pour le CET de STOUELI et plus de 96% pour le CET de M'SILA a lieu pour les conditions optimales suivantes :

- Pour le C.E.T de M'sila :  $e=1.3$  cm,  $v=250$  tr/mn,  $I=2A$ , dose de  $H_2O_2 = 8$  ml et  $pH=2.5$
- le C.E.T de Stoueli :  $e=1.3$  cm,  $v=100$  tr/mn,  $I=2.5A$ , dose de  $H_2O_2 = 8$  ml et  $pH=2.5$

- Changement de la couleur de lixiviats juste après l'ajoute de  $H_2O_2$ :(moins que 30 secondes)



- Lixiviats au cours de traitement :



- Formation des boues au cours du traitement :



### III.2.2. Caractéristiques des Lixiviats Après Traitement :

Les tableaux de III.3.1 à III.3.4 regroupe les valeurs caractérisant notre effluent traité par électro-fenton :



Figure IV.18 : changement de la couleur et formation des boues au cours de traitement par l'électro-fenton

#### 1. M'SILA :

Tableau III.3.1. Comparaison des principaux paramètres de pollution avant et après traitement par l'électro-fenton

Paramètres	Avant traitement	Après traitement
Température (°c)	22.9	20.3
pH	7.73	8.4
E redox (mV)	-37.4	128
DCO (mg/L)	10566.37	528.65
DBO <sub>5</sub> (mg d'O <sub>2</sub> /L)	3680	/
DBO <sub>5</sub> /DCO	0.35	/
NH <sup>4+</sup> (mg/L)	80.60	1.8
NO <sup>3-</sup> (mg/L)	17.46	0.74
NO <sup>2-</sup> (mg/L)	0.43	0
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> (mg/L)	/	/
MES (mg/L)	12.69	7.4
MVS(mg/L)	3.45	2.5
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/L)	6100	915
Cl <sup>-</sup> (mg/L)	4334.5	583.98
SO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> (mg/L)	116.67	987.64

**2. STOUELI :****Tableau III.3.2. Comparaison des principaux paramètres de pollution avant et après traitement par l'électro-fenton**

Paramètres	Avant traitement	Après traitement
Température (°c)	22.6	20
PH	7.7	9.1
E redox (mV)	-33.1	/
DCO (mg/L)	16604	17
DBO <sub>5</sub> (mg d'O <sub>2</sub> /L)	5510	/
DBO <sub>5</sub> /DCO	0.33	/
NH <sup>4+</sup> (mg/L)	179.66	0.59
NO <sup>3-</sup> (mg/L)	20.95	0
NO <sup>2-</sup> (mg/L)	52.94	0.31
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> (mg/L)	/	/
MES (g/L)	7.37	6.25
MVS (g/L)	2.77	2.1
Cl <sup>-</sup> (mg/L)	2232.95	643.62
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/L)	5337.5	915
SO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> (mg/L)	1001.67	1666.67

### III.2.3. Discussions et Conclusions :



**Figure IV.19 : dégradation de la couleur après traitement**

L'électro-fenton a donné, après optimisation des paramètres, un très bon rendement s'élevant à pratiquement 100 % (pour le CET de Stoueli).

Quant au pH de l'effluent après traitement, il est parfaitement conforme aux normes de rejet.

On a pratiquement éliminé toute la charge polluante sauf qu'on a augmentation de sulfate du au procès

Au cours du traitement, il y a changement de couleur vers le brun et précipitation de l'oxyde de fer ( le fer provenant de la dissolution électrolytique des électrodes)



**Figure IV.20 : les plaques de fer avant et après traitement**

L'élimination des polluants par l'électro-fenton donne un % d'abattement de DCO plus pour le CET de Stoueli atteint une valeur de 100% et 96.56 % pour CET de M'SILA

## IV. Conclusions :

### 1. M'SILA : Tableau III.3.3 Comparaison des principaux paramètres des deux traitements

Paramètres	P1	Après traitement par l'électro coagulation	Après traitement par l'électro-fenton
Température (°C)	22.9	19.7	20.3
PH	7.73	8.3	8.4
E redox (mV)	-37.4	/	128
DCO	10566.37	377.4	528.65
DBO <sub>5</sub> (mg d'O <sub>2</sub> /L)	3680	382	/
NH <sup>4+</sup> (mg/L)	80.60	1.92859	1.8
NO <sup>3-</sup>	17.46	71.9465	0.74
NO <sup>2-</sup>	0.43	0	0
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	/	/	/
MES (g/L)	12.69	9.24	7.4
MVS(g/L)	3.45	2.9	2.5
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/L)	6100	915	915
Cl <sup>-</sup> (mg/L)	4334.5	722.43	583.98
SO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> (mg/L)	116.67	850	987.64



**Figure IV.21 : dégradation de la couleur après traitement**

L'électro-fenton a donné des résultats mieux que celles de l'électro-fenton

## 2. STOUELI :

**Tableau III.3.4. Comparaison des principaux paramètres de pollution des types de lixiviats**

Paramètres	P	Après traitement par l'électrocoagulation	Après traitement par l'électro-fenton
Température (°c)	22.6	19.3	20
PH	7.7	8.7	9.1
E redox (mV)	-33.1	/	/
DCO	16604	754.7	251.7
DBO <sub>5</sub> (mg d'O <sub>2</sub> /L)	5510	23	/
DBO <sub>5</sub> /DCO	0.33	0.03	/
NH <sup>4+</sup> (mg/L)	179.66	3.501	0.59
NO <sup>3-</sup>	20.95	151.57	0
NO <sup>2-</sup>	52.94	0	0.31
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/L)	5337.5	915	915
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	/	/	/
MES (g/L)	7.37	7.01	6.25
MVS (g/L)	2.77	2.1	2.1
Cl <sup>-</sup> (mg/L)	2232.95	748.69	643.62
SO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> (mg/L)	1001.67	1416	1666.67



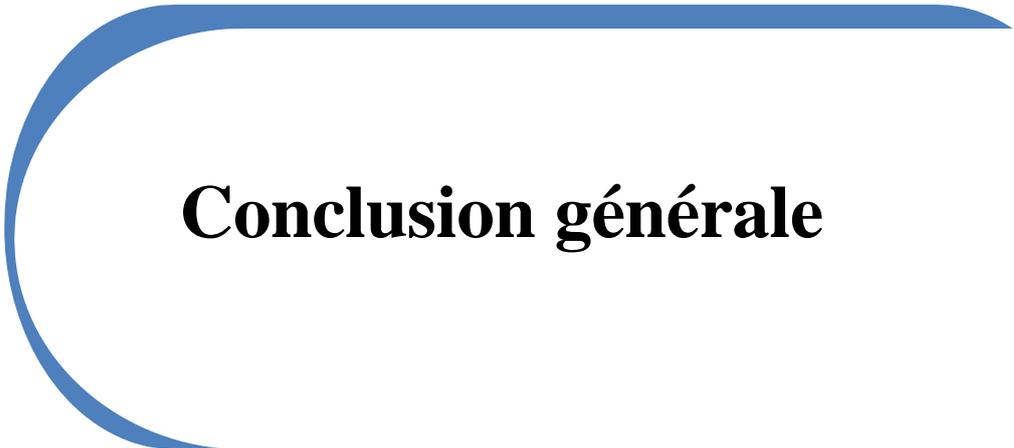
**Figure IV.22 : dégradation de la couleur après traitement**

L'électro-fenton a donné des résultats mieux que celles de l'électrocoagulation



**Figure IV.23 : dégradation de la couleur après traitement**

- On a pratiquement les mêmes résultats au point de vue de l'élimination de la charge polluante véhiculé au niveau de nos lixiviats pour les deux modes de traitements
- Le rendement de l'abattement de DCO est partiellement supérieur dans l'électro-fenton à celle de l'électrocoagulation
- La même chose pour l'élimination de la DBO5 et les autres polluants
- L'élimination par l'électro-fenton atteint des rendements plus que celles de l'électrocoagulation même si on va parler sur la teneur en fer l'électro-fenton élimine ce dernier par la précipitation comme un oxyde de fer et c'est pour cela qu'on a le changement de couleur (elle devient presque rouge brique) et ça sa revient à l'oxydation de fer par contre dans l'électrocoagulation la couleur reste vert et elle devient plus claire au cours du traitement mais après le traitement on a remarqués que la couleur change lorsqu'elle réagit avec l'air :  
Donc l'électro-fenton élimine plus avec un teneur moins en fer, pour sulfates ses teneurs restes élèves a cause de l'ajout de l'acide sulfurique pour les deux l'électrocoagulation et l'électro-fenton



# **Conclusion générale**

### Conclusion Générale

En Algérie, les déchets ménagers constitue toujours une préoccupation de la population etv des pouvoirs publics.

Malgré tous lesd progrès accomplis, la propreté des villes n'est pas encore assurée. A ce jour, l'état a mis en place plus d'une centaine de CET. Ces derniers, bien que obéissant à des shémas directeurs strictes posent d'énormes problèmes environnementaux surtout en ce qui concerne la gestion des lixiviats qui ont un impact nocif sur la vie humaine ainsi que pour l'écosystème environnant

Dans notre travail dédié à la caractérisation et le traitement par électrocoagulation et électro-fenton des lixiviats de deux CET Msila et Stoueli, nous avons pu mettre en évidence les points suivants :

- Les lixiviats véhiculent une forte pollution organique (DCO de l'ordre de 15g O<sub>2</sub>/L), minérale et azotée et doivent alors être traités avant rejet dans le milieu naturel.
- La quasi-totalité des paramètres de pollution analysés dépassent les normes de rejet dans un milieu récepteur
- Il est important de noter que le lixiviat qui est sensé être jeune (pH acide, casier en exploitation depuis de 2 ans) est déjà en phase intermédiaire.

Les essais de traitement des lixiviats par procédés d'électrocoagulation et d'electro-fenton ont permis d'atteindre des rendements d'épuration très élevés.

Le procédé d'électrocoagulation à donné un abattement de plus de 90% de la charge organique. Cependant l'effluent obtenu après traitement est très acide et ne peut être rejeté en l'état dans la nature sans régulation de pH.

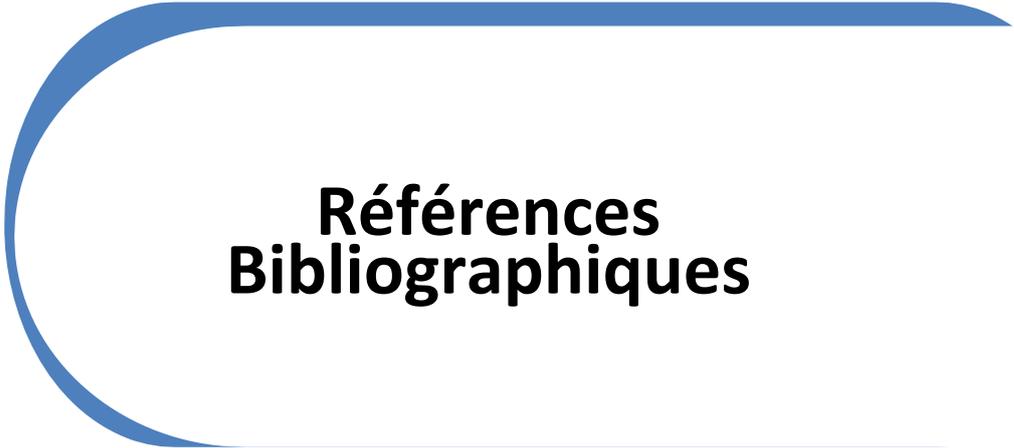
Quant au procédé d'électro-fenton, il a donné un meilleur rendement : un abattement de 100% de la charge organique. De plus, le pH de l'effluent après traitement ne nécessite pas d'ajustement avant son rejet dans l'environnement. Ce procédé est par ailleurs avantageux car la formation des boues est réduite.

Il s'agit maintenant de faire une étude économique pour voir dans quelle mesure ces procédés sont applicables sur le terrain.

A noter qu'un traitement d'appoint, tel que l'oxydation avancée ou la filtration sur charbon actif en grain (CAG), rendrait nos lixiviats sans doute satisfaisants aux normes d'admission dans un milieu récepteur (DCO = 120 mg d'O<sub>2</sub>/L).

En terme de gestion environnementale des C.E.T, la solution qui nous paraît la plus évidente, reste la mise en place d'une unité de traitement in situ, qui permettrait d'éviter les risques encourus lors du transport de ces eaux (risque de rupture de canalisation,...) vers des unités de traitements extérieures (telle qu'une station d'épuration par exemple).

Enfin, le problème des déchets ne concerne pas seulement les gens du domaine technique et de gestion, mais il est aussi important pour toute la société, et ce, en respectant un mode de consommation qui minimise la génération des déchets et l'instauration d'une politique de développement durable.



# **Références Bibliographiques**

- [1] : Ministère de l'Aménagement du Territoire, de l'Environnement et du Tourisme
- [2] : GASTON.R : 1987, La lutte contre la pollution industrielle 1 Eau, Industrie et nuisance.
- [3] : A.DAMIEN : Guide du traitement des déchets ; DUNOD, paris, 2002.
- [4] : D.HUEBER : Manuel d'information sur la gestion des déchets solides urbains ; GTZ Gmbh, juillet 2001
- [5] : GUIDE DES TECHNICIENS COMMUNAUX POUR LA GESTION DES DECHETS MENAGERS ET ASSIMILES, Ministère de l'Aménagement du Territoire, de l'Environnement et du Tourisme
- [6] : 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.
- [7] : Association RE.CO.R.D. Contrat 00-0118/1A Laboratoire LAEPSI, INSA de Lyon, Aide à la définition des déchets dits biodégradables, fermentescibles, méthanisables, compostables, février 2002
- [8] : 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.
- [9] : Renou, S, Couplage de procédés pour le traitement des lixiviats, Thèse de l'Université Paul Cézanne (2007).
- [10] : F.BOUDJLIDA, CHERFI.M, contribution au traitement des lixiviats du centre
- [11] : BILLARD.H : (date non mentionnée), Centre de stockage de déchets « exploitation » Technique de l'ingénieur, Traité environnement, G2-102.
- [12] : Memento technique de l'eau, tome 1(1989), Degrement.
- [13] : R. Desjardins, le traitement des eaux, 2e édition revue et améliorée. Presse Internationale Polytechnique, 1997.
- [14] : Tonni Agustiono Kurniawan, Wai-hung Lo' and Gilbert YS Chan' Department of Applied Biology and Chemical Technology, The Hong Kong SAR Polytechnic University, Hung Hom, Kowloon, Hong Kong Received 13 April 2005; revised 2 August 2005; accepted 5 August 2005. Available online 28 November 2005.
- [15] : Raymond Desjardins, le traitement des eaux, 2<sup>e</sup> édition revue et améliorée.
- [16] : AIT MESBAH.Y et MOHAMED OUALI.S : 2003, Traitement d'une eau usée secondaire urbaine par coagulation – adsorption – ultrafiltration en présence du chlorure de calcium comme coagulant et du charbon actif en poudre comme adsorbant, projet de fin d'études, USTHB.

- [17] : 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.
- [18] : AGHTM, La décharge a un avenir : le centre de stockage ; TSM, numéro 1, janvier 2000.
- [19]: D.J.V.CAMPBELL, A.PARKER, J.F.REES: attenuation of potential pollutants in land fill leachate by lower green sand (septembre 1982).
- [20] : M.A.T.E (Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement), Rapport 2003 (DOUNIA).
- [21] :GILL FRIANT : Les décharges contrôlées des résidus urbains, risque de pollution des eaux (Mai-Juin 1983).
- [22] : M. PICHLER & I. KOGEL-KNABER, 2000. Chemolytic analysis of organic matter during aerobic and anaerobic treatment of municipal solid waste. J.Environ. Qual., 29, 1337- 1344.
- [23] :A.A.Tatsi<sup>a</sup>,A.I.Zouboulis<sup>a</sup>,K.A.Matis<sup>a</sup>andP.Samaras<sup>b</sup>
- <sup>a</sup> Department of Chemistry, Division of Chemical Technology, Aristotle University of Thessaloniki, Thessaloniki GR-541 24, Greece <sup>b</sup> Chemical Process Engineering Research Institute, 6th km Charilaou-Thermi Street, Thermi
- [24]: M. BELKACEMI, Contribution à 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]: F. ACHOUR, J. de ARAUJO-MORAIS, M. ROUEZ, C. de BRAUER, G. DUCOM & R. BAYARD, 2005. Characterization of organic matter in Municipal Solid waste: a pertinent tool for the assessment of a mechanical-biological treatment. International Symposium MBT, 2005. Hanovre, Allemagne
- [26] : techniques de l'ingénieur
- [27] :M.M.BARRES et AL : Les lixiviats de décharge ; le point de connaissance en 1990 ; T.S.M/AG.HTM ; N°6 ; (1990).
- [28] : Etude du schéma directeur de collecte et de traitement des déchets solides des 57 communes de la wilaya d'Alger, octobre 2008, A.N.D
- [29] : M. M. BARRES and *al.*, 1990, Les lixiviats de décharge, le point de connaissances,

T.S.M/AG.HTM ; N°6.

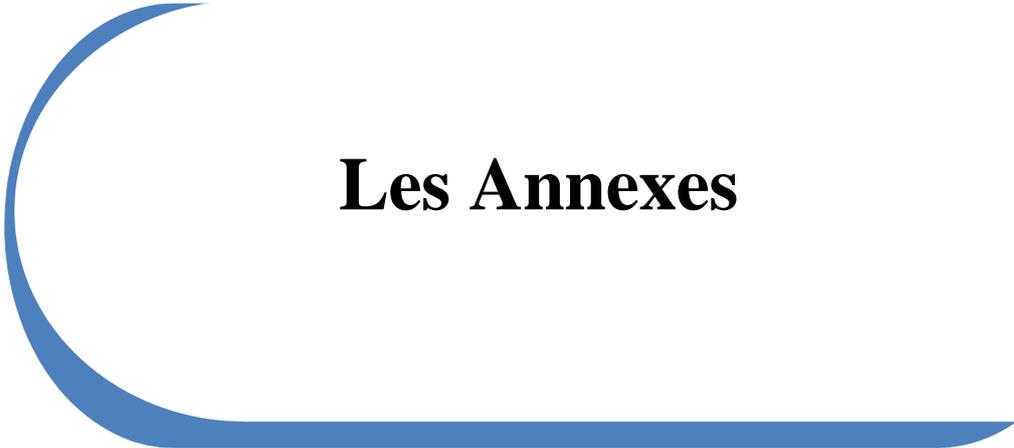
[30] : H. KHATTABI, 2002, Intérêts de l'étude des paramètres hydrogéologiques et hydrobiologiques pour la compréhension du fonctionnement de la station de traitement des lixiviats de la décharge d'ordures ménagères d'Etueffont (Belfort, France). Thèse de doctorat 3<sup>ème</sup> Cycle, ISE France.

[31] : B. Ross, 1990, The diversion capacity of capillary barriers. Water Resource Research, 26, 2625-2629.

[32] : Direction générale des ressources naturelle et l'environnement 15,avenue prince de liège B-5100 jambes, Guide méthodologique pour l'évaluation des incidences sur l'environnement

[33] : Direction de l'environnement de la wilaya de M'sila

[34]: CET de Stoueli



# **Les Annexes**

***Détermination Demande chimique en oxygène (DCO)***  
**Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec**

**Principe :**

Oxydation chimique des matières réductrices par un excès de  $K_2Cr_2O_7$ . Cette oxydation se réalise en milieu sulfurique ( $H_2SO_4$ ), en présence de sulfate d'argent ( $Ag_2SO_4$ ) comme catalyseur et sulfate de mercure ( $HgSO_4$ ), 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 4 mol/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 0,4g de  $HgSO_4$ ).
- 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 l'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 thermo-staée est mis à incuber 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 (CO<sub>2</sub>) formé est piégé par l'hydroxyde de potassium. Cette détermination en oxygène crée une dépression qui est enregistrée par une élévation du niveau de mercure.

**Méthodes instrumentales :****Mode opératoire :**

Prise d'essai dépend de la charge de l'échantillon, celle-ci dépend de l'origine de l'échantillon industriel ou urbain, de la couleur, de l'odeur et de la charge en matières en suspension.

## ***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 20mn.
- Recueillir le culot déposé dans une capsule préalablement séchée à 105°C et pesée à 0,1 mg près :M<sub>1</sub>. 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 :M<sub>2</sub>. 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 :

$$[\text{MES}] = (M_2 - M_1) * 1000 / V_E \quad (\text{mg.l}^{-1})$$

## **Détermination des MVS**

### **Principe :**

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

Matières Organiques(C, H, O, N...)  $\longrightarrow$  CO<sub>2</sub> + H<sub>2</sub>O + NH<sub>3</sub> + H<sub>2</sub>S...

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 :

$$\text{MES} = \text{Matières organiques (MVS)} + \text{Matières minérales (MM)}$$

### **Mode opératoire :**

Cette analyse peut être effectuée après la détermination des MES.

- A la fin de cette analyse, déterminer le poids P<sub>1</sub> 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 P<sub>2</sub> en g.

**La différence (P<sub>2</sub> - P<sub>1</sub>) représente le poids des MVS de l'échantillon.**

### **Expression des résultats :**

le taux de MVS en % est donnée par la formule suivante :

$$\text{MVS en \%} = (P_1 - P_2 / P_1 - P_0) * 100$$

P<sub>0</sub> : poids de la coupelle vide initialement.

## **Dosage Des Nitrates ( $NO_3^-$ ): Méthode au réactif Sulfophinique (Norme AFNOR NF T 90 102)**

### **Principe :**

En présence de salicylate de sodium et après traitement en milieu alcalin, les nitrates donnent du paranitrosalicylate de sodium coloré en jaune et susceptible d'un dosage colorimétrique.

### **Réactifs :**

- Acide sulfurique (36N).
- Ammoniac.
- Phénol.

### **Préparation du réactif sulfophénique :**

Dissoudre 12 g de phénol dans 144 ml d'acide sulfurique dans un bain-marie.

### **Appareillage :**

- Photomètre UV-visible.
- Cellule de dosage.

### **Mode opératoire :**

- Prendre 5 ml de l'échantillon à analyser, le faire évaporer à sec.
- Laisser refroidir et ajouter 2 ml de réactif sulfophénique.
- Attendre 10 minutes, puis ajouter 15 ml d'eau déminéralisée et 10 à 15 ml d'ammoniac qui développe la couleur jaune.
- Compléter à 50 ml avec de l'eau déminéralisée.
- Effectuer la lecture sur le photomètre à  $\lambda = 440$  nm.
- La teneur en nitrates est déduite du graphe d'étalonnage.

## **Dosage Des Nitrites (NO<sub>2</sub>-)**

### **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<sub>4</sub><sup>+</sup>)**  
**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 :**

- Prendre 40 ml d'eau à analyser ;
- Ajouter 4 ml du **réactif A** ;
- Ajouter 4 ml du **réactif B** et ajuster à 50 ml avec H<sub>2</sub>O distillée et attendre 1h 30. L'apparition de la coloration verdâtre indique la présence de : NH<sub>4</sub><sup>+</sup> ;
- Effectuer la lecture spectrophotométrique à 655 nm.

**Expression des résultats :**

Les résultats sont déduits à partir de la courbe d'étalonnage.

## ***Dosage des nitrates (NO<sub>3</sub>-)***

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% ;
- H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 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 10 ml de l'échantillon à analyser ;
- Ajouter 2 à 3 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 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, laisser au repos 10min ;
- Ajouter 15ml de l'eau distillée et 15ml de tartrate double de sodium et de potassium.

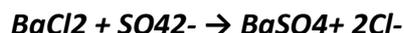
### ***Expression des résultats :***

Les résultats sont déduits à partir de la courbe d'étalonnage.

**Dosage Des Sulfates (méthode turbidimétrique)**  
**Méthode Allemande élaborée par le laboratoire agréée de la SEAAL**

**Principe :**

Les ions sulfates sont précipités et passés à l'état de sulfate de baryum en présence de BaCl<sub>2</sub>.

**Réactifs :**

- \* Solution stabilisante :
  - Acide chlorhydrique (c) ..... 60 ml ;
  - Ethanol ..... 200 ml ;
  - Chlorure de sodium ..... 150 g ;
  - Glycérol ..... 100 ml ;
  - Eau distillée ..... Q.S.P. 1000 ml.
- \* Solution de chlorure de baryum :
  - Chlorure de baryum ..... 150 g ;
  - Acide chlorhydrique (c) ..... 5 ml ;
  - Eau distillée ..... Q.S.P. 1000 ml.

**Appareillage :**

- Spectrophotomètre UV-Vis

**Mode opératoire :**

- Prendre 20 ml d'eau à analyser puis compléter à 100 ml d'eau distillée ;
- Ajouter 5 ml de la solution stabilisante ;
- Ajouter 2 ml de chlorure de baryum ;
- Agiter énergiquement pendant 1 mn ;
- Passer au spectrophotomètre  $\lambda = 420 \text{ nm}$ .

**Expression des résultats :**

Les résultats sont déduits à partir de 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 Mixte :**

- Heptamolybdate d'ammonium ..... 13 g ;
- Eau distillée ..... 100 ml ; ..... **(A)**
- Tartrate d'antimoine ..... 0.35 g ;
- Eau distillée ..... 100 ml ; ..... **(B)**
- Acide sulfurique pur ..... 150 ml ;
- Eau distillée ..... 150 ml ; ..... **(C)**

**\* Acide ascorbique à 10 %:**

- Acide ascorbique.....10g.
- Eau distillée .....100ml.

**Mode opératoire :**

- 40 ml d'eau à analyser avec 1 ml acide ascorbique et 2 ml du réactif mixte ;
- Attendre 10 mn le développement de la couleur bleue et effectuer la lecture à une longueur d'onde de 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 (5 ml HNO<sub>3</sub> + 2 ml H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) 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 (Mn, Cd, Cu, Al, Co, Ni, Fe, 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.

**Dosage de l'azote Kjeldahl NTK**  
**Norme ISO 5663-1984**

**Réactifs :**

- Acide sulfurique pur H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (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 (1000 ml).
- Solution d'hydroxyde de sodium : hydroxyde de sodium (400g) + eau distillée (1000ml)
- Solution d'acide sulfurique à 0.1 N.
- Indicateur coloré : rouge de méthyle, vert de bromocrésol et éthanol 95%.

**Appareillage :**

- Digesteur (BUCHI K- 424)
- Distillateur (BUCHI B- 324)
- Triturateur

**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, ouvrir la fenêtre de dialogue, le démarrage, et les fonctions aspiration, préchauffage et nettoyage sont mises en route automatiquement à partir du menu.

- Titration :

Allumer le tritrateur et titrer avec l'acide sulfurique à 0.1 N tout en ajoutant l'indicateur coloré. La Titration est terminée lorsque la couleur vire du bleu au rose pale.

**Expression :**

$$\text{NTK (mg/l)} = (\text{VE-VB}) * \text{C} * 14 * 1000 / \text{P}$$

Avec:

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

VB: volume en ml de l'acide sulfurique utilisé pour l'essai à blanc. C : la concentration en mol/l de l'acide sulfurique.

P : le volume de la prise d'essai.