



Université ABBES LAGHROUR Khenchela  
Faculté des Sciences et de la Technologie  
Département de Génie Industriel  
جامعة عباس لغرور خنشلة  
كلية العلوم والتكنولوجيا  
قسم الهندسة الصناعية



N° Série : .....

## Mémoire de fin d'étude

*Pour l'obtention du diplôme de Master*

**Filière : Sciences et génie de l'environnement**  
**Spécialité : Génie des Procédés de l'environnement**

### THEME

# Purification d'un rejet liquide par un procédé de coagulation

Présenté par

**Melle. BARIKA KATAR ENADA**

**Melle. DEKHIL RIMA**

Soutenu le **21 / 06 / 2018** devant la commission d'examen composée de :

Mr. N.MECHERI

M.A.A à l'Université de Khenchela

Président

Mr. K.DJAFFAL

M.A.A à l'Université de Khenchela

Encadreur

Mr. S.Redjil

M.A.A à l'Université de Khenchela

Examineur

Promotion 2017/2018



## *Remerciements*

*Nous remercions Dieu de nous avoir donné le courage, la santé, patience et courage de finir ce mémoire.*

*Nous tenons à remercier notre directeur de mémoire : **Dr. Djaffal Khaled**, qui n'a pas hésité de nous apporter main forte en nous guidant avec ses précieux conseils et remarques.*

*Il nous a été d'une grande utilité et il fait preuve d'une grande humilité, modestie et grâce à ses efforts ce modeste travail a fini par voir la lumière.*

*Un grand merci à **Dr. N.MECHERJ** pour l'honneur qu'il nous fait en acceptant de présider ce jury.*

*Nos profonds remerciements vont aussi à **Dr. S.Redjil** d'avoir acceptée d'examiner ce travail.*

*Nous tenons à remercier l'université*

*Abbes Laghror -Khenchela- surtout les enseignants de génie des procédés qui ont laissé leur trace sur notre cursus universitaire.*

*Enfin, nous remercions toute personne qui a participé, de près ou de loin à réaliser ce mémoire*



*Dédicace*

*Je dédie ce modeste travail*

*A ma mère*

*A mon père*

*A mon frère YOUNES et ma sœur DOUAA*

*A tous les enseignants de département du Génie Des procédés*

*A tous mes amis sans exception*

*Et à tous ceux qui pensent à moi...*

*RIMA*



*Dédicace*

*Je dédie ce modeste travail*

*A ma belle mère*

*A mon père*

*A mes frères*

*Wassim , Taha , Mohammad*

*A tous les enseignants de département du Génie Des procédés*

*A tous mes amis sans exception*

*Et à tous ceux qui pensent à moi...*

*NADA*



## Liste des tableaux

<b>Le tableau I.1.</b> Les principales caractéristiques des différents types de Lixiviats	6
<b>Tableau I .2 .</b> Comparaison de quelques procédés classiques de traitement de lixiviats.	13
<b>Tableau I .3 :</b> Nuisances et impacts des CET.	14
<b>Tableau II.1.</b> Les étapes de l'agrégation.	22
<b>Tableau II.2.</b> Dérivés des sels d'aluminium et de fer.	26
<b>Tableaux IV.1 :</b> Résultats d'analyse physicochimique des lixiviats traités par les deux coagulants $\text{FeCl}_3$ et $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18 \text{H}_2\text{O}$ en variant le rapport ( $V_{\text{coagulant}}/V_{\text{lixiviat}}$ ).	52
<b>Tableau IV. 2 :</b> Recherche et dénombrement des flores totales pour l'échantillon $\text{FeCl}_3$ et $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ .	52

## Liste des figures

<b>Figure I.1 :</b> Origine des nuisances dans un CET.	3
<b>Figure I.2 :</b> Structure chimique générale des phtalate.	8
<b>Figure II.1 :</b> Exemple de Coagulation/Floculation.	17
<b>Figure II.2 :</b> Représentation de colloïde hydrophile.	18
<b>Figure II.3 :</b> Représentation schématique de la double couche d'une particule colloïdale.	20
<b>Figure II.4 :</b> Coagulation / Floculation.	21
<b>Figure II.5 :</b> Représentation schématique de la compression de la couche diffuse.	23
<b>Figure II.6 :</b> Représentation schématique de neutralisation des charges.	23
<b>Figure II.7 :</b> Emprisonnement des particules dans les flocs pendant la décantation.	24
<b>Figure II.8 :</b> Adsorption et pontage à l'aide d'un polymère.	25
<b>Figure II.9 :</b> Le sulfate d'aluminium en poudre.	27
<b>Figure II.10 :</b> Le sulfate ferrique en poudre.	28
<b>Figure II.11 :</b> Le chlorure ferrique en poudre.	28
<b>Figure III.1 :</b> Lixiviat prélevé.	33
<b>Figure III.2 :</b> dispositif expérimental.	35
<b>Figure III.3 :</b> La boue récupérée après décantation.	35
<b>Figure III.4 :</b> Les surnageants récupérés après décantation.	35
<b>Figure III.5 :</b> Schéma de traitement de lixiviats par le procédé de coagulation-floculation en utilisant le chlorure ferrique ( $\text{FeCl}_3$ ) comme coagulant.	36
<b>Figure III.6 :</b> Turbidimètre utilisé pour les mesures de turbidité des surnageants.	38
<b>Figure III.7 :</b> Echantillons de surnageant préparés pour analyse bactériologique.	39
<b>Figure III.8 :</b> Méthode de dénombrement et recherche des flores totaux.	41
<b>Figure IV.1 :</b> Valeurs de turbidité des surnageants comparées à celle de lixiviat pur pour une dose de 10% de coagulant $\text{FeCl}_3$ et $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18 \text{H}_2\text{O}$ .	43
<b>Figure IV.2 :</b> Les valeurs de pH des surnageants comparées à celle de lixiviat pur pour une dose de 10 % de coagulant $\text{FeCl}_3$ et $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18 \text{H}_2\text{O}$ .	44
<b>Figure IV.3 :</b> Les conductivités électriques des surnageants pour une dose de 10% de coagulant $\text{FeCl}_3$ et $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18 \text{H}_2\text{O}$ .	45
<b>Figure IV.4 :</b> Les matières en suspension des surnageants pour une dose de 10 % de coagulant $\text{FeCl}_3$ et $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18 \text{H}_2\text{O}$ .	45

- Figure IV.5 :** Variation de la masse des boues et de volume des surnageants pour une dose de 10% de coagulants  $\text{FeCl}_3$  et  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18 \text{H}_2\text{O}$ . 46
- Figure IV.6 :** Variation de la turbidité des surnageants en fonction de la dose des deux coagulants  $\text{FeCl}_3$  et  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18 \text{H}_2\text{O}$ . 47
- Figure IV.7 :** Variation de pH des surnageants en fonction de la dose des deux coagulants  $\text{FeCl}_3$  et  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18 \text{H}_2\text{O}$ . 48
- Figure IV.8 :** Variation de la conductivité des surnageants en fonction de la dose des deux coagulants  $\text{FeCl}_3$  et  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18 \text{H}_2\text{O}$ . 48
- Figure IV.9 :** Variation de la matière en suspension des surnageants en fonction de la dose des deux coagulants  $\text{FeCl}_3$  et  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18 \text{H}_2\text{O}$ . 49
- Figure IV.10 :** Variation de la masse des boues et du volume des surnageants en fonction de la dose des deux coagulants  $\text{FeCl}_3$  et  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18 \text{H}_2\text{O}$ . 48

## Liste des abréviations

<b>AGV</b>	Acides gras volatils
<b>BBP</b>	Butylbenzylphtalate
<b>°C</b>	Degré Celsius
<b>CET</b>	Centre d'enfouissement technique
<b>COT</b>	Carbone Organique Total
<b>DBO<sub>5</sub></b>	Demande Biologique en Oxygène au bout de 5 jours
<b>DCO</b>	Demande Chimique en Oxygène
<b>DINP</b>	Di-isononyle-phtalate
<b>MES</b>	Matière en suspension
<b>PH</b>	Potentiel Hydrogène
<b>NTU</b>	Néphélométrie Turbidité unité

## SOMMAIRE

Remerciement	
Dédicace	
Résumer	
Liste des tableaux	
Liste des figures	
Introduction Générale	1
Chapitre I : Généralités sur les lixiviats	
I.1.Introduction	3
I.2. Centre d'enfouissement technique CET	3
I.3. Mécanisme de formation de lixiviat	5
I.4. Types de lixiviats	5
I.4.1. Les lixiviats jeunes	6
I.4.2. Les lixiviats intermédiaires	6
I.4.3. Les lixiviats stabilisés (> 10 ans)	6
I.5.Composition de lixiviat	7
I.6. Types de polluants présents dans les lixiviats	7
I.7. Méthodes de traitements des lixiviats	10
I.7.1. Méthodes biologiques	10
I.7.2. Méthodes physico-chimiques	11
I.8.Impact des lixiviats sur l'environnement	13
I.9. Conclusion	15
Chapitre II : Etude du procédé de coagulation-floculation	
II.1. Introduction	16
II.2.Traitement par coagulation floculation	16
II.3.Les particules en suspension	17
II.4. Les colloïdes	18
II.4.1.Type de colloïdes	18
II.4.1.1. Les colloïdes hydrophiles	18
II.4.1.2. Les colloïdes hydrophobes	19
II.4.2.Théorie de la double couche	19
II.4.3. Stabilité des colloïdes	19
II.4.4.déstabilisation des colloïdes	20

---

II.5.Coagulation-floculation	21
II.5.1. Modes de déstabilisation des particules colloïdales	22
II.5.1.1.La compression de la double couche	23
II.5.1.2.Adsorption et neutralisation des charges	23
II.5.1.3.Emprisonnement des particules dans un précipité	24
II.5.1.4.Adsorption et pontage entre les particules	24
II.5.2. La mise en œuvre de la coagulation-floculation	25
II.5.3 .Les coagulants utilisés	25
II.5.3.1.Les sels d'aluminium	26
II.5.3.2.Les sels de fer	27
II.5.4. Les facteurs influençant sur la coagulation-floculation	29
II.5.4.1.Influence du paramètre pH	29
II.5.4.2.Influence de la température	29
II.5.4.3.Influence de la dose de coagulant	29
II.5.4.4.Vitesses et temps d'agitation	30
II.5.4.5.L'influence de la turbidité	30
II.5.4.6.Influence des sels dissous	30
II.6.Les type de floculation	30
II.7.Floculants (adjuvants de coagulation)	31
II.8. Conclusion	32
Chapitre III : Matériels et Méthodes	
III.1. Introduction	33
III.2. Echantillonnage	33
III.3. Coagulants utilisés	33
III.4. Description d'un essai de coagulation-floculation	34
III.5. Méthodes d'analyses	37
III.5.1. Analyses physicochimiques	37
III.5.2. Analyses bactériologiques	38
III.6. Conclusion	42
Chapitre IV : Résultats et Discussions	
IV.1 Introduction	43
IV.2. Effet d'ajustement de pH de la phase d'alimentation : avec deux coagulants et avec une seule dose (10%)	43

IV.3. Effet de la concentration et la nature d'agent coagulant	46
IV.4. Effet du temps d'agitation	50
IV.5. Effet du rapport Volume coagulant/Volume lixiviat ( $V_{\text{coagulant}} / V_{\text{lixiviat}}$ )	51
IV.6. Conclusion	53
Conclusion générale	54

# **INTRODUCTION GENERALE**

## Introduction générale

Les lixiviats désignent les eaux issues de l'hydrolyse et la décomposition des déchets ainsi que les eaux qui ont percolé à travers les déchets. Les lixiviats des déchets ménagers et assimilés sont généralement des effluents très chargés en matière organique plus au moins biodégradable, en sels et en divers polluants organiques et inorganiques. La production des lixiviats varie selon la composition et les caractéristiques des déchets en particulier leur teneur en matière organique et en humidité. La composition physicochimique et biologique de ces effluents est par contre étroitement liée à la nature des déchets et à la présence des déchets pollués.

Au niveau des décharges contrôlées les lixiviats sont en outre fortement influencés par les conditions climatiques. La production est en effet fortement corrélée avec les précipitations. En même temps les climats chauds accélèrent la décomposition et peuvent entraîner d'importantes productions de lixiviats lorsque les déchets sont riches en matière organique putrescible.

Plusieurs techniques sont aujourd'hui considérées comme potentiellement efficaces pour la dépollution et le traitement des lixiviats et sont appliquées à une échelle industrielle. Les plus utilisées sont basés sur des traitements biologiques anaérobies, physicochimiques, l'osmose inverse et les techniques membranaires la nano-filtration et plus particulièrement la Coagulation-Floculation.

La technique de la Coagulation-Floculation utilise des produits chimiques avec une efficacité avérée mais leurs effets sur l'environnement et sur la santé commencent à susciter des inquiétudes et préoccupations

En effet, l'utilisation des hydroxydes d'aluminium et des hydroxydes de fer comme Coagulant peuvent être toxique pour l'écosystème pouvant conduire à des maladies. Par exemple, des études récentes ont montré que la présence des traces ions d'aluminium dans des eaux, après traitement, ceci peut provoquer ou accélérer l'Alzheimer.

Ce mémoire est structuré en quatre chapitres :

- Le premier chapitre parle des lixiviats, centre d'enfouissement.
- Le deuxième chapitre est réservé pour le procédé de Coagulation-Floculation en donnant l'essentiel des bases théoriques.

- Alors que le troisième chapitre présente les méthodes opératoires du traitement de lixiviats et les techniques d'analyses adoptées.
- Quant au quatrième chapitre, il est consacré à l'exploitation et l'interprétation des résultats obtenus.

**CHAPITRE I :**  
**GENERALITE SUR LES LIXIVIATS**

## I.1.Introduction

La mise en décharge est une méthode qui a été utilisée pour traiter les ordures ménagères. Néanmoins, l'enfouissement des déchets provoque de nombreuses nuisances dans l'environnement : pollution de l'eau par le lixiviats, dégagement d'odeurs, risques d'incendies, création d'un biotope favorable à l'accroissement des populations d'insectes et de rongeurs, contribution à l'aggravation de l'effet de serre. La principale source de pollution est néanmoins constituée par les percolas de décharge qui sont à l'origine de la contamination des sols, des eaux de surfaces et des eaux des nappes d'eaux.

## I.2. Centre d'enfouissement technique CET

L'enfouissement des déchets, revient à concentrer dans un volume réduit un ensemble varié de matériaux évolutifs. Dès la phase de dépôt, les déchets sont soumis à des processus de dégradation liés à des réactions bio-physico-chimiques complexes. Une partie des produits de la dégradation se retrouve en phase gazeuse, **le biogaz**, l'autre est transportée par les eaux de pluie qui s'infiltrent dans les déchets, **les lixiviats** (Figure I.1) [1].

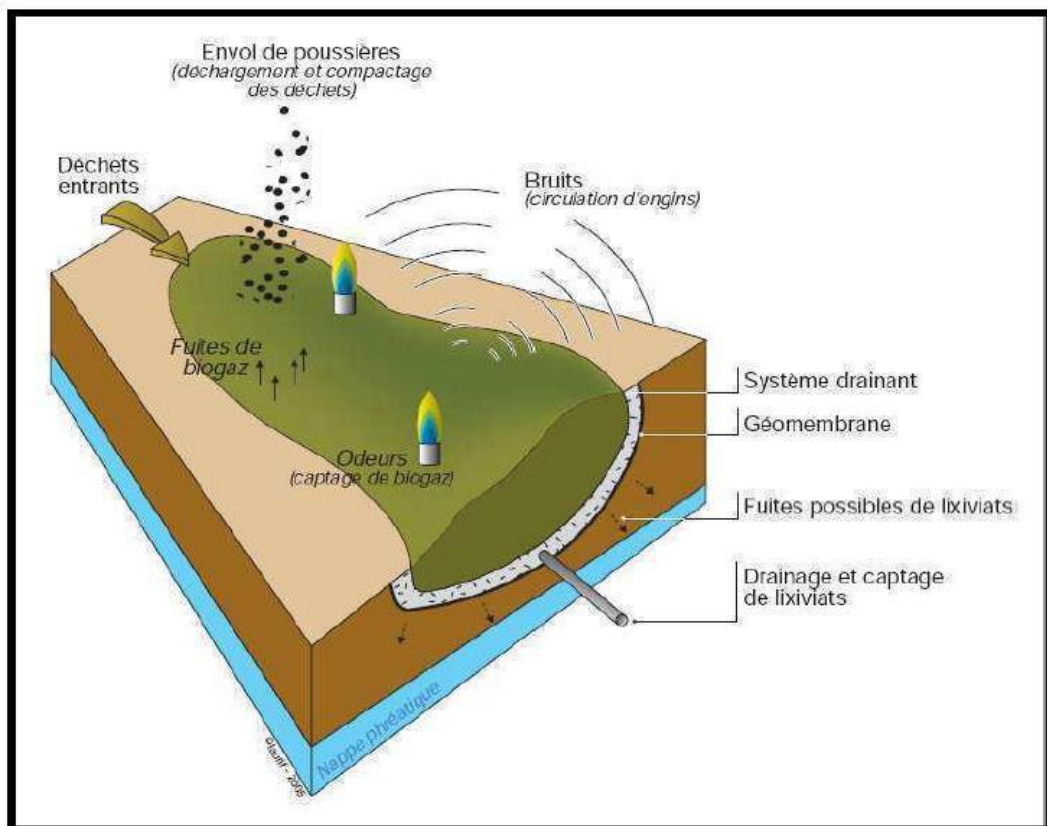


Figure I.1 : Origine des nuisances dans un CET [1].

Les décharges à ciel ouvert ont été remplacées par les décharges contrôlées, encore appelées centres d'enfouissement technique CET [1]. La mise en décharge contrôlée des déchets urbains est une méthode de gestion des déchets dans toutes les situations concernant d'importants tonnages, car elle est choisie pour sa facilité et son faible coût. Décharge publique est un lieu où l'on déverse débris déchets divers ; situé le plus souvent en dehors de grandes villes. Elle est le moyen d'évacuation le plus satisfaisant et le plus économique ; mais uniquement si le terrain approprié n'est pas trop éloigné du lieu de production des déchets [2].

### ➤ **lixiviats**

Le lixiviat est le produit liquide riche en matière organique, en sels minéraux et en bactéries, résultant de la réaction de certaines sortes de déchets avec l'eau. Il se forme pendant l'infiltration d'eaux dans le centre de stockage en diluant la fraction liquide initiale du déchet.

La quantité de lixiviat produit dépend de la quantité d'eau souterraine dans le centre de stockage. La quantité d'eau absorbée par le déchet dépend de l'âge de l'enfouissement du déchet.

Les caractéristiques des lixiviats varient très largement d'une décharge à une autre. Cette variation est basée sur la nature des déchets, l'âge des déchets, la teneur en eau, la température, ainsi que d'autres facteurs. La décomposition des déchets génère aussi des gaz comme le méthane ( $\text{CH}_4$ ) et le dioxyde de carbone ( $\text{CO}_2$ ). Ces gaz peuvent migrer à travers le sol et s'accumuler dans des espaces confinés pour produire des concentrations explosives, asphyxiantes ou toxiques. Ils peuvent aussi affecter la végétation existante autour de la décharge. Le  $\text{CH}_4$  est, en général, récupéré et valorisé (chaleur ou électricité). La formation des lixiviats est fonction d'une grande variété de phénomènes :

- modes de transport par écoulement, par gravité, par diffusion.
- mécanismes chimiques : complexation, solubilisation, oxydo-réduction.
- processus biologique : aérobies, anaérobies.

### ➤ **Biogaz**

Le phénomène de digestion anaérobie s'installe dans les installations de stockage de déchets après une première phase de dégradation aérobie. Celui-ci aboutit à la production de biogaz, essentiellement constitué de méthane et dioxyde de carbone. Suivant les sites, la nature et la quantité de biogaz seront variables. Son captage est rendu nécessaire par la nuisance qu'il présente pour les riverains [1].

### I.3. Mécanisme de formation de lixiviat

Les lixiviats sont produits lorsque la teneur en humidité dépasse la valeur maximale de rétention qui est définie comme la valeur maximale de liquide que peut retenir un milieu poreux sans produire de percola. Ce processus dépend de plusieurs facteurs :

- Facteurs climatiques et hydrogéologiques : les pluies, la neige, l'intrusion des eaux souterraines,
- Qualité des déchets : l'âge, la perméabilité, la teneur initiale en humidité, la taille des particules...,
- L'exploitation et la gestion du site : compactage, végétation, couverture, recirculation, irrigation...,
- Mécanismes internes : décomposition des composés organiques, formation de biogaz et de la chaleur.

Après la première dégradation aérobie au début de l'enfouissement, la première phase de décomposition anaérobie est une fermentation acide ; les percolas « jeunes » sont riches en acides gras volatils (AGV) qui peuvent représenter jusqu'à 95% du carbone organique total, ce caractère acide du lixiviat permet de solubiliser les métaux présents dans les déchets. Au cours du temps, l'évolution biologique complémentaire consiste en une digestion anaérobie pendant laquelle les AGV sont métabolisés. Les produits résultants de cette métabolisation sont des gaz ( $\text{CO}_2$  et  $\text{CH}_4$  essentiellement) et des molécules stabilisées (acides fulviques et humiques). Dès lors, au fur et à mesure de son vieillissement, une décharge produira un lixiviat de plus en plus pauvre en AGV ou en petites molécules biodégradables. Parallèlement, le lixiviat verra sa charge en molécules de hauts poids moléculaires augmenter, c'est le phénomène d'humification.

### I.4. Types de lixiviats

Suivant le stade d'évolution biologique des déchets, trois types de lixiviats ont été distingués.

### I.4.1. Les lixiviats jeunes

Ces lixiviats se caractérisent par une charge organique élevée relativement biodégradable (seuil de biodégradabilité  $DBO_5/DCO > 0,3$ ) constituée principalement d'acides gras volatils. Ces lixiviats peuvent être chargés en métaux (jusqu'à 2 g/L) du fait de leur pH relativement bas ( $< 6,5$ ). Ils correspondent aux premières phases non méthanogènes de l'évolution d'une décharge [3].

### I.4.2. Les lixiviats intermédiaires

Au fur et à mesure que la décharge vieillit et que les déchets se stabilisent, la charge organique diminue et les acides gras volatils se raréfient (20 à 30% de la charge du lixiviat) au profit de composés de hauts poids moléculaires. L'émergence de ces composés tend à diminuer la biodégradabilité du lixiviat. 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.

### I.4.3. Les lixiviats stabilisés (> 10 ans)

Ils sont caractérisés par une faible charge organique, composée essentiellement de substances humiques (acides fulviques et humiques) de hauts poids moléculaire (la DCO dépasse 3000 mg L<sup>-1</sup>) [4] qui sont réfractaires à la biodégradation ( $DBO_5/DCO < 0,1$ ). Ces lixiviats stabilisés correspondent à la phase de maturation de la décharge.

**Tableau I.1** : Les principales caractéristiques des différents types de Lixiviats.

	Lixiviats jeunes	Lixiviats intermédiaires	Lixiviats stabilisés
Age de la décharge	<5 ans	5 à 10 ans	>10 ans
Ph	<6.5	6.5 à 7.5	>7.5
DCO (g L <sup>-1</sup> )	10 à 20	5 à 10	<5
DBO <sub>5</sub> /DCO (biodégradabilité)	>0.5 Bonne	0.1 à 0.5 Assez faible	<0.1 Très faible
AGV* (% du COT)	>70	5 à 30	<5

### I.5. Composition de lixiviat

Les compositions chimiques et biochimiques des lixiviats sont non seulement très diverses mais aussi variables dans le temps et dans l'espace. relèvent classiquement quatre types de polluants :

- La matière organique dissoute ou en suspension, issue de la biomasse, exprimée généralement en DCO (les AGV, les substances humiques et fulviques...),
- Les micropolluants organiques (hydrocarbures, composés aromatiques...),
- 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).

D'autre part, les lixiviats peuvent aussi contenir certains micro-organismes pathogènes. Plus de 200 familles de composés organiques ont pu être identifiées au cours des nombreuses études menées sur la caractérisation des lixiviats des décharges. La composition globale des lixiviats est le plus fréquemment déterminée grâce à des analyses physico-chimiques. La qualité physico-chimique dépend de nombreux facteurs qui sont cités dans les paragraphes précédents. Étant donnée la synergie de l'ensemble des facteurs mentionnés ci-dessus, il est difficile de prédire la composition moyenne d'un lixiviat d'un site donné.

### I.6. Types de polluants présents dans les lixiviats

- **Acides gras**

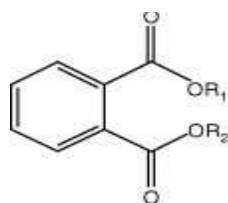
Les acides gras sont d'importants constituants du monde animal et végétal. Ils se répartissent en grandes familles selon le nombre de double liaisons éthyléniques qu'ils possèdent : les acides gras saturés (aucune double liaison) ramifiés ou non, mono insaturés (une seule double liaison) et polyinsaturés (au moins deux doubles liaisons).

- **Composés ligno-cellulosiques**

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

- **Les plastifiants**

Les plastifiants sont des esters organiques ajoutés aux polymères afin d'accroître la flexibilité et la robustesse du produit final par une modification interne de la molécule du polymère. Les principaux plastifiants utilisés sont les esters d'acides dicarboxyliques de haut point d'ébullition appelés "*phtalates*".



**Figure I.2 :** Structure chimique générale des phtalates.

Les phtalates sont principalement utilisés dans la fabrication du polychlorure de vinyle souple (80%), mais peuvent aussi être utilisés dans les revêtements de sol (phtalate de butylbenzyle [BBP] ; phtalate de di-isononyle [DINP] ; phtalate de di-(2-éthylhexyle) [DEHP]), les câbles (exemple : électriques), le matériel médical (DEHP est utilisé dans les poches et les tubulures) les emballages alimentaires, les garnitures de voiture, papeterie, les matériaux de construction. Ils peuvent aussi être incorporés dans les encres, les pigments, les peintures, et les adhésifs.

Bien que les phtalates ne soient pas très toxiques, une exposition aigue à long terme à ces produits peut causer des dommages au niveau du foie et des testicules chez les mammifères et la mort des espèces aquatiques. Les phtalates peuvent aussi engendrer des modifications dans la mobilité et la biodiversité de certaines substances toxiques comme les biphényles polychlorés et les ions métalliques.

Les phtalates ont été identifiés dans de nombreux échantillons provenant de l'environnement comme le compost des déchets solides municipaux, les eaux usées et leurs boues, les rivières et les lixiviats des décharges.

Comme les plastifiants sont des produits faiblement biodégradables, les méthodes communes de traitement des lixiviats s'avèrent peu efficaces pour dégrader ces produits.

Les plastifiants peuvent donc persister dans la nature et contaminer les eaux souterraines et superficielles.

- **Les stabilisants**

Les stabilisants sont des additifs introduits dans les matières plastiques, ils assurent une protection contre l'altération des matériaux provoquée par la chaleur, l'oxydation ou les rayonnements solaires. Lors de la mise en forme, de l'entreposage ou du vieillissement, la plupart des polymères subissent une certaine dégradation que les antioxydants peuvent empêcher ou retarder. Le principal stabilisant qu'on trouve dans les lixiviats est le bisphénol A.

- **Les phénols**

Les phénols sont principalement utilisés en tant qu'intermédiaires :

- Dans l'industrie des matières plastiques (résines phénoliques, bisphénol A...).
- Pour la fabrication de plastifiants, d'adhésifs, de durcisseurs, de dissolvants et d'isolants.

Ils sont également utilisés dans une moindre mesure en tant que composant dans les cosmétiques et les médicaments. Les phénols ont été identifiés dans plusieurs lixiviats.

- **Les pesticides**

Les pesticides sont utilisés en quantité considérable depuis plus d'un demi-siècle par l'agriculture intensive. On retrouve des résidus de pesticides partout même dans les lixiviats comme le lindane, le bentazone, le 2,6- dichlorobenzamide, l'atrazine....

- **Les métaux lourds**

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

## **I.7. Méthodes de traitements des lixiviats**

Les lixiviats sont des effluents complexes dont le traitement nécessite une expertise particulière. Même si les procédés potentiellement applicables pour la plupart du traitement des eaux usées, leur mise en œuvre obéit à des contraintes spécifiques. Contrairement à certains types d'effluents, le traitement "type" n'existe pas. On distingue entre deux types de traitements [1].

### **I.7.1. Méthodes biologiques**

#### **➤ Traitement anaérobie**

La digestion anaérobie consomme peu d'énergie et produit très peu de matières solides. En outre, il est possible d'utiliser le CH<sub>4</sub> produit pour réchauffer le digesteur qui travaille habituellement à 35 °C [1].

#### **➤ Traitement aérobie**

Les traitements biologiques aérobies font appel aux micro-organismes naturellement présents dans le milieu naturel pour dégrader les polluants présents. L'apport d'oxygène peut être naturel (le vent ou système de cascade) dans les petites installations de lagunage ou artificiel (turbine ou diffusion de microbulles) et dans les stations d'épuration de type "boues activées" [1].

## I.7.2. Méthodes physico-chimiques

### ➤ Coagulation-Floculation

La coagulation a pour but principal de déstabiliser les particules en suspension c'est-à-dire de faciliter leur agglomération. Ce procédé est caractérisé par l'injection et la dispersion de produits chimiques (coagulants). Il consiste à ajouter à l'eau un électrolyte permettant de neutraliser les charges négatives qui sont à l'origine du maintien en suspension stable.

On utilise généralement des sels d'un métal trivalent,  $Fe^{3+}$  ou  $Al^{3+}$ . Le choix du coagulant et du floculant dépend de la nature de l'eau à traiter, et des tests préalables qui doivent être réalisés. La floculation a pour but de favoriser, à l'aide d'un mélange lent les contacts entre les particules déstabilisées. Ces particules s'agglutinent pour former un floc qu'on pourra éliminer par décantation.

La coagulation-floculation peut être utilisée avec succès dans le traitement des vieux lixiviats. Elle est largement utilisée comme un prétraitement avant l'osmose inverse ou avant les procédés biologiques pour protéger la biomasse de l'agression des éléments toxiques des rejets (cas des boues activées) ou encore comme la dernière étape de traitement afin d'éliminer la matière organique bio-récalcitrante. Le sulfate d'aluminium, le sulfate ferreux, le chlorure ferrique et le chloro-sulfate ferrique ont été couramment utilisés comme coagulants [1].

### ➤ Adsorption

L'une des raisons principales qui a motivé l'application de l'adsorption au traitement des lixiviats est son critère de non sélectivité vis-à-vis des composés organiques. Ainsi, les substances biodégradables et non-biodégradables sont éliminées comme par exemple les substances humiques et les composés halogénés [1].

L'adsorption des polluants sur charbon actif, en colonne ou sous forme de poudre donne un bon taux d'abattement de la DCO par rapport aux méthodes chimiques et ce quelle que soit la concentration initiale de la solution en matière organique, Ce procédé permet également d'abattre de manière très satisfaisante les composés responsables de la coloration de l'effluent. Selon plusieurs travaux, le procédé d'adsorption sur charbon actif a été utilisé en conjonction avec des procédés biologiques pour le traitement des lixiviats [1]. Des études montrent l'efficacité de différentes résines pour l'élimination de la matière organique bio récalcitrante et ont montré que ; le charbon actif présente la plus forte capacité d'adsorption.

➤ **Flottation**

Pendant de nombreuses années, la flottation a été largement utilisée. Elle est basée sur l'élimination des colloïdes, des ions, des macromolécules, des micro-organismes et des fibres. Cependant, jusqu'à ce jour, très peu d'études ont été consacrées à l'application de la flottation pour le traitement des lixiviats. L'utilisation d'une colonne de flottation comme une étape de post-traitement pour éliminer l'acide humique résiduel (composés non biodégradables) des lixiviats de décharges. Sous les conditions optimales, près de 60% d'acide humique a été éliminé [1].

➤ **Osmose inverse**

L'osmose inverse semble être l'une des méthodes les plus prometteuses et coûteuses dans le traitement des lixiviats. En effet, plusieurs études effectuées à la fois à l'échelle du laboratoire et à l'échelle industrielle ont montré l'efficacité de ce procédé dans l'élimination des contaminants présents dans les lixiviats. En dépit de ses avantages, l'osmose inverse présente plusieurs inconvénients qui sont : la faible rétention des petites molécules qui passent travers la membrane et la possibilité de dépôt de substances dissoutes ou en suspension à la surface externe de la membrane. Autre limitation de l'osmose inverse est la forte consommation d'énergie. De plus, l'osmose inverse est une méthode très coûteuse, ainsi elle est utilisée pour éliminer le sel des eaux de mer [1].

Le tableau (I.2) illustre une comparaison entre quelques procédés classiques de traitement de lixiviats avec leurs avantages et inconvénients.

Tableau I .2 : Comparaison de quelques procédés classiques de traitement de lixiviats [1].

Procédés	Caractéristique	Avantages	Inconvénients
<b>Biologiques</b>	Utilisation de culture bactérienne	- Peu onéreux ; - Éliminent $\text{NH}_3$ , $\text{NH}_4^+$ , le fer et la matière organique biodégradable	- Production importante de boue, - inefficaces en présence d'une pollution toxique et non biodégradables.
<b>Physiques (filtration sur charbon actif, membranaire)</b>	Non dégradatifs	Séparation des polluants particulaire ou dissout	- Cout d'investissement et énergétique élevé ; - Génération des consantrats
<b>Physico-chimiques</b>	Fixation des polluants par coagulation et séparation des floes formées	Séparation des polluants en suspension et des particules colloïdales.	- Utilisations des produits chimiques ; - Formation des boues
<b>Chimiques</b>	Utilisation d'un oxydant ( $\text{Cl}_2$ , $\text{ClO}_2$ , $\text{O}_3$ )	- oxydation chimique des polluants ; - Peu ou pas de déchets ; - Augmentation de la biodégradabilité.	- Oxydation partielle formation d'intermédiaires ; - Gestion des oxydants.

### I.8. Impact des lixiviats sur l'environnement

D'autres nuisances peuvent apparaître, à court et à long terme. Bien qu'un enfouissement des déchets, soit un projet à durée limitée, ses effets ne le sont pas. Il est indispensable de considérer les deux étapes de l'impact :

- pendant l'exploitation
- après fermeture et parfois réhabilitation.

Il a été constaté que certains effets peuvent s'inverser. A titre d'exemple, une pollution des eaux souterraines peut se produire bien après la fermeture des déchets si des mesures compensatoires ne sont pas prises pendant l'exploitation. Par contre, l'effet sur l'aménagement local peut être ressenti comme défavorable en cours d'exploitation et devenir un agrément après réhabilitation et/ou fermeture.

**Tableaux I.3 : Nuisances et impacts des CET [1].**

<b>Nature des nuisances</b>	<b>Origine</b>	<b>Impact</b>
<b>Envols</b>	Papier et plastiques, feuilles, Textiles	Pollution du naturel, atteint au Paysage
<b>Odeurs</b>	Déchets, fermentation, biogaz	Désagréments pour le personnel et les riverains
<b>Poussières</b>	Circulation des véhicules et Engins	Désagréments pour le personnel et les riverains
<b>Animaux</b>	Attrait nutritif des déchets	Transport de maladies, gêne pour l'aviation, atteinte à la chaîne alimentaire
<b>Incendies et exposition</b>	Imprudences, déchets incandescents, accumulation de biogaz.	Danger pour le personnel, nuisance olfactives
<b>Bruit</b>	Circulation d'engins	Désagrément pour le personnel et les riverains
<b>Défrichement Déboisement</b>	Implantation d'une installation de stockage	Appauvrissement paysager, gêne visuel
<b>Pollution des sols et des eaux</b>	Infiltration du lixiviat	Dégradation milieu naturel
<b>Effet de serre</b>	Biogaz non capté	Modification du climat, pathologie des plantes
<b>Risque sanitaires</b>	Toxicité des déchets, organismes pathogènes	Maladies

## **I.9. Conclusion**

Les pollutions générées par les lixiviats, et leurs impacts sanitaires et environnementaux sont difficiles à déterminer. Plusieurs polluants interagissent dans des milieux naturels différents (air, sol, eaux etc.) sur le long terme. Les liens de causalité entre ces pollutions et les maladies ou les modifications significatives de l'environnement sont donc particulièrement difficiles à établir.

**CHAPITRE II :**  
**PROCEDE DE COAGULATION-**  
**FLOCCULATION**

## **II.1. Introduction**

La couleur et la turbidité d'une eau de surface sont dues à la présence de particules. De très faible diamètre : les colloïdes. Leur élimination ne peut se baser sur la simple décantation.

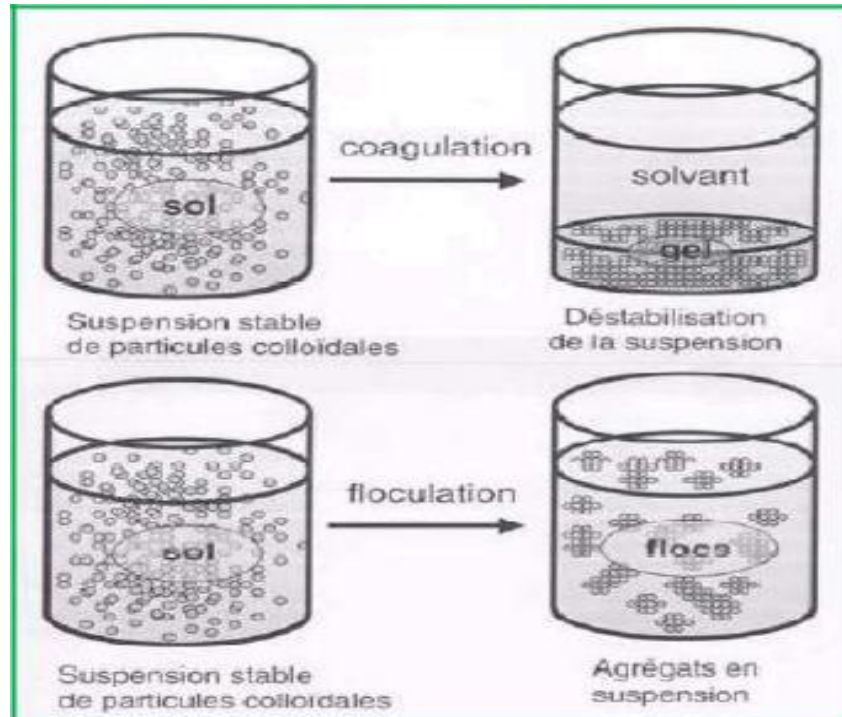
La coagulation et la floculation sont les processus qui permettent l'élimination des colloïdes. La coagulation consiste à les déstabiliser. Il s'agit de neutraliser leurs charges électrostatiques de répulsion pour permettre leur rencontre. La floculation rend compte de leur agglomération en agrégats éliminés par décantation et/ou filtration [1].

## **II.2. Traitement par coagulation floculation**

La coagulation résulte de l'addition de réactifs chimiques dans des dispersions aqueuses, afin d'assembler en floes plus gros les fines particules dispersées. Ces nouveaux agrégats (floes) peuvent être éliminés, après floculation, par des procédés tels la décantation ou la filtration.

La floculation est considérée ici comme processus distinct qui a lieu en fin de coagulation. Elle consiste à favoriser la croissance de floes macroscopiques, avec ou sans utilisation d'additifs tels les adjuvants de floculation. Bien que la floculation soit la conséquence naturelle de la coagulation, les deux procédés correspondent à des technologies spécifiques qui doivent être mises en œuvre selon des règles spécifiques de conception ; ceci signifie que la floculation doit être envisagée comme un processus à part entière.

La coagulation - floculation est un traitement de clarification très efficace dont l'objectif primordial est l'élimination de la portion non décantable des matières en suspension. Cette catégorie de substances est représentée essentiellement par les colloïdes, caractérisés par leur grande stabilité [5].



**Figure II.1 :** Exemple de Coagulation/ Floculation.

### II.3. Les particules en suspension

Les matières existantes dans l'eau peuvent se présenter sous les trois groupes suivants :

- Les matières en suspension qui regroupe les plus grosses particules, ces matières sont d'origine minérale ou organique et possèdent un diamètre supérieur à  $1\mu\text{m}$ . Leur temps requis pour décanter d'un mètre varie de quelques dixièmes de secondes à plusieurs jours selon leur diamètre et leur densité .
- Les matières colloïdales sont des MES de même origine mais de diamètre inférieur à 1 micron. Leur vitesse de décantation est pratiquement nulle. Les matières colloïdales d'origine minérale ont une densité relative de l'ordre 2,65 alors que celles d'origine organique ont une densité relative beaucoup plus faible, soit de l'ordre de 1,1.
- Les matières dissoutes, sont généralement des cations ou anions de quelques nanomètres de diamètre [6].

## II.4. Les colloïdes :

Les particules colloïdales sont des matières inertes ou vivantes (argiles, hydroxydes métalliques, micro-organisme, fibres, pulpes, protéines, etc....) qui ont une taille très petite comprise entre 1nm et 1 $\mu$ m [7].

L'origine des colloïdes est très diverse. On peut citer l'érosion des sols, la dissolution des substances minérales, la décomposition des matières organiques, le déversement des eaux résiduaires urbaines et industrielles ainsi que les déchets agricoles [1].

### II.4.1.Type de colloïdes :

Les particules colloïdales sont classées en deux catégories suivant leur comportement vis-à-vis de l'eau. Il s'agit des particules hydrophobes et hydrophiles.

#### II.4.1.1. Les colloïdes hydrophiles :

Les hydrophiles sont des micromolécules complexes à nombre élevé d'atomes, et qui englobent la plupart des corps de la chimie organique.

Les particules hydrophiles déshydratées se dispersent spontanément dans l'eau et sont entourées de molécules d'eau qui préviennent tout contact ultérieur entre ces particules. Parmi les substances de cette nature, on peut citer les protéines, les savons, la gélatine et la matière organique naturelle. Les colloïdes hydrophiles sont plus difficiles à déstabiliser que les solutions hydrophobes. En effet, il faut agir d'abord sur les molécules d'eau qui les entourent pour permettre leur agglomération [7].

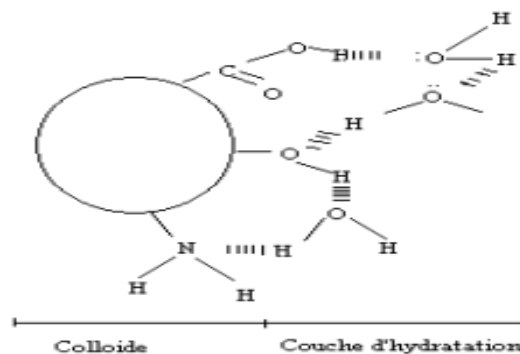


Figure II.2 : Représentation de colloïde hydrophile [9].

### II.4.1.2. Les colloïdes hydrophobes

Elles sont en général de nature minérale. Ils n'ont aucune affinité à l'eau pour les molécules d'eau. La formation d'une couche d'hydratation est impossible. Ce type de particules est en partie responsable de la turbidité.

Les colloïdes hydrophiles sont plus difficiles à déstabiliser que les solutions hydrophobes. En effet il faut agir d'abord sur les molécules d'eau qui les entourent pour permettre leur agglomération [10].

### II.4.2. Théorie de la double couche

Les colloïdes sont généralement chargés négativement. Afin de neutraliser cette charge négative de surface, des ions positifs présents dans l'eau brute ou ajoutés sont attirés et forment une couche autour du colloïde.

Diverses théories expliquent ce phénomène.

1. Théorie de Helmholtz,

2. Théorie de Gouy-Chapman,

3. Théorie de Stern.

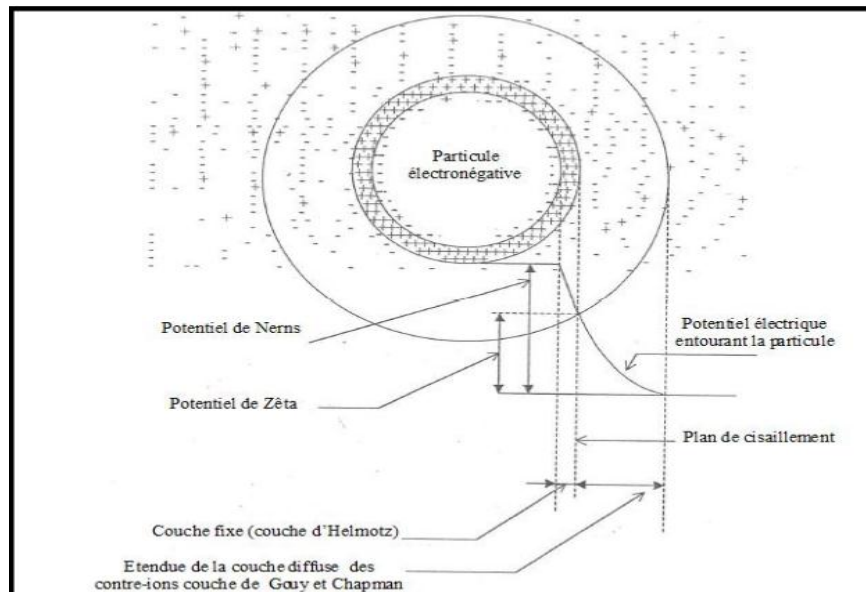
- Théorie de Helmholtz : une couche d'ions positifs recouvre intégralement la surface du colloïde et assure la neutralité de l'ensemble (couche fixée) ;
- Théorie de Gouy-Chapman : la couche d'ions positifs est inégalement répartie autour du colloïde ; la neutralité est obtenue à une plus grande distance (couche diffuse) [8].

### II.4.3. Stabilité des colloïdes

Les particules colloïdales dans l'eau possèdent une charge électrique qui est généralement négative. Comme elles ont toutes la même charge, elles se repoussent et n'ont pas tendance à former des agrégats plus gros et donc plus facile à éliminer. Elles demeurent donc stables. Les charges négatives superficielles attirent les ions positifs en solution dans l'eau ; ces derniers adhèrent fortement à la particule et attirent les ions négatifs accompagnés à leur tour d'une faible quantité d'ions positifs. Les ions fortement liés à la particule et qui se déplacent avec elle forme la couche fixe de Helmholtz. Les ions positifs qui adhèrent ainsi fortement à la particule, attirent à leur tour les anions accompagnés d'une faible quantité d'ions positifs formant ainsi la couche diffuse de Gouy et Chapman.

La couche fixe et la couche diffuse forment la double couche de Stern. Il y'a donc un gradient électrostatique entre la surface de la particule et la solution.

Le potentiel à la surface de la particule est appelé potentiel de Nernst. Le plan de cisaillement est la limite entre la partie de la solution qui se déplace avec la particule et la partie de la solution qui se déplace indépendamment de la particule. Le potentiel électrostatique mesuré au plan de cisaillement est appelé potentiel zêta [8].



**Figure II.3 :** Représentation schématique de la double couche d'une particule colloïdale [7].

#### II.4.4. déstabilisation des colloïdes

La déstabilisation est le procédé par lequel les particules stables en suspension sont modifiées de façon à leur conférer la possibilité de s'accoler entre elles ou encore de se fixer sur un support tel que des grains de sable d'un lit de filtration.

La stabilité des particules en suspension peut être rompue par l'ajout de réactifs chimiques appropriés qui réduisent ou éliminent les forces de répulsion, le système est alors dit déstabilisé. Par la suite, les particules déstabilisées sont mises en contact par une agitation mécanique extérieure, les collisions favorables favorisant la formation de flocs et d'agrégats.

La déstabilisation et l'agrégation font donc appel à une agitation externe pour favoriser le mélange des phases et promouvoir les collisions. La pratique consiste à mettre en œuvre deux séquences d'agitation : une agitation rapide qui favorise le mélange des réactifs et la

déstabilisation des particules, une phase d'agitation lente pour favoriser les collisions entre les particules déstabilisées et ainsi entraîner leur agrégation [12].

### II.5.Coagulation-floculation :

La coagulation-floculation facilite l'élimination des MES (Matières En Suspension) et des colloïdes en les rassemblant sous forme de floes dont la séparation s'effectue par décantation, flottation et/ou filtration. C'est donc un traitement physique qui permet d'éliminer tous ou une partie des polluants des effluents notamment les fractions particulaires inertes ou vivantes, les fractions floculables des matières organiques et de certains métaux lourds, les micropolluants associés aux MES et les macromolécules colloïdales [11].

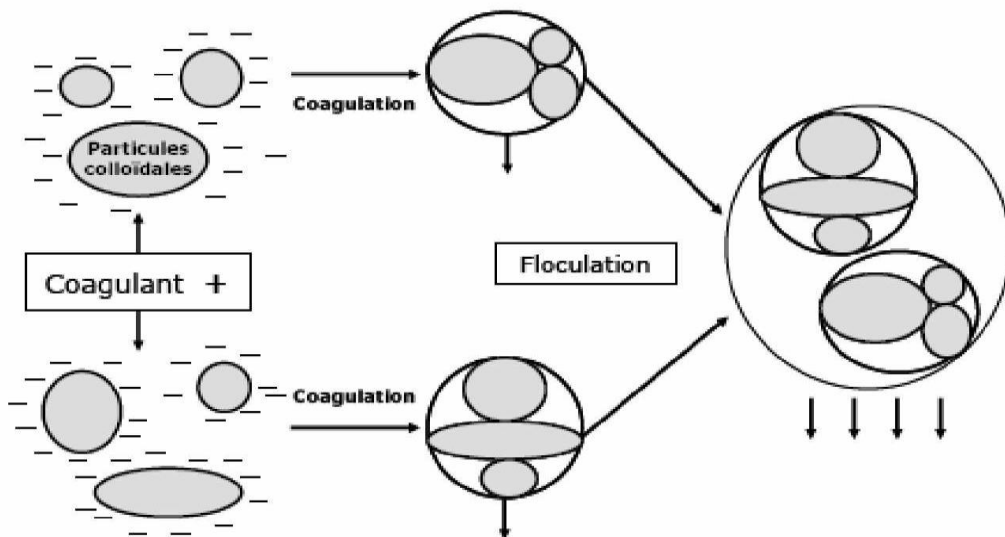


Figure II.4 : Coagulation / Floculation [5].

**Tableau II.1 : Les étapes de l'agrégation [5].**

Stade	Phénomène	Terminologie
Ajout du coagulant	Réaction avec l'eau : ionisation, hydrolyse, polymérisation.	Hydrolyse
Déstabilisation	Compression de la double couche électrique.	Coagulation
	Adsorption spécifique d'ions du coagulant à la surface de la particule.	
	Inclusion du colloïde dans un précipité d'hydroxyde.	
	Liaison interarticulaire par des espèces polymériques du coagulant.	
Transport de la particule (contact entre les particules)	Mouvement brownien.	Floculation Péricinétique
	Energie dissipée (gradient de vitesse).	Floculation orthocinétique

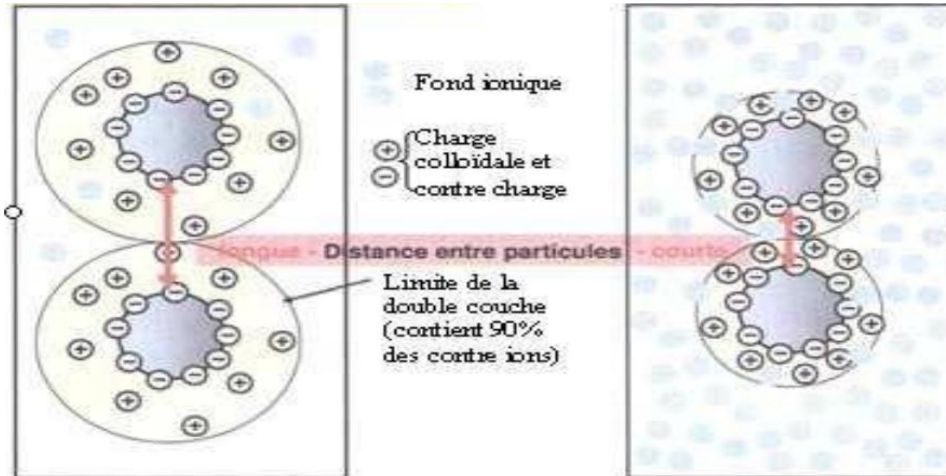
### II.5.1. Modes de déstabilisation des particules colloïdales

Quatre mécanismes sont proposés pour expliquer la déstabilisation des particules et leurs agglomérations :

- ✓ Compression de la double couche,
- ✓ Adsorption et neutralisation des charges,
- ✓ Emprisonnement des particules dans un précipité,
- ✓ Adsorption et pontage entre les particules.

### II.5.1.1. La compression de la double couche

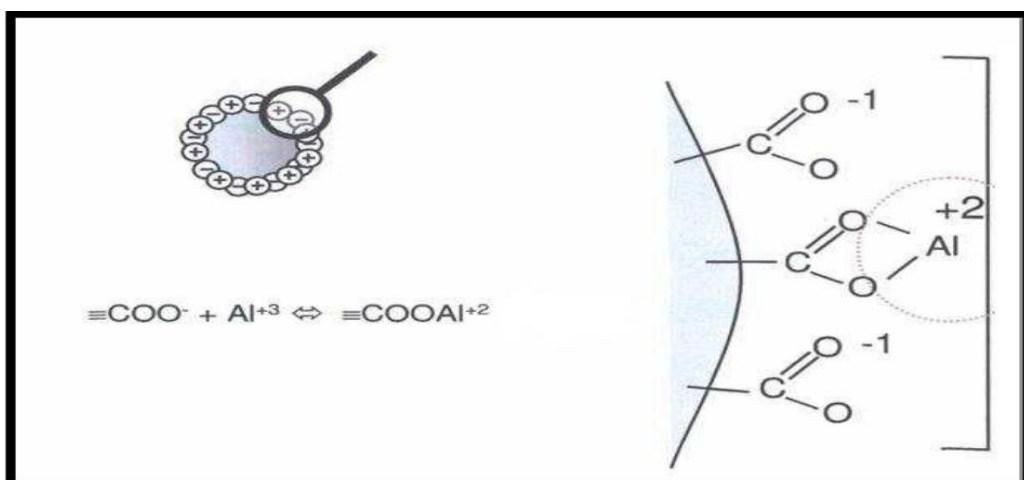
L'augmentation de la force ionique de l'eau réduit le volume et l'épaisseur de la couche diffuse. Les forces de répulsion sont considérablement réduites alors que les forces d'attraction de van der Waals ne sont pas affectées [9].



**Figure II.5 :** Représentation schématique de la compression de la couche diffuse.

### II.5.1.2. Adsorption et neutralisation des charges

Ce mécanisme repose sur l'ajout suffisant de cations afin de neutraliser la charge négative des particules stables par adsorption des cations sur leur surface. Par contre, la surdose de coagulant, source de cations, peut résulter en une adsorption trop importante de cations et inverser la charge des particules qui devient alors positive [7].

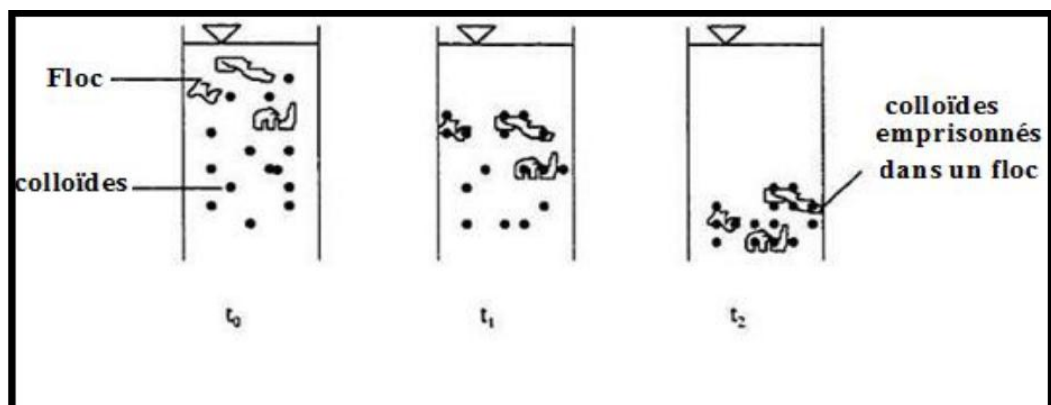


**Figure II.6 :** Représentation schématique de neutralisation des charges

### II.5.1.3. Emprisonnement des particules dans un précipité

Pour déstabilisation les particules colloïdales. On peut en outre les emprisonner dans une particule floc lorsqu'on ajoute en quantité suffisante des coagulants, habituellement des sels de métaux trivalents,  $Al_2(SO_4)_3$  ou  $FeCl_3$ , on obtient un précipité appelé floc. Lorsque le pH de l'eau est situé dans une plage acide ou neutre, le floc, constitué de molécules de  $Al(OH)_3$  ou de  $Fe(OH)_3$  possède habituellement une charge positive. La présence de certains anions et de particules colloïdal accélère la formation du précipité.

Les particules colloïdales jouent le rôle de noyaux lors de la formation du floc ; ce phénomène peut entraîner une relation inverse la turbidité et la quantité de coagulant requise. En d'autres mots, une concentration importante de particules en suspension peut entraîner une diminution de la quantité de coagulant nécessaire [9].

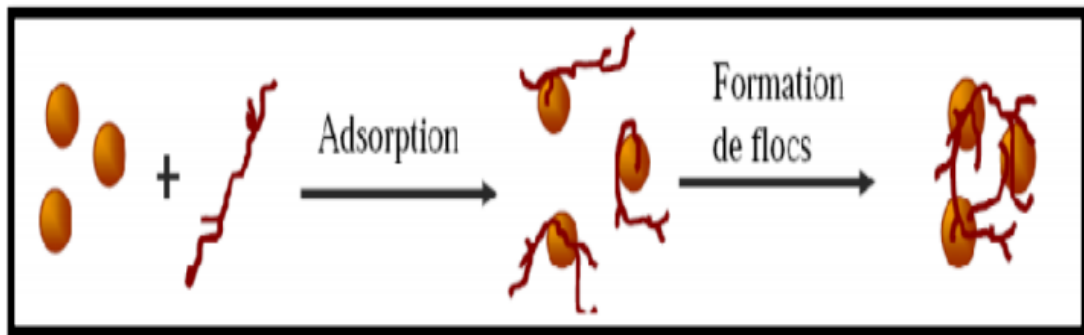


**Figure II.7 :** Emprisonnement des particules dans les floes pendant la décantation [7].

### II.5.1.4. Adsorption et pontage entre les particules

Dans quelques cas, on a obtenu le traitement le plus économique en utilisant un polymère anionique lorsque les particules étaient chargées négativement. Ce phénomène, inexplicable à l'aide de la théorie électrique, peut toutefois être expliqué par le "pontage". Les molécules de polymère, très longue contiennent des groupes chimique qui peuvent adsorber des particules colloïdale à une de ses extrémité, alors que d'autres sites sont libre pour adsorber d'autre particules. On dit alors que les molécules polymères forment des "ponts" entre les particules colloïdal. Il peut y avoir restabilisation de la suspension, imputable à une concentration excessive de polymères de polymères s'accrochent à une même particules colloïdale. Cet

ensemble particule–molécule de polymères ne peut plus par la suite absorber d'autres particules colloïdal , ce qui est encore contraire au but recherché [9].



**Figure II.8** : Adsorption et pontage à l'aide d'un polymère.

### II.5.2. La mise en œuvre de la coagulation-floculation

Il faut associer dans un temps assez court, deux phases distinctes et incompatibles. En effet, les conditions de mise en œuvre de la coagulation sont différentes de celles de la floculation. On distingue les deux phases suivantes :

- Première phase : mélange rapide et vigoureux,
- Deuxième phase : mélange lent.

Dans un premier temps, un mélange rapide est nécessaire pour disperser les additifs dans la totalité du volume d'eau à traiter. L'injection se fait dans une zone de turbulence créée par des chicanes ou par mélange mécanique avec des pâles ou hélices. La deuxième phase favorise les contacts entre les particules de floccs sans les léser. Le mélange doit être néanmoins assez énergétique pour engendrer des différences de vitesse dans le bassin nécessaire à la rencontre des particules [7].

### II.5.3 .Les coagulants utilisés

Les coagulants sont des produits qui neutralisent les charges de surface des matières colloïdales. Les coagulants principalement utilisés pour déstabiliser les particules colloïdales.

L'efficacité de la clarification dépend d'abord du coagulant utilisé. Les coagulants les plus efficaces sont des sels de métaux, à bases d'aluminium ou de fer [7].

### II.5.3.1. Les sels d'aluminium

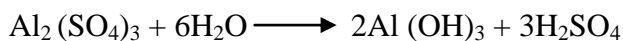
**Tableau II.2 : Dérivés des sels d'aluminium et de fer [13].**

Sels d'aluminium	Formule chimique	Sels de fer	Formule chimique
<b>Sulfate d'aluminium</b>	$Al_2(SO_4)_3$	Sulfate ferrique	$Fe_2(SO_4)_3$
<b>Chlorure d'aluminium</b>	$AlCl_3$	Chlorure ferrique	$FeCl_3$
<b>Aluminate de sodium</b>	$NaAlO_2$	Sulfate ferreux	$FeSO_4$

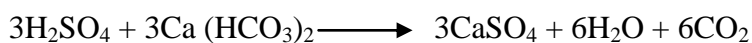
#### ✓ Le sulfate d'aluminium

Le sulfate d'aluminium est le plus utilisé en coagulation. C'est un sel basique, hydraté, commercialisé sous la forme solide  $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$  il se dissocie dans l'eau en ions aluminium et sulfate, conduisant à des réactions chimiques avec les ions hydroxydes de l'eau. Suivant la turbidité de l'eau, la dose sera comprise entre 15 à 100 g/m<sup>3</sup> [8].

En effet, l'ion aluminium réagit sur l'eau pour former l'hydroxyde d'aluminium qui précipite sous la forme d'un floc volumineux.



Il se forme un acide qui réagit avec le bicarbonate présent dans l'eau.



La réaction globale est :

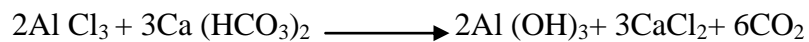




**Figure II.9** : Le sulfate d'aluminium en poudre [14].

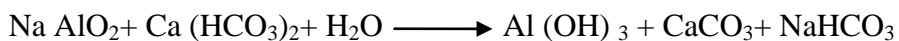
✓ **Le chlorure d'aluminium**

Suivant la turbidité de l'eau, la dose sera comprise entre 12 et 40 g/m<sup>3</sup>. La formule de réactif commercial de chlorure d'aluminium est AlCl<sub>3</sub>, 6 H<sub>2</sub>O



✓ **L'alumine de sodium**

Suivant la turbidité de l'eau, la dose sera comprise entre 5 et 50 g/m<sup>3</sup>. La formule de réactif commercial d'aluminate de sodium est à 50% d'Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>



**II.5.3.2. Les sels de fer**

En général, les composés du fer semblent avoir de légers avantages comparativement aux autres et ces, grâce au fait que le floc formé soit lourd et se dépose facilement sous des conditions favorables.

✓ **Le sulfate ferrique**

Suivant la turbidité de l'eau, la dose de sulfate ferrique sera comprise entre 10 et 50 g/m<sup>3</sup>

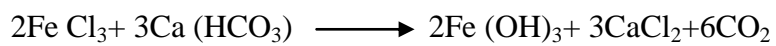




**Figure II.10 :** Le sulfate ferrique en poudre [14].

✓ **Le chlorure ferrique**

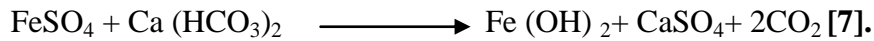
La dose de chlorure ferrique sera comprise entre 5 et 150 g/m<sup>3</sup>, pour la clarification des eaux de surface, et entre 50 et 300 g/m<sup>3</sup>t pour la clarification les eaux résiduaires.



**Figure II.11 :** Le chlorure ferrique en poudre.

### ✓ Le sulfate ferreux

Suivant la turbidité de l'eau, la dose de sulfate ferreux sera comprise entre 5 et 25 g/m<sup>3</sup>



#### II.5.4. Les facteurs influençant sur la coagulation-floculation

Pour optimiser Le procédé de coagulation-floculation, il faut tenir compte de plusieurs variables en relation, comme le pH, la dose de coagulant, les conditions de mélange et la température [5].

##### II.5.4.1. Influence du paramètre pH

Le pH est considéré comme un des facteurs les plus importants à prendre en considération au moment de la réalisation de l'opération de coagulation-floculation. Le pH a une influence primordiale sur la coagulation.

Il est d'ailleurs important de remarquer que l'ajout d'un coagulant modifie souvent le pH de l'eau. Cette variation est à prendre en compte afin de ne pas sortir de la plage optimale de précipitation du coagulant. La plage du pH optimal est la plage à l'intérieur de laquelle la coagulation a lieu suffisamment rapidement. En effet, une coagulation réalisée à un pH non optimal peut entraîner une augmentation significative du temps de coagulation. En général, le temps de coagulation est compris entre 15 secondes et 3 minutes. Le pH a également une influence sur l'élimination des matières organiques [14].

##### II.5.4.2. Influence de la température

L'influence de la température n'est pas bien définie mais il a été observé que lorsque l'eau est froide, les floes se décantent plus difficilement. Car, la diminution de la température entraîne une augmentation de la viscosité [15].

##### II.5.4.3. Influence de la dose de coagulant

La dose de réactif est un paramètre à prendre en compte. Le coagulant qui est habituellement fortement acide a tendance à abaisser le pH de l'eau. Pour se placer au pH optimal, il est possible d'ajouter un acide ou une base.

Une dose de coagulant excessive entraîne une restalinisation des particules et augmentation du coût d'exploitation, tandis qu'un dosage insuffisant conduit à une qualité de l'eau traitée insuffisante. La quantité de réactifs ne peut se déterminer facilement.

Pratiquement, la dose optimale de coagulant peut être déterminée soit par l'emploi de la mesure du potentiel zêta (nécessite un matériel très coûteux), soit par un test au laboratoire, connu sous le nom de "Jar-Test" [14].

#### **II.5.4.4. Vitesses et temps d'agitation**

Lors de l'introduction du coagulant dans l'eau, on procède à une agitation rapide pour la dispersion et l'homogénéisation de la solution. Mais une agitation intense empêche l'agrégation des particules, tandis qu'une agitation prolongée, permet l'effraction des liaisons entre coagulant et la surface des particules, et le rabattement ultérieur des segments étendus sur la surface des particules [11].

#### **II.5.4.5. L'influence de la turbidité**

La turbidité est, elle aussi, un paramètre influant sur le bon fonctionnement du procédé de coagulation. Dans une certaine plage de turbidité, l'augmentation de la concentration en particules doit être suivie d'une augmentation de la dose de coagulant [9].

#### **II.5.4.6. Influence des sels dissous**

Dans la coagulation et la floculation, les sels dissous dans une eau modifient la plage de pH optimale, le temps requis pour la floculation, la quantité de coagulant requis et la quantité résiduelle de coagulant dans l'effluent [13].

### **II.6. Les type de floculation**

On distingue trois types de floculation selon le type de mouvement qui anime les particules dans la suspension :

#### **✓ Floculation rapide ou pré cinétique (mouvement brownien)**

Les contacts entre les particules sont causés par le mouvement aléatoire de celles-ci, dit mouvement brownien qui est fonction de la température de l'eau.

✓ **Floculation lente ou ortho cinétique (brassage mécanique)**

C'est la floculation provoquée par l'agitation de l'eau. Elle est donc causée par le brassage de l'eau qui permet d'augmenter les chances de contacts entre les particules [16].

✓ **Floculation par entraînement**

Elle se produit dans une solution qui décante quand les grosses particules, tombant plus vite, entraînant les plus petites avec eux.

## **II.7. Les flocculants (adjuvants de coagulation)**

Les flocculants ou les adjuvants sont, dans leur grande majorité, des polymères de poids moléculaire très élevé. Ces polymères emprisonnent les matières colloïdales agglomérées et forme ainsi des flocons volumineux qui se déposent par gravité.

➤ **Flocculants minéraux**

Il s'agit essentiellement de la silice activée, préparée (en continu ou discontinu) en neutralisant partiellement l'alcalinité d'une solution de silicate de sodium par un acide ( $H_2SO_4$  le plus souvent, mais aussi  $HCl$ ,  $NaHCO_3$ , sulfate d'aluminium, eau de chlore, etc).

➤ **Flocculants organiques**

- **D'origine naturelle**

On utilise surtout l'acide alginique ou ses sels, les alginates de sodium (polymères anioniques linéaires), plus simples à mettre en œuvre, mais souvent moins actifs que la silice activée (sauf lorsque le coagulant est un sel de fer). Formes commerciales : Aqualgine, Sobalgine, Cellalgine, etc.

- **D'origine synthétique**

Ce sont des polyélectrolytes anioniques, cationiques ou non ioniques, à très haute masse molaire ( $10^6$  à  $10^7$ ) ; il s'agit de polyacrylates, polyacrylamides, polyamines, polyéthylèneimines, etc ; ce sont les plus efficaces des flocculants et beaucoup d'entre eux sont maintenant officiellement agréés pour leur utilisation dans le traitement des eaux potables, du

moins en ce qui concerne les anioniques et les non ioniques ; ceux-ci sont donc utilisables dans toutes les industries, pour la préparation d'eaux de tous types.

## **II.8. Conclusion**

Le procédé de coagulation-floculation est un ensemble de traitements qui visent à optimiser l'élimination des particules en suspension non décantables. Ces Traitements favorisent l'agrégation des particules colloïdales en larges et denses agrégats. Ils se déroulent en deux étapes principales à savoir la déstabilisation des particules et la collision des particules déstabilisées pour former des agrégats volumineux. La déstabilisation et l'agrégation sont des phénomènes physico - chimiques.

**CHAPITRE III :**  
**PARTIE EXPERIMENTALE**

### III.1. Introduction

L'objectif principal de ce chapitre est de décrire les analyses physico-chimiques et microbiologiques réalisées sur le lixiviat brut et qui ont subi un traitement par coagulation pour récupérer le surnagent, cela pour contrôler l'efficacité d'élimination de la matière minérale et organique ainsi que la qualité microbiologique de surnagent.

### III.2. Echantillonnage

Le lixiviat brut est obtenu à partir du centre d'enfouissement technique CET. Les échantillons ont été prélevés d'une façon simple dans des flacons à partir des bassins de lagunage dans lesquels les lixiviats sont stockés. Ensuite ils ont été transportés au laboratoire.



**Figure III.1** : Lixiviat prélevé.

### III.3. Coagulants utilisés

L'efficacité de la clarification par procédés de coagulation-floculation dépend d'abord du coagulant utilisé. Les coagulants les plus généralement efficaces et utilisés sont des sels de métaux, à bases d'aluminium ou de fer. Pour l'utilisation des sels de métaux à base de fer à dose élevée induit souvent une coloration rouille de l'eau traitée, c'est le principal inconvénient de ces produits.

#### ❖ Quelques propriétés de Sulfate d'aluminium

-Sa formule générale est :  $Al_2(SO_4)_3, n H_2O$ ,

-Produit commercial  $n = 14$ , produit pur  $n = 18$ ,

-Il est disponible sous différentes formes solides (selon les fabricants),

- Il peut se présenter sous forme de :

- ✓ Concassé, morceaux de 10 cm de large et de 1 cm d'épaisseur environ,
- ✓ Noisette, granulométrie comprise entre 2 et 12 mm ou 3 et 35 mm,
- ✓ Poudre, granulométrie courante de 0,1 à 3 mm,
- ✓ Solution aqueuse à 8,2% d' $\text{Al}_2\text{O}_3$  (oxyde d'aluminium ou Alumine),
- ✓ Solution à 600 ou 720 g/L environ de sulfate d'alumine cristallisé.

#### \*Quelques propriétés de Chlorure ferrique

-Sa formule à l'état pur est  $\text{FeCl}_3$ ,

-Il se présente sous forme cristallisée ( $\text{FeCl}_3$  ou  $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ),

-Pour le traitement des eaux, il est uniquement utilisé sous forme de solution aqueuse d'environ 592 g/L (41 % en  $\text{FeCl}_3$ , en poids),

-Il est stocké en bonbonnes, en containers ou citernes.

### III.4. Description d'un essai de coagulation-floculation

L'essai de coagulation-floculation s'effectue en réalisant les étapes suivantes :

#### a) Préparation des solutions mère de lixiviat

Deux volumes de 100 mL de lixiviats brut dont le pH est égal à 8,30 sont mis dans deux béchers. Leurs pH sont ajustés à  $3,5 \pm 0,2$  avec ajout de quelques gouttes de HCl (6M) pour le premier lixiviat et de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  (6M) pour le deuxième.

#### b) Préparation des solutions coagulantes

Deux solutions coagulantes de  $\text{FeCl}_3$  et  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$  à concentration massique de 10% pour chacune sont obtenues par dissolution de 10 g de coagulant dans 100 mL d'eau distillée.

#### c) Traitement de lixiviat

Les deux solutions de lixiviat sont mélangées avec les deux solutions coagulantes séparément et agitées à 250 tr/min pendant 5 min. En fin d'opération, le pH de mélange est réajusté entre 7 et 8 grâce à une solution concentrée de NaOH (6M) afin de favoriser la formation des floccs

d'hydroxyde de fer et d'aluminium. Selon les manips réalisées tous les pH de réajustement étaient de l'ordre de  $7,5 \pm 0,2$ . Les deux mélanges obtenus sont décantés pendant 6 heures ensuite filtrés via des papiers filtres. Les surnageants récupérés sont transférés pour quantifier les matières en suspension (MES), tandis que les floccs i.e. les boues sont séchés dans une étuve à  $105^{\circ}\text{C}$  pendant 6 heures ensuite pesés par biais d'une balance analytique et analysés.



**Figure III.2 :** dispositif expérimental.

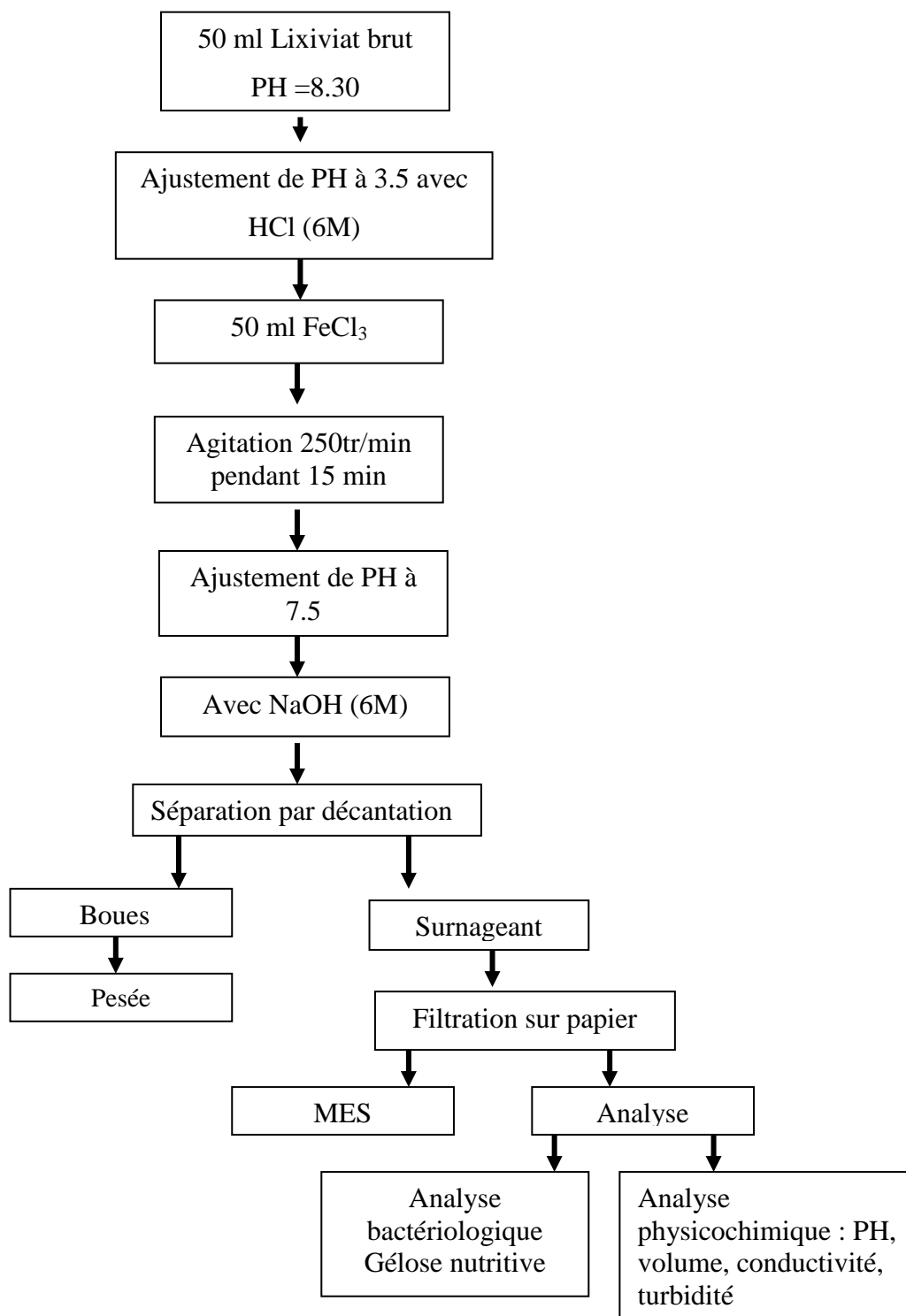


**Figure III.3 :** La boue récupérée après décantation.



**Figure III.4 :** Les surnageants récupérés après décantation.

Le schéma suivant décrit les différentes étapes réalisées lors d'un essai de coagulation-floculation.



**Figure III.5 :** Schéma de traitement de lixiviat par le procédé de coagulation-floculation en utilisant le chlorure ferrique (FeCl<sub>3</sub>) comme coagulant.

### III.5. Méthodes d'analyses

#### III.5.1. Analyses physicochimiques

L'évaluation de l'efficacité du traitement a été prouvée par plusieurs analyses physico-chimiques de lixiviat brut et traité par le procédé coagulation-floculation. Les analyses effectuées après chaque manipulation, dans l'ensemble, sont :

##### a. pH

Les valeurs de pH ont été mesurées au laboratoire par un pH-mètre de type Hanna Instruments. Le pH de la solution de lixiviat est mesuré sous agitation magnétique et à température ambiante.

##### b. Conductivité

La conductivité électrique mesure l'aptitude d'une solution aqueuse à permettre le passage d'un courant électrique suite au déplacement libre des conducteurs électriques comme les sels et les métaux lourds (fer, cuivre, zinc, plomb, chlorure, sulfate, sodium etc.). L'unité de conductivité est le micro-siemens par centimètre ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ). Elle est mesurée au laboratoire à l'aide d'un conductimètre de type Hanna instrument.

##### c. Turbidité

La turbidité représente l'opacité d'un milieu trouble. C'est la réduction de la transparence d'un liquide due à la présence de matière non dissoutes. Elle est causée, dans les eaux, par la présence des matières en suspension (MES) fines, comme les argiles, les grains de silice et les micro-organismes. Une faible part de la turbidité peut être due également à la présence des matières colloïdales d'origine organiques ou minérale. Son unité est exprimée en Néphélométrie Turbidité Unit (NTU).

Les différentes classes de turbidité en fonction de la qualité visuelle de l'eau sont [1] :

- $\text{NTU} < 5$  : eau claire,
- $5 < \text{NTU} < 30$  : eau légèrement trouble,
- $\text{NTU} > 50$  : eau trouble.

L'unité de mesure adoptée par la norme ISO est le FNU (méthode néphélométrique à la formazine) et le NTU par l'EPA (unité de turbidité néphélométrique). Les deux autres méthodes utilisées pour tester la turbidité et leurs unités de mesure sont les suivantes : JTU (unité de turbidité Jackson) et l'unité de silice (mg/L SiO<sub>2</sub>).



**Figure III.6** : Turbidimètre utilisé pour les mesures de turbidité des surnageants.

**d. Matières en suspensions (MES)**

Les matières en suspension (MES) ont été déterminées par centrifugation. Un volume de surnageant est centrifugé, et le culot est recueilli dans un creuset, puis séché à l'étuve à 105°C pendant 6 heures. Le poids des matières en suspension est déterminé par pesée différentielle. La teneur de surnageant en matières en suspension est exprimée en g/L et elle est calculée en appliquant la formule suivante [1] :

$$MES = \frac{Pf - Pi}{V} \times 1000 \quad (g/L)$$

D'où :

Pi : Poids du creuset taré (g).

Pf : Poids final du creuset après séchage à l'étuve pendant 6 heures à 105°C (g).

V : Volume centrifugé (L).

**III.5.2. Analyses bactériologiques:**

L'analyse bactériologique a pour but la recherche et le dénombrement des germes existant dans les échantillons d'eau à analyser. Il faut signaler qu'un examen bactériologique ne peut être

interprété que s'il est effectué sur un échantillon correctement prélevé dans un récipient stérile, selon un mode opératoire précis évitant toutes les contaminations accidentelles, correctement transporté au laboratoire et analysé sans délai ou après une courte durée de conservation dans des conditions satisfaisantes .

L'image suivante représente des échantillons de surnageant préparés pour faire des analyses bactériologiques.



**Figure III.7:** Echantillons de surnageant préparés pour analyse bactériologique.

## Qualité bactériologique d'une eau

### Objectif

Isoler et dénombrer des microorganismes qui se trouvent dans un échantillon d'eau par la méthode des dilutions.

### Mode opératoire

#### a. Précautions générales de travail

- Tous les objets utilisés doivent être stériles.
- La paillasse doit être lavée à l'eau de javel.
- Le travail doit s'effectuer dans la zone de protection du bec benzène, à l'abri des courants d'air.
- Il faut flamber les goulots des tubes et flacons après leur ouverture et avant leur fermeture.
- Les boîtes de pétri doivent être ouvertes en maintenant le couvercle à l'oblique avec ouverture du côté de la flamme.

- Pour le prélèvement, on utilise les flacons en verre stériles. Les flacons sont ouverts sous l'eau et remplis jusqu'au bord, ensuite le bouchon est également placé sous l'eau.
- Il faut faire un étiquetage dans le point de prélèvement (date et heure de prélèvement, nom du point d'eau).
- Les flacons sont conservés dans une glacière à une température approximative de 4°C et transportés au laboratoire dans les plus brefs délais au moins de 24 heures.

### **b. Recherche des flores totales**

Le milieu de culture utilisé est la gélose nutritive à ph 7. l'incubation des boites est faite à 37 °C pendant 24 heures.

La flore mésophile aérobie totale est un indicateur sanitaire qui permet d'évaluer le nombre d'UFC (unité formant une colonie) présents dans un produit ou sur une surface. Ce dénombrement se fait à 30°C ce qui permet de dénombrer trois grands types de flore :

- La flore thermophile, température optimale de croissance à 45°C.
- La flore mésophile, température optimale de croissance entre 20°C et 40°C.
- La flore psychrophile, température optimale de croissance à 20 °C.

### **c- Méthode d'analyse**

En milieu ordinaire, 1 ml de la solution mère est prélevé avec une pipette graduée, et transverse dans un tube contenant 9 ml d'eau distillée stérile afin de réaliser une dilution.

L'opération est renouvelée en changeant de pipette et en versant de nouveau 1 ml dans un nouveau tube contenant 9 ml d'eau distillée stérile, et ainsi de suite, jusqu'à ce que la concentration en bactéries devienne relativement faible. Les tubes sont homogénéisés entre chaque dilution afin d'avoir une égalité statistique entre les tubes, 1 ml de la dernière solution est jetée.

La méthode utilisée est l'incorporation en gélose nutritive, 1 ml d'eau à analyse est placée en trois tubes à essai contenant 9 ml d'eau distillée stérile, après la dilution, on ajoute 1 ml de chaque tube dans une boîte de pétri contenant la gélose nutritive à l'état solide, on ferme la boîte de pétri et on incube soit à la température de 37°C, soit à 22°C pour la détection des germes .après incubation, le nombre de colonie développant sur le milieu est compté. On considère que les colonies sont

dénombrables si leur nombre est compris entre 30 et 300 au dessus de 300 elles sont indénombrables, et en dessous de 30 on considère qu'elles sont trop rares pour être dénombré.

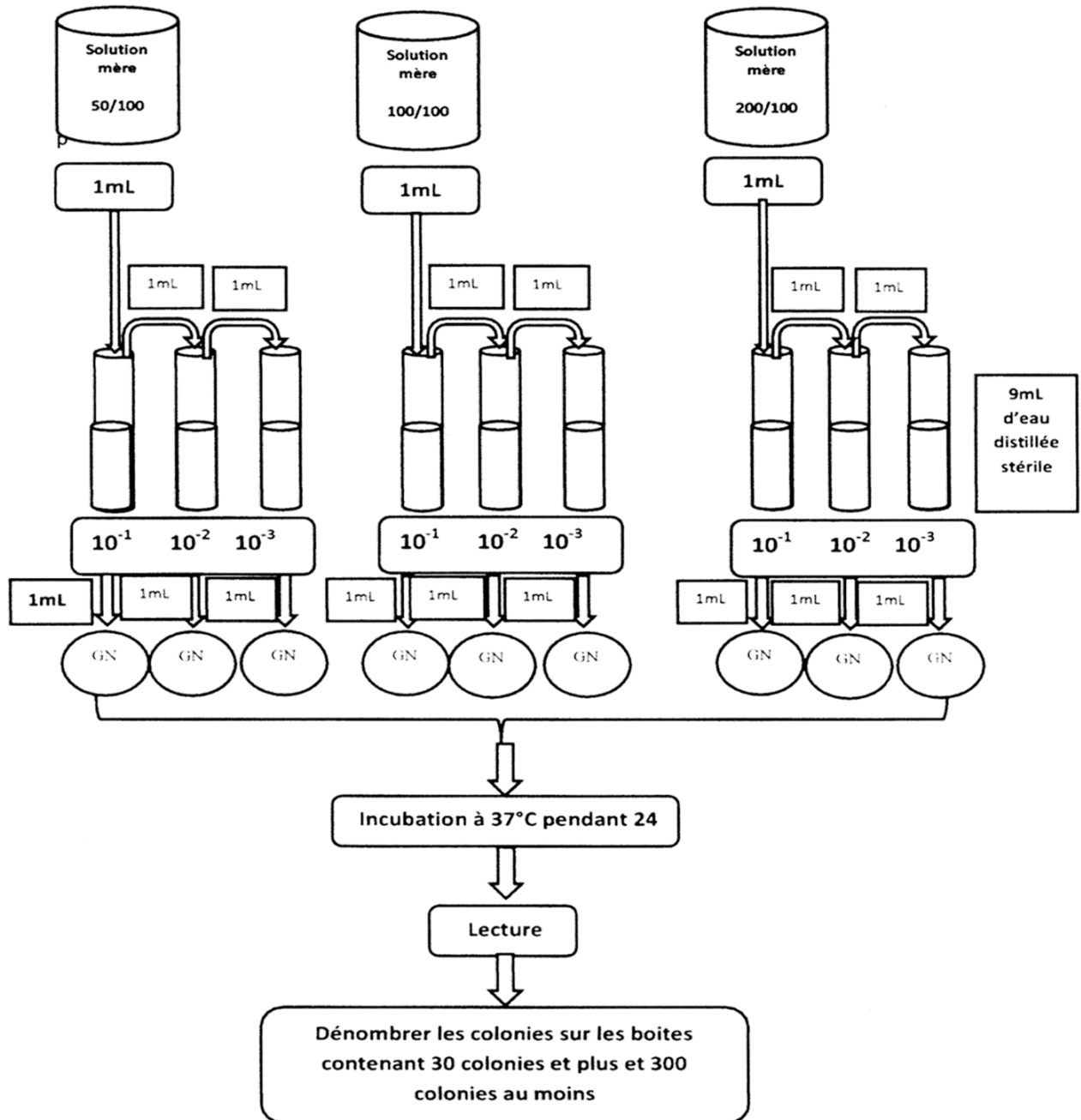


Figure III.8 : Méthode de dénombrement et recherche des flores totaux.

### **III.6. Conclusion**

Le procédé de coagulation-floculation est une alternative intéressante pour le traitement des effluents liquides. La détermination des conditions optimales est basée sur la multiplication des expériences et le suivi des paramètres d'analyses physicochimiques ainsi que bactériologiques.

**CHAPITRE IV :**  
**RESULTATS ET DISCUSSIONS**

## IV.1 Introduction

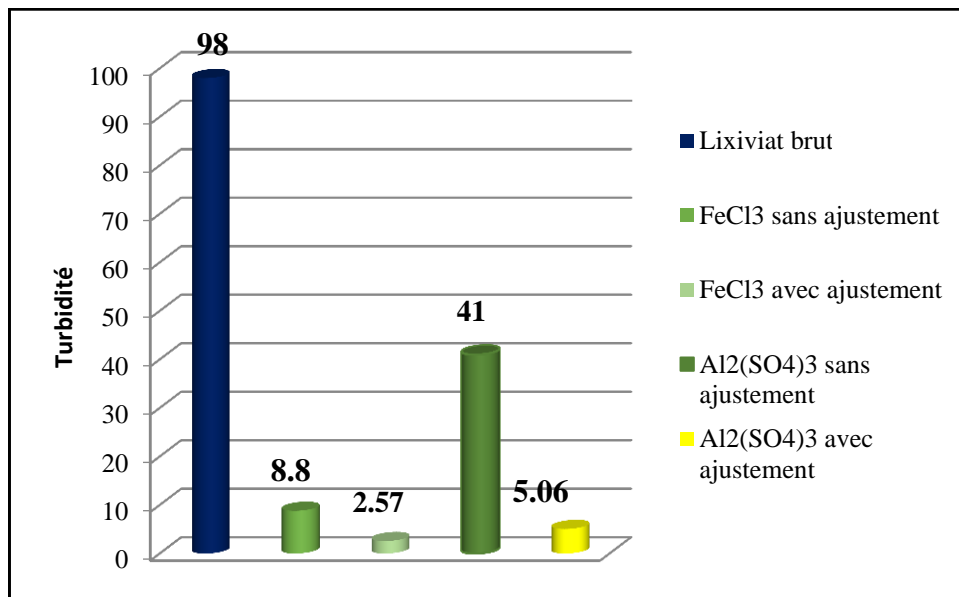
L'étude des variations de la composition physicochimique des lixiviats au cours du temps apporte d'importantes informations sur l'évolution de la dégradation des déchets. L'exploitation des résultats a été faite par étude de l'effet de plusieurs paramètres sur le degré de clarification de lixiviat et selon la démarche suivante :

- i. Effet de pH du milieu,
- ii. Effet de la dose et la nature de coagulant,
- iii. Effet du temps d'agitation,
- iv. Effet du rapport volume coagulant/volume lixiviat,

L'étude de ces effets a été validée via des analyses physicochimiques et d'autres bactériologiques.

## IV.2. Effet d'ajustement de pH de la phase d'alimentation : avec deux coagulants et avec une seule dose (10%)

❖ L'histogramme de la figure suivante montre que la turbidité des surnageants récupérés après traitement de lixiviat par deux types de coagulant ; chute significativement et ce d'autant que le pH du milieu est ajusté. L'ajustement a été réalisé par acidification de lixiviat pur à une valeur de  $\text{pH} = 3,5 \pm 0,2$  avant ajout de coagulant et à  $\text{pH} = 7,5 \pm 0,2$  après ajout de coagulant.



**Figure IV.1 :** Valeurs de turbidité des surnageants comparées à celle de lixiviat pur pour une dose de 10% de coagulant FeCl<sub>3</sub> et Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> .18 H<sub>2</sub>O.

-Sans aucun ajustement de pH : la turbidité chute de 91,02% en présence de  $\text{FeCl}_3$  et de 58,16% en présence de  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18 \text{H}_2\text{O}$ .

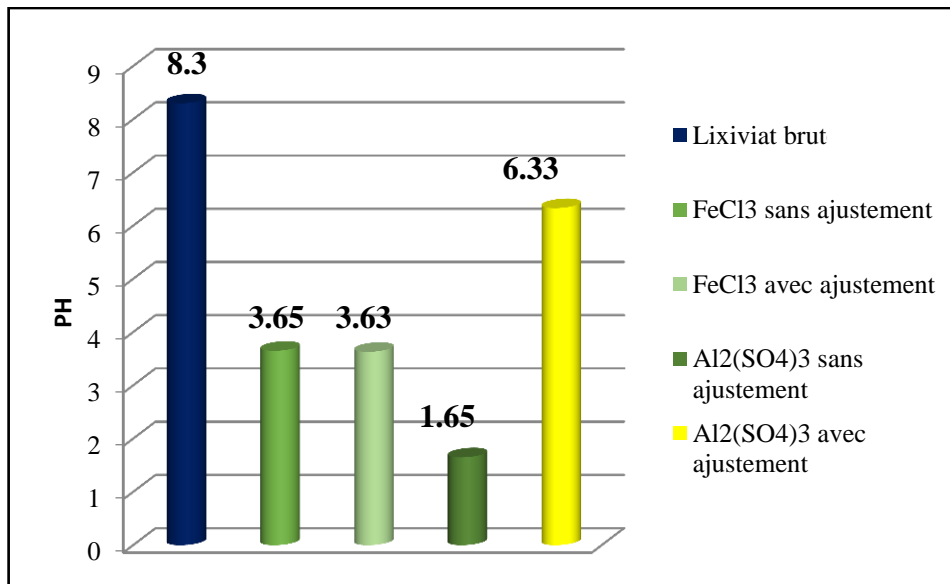
-Avec ajustement de pH de milieu : la turbidité chute de 97,37% en présence de  $\text{FeCl}_3$  et de 94,83% en présence de  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18 \text{H}_2\text{O}$ .

Les chutes sont plus importantes en présence de chlorure ferrique par rapport au sulfate d'aluminium, ceci signifie que les chlorures de fer sont plus performants que les sels d'aluminium, et c'est ce qui a été signalé par la plupart des auteurs.



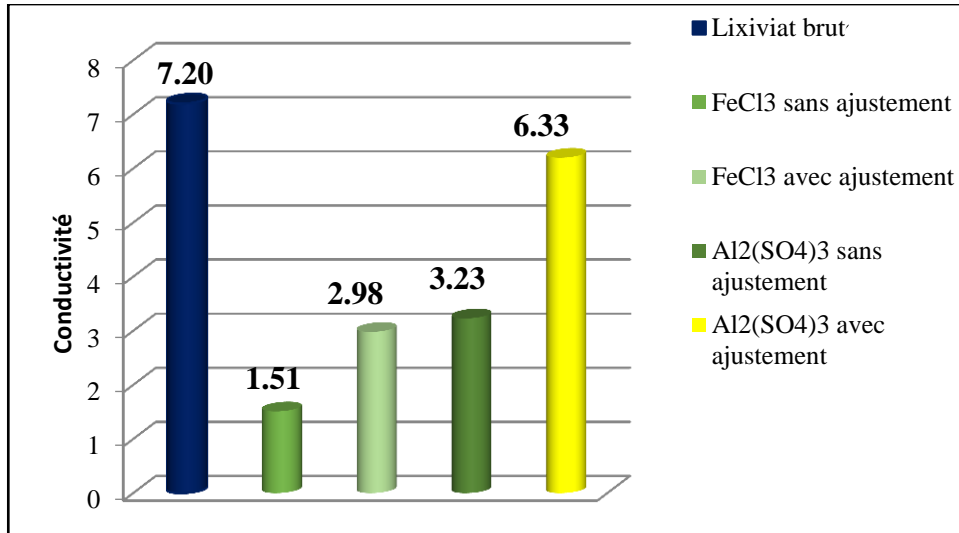
Il ressort de la figure (IV.2) que les valeurs de pH des surnageants issus des lixiviats traités avec des milieux dont leur pH est ajusté ; sont proches de 7 ceci est dû à la stabilité du mécanisme de floculation.

Les valeurs finales de pH des surnageants subissant un traitement sans ajustement de milieu sont acides, elles sont 3,65  $\text{FeCl}_3$  et 1,65  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18 \text{H}_2\text{O}$  respectivement. L'explication probable est l'interaction des deux agents coagulants introduits dans la solution avec la composition de lixiviat brut résultant un milieu acide du surnageant.



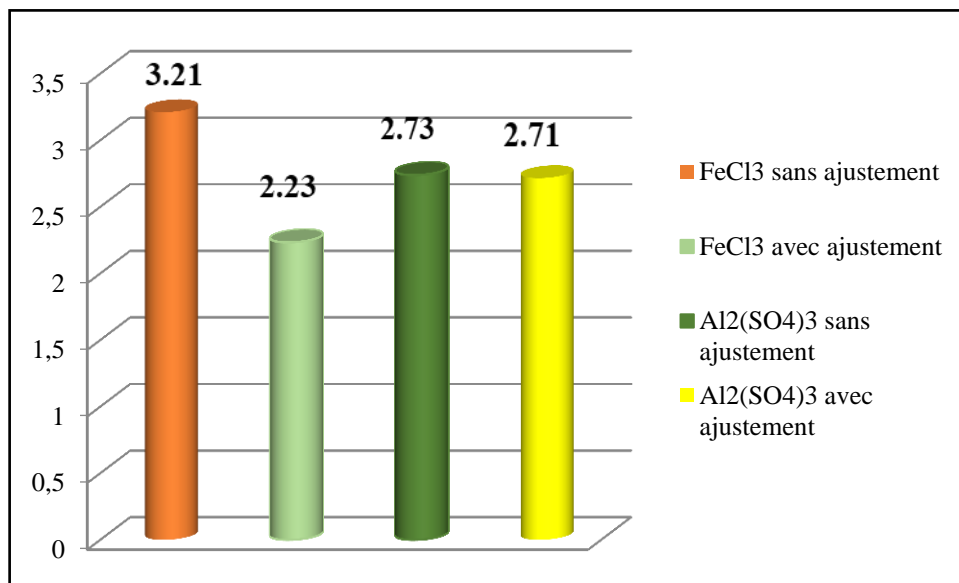
**Figure IV.2 :** Les valeurs de pH des surnageants comparées à celle de lixiviat pur pour une dose de 10 % de coagulant  $\text{FeCl}_3$  et  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18 \text{H}_2\text{O}$ .

❖ D’après la figure (IV.3), les valeurs de la conductivité électrique des lixiviats traités sont inférieures par rapport à celle de lixiviat brut ce qui prouve que le traitement est efficace. Les conductivités résultantes d’un traitement avec ajustement de pH de la phase d’alimentation sont supérieures que sans ajustement pour les deux coagulants.



**Figure IV.3 :** Les conductivités électriques des surnageants pour une dose de 10% de coagulant FeCl<sub>3</sub> et Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> .18 H<sub>2</sub>O.

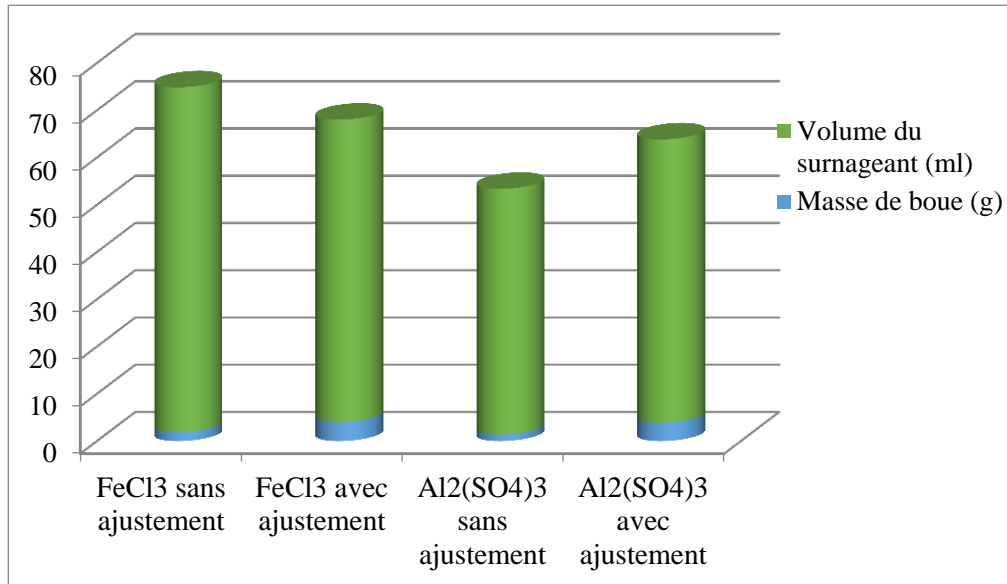
❖ La figure (IV.4) montre que les MES des surnageants provenant des lixiviats traités avec ajustement de pH du milieu sont faibles en comparant avec ceux réalisés sans ajustement. Ces valeurs sont de l’ordre de 2,23 g/L pour FeCl<sub>3</sub> et 2,71 g/L pour Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> 18 H<sub>2</sub>O.



**Figure IV.4 :** Les matières en suspension des surnageants pour une dose de 10 % de coagulant FeCl<sub>3</sub> et Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> .18 H<sub>2</sub>O.



La figure suivante montre que le traitement de lixiviat brut sans aucun ajustement de pH pour les deux coagulants donne moins de boues (flocs) par rapport à celui effectué avec un ajustement de pH.



**Figure IV.5 :** Variation de la masse des boues et de volume des surnageants pour une dose de 10% de coagulants FeCl<sub>3</sub> et Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>.18 H<sub>2</sub>O.

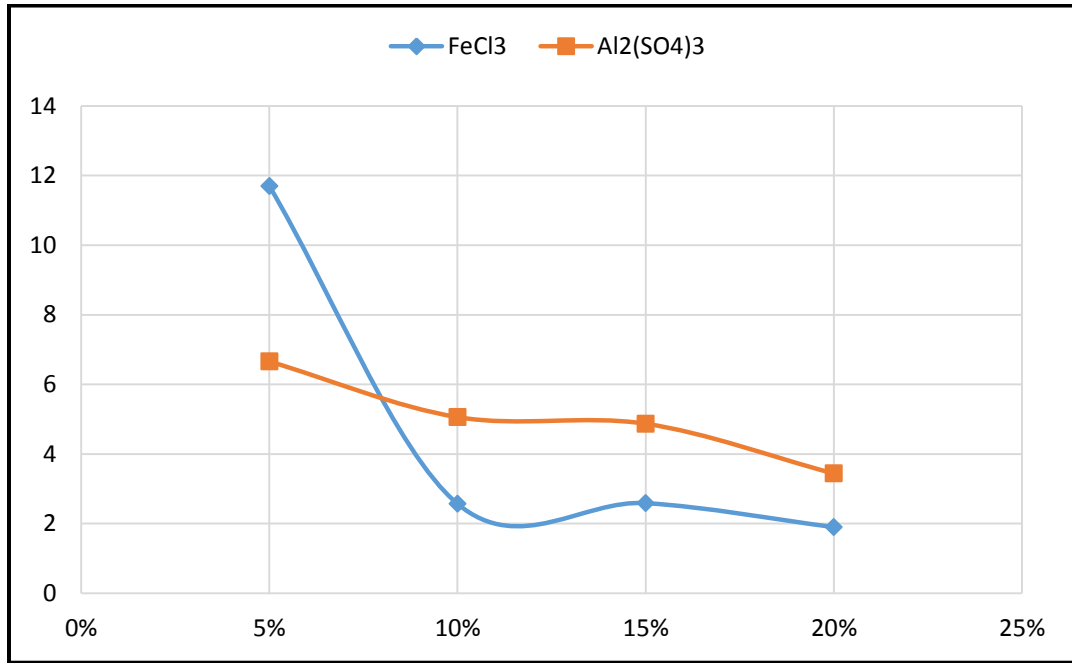
Ce résultat est dû à l'apparition des floes d'hydroxyde de fer et d'aluminium suite à un pH favorable à leur formation ( $\text{pH} = 7,5 \pm 0,2$ ). En revanche le volume de surnageant augmente par augmentation de la masse des floes ; ce phénomène paraît logique car plus de boues formées plus de volumes clarifiés.

Donc d'après l'étude de ce paramètre on peut conclure que **l'ajustement de pH de lixiviat avant et après ajout de coagulant** est très intéressant pour avoir une meilleure clarification de surnageant.

### IV.3. Effet de la concentration et la nature d'agent coagulant

Afin de comprendre l'effet de la dose du coagulant sur la clarification de la solution de lixiviats on a remédié à différentes concentrations (5%, 10%, 15% et 20%) cependant toutes les solutions mères de lixiviats sont ajustées à pH égale à  $3,5 \pm 0,2$  avant l'ajout du coagulant et à  $7,5 \pm 0,2$  après l'ajout de ce dernier.

❖ Une meilleure clarification de lixiviats est atteinte à une dose de 20% pour les deux coagulants testés. La turbidité minimale est de 1,90 NTU pour  $\text{FeCl}_3$  et 3,44 pour  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$

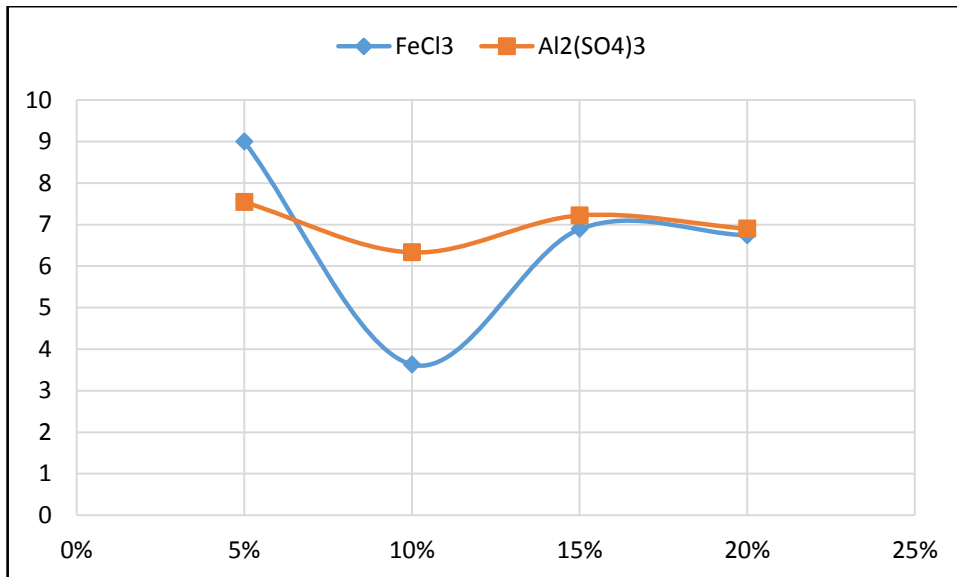


**Figure IV.6 :** Variation de la turbidité des surnageants en fonction de la dose des deux coagulants  $\text{FeCl}_3$  et  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ .

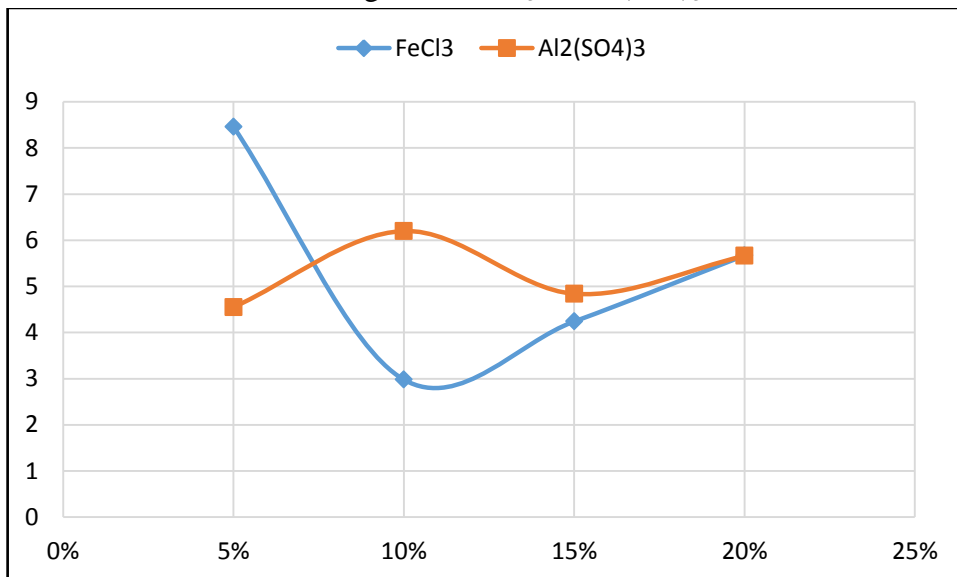
L'accroissement de l'apport en masse du coagulant augmente la chance de neutralisation des colloïdes présents dans le lixiviat et par conséquent l'abaissement du potentiel zêta et à partir de là commencent les floccs à apparaître.

Une élévation excessive de la dose coagulante semble peu efficace pour le traitement car la solution devient saturée en réactifs ce qui influence mal la clarté de la solution.

❖ Les remarques qu'on peut mentionner sur les valeurs de pH sont tirées à partir de la figure (IV.7). L'intervalle respectif des valeurs de pH est compris entre [3,63-9] et [6,33-7,54] respectivement pour des deux coagulants  $\text{FeCl}_3$  et  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ , ce qui nous mène à conclure que pH est stable durant la formation des floccs.



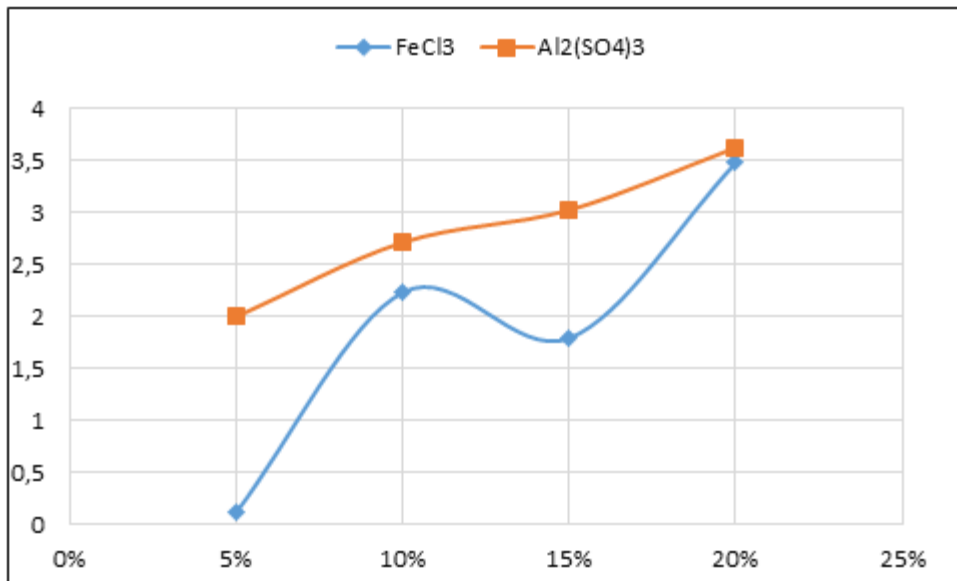
**Figure IV.7 :** Variation de pH des surnageants en fonction de la dose des deux coagulants FeCl<sub>3</sub> et Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>.18 H<sub>2</sub>O.



**Figure IV.8 :** Variation de la conductivité des surnageants en fonction de la dose des deux coagulants FeCl<sub>3</sub> et Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>.18H<sub>2</sub>O.



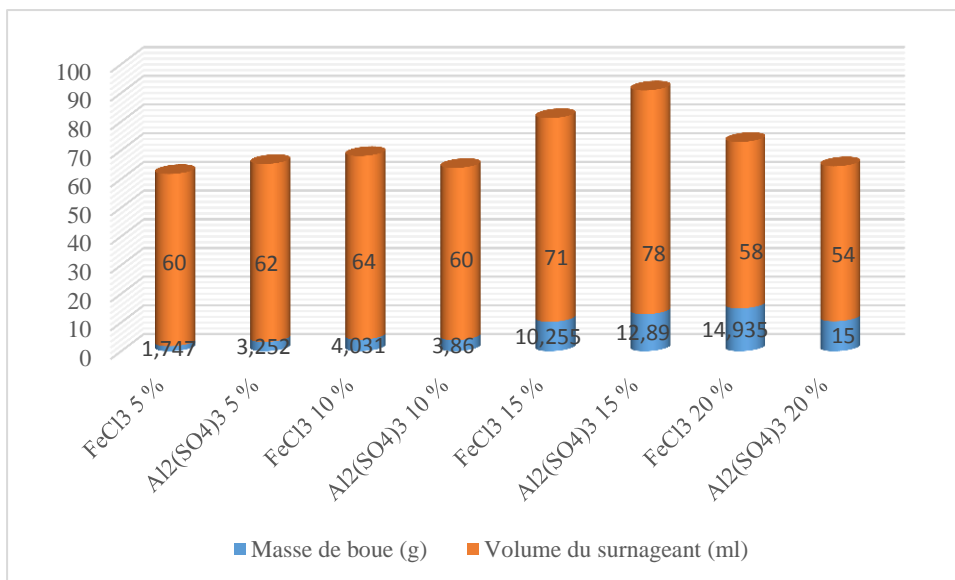
D'après la figure (IV.10), les résultats donnés par les lixiviats traités par les deux coagulants FeCl<sub>3</sub> et Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>.18 H<sub>2</sub>O montrent que les matières en suspension gardent une fréquence de variation négligeable sur la gamme de concentration étudiée et que le chlorure ferrique donne naissance à moins de matières en suspension.



**Figure IV.9 :** Variation de la matière en suspension des surnageants en fonction de la dose des deux coagulants FeCl<sub>3</sub> et Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>.18H<sub>2</sub>O.

❖ En examinant la figure (IV.11), il est clair que la quantité des boues formées augmente par augmentation de la dose coagulante le cas extrême est obtenu à 20% pour FeCl<sub>3</sub>.

En se basant sur l'ensemble des paramètres d'analyse effectués et notamment sur le facteur clé la turbidité, **une dose de 20 %** est jugée optimale pour les deux types de coagulant.



**Figure IV.10 :** Variation de la masse des boues et du volume des surnageants en fonction de la dose des deux coagulants FeCl<sub>3</sub> et Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>.18 H<sub>2</sub>O.

#### IV.4. Effet du temps d'agitation

-L'étude de ce paramètre a été interprétée via quelques analyses physicochimiques qui sont regroupées dans les figures (IV.11 : a-e).

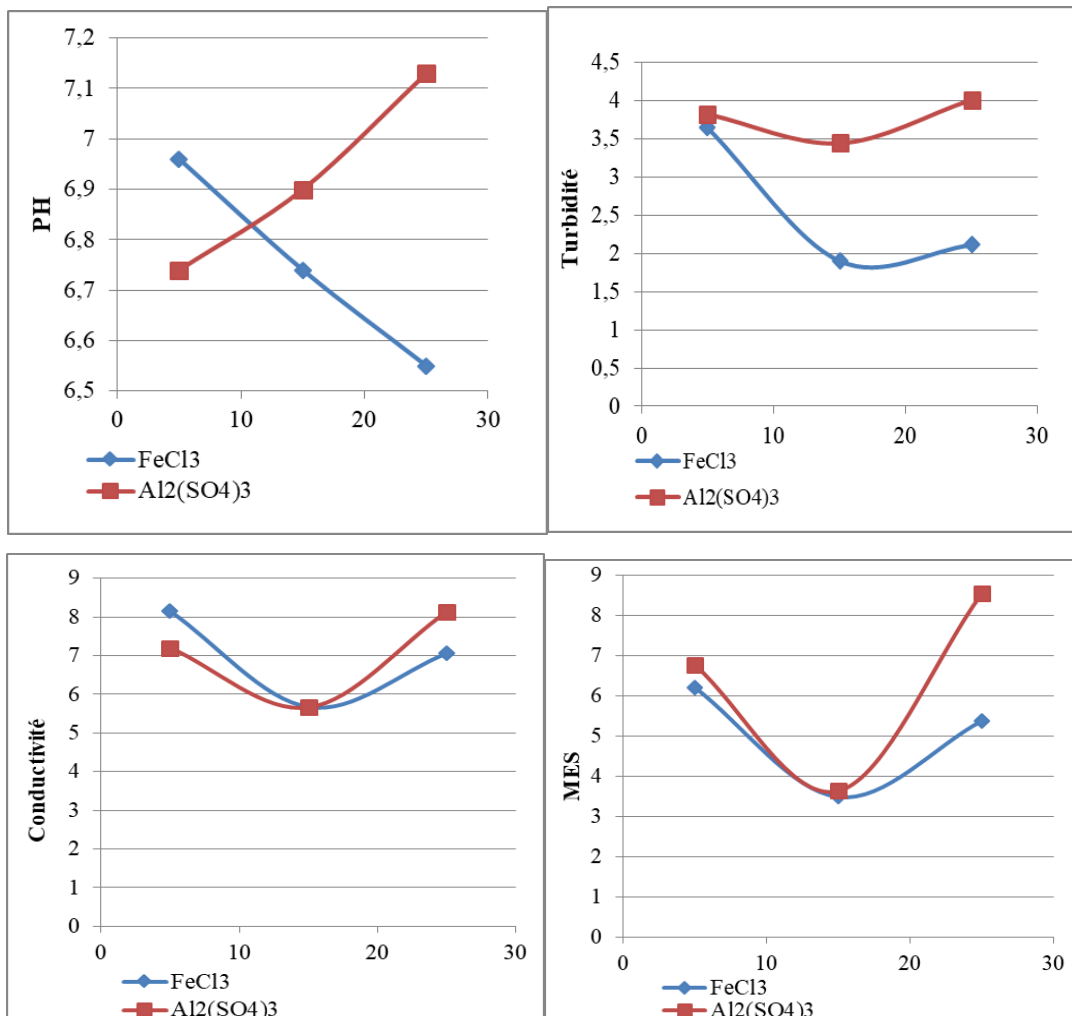
-La turbidité minimale a été atteinte au bout 15 min d'agitation pour le sulfate d'aluminium (3,44 NTU) et 15 min pour le chlorure ferrique (1.90 NTU), la meilleure efficacité est celle obtenue par le chlorure ferrique (**Fig.a**).

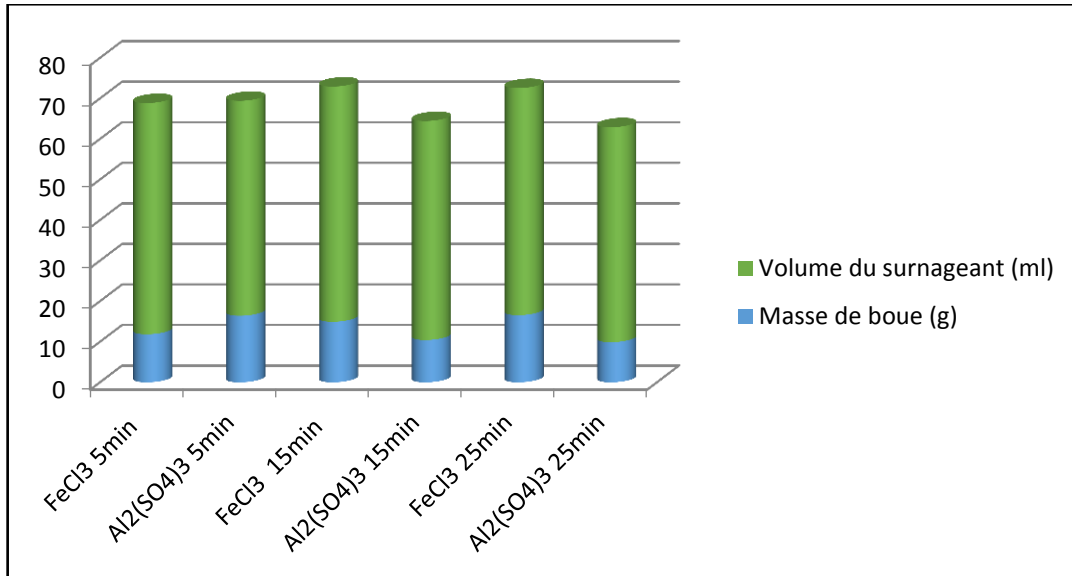
-Pour l'intervalle de temps appliqué, des valeurs de pH neutres pour le sulfate d'aluminium et proche de la neutralité pour le chlorure ferrique (**Fig.b**).

- L'intervalle de variation de la conductivité électrique se situe entre 5,66 et 8,15 mS/cm pour la totalité des échantillons ceci monte que les surnageants ont une composition minérale importante (**Fig.c**).

-Les MES chutent jusqu'à atteindre des valeurs très minimales à 15 min traduisant une meilleure clarté des surnageants (**Fig.d**).

-On remarque que les masses de boue sont proches ainsi que les volumes de surnageant et ce peut être parce que pendant l'étude de ce paramètre on a utilisé la même dose coagulante(**Fig.e**).





#### IV.5. Effet du rapport Volume coagulant/Volume lixiviat ( $V_{\text{coagulant}}/V_{\text{lixiviat}}$ )

Pour étudier l'effet de ce paramètre ( $V_{\text{coagulant}}/V_{\text{lixiviat}}$ ), nous avons pris en considération tous les optimums trouvés précédemment et nous avons varié ce rapport comme suit : 0,5, 1 et 2.

##### A) Résultats des analyses physicochimiques :

-D'après le tableau (IV.1), on s'aperçoit que le chlorure ferrique donne une meilleure efficacité de traitement d'où une turbidité minimale de 1,25 NTU pour un rapport ( $V_{\text{coagulant}}/V_{\text{lixiviat}}$ ) égale 2, alors que le sulfate d'aluminium a donné une faible turbidité de l'ordre de 3,26 NTU selon un rapport ( $V_{\text{coagulant}}/V_{\text{lixiviat}}$ ) égale à 0,5.

- Les masses des boues produites augmentent par augmentation du rapport ( $V_{\text{coagulant}}/V_{\text{lixiviat}}$ ). Ce résultat peut être expliqué par l'augmentation de la quantité de coagulant pour la même quantité de lixiviat ce qui va engendrer plus de cations métalliques qui vont neutraliser la charge négative des particules colloïdales.

-Les conductivités montrent que les surnageants sont composés des minéraux.

-Les valeurs de pH montrent une variation négligeable et appartenant généralement aux normes de l'eau pure.

- Les surnageants obtenus sont exempts de matière en suspension ceci reflète une bonne clarté.

**Tableaux IV.1** : Résultats d'analyse physicochimique des lixiviats traités par les deux coagulants  $\text{FeCl}_3$  et  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18 \text{H}_2\text{O}$  en variant le rapport ( $V_{\text{coagulant}}/V_{\text{lixiviat}}$ ).

$(V_{\text{coagulant}}/V_{\text{lixiviat}})$	$\text{FeCl}_3$			$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18 \text{H}_2\text{O}$		
	0.5	1	2	0.5	1	2
PH	6,46	6,74	6,14	6,91	6,90	7,04
Conductivité (mS/cm)	5,86	5,67	5,36	6,04	5,66	6,46
MES (g/L)	1,744	3,482	2,303	3,813	3,629	6,754
Volume surnageant (mL)	94	58	99	74	54	102
Turbidité (NTU)	3,16	1,90	<b>1,25</b>	<b>3,26</b>	3,44	3,78
Masse des boues (g)	11,122	14,935	40,565	10,437	16,120	30,395

**B) Résultats des analyses bactériologiques :**

Les analyses bactériologiques ont été effectuées au niveau du laboratoire de biologie de l'université de Khenchela, et consistent à la recherche des Flores totales.

- **Milieu gélose nutritive (GN)**

**Tableau IV. 2** : Recherche et dénombrement des flores totales pour l'échantillon  $\text{FeCl}_3$  et  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ .

	rapport	$10^{-1}$	$10^{-2}$	$10^{-3}$	$10^{-4}$
$\text{FeCl}_3$	0.5	Nappe	Nappe	94	76
	1	Nappe	Nappe	182	74
	2	Nappe	Nappe	Nappe	Nappe
$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$	0.5	Nappe	Nappe	56	32
	1	Nappe	Nappe	214	124
	2	Nappe	Nappe	140	58

### Discussion

Les résultats d'analyse de la qualité bactériologiques des lixiviats traité par  $\text{FeCl}_3$  et  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$  ont montré la présence des flores totales.

### IV.6. Conclusion

Le traitement des lixiviats par procédé de coagulation-floculation a été mis en évidence par l'optimisation des conditions opératoires à savoir pH du milieu, dose et nature de coagulant, temps d'agitation et rapport volume coagulant /volume lixiviats. La multitude des analyses physicochimiques et bactériologiques nous a permis d'évaluer l'efficacité de ce traitement.

# **CONCLUSION GENERALE**

## Conclusion générale

La coagulation-floculation est un procédé qui a montré une grande efficacité de l'élimination de la pollution dans le traitement des effluents. Ce processus peut être appliqué directement sur les lixiviats. Au cours des dernières années, un large éventail d'expériences de laboratoire pour évaluer l'effet de plusieurs coagulants. Les plus couramment utilisés dans le traitement des eaux usées sont les sels trivalents de fer et d'aluminium dans l'application du traitement par coagulation-floculation pour les lixiviats, une grande quantité de boue est générée. Cet aspect est à prendre en considération lors du choix du coagulant.

Les objectifs de cette étude sont l'examen de l'efficacité des processus de coagulation-floculation pour le traitement de lixiviat. Les conditions optimales pour l'application efficace ce traitement ont été réalisées en utilisant deux coagulants, le chlorure ferrique  $\text{FeCl}_3$  et le sulfate d'aluminium  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ .

Dans cette étude, le traitement du lixiviat provenant du Centre d'Enfouissement Technique par un procédé de coagulation floculation a été évalué. Pour ce faire plusieurs expériences ont été effectuées en vue de déterminer les conditions optimales.

A partir des résultats et discussions présentés, nous avons pu conclure que :

➤ Les conditions optimales donnant un meilleur traitement de lixiviat sont basées sur un **ajustement de pH** de la solution d'alimentation avant et après ajout de coagulant. Une **dose de 20%** pour le chlorure ferrique comme pour le sulfate d'aluminium, et un temps d'agitation de l'ordre de **15 min** pour le sulfate d'aluminium et pour le chlorure ferrique. La meilleure clarté est celle obtenue avec le chlorure ferrique. Le rapport optimal de Volume coagulant/Volume lixiviat est égale à **2** pour le chlorure ferrique et **0,5** pour le sulfate d'aluminium donnant respectivement les turbidités **1,25 NTU** et **3,26 NTU**.

➤ Les résultats d'analyse de la qualité bactériologique des lixiviats traités par le chlorure ferrique et sulfate d'aluminium ont montré la présence des germes totaux.

## **Références Bibliographiques**

## Références Bibliographiques

[1] **H. EL Fadel**, Traitement physico-chimique et biologiques des lixiviats de la décharge publique contrôlée de la ville de Fès : Application des procédés de filtration, coagulation-floculation et du SBR. Thèse de doctorat, Maroc. (2012).

[2] **M. Kihal** , Contribution à l'étude de décharge de Saf Saf (Tlemcen), thèse de doctorat en Ecologie végétal et Environnement Université Aboubakr BELKAÏD. Tlemcen. Algérie. (2015)

[3] **S. KOULOUGHLI**, Etude expérimentale des melanges sable bentonite- Leurs Performances comme Barrières de Confinement dans les CET, Thèse de doctorat en Génie Civil , Université Mentouri .Constantine. Algérie. (2007).

[4] **S. Trabelsi**, Etudes de traitement des lixiviats des déchets urbains par les procédés d'oxydation avancée photochimiques et électrochimiques : application aux lixiviats de la décharge tunisienne "Jebel Chakir", Thèse de doctorat en Sciences et Technologies de l'Environnement, Université Paris Est . France. (2012).

[5] **A. Lounnas**, Amélioration des procédés de clarification des eaux de la station hamadi-kroma de Skikda, Mémoire de Magister en chimie, Université de 20 aout 1955. Skikda. Algérie, (2009).

[6] **C.Desjardins**, Simulation et étude en laboratoire de la floculation lestée (actiflo) à l'aide d'une procédure modifiée de jar test, Mémoire de maîtrise en Génies Civil, Géologiques et des Mines, Université de Montréal, Canada. (1999)

[7] **L. Cherif**, L'influence de la coagulation-floculation et décantation sur le pré traitement des eaux saumâtres, Mémoire de Master en Hydraulique, Université AbouBekr Belkaid. Algérie. (2012)

[8] **S.Ezziane**, traitement des eaux de rejets de l'unité ceramit Tenes, Mémoire de Magister en génie des procédés, Université Hassiba Ben Bouali. Chlef. Algérie. (2007)

- [9] **R. Ikhlef, H.Gherras** 2017, Amélioration de la qualité de l'eau rejetée de la SOITEX de sebdou, Mémoire de Master en génie des procédés, faculté de technologie, Université Aboubakr Belkaïd .Tlemcen. Algérie. (2017).
- [10] **H.moulai hadj**, Etude de l'influence des particules argileuses sur le traitement des eaux, Mémoire de Master en Hydraulique, Université Abou Bekr Belkaid .Tlemcen .Algérie. (2015).
- [11] **B. Lakhdari** , 2011, Effet de la coagulation floculation sur la qualité des eaux épurées de la STEP de Ain El Houtz , Mémoire de magister en Chimie Inorganique et Environnement , Université Abou Bekr Belkaïd, Tlemcen.(2011).
- [12] **M. desire dihang**, Mécanisme de coagulation et de floculation de suspensions d'argiles diluées rencontrées en traitement des eaux, thèse de doctorat en Génie des procédés et de l'environnement, Université de Paul Sabatier, Toulouse III. France. (2007)
- [13] **M.Sefraoui**, Etude comparative sur le prétraitement des eaux de mer par ultrafiltration et coagulation-floculation, Mémoire Master en Hydraulique, Université Abou Beker Belkaid. Tlemcen. Algérie. (2013)
- [14] **M. Selka**, Influence des particules argileuses sur la coagulation-floculation, Mémoire Master en Hydraulique, Université Abou Beker Belkaid. Algérie. (2013)
- [15] **H.khelili**, Effet des interactions chlore/coagulant aluminique sur la réactivité d'acides organiques aromatiques, thèse de Doctorat en Hydraulique, Université de Mohamed Khider. Biskra. (2016)
- [16] **F. Mekhalif**, Réutilisation des eaux résiduaires industrielles épurées comme eau d'appoint dans un circuit de refroidissement, Mémoire de Magister en chimie, Université du 20 Août 1955 Skikda. (2009).

## Résumé

Le traitement des lixiviats provenant du centre d'enfouissement technique par procédé de coagulation-floculation a fait l'objet de cette contribution. L'évaluation de la qualité de traitement a été effectuée via des analyses physicochimiques ainsi que bactériologiques. L'étude paramétrique réalisée a révélé que l'ajustement de pH du milieu est un paramètre de base pour le succès de ce procédé.

La meilleure clarté des surnageants est obtenue avec une dose coagulante de 20% pour le  $FeCl_3$  ou le sulfate d'aluminium  $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ , et un temps d'agitation de l'ordre de 15 min pour le sulfate d'aluminium et le chlorure ferrique. Le rapport optimal de Volume coagulant/Volume lixiviat est égale à 2 pour le chlorure ferrique et 0,5 pour le sulfate d'aluminium donnant respectivement les turbidités 1,25 NTU et 3,26 NTU.

**Mots Clés** : C.E.T ; Coagulation et floculation ; lixiviat ; analyse physicochimiques.

## Abstract

Leachate treatment coming from technical burying centre by way of coagulation floculation has been the topic of this contribution. The evaluation of treatment quality has been made by physiochemical and bactériologic analysis. The conducted paramétrique study has revealed that ambient pH ajustement is a basic parameter to the success of this process.

The best supernatant clarity is obtained With a coagulation dose of 20% forme the  $FeCl_3$  or the aluminium sulfate  $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$  With agitation time of the ordre of 15 mn for the aluminium sulfate and the iron chlorure. Tha optimal ratio coagulation volume/ leachate volume equals 2 for iron chlorure and 0.5 for aluminium sulfate giving respectively the turbidities 1.25 NTU and 3.26 NTU

**Key words** : Tbc (technical burying centre),coagulation, floculation, leachate, physiochemical analysis

## ملخص

ان معالجة العصارات الناتجة عن مركز الردم التقني بواسطة عملية التجلط و التلبد هو موضوع هذه المساهمة ان تقييم جودة المعالجة قد اجريت عن طريق تحاليل فيزيوكيماوية و بكتريولوجية،وقد كشفت دراسة المتغيرات ان تعديل الاس الهيدروجيني للوسط هو متغير اساسي من اجل نجاح هذه العملية.

ان احسن وضوح طافي قد حصل عليه بتجلط قدره 20 في المائة فيما يخص كلوريد الحديد الثلاثي او سلفات الالمنيوم،وعملية اثاره قدرها 15 دقيقة لسلفات الالمنيوم و كلوريد الحديد الثلاثي،ان العلاقة المثالية بين حجم التجلط وحجم العصاره تساوي 2 بالنسبة لكلوريد الحديد الثلاثي و 0.5 لسلفات الالمنيوم ونحصل بذلك على التوالي على عكورة 1.25 و 3.25

**الكلمات المفتاحية** مركز الردم-التجلط و التلبد-العصاره-تحليل فيزيوكيميائي.