



Année Universitaire : 2016-2017



Master Sciences et Techniques : Géorressources et Environnement

**MEMOIRE DE FIN D'ETUDES**  
Pour l'Obtention du Diplôme de Master Sciences et Techniques

**Analyse et traitement des eaux d'Oued Fès par le  
procédé de coagulation-floculation**

Présenté par:

**KANE Mouhamedou Bassirou**

Encadré par:

- **Pr. KHALIL Fouad** **FST Fès**

**Soutenu le 16 Juin 2017 devant le jury composé de:**

- **Pr. ZAITAN Hicham** **FST Fès**
- **Pr. LHASSANI Abdelhadi** **FST Fès**
- **Pr. CHTIOUI Hicham** **FST Fès**
- **Pr. KHALIL Fouad** **FST Fès**

**Stage effectué à : Laboratoire de Chimie Appliquée (LCA) FST-Fès,**





Mémoire de fin d'études pour l'obtention du Diplôme de Master Sciences et Techniques

**Nom et prénom: KANE Mouhamedou bassirou**

**Année Universitaire : 2015/2016**

**Titre: Analyse et traitement des eaux d'oued Fès par le procédé de coagulation-floculation**

### **Résumé**

A Fès la pollution engendrée par le secteur industriel est très importante. Une grande quantité de ces effluents sont directement rejetés dans la rivière de Sebou sans aucun traitement préalable. Par conséquent, ils provoquent une dégradation physico-chimique et biologique de l'écosystème aquatique de cette rivière par la présence des substances toxiques.

Dans le but d'évaluer cet impact, une caractérisation des eaux s'avère nécessaire. Notre étude s'intéresse donc à l'analyse et au traitement des eaux d'oued Fès qui est un affluent d'oued Sebou en utilisant le procédé de coagulation floculation. Il permet à la fois l'élimination des matières colloïdales et une partie des matières organiques par adsorption sur le floc. Nous avons utilisé deux types de coagulants à savoir le chlorure ferrique et le sulfate d'aluminium.

Ainsi nous avons déterminé les différentes valeurs de pH, turbidité et conductivité correspondant à la zone optimale. Les expériences ont été réalisées sur plusieurs volumes du rejet. Le volume de boues décantées était primordial dans la détermination de la dose optimale. Le traitement par le chlorure ferrique aboutit respectivement à des abattements de 93 % pour la turbidité et 10% de volume de boue décanté et le traitement avec le sulfate d'aluminium a permis une élimination de la turbidité de l'ordre de 80 %. Une diminution des métaux lourds a été constatée suite au traitement.

Nous avons complété cette étude par des analyses ICP ainsi que des analyses UV avant et après le traitement par les coagulants.

**Mots clés:** Oued sebou, effluent, Coagulation floculation, ICP, UV



## Dédicaces

*Je dédie ce modeste travail à :*

*A mes parents, pour les peines et les sacrifices consentis pour mon éducation.*

*Mon amour et ma profonde reconnaissance ne sauraient être exprimés en ce modeste travail. Puisse Dieu vous accorder santé et longue vie.*

*A mes frères et sœurs pour leurs affections, encouragement et leurs aides financières.*

*A tous mes amis, en témoignage de mon grand amour et de l'amitié que je porte Pour vous.*

*A Tous les professeurs qui ont fait de leurs mieux afin de nous offrir de bonne formation et qui se sont montrés très compréhensifs à notre égard.*

*Tous ceux qui ont participé de près ou de loin pour la réalisation de ce travail.*

*A tous ceux qui nous sont chers.*

## Remerciements



*Je tiens à remercier tout particulièrement mon encadrant, Mr. KHALIL Fouad, professeur à la Faculté des Sciences et Techniques de Fès, pour avoir régulièrement suivi et guidé la réalisation de ce travail, son entière disponibilité ainsi que ses fructueux conseils et qui ont facilité l'avancement de ce travail .Je vous prie d'accepter ma gratitude pour votre encouragement. Mes profondes et vives reconnaissances s'adressent aussi aux membres de jury : Mr ZETAN Hicham, Mr. EL HASSANI et Mr. CHTIOUI Hicham d'avoir accepté le jugement de ce modeste travail, qu'ils trouvent ici l'expression de ma gratitude pour l'intérêt qu'ils m'ont témoigné.*

|  |    |
|--|----|
| <b>Introduction</b>                        | 8  |
| <b>CHAPITRE 1 : Partie Bibliographique</b> |    |
| <b>I. Généralité sur les eaux usées</b>    | 11 |



---

|             |   |           |
|-------------|---|-----------|
| I.1         | Caractéristiques des eaux usées                           | 11        |
| I.2         | Eaux usées urbaines                                       | 11        |
| I.3         | Les eaux industrielles                                    | 12        |
| I.4         | Les eaux pluviales  | 13        |
| I.5         | Les eaux de ruissellement dans les zones agricoles        | 13        |
| <b>II.</b>  | <b>Objectifs du traitement des eaux usées</b>             | <b>13</b> |
| II.1        | La Réutilisation des eaux usées traitées                  | 14        |
| II.1.1      | L'irrigation  | 15        |
| II.1.2      | Les utilisations municipales                              | 16        |
| II.1.3      | Lavage et transport industriel des matériaux              | 17        |
| II.1.4      | Refroidissement industriel                                | 18        |
| <b>III.</b> | <b>Coagulation-floculation</b>                            | <b>18</b> |
| III .1      | Caractéristiques des particules en suspension             | 18        |
| III .1.1    | Stabilité des particules                                  | 19        |
| III .1.2    | Potentiel Zéta  | 20        |
| III .1.3    | Principe  | 20        |
| III .1.4    | Compression de la double couche                           | 21        |
| III .1.5    | Adsorption et neutralisation des charges                  | 21        |
| III .1.6    | Emprisonnement des particules dans un précipité           | 22        |
| III .1.7    | Adsorption et pontage entre les particules                | 23        |
| III .2      | Types Coagulants  | 23        |
| III .2.1    | Coagulants minéral  | 23        |
| III .2.2    | Coagulants organiques                                     | 23        |
| III .3      | Aides-coagulants (adjuvant de floculation)                | 24        |
| III .3.1    | Floculants minéraux                                       | 24        |
| III .3.2    | Floculants organiques                                     | 25        |
| a.          | D'origine naturelle                                       | 25        |
| b.          | D'origine synthétique                                     | 25        |
| <b>IV.</b>  | <b>Facteurs influençant la coagulation et floculation</b> | <b>25</b> |



## Chapitre 2 : Matériels et Méthodes

|   |           |
|---|-----------|
| <b>I. Matériels et Méthodes</b>   | <b>28</b> |
| I.1 Description de la zone d'étude                                      | 28        |
| I.2 Point d'échantillonnage   | 29        |
| I.3 JAR TEST  | 29        |
| I.3.1 la méthode de JAR TEST  | 30        |
| I.3.2 Techniques expérimentales   | 31        |
| I.4 Techniques analytiques  | 31        |
| I.4.1 Analyses physico-chimique   | 31        |
| I.4.2 Éléments métalliques  | 31        |
| I.4.3 Paramétrés d'analyses   | 32        |
| a. Conductivité   | 32        |
| b. pH   | 32        |
| c. Turbidité  | 32        |
| <b>II. Résultats et discussions</b>                                     | <b>33</b> |
| II.1 Caractéristiques physico-chimique de l'eau brute                   | 33        |
| II.2 Traitement par coagulation-floculation: Cas du sulfate d'aluminium | 33        |
| II.2.1 Analyses après 48mn de décantation                               | 34        |
| II.2.2 Analyses après 4 heures de décantation                           | 34        |
| II.2.3 Analyses après 8 heures de décantation                           | 35        |
| II.2.4 Spectrophotométrie   | 36        |
| II.2.5 Interprétations des résultats                                    | 37        |
| a. La turbidité   | 38        |
| b. Volumes des boues  | 38        |
| c. Spectrophotométrie   | 38        |
| d. Spectrophotométrie (UV-visible)                                      | 39        |
| II.3 Traitement par coagulation-floculation: Cas du chlorure ferrique   | 40        |
| II.3.1 Analyses après 5mn de décantation                                | 40        |
| II.3.2 Analyses après 45mn de décantation                               | 41        |
| II.3.3 Analyses après 4 heures de décantation                           | 41        |
| II.3.4 Analyses après 8 heures de décantation                           | 42        |
| II.3.5 Spectrophotométrie   | 43        |
| II.3.6 Interprétations des résultats                                    | 44        |
| a. La turbidité   | 44        |
| b. Volumes des boues  | 45        |



---

|  |    |
|--|----|
| c. Spectrophotométrie                              | 45 |
| d. Spectrophotométrie (UV-visible)                 | 46 |
| II.4 Comparaison des résultats des deux coagulants | 46 |
| II.5 Analyse des métaux lourds                     | 47 |
| <b>Conclusion</b>                                  | 49 |
| <b>Références bibliographiques</b>                 | 46 |

## Liste des tableaux



|  |    |
|--|----|
| Tableau 1 : Les constituants majeurs des eaux usées domestiques  | 14 |
| Tableau 2: Objectifs des différents niveaux de traitement des eaux usées   | 16 |
| Tableau 3 : Dérivés des sels d'aluminium et de fer   | 23 |
| Tableau 4: Caractéristiques physico-chimiques d'eau étudiée  | 33 |
| Tableau 5 : Analyses après 45 mn de décantation  | 34 |
| Tableau 6 : Analyses après 4H de décantation   | 35 |
| Tableau 7 : Analyses après 8H de décantation   | 36 |
| Tableau 8 : absorbance en fonction des longueurs d'ondes   | 37 |
| Tableau 9 : Analyses après 45mn de décantation   | 41 |
| Tableau 10: Analyses après 4H de décantation   | 42 |
| Tableau 11 : Analyses après 8H de décantation  | 42 |
| Tableau 12 : Absorbance en fonction des longueurs d'ondes  | 43 |
| Tableau 13: Turbidité et volume de boue de l'eau traitée par les différents coagulants   | 47 |
| Tableau 14: Concentrations des éléments métalliques dans l'eau avant et après traité le Sulfate d'Alumine et Chlorure Ferrique | 47 |

## Liste des figures

|  |             |
|--|-------------|
| Figure 1 : Evolution du volume des eaux usées brutes urbaines au Maroc | 14          |
| Figure 2 : Qualité des eaux superficielle au Maroc                     | 15 Figure 3 |
| : Double couches d'une particule colloïdale                            | 19          |



---

|  |    |
|--|----|
| Figure 4 : Stabilité d'une suspension colloïdale   | 20 |
| Figure 5 : Emprisonnement des particules dans les floes pendant la décantation   | 22 |
| Figure 6 : Adsorption et pontage à l'aide de polymère  | 22 |
| Figure 7: Disposition des chaînes de polymère cationique sur une surface chargée négativement, et illustration des différents mécanismes d'interaction interarticulaires |    |
| Correspondant : a et b répulsions, c attraction  | 24 |
| Figure 8 : Carte de situation de la zone d'étude et de localisation de station de prélèvement  | 28 |
| Figure 9 : Vue panoramique d'oued (point d'échantillonnage)  | 29 |
| Figure 10 : Appareille JAR TEST  | 30 |
| Figure 11 : 8 h de décantation après traitement de l'effluent  | 36 |
| Figure 12: Variation de la turbidité et du volume des boues en fonction de la dose d' $Al_2(SO_4)_3$   | 37 |
| Figure 13 : Absorbance en fonction de la Longueur d'onde   | 39 |
| Figure 14 : spectres UV-visible de l'eau brute et de l'eau traitée   | 39 |
| Figure 15: Après 5mn de décantation  | 41 |
| Figure 16 : Après 8H de décantation  | 43 |
| Figure 17: Variation de la turbidité et volume de boue en fonction de la dose de $FeCl_3$  | 44 |
| Figure 18 : l'absorbance en fonction de la Longueur d'onde   | 45 |
| Figure 19 : UV-visible de l'eau brute et eau traitée avec $FeCl_3$   | 46 |

## Introduction

A l'instar des autres pays, les collectivités locales marocaines doivent chercher les meilleures solutions pour faire face aux quantités énormes des eaux usées déversées dans la nature sans aucun traitement.

La croissance démographique et l'évolution des modes de vie et de consommation génèrent des quantités importantes des eaux usées. En effet, la composition des eaux usées dépend essentiellement de l'eau d'alimentation et de l'usage qu'on en a fait. Les eaux usées domestiques



restent dangereuses par leur forte teneur en germes pathogènes tels que les bactéries, les virus et les protozoaires...

Vu les effets néfastes engendrés par les rejets des eaux usées brutes sur l'environnement et par conséquent sur l'homme, le traitement de ces eaux s'impose avant leurs rejets dans les milieux récepteurs ou leur réutilisation.

Cependant, avant tout traitement, il est nécessaire de déterminer d'abord les caractéristiques physico-chimiques des eaux usées brutes. L'utilisation des procédés physico-chimiques, tels que les processus de coagulation-floculation, pour l'élimination des matières en suspension et la couleur, essentiellement apportée par les matières organiques avec des formes insolubles semble être le plus adéquat. Notre zone d'étude, l'Oued de Fès, qui est un affluent d'Oued Sebou et le milieu récepteur des eaux usées de la ville de Fès. Cette dernière est caractérisée par une forte population urbaine.

La population de la ville de Fès, est estimée actuellement de l'ordre de 1.190.000 habitants. Les rejets des eaux usées générés par cette population, en plus de ceux engendrés par l'activité industrielle de Fès, sont de l'ordre de 130.000 m<sup>3</sup>/j, Ces rejets sont caractérisés par une forte pollution industrielle (en l'absence de prétraitement) en particulier du fait des rejets des margines (huileries) et des métaux lourds (tanneries et dinanderies).

De ce fait, l'oued Sebou qui est le milieu récepteur final de l'ensemble de ces eaux usées de Fès est le plus pollué à l'échelle nationale, avec 28 % de la pollution totale. Le sous bassin de Fès génère à lui seul 40 % de la pollution de ce oued. Cette situation engendre des répercussions néfastes le long du bassin du Sebou et notamment sur :

La santé (problème des maladies hydriques), l'irrigation (qualité de l'eau: hors classe sur Plusieurs tronçons), la potabilisation de l'eau, l'abreuvement des animaux, Les conditions socio-économiques.

Il est à noter que la dépollution de l'oued Sebou est une priorité nationale qui passe impérativement par l'épuration des eaux usées de la ville de Fès.

Ce travail, a pour objectif principal de faire une étude de coagulation-floculation sur l'effluent brut d'Oued Fès en utilisant deux types de coagulants à savoir le chlorure Ferrique et le sulfate ferrique.

Les échantillons ont été prélevés au niveau d'oued Fès avant la station de traitement des eaux usées (STEP) de Fès. Ce travail est divisé en deux parties:

La première, qui est essentiellement une recherche bibliographique présente les notions générales sur les eaux usées, ainsi que les traitements physico-chimiques par coagulation-floculation.



---

La seconde partie est réservée au travail expérimental. Dans un premier temps, nous présentons les matériels et Méthodes puis nous discutons les résultats obtenus dans un deuxième temps.



# CHAPITRE 1 : ÉTUDE BIBLIOGRAPHIQUE

## I. Généralités sur les eaux usées

Les normes nationales et internationales fixent des indicateurs de pollution biologique et physico-chimique de l'eau. Les eaux usées sont des milieux extrêmement complexes, aussi se réfère-t-on à



quelques paramètres pour les caractériser. Généralement exprimés en mg/l, Il existe une grande variété de paramètres indicateurs de pollution de l'eau. Il faut noter que ces paramètres peuvent être physiques, chimiques ou biologiques.

Les eaux usées sont utilisées pour des usages domestiques, industriels ou même agricole, constituant donc un effluent pollué qui sont rejetées dans un émissaire d'égout. Ils regroupent les eaux usées domestiques (les eaux vannes et les eaux Ménagères), les eaux de ruissellement et les effluents industriels (eaux usées des usines).

### **I.1 Caractéristiques des eaux usées**

On distingue trois grandes catégories d'eaux usées : les eaux domestiques, les eaux industrielles et les eaux pluviales. Les cours d'eau ont une capacité naturelle d'épuration. Mais cette capacité a pour effet de consommer l'oxygène de la rivière et n'est pas sans conséquences sur la faune et la flore aquatiques. Lorsque l'importance du rejet excède la capacité d'auto-épuration de la rivière, la détérioration de l'environnement peut être durable. Les zones privées d'oxygène par la pollution entraînent la mort de la faune et de la flore ou créent des barrières infranchissables empêchant notamment la migration des poissons. La présence excessive de phosphates, en particulier, favorise le phénomène d'eutrophisation, c'est-à-dire la prolifération d'algues qui nuisent à la faune aquatique et peuvent rendre la baignade dangereuse et perturbent la production d'eau potable.

Les eaux usées se divisent en quatre grandes catégories : les eaux résiduaires urbaines (ERU) les eaux résiduaires industrielles (ERI), les eaux pluviales et les eaux de ruissellement dans les zones agricoles.

### **I.2 Eaux usées urbaines**

Elles regroupent les eaux ménagères, les eaux des vannes et les eaux de ruissellement. Elles sont essentiellement porteuses de pollution organique. Les eaux ménagères ont pour origine les salles de bains et les cuisines et sont généralement chargées de détergents, de graisses, de solvants et de débris organiques et en eaux "vannes" ; découlent des rejets des toilettes, chargés de diverses matières organiques azotées et de germes fécaux. Ces déchets liquides sont déversés dans le réseau hydrographique et particulièrement l'Oued Fès sans traitement préalable.

La pollution journalière produite par une personne utilisant de 150 à 200 litres d'eau est évaluée à :

- ✓ 70 à 90 grammes de matières en suspension
- ✓ 60 à 70 grammes de matières organiques
- ✓ 15 à 17 grammes de matières azotées



- ✓ 4 grammes de phosphore
- ✓ plusieurs milliards de germes pour 100 ml

### **I.3 Eaux usées industrielles**

Elle par les industries agro-alimentaires et minières, les tanneries, les usines de fabrication des pâtes à papier, du papier et du carton etc. Les industries électriques, les raffineries, les papeteries, peuvent être aussi à l'origine de nombreuses nuisances non encore quantifiées. Les éléments accompagnant l'extraction d'éléments miniers constituent aussi une source de pollution. Ainsi, la pollution industrielle rejetée annuellement dans le bassin du Sébou est générée principalement par les agglomérations de Fès, Meknès et Kénitra est évaluée à 2 millions d'équivalents – habitants. Les caractéristiques des eaux usées industrielles subissent des grandes variations, elles dépendent d'une multitude de paramètre comme le type de l'industrie, production, nettoyage,... les différentes étapes du procédé industriel, l'état des appareils,... Par ailleurs, il existe des caractéristiques communes entre les effluents de la même industrie. En termes de volume et type de polluants, les effluents industriels présentent le plus souvent une charge importante et un risque de dysfonctionnement structurel et fonctionnel des réseaux d'assainissement et des dispositifs de traitement des eaux usées. Ces risques sont d'autant plus grands que les industries sont localisées en amont du réseau d'assainissement.

Les principaux polluants transitant dans les eaux usées d'origine industrielle sont :

- ✓ Les métaux toxiques,
- ✓ Les toxines organiques,
- ✓ Les matières colorées,
- ✓ Les huiles et graisses,
- ✓ Les sels,
- ✓ La pollution organique.

### **I.4 Les eaux pluviales**

Eau pluviale est le nom que l'on donne à l'eau de pluie après qu'elle est touché le sol ou une surface construite ou naturelle susceptible de l'intercepter ou de la récupérer (toiture, terrasse, arbre..). Ces eaux peuvent constituer la cause de pollutions importantes des cours d'eau, notamment pendant les



périodes orageuses. L'eau de pluie se charge d'impuretés au contact de l'air (fumées industrielles), puis, en ruisselant, des résidus déposés sur les toits et les chaussées des villes (huiles de vidange, carburants, résidus de pneus et métaux lourds...). Lorsque le système d'assainissement est dit "unitaire", les eaux pluviales sont mêlées aux eaux usées domestiques. En cas de fortes précipitations, les contraintes de préservation des installations d'épuration peuvent imposer un déversement de ce mélange très pollué dans le milieu naturel.

### I.5 Les eaux de ruissellement dans les zones agricoles

Le ruissellement est un facteur d'aggravation des pollutions liées à l'agriculture : les engrais et autres produits de traitement sont entraînés vers les cours d'eau, puis vers la mer, au lieu de rester sur le lieu d'épandage. Vue l'importance de la surface irriguée dans le bassin versant du Sebou (dont 100.000 ha dans le bas Sebou, le Gharb), de fortes doses d'engrais minéraux, azotés et phosphatés ou potassiques (NPK) sont utilisées, dont une partie est rejetée directement dans l'Oued ou infiltrée dans la nappe ; des concentrations élevées d'azote, de phosphore et de potasse entraînent le phénomène d'eutrophisation des eaux de surface et la pollution des eaux souterraines par les nitrates. Les pesticides constituent aussi une source de pollution. Les facteurs solubilité, résistance des pesticides à la dégradation physique et biochimique, nature du sol et importance des apports d'eau sont déterminants dans ce type de pollution.

Dans le bassin de Sébou, la consommation totale de pesticides est estimée à 3.6000 tonnes par an (le 1/3 de la consommation nationale). D'après l'OMS, 0,5 à 1% de la valeur consommée aboutit à la rivière, soit 18 à 38 tonnes par an dans l'Oued Sébou

### I.6 Composition des eaux usées

Les eaux usées contiennent des déchets solides, des matières en suspension, des éléments nutritifs, des substances chimiques et des éléments biologiques nocifs. Les constituants majeurs des eaux usées domestiques sont cités dans le tableau (Tab. 1) ci dess

Tableau 1 : Les constituants majeurs des eaux usées domestiques

| Constituants           | Concentration (mg/l) | Concentration (mg/l) | Concentration (mg/l) |
|------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
|                        | <i>Elevée</i>        | <i>Moyenne</i>       | <i>Faible</i>        |
| Solides totaux         | 1200                 | 700                  | 350                  |
| Solides totaux dissous | 850                  | 500                  | 250                  |
| Matière en suspension  | 350                  | 200                  | 100                  |



|                                 |     |     |     |
|---------------------------------|-----|-----|-----|
| Azote total                     | 85  | 40  | 20  |
| Phosphore total                 | 20  | 10  | 6   |
| Chlorures                       | 100 | 50  | 30  |
| Alcalinité (CaCO <sub>3</sub> ) | 200 | 100 | 50  |
| Graisses                        | 150 | 100 | 50  |
| DBO <sub>5</sub> (*)            | 300 | 200 | 100 |

Selon le Secrétariat d'Etat Chargé de l'Eau, Le volume annuel des eaux usées a presque triplé au cours des trois dernières décennies. Il est passé de 48 à 500 millions de m<sup>3</sup> de 1960 à 1999. Le volume est estimé actuellement à 500 millions de m<sup>3</sup> et il est prévu atteindre près de 900 millions de m<sup>3</sup> en l'an 2020 (Fig.1).

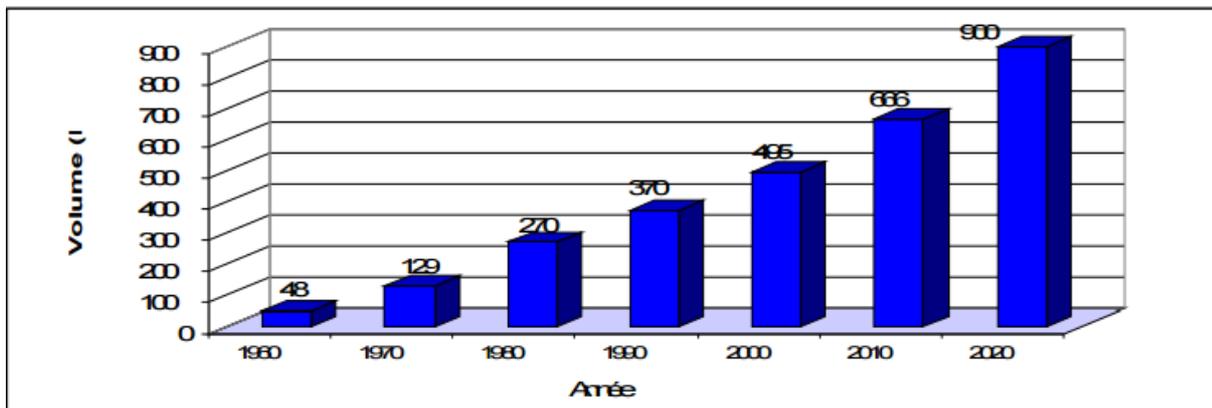


Figure 1 : Evolution du volume des eaux usées brutes urbaines au Maroc entre 1960 et 2020.

### I.7 Caractéristiques des eaux usées Marocaine

Selon la classification Marocaine des eaux de surfaces, les concentrations trouvées élevées en phosphore (0,85 mg/l), en orthophosphate (0,41 mg/l) et en conductivité (1547,8  $\mu$ s/cm) enregistrées à Oued Sidi Hrazem classent cette eau de mauvaise qualité sur le plan physicochimique. Les concentrations trouvées élevées de 3,8.10<sup>5</sup> et 4,2.10<sup>4</sup> UFC/100 ml respectivement en CT et CF enregistrées à Barrage Boufekrane ; et celles de 2,5.10<sup>5</sup> et 5.10<sup>4</sup> UFC/100 ml respectivement en CT et CF enregistrées au pont Diamant vert ; et celles de 3.10<sup>5</sup> , 3,2.10<sup>4</sup> et 9.10<sup>3</sup> UFC/100 ml respectivement en CT, CF et SF enregistrées à Fontaine Allal El Fassi ; et celles de 6.10<sup>5</sup> , 2,6.10<sup>4</sup> et 1,2.10<sup>4</sup> UFC/100 ml respectivement en CT, CF et SF enregistrées au Camping Sidi Hrazem., classent ces eaux de mauvaise qualité bactériologique. En conséquence, les eaux de surfaces de la ville de Fès s'avèrent entièrement chargées en germes microbiens et partiellement chargées en polluants chimiques et constituent une vraie menace pour

l'environnement, en particulier pour la vie et la santé de la faune et de la flore (A. El Ouali Lalami et al. / Larhyss Journal, 9 (2010)).

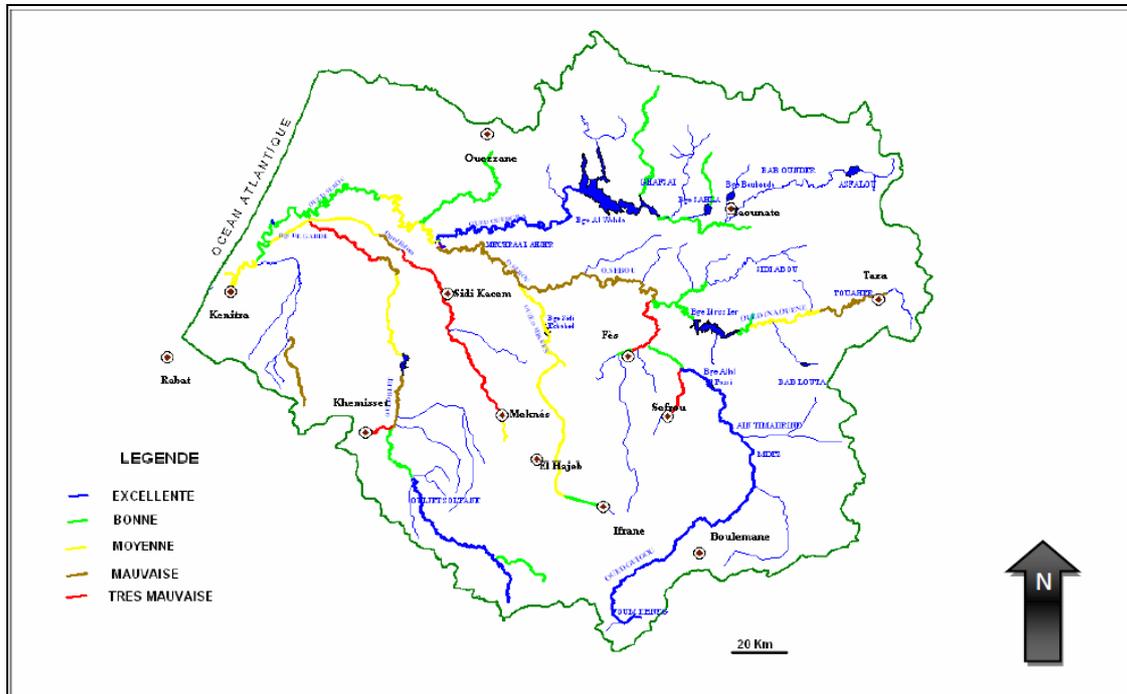


Figure 2 : qualité des eaux superficielles au Maroc

## II. Objectifs et types de traitement des eaux usées

L'objectif principal du traitement des eaux usées est de réduire ou éliminer les contaminants présents dans les effluents avant leur rejet dans le milieu récepteur et respecter ainsi les exigences de rejet environnemental. Selon l'origine des eaux usées, une chaîne de traitement sera mise en place afin d'atteindre des cibles préétablies. Typiquement, le procédé de traitement des eaux usées sera composé de plusieurs niveaux : prétraitement, primaire, secondaire et tertiaire, et lorsque c'est nécessaire un niveau avancé peut s'ajouter. Les objectifs de chaque niveau de traitement sont décrits dans le Tableau 2.

Tableau 2 : Objectifs des différents niveaux de traitement des eaux usées (2003)

| Niveau du traitement (procédé) | Objectif du traitement |
|--------------------------------|------------------------|
|--------------------------------|------------------------|



|  |   |
|--|---|
|  |   |
| Prétraitement (e.g. dégrillage, dessablage, déshuilage et dégraissage) | Enlèvement des particules grossières (matières flottantes, chiffons et autres impuretés) et des graisses qui risqueraient de nuire au bon fonctionnement des équipements en aval  |
| Primaire (décantation)   | Enlèvement d'une fraction des matières en suspension et de la matière organique.  |
| Primaire avancé (coagulation- floculation)                             | Enlèvement amélioré des matières en suspension et de la matière organique à l'aide de produits chimiques.   |
| Secondaire (e.g. biofiltres, boues activées)                           | Enlèvement de la matière organique biodégradable et des matières en suspension. La désinfection peut aussi faire partie du traitement secondaire conventionnel.   |
| Tertiaire  | Enlèvement des matières en suspension résiduelles (après un traitement secondaire). Typiquement la désinfection fait partie du traitement tertiaire. L'enlèvement des éléments nutritifs (azote et phosphore) est souvent inclus dans cette fonction. |
| Avancé   | Enlèvement des matières en suspension et dissoutes restantes après un traitement biologique normal quand la réutilisation de l'eau traitée est requise pour certaines applications.   |

## II.1 La Réutilisation des eaux usées traitées

Les eaux usées traitées pourraient être considérées comme une « nouvelle » ressource en eau, qui peut être ajoutée au bilan général de l'eau d'une région. Elles peuvent remplacer l'utilisation de l'eau potable pour l'irrigation ou à d'autres fins comme Lavage et transport industriel des matériaux, en même temps, en diminuant ainsi la pression sur les ressources en eau (Asano, 1998). Néanmoins, l'irrigation avec des eaux usées non traitées peut représenter un risque pour la santé publique, vue qu'elles peuvent contenir des bactéries pathogènes, des vers, des virus, des métaux lourds et des composés organiques anthropiques dangereux (UNEP, 2010).



Concernant la réutilisation des eaux usées épurées au Maroc, seul 12% sont réutilisées actuellement. Ce taux passera à 22% en 2020 si on collecte les eaux usées déversées en mer. Il atteindra environ 100% à l'horizon 2030 (objectif fixé par la stratégie du Développement du secteur de l'eau). L'usage de ces eaux usées traitées touche le secteur agricole (couvrant actuellement une superficie d'environ 550 hectares et atteindra 4000 hectares à l'horizon 2020), l'arrosage des golfs et des espaces verts, la recharge des nappes et le recyclage en industrie.

### **II.1.1 L'irrigation**

Dans le cas de l'irrigation, les eaux usées sont utilisées après traitement biologique (boues activées ou lagunage le plus souvent). Leur intérêt réside dans le fait que :

- ✓ Les eaux contiennent des nutriments. Ils accroissent notablement les rendements agricoles et réduisent le recours aux engrais artificiels coûteux.
- ✓ Les autres sources d'eau utilisable en irrigation se raréfient en raison de leur potabilité tant recherchée.

### **II.1.2 Les utilisations municipales**

Elles peuvent couvrir une assez large gamme d'utilisations, qui ne requiert pas d'eau de qualité potable, par exemple :

- ✓ l'arrosage des parcs et jardins publics ;
- ✓ le lavage des rues ;
- ✓ la lutte contre les incendies ;
- ✓ Le nettoyage des engins de collecte des ordures ménagères.

### **II.1.3 Lavage et transport industriel des matériaux**

Dans beaucoup d'industries, le lavage et le transport des matériaux sont très peu exigeants en qualité de l'eau. C'est pourquoi les eaux usées épurées sont utilisées pour:

- ✓ le lavage des matières premières (charbon, gravier, etc.) et leur transport (craie par exemple) ;
- ✓ Le transport des déchets (cendres d'une centrale thermique) ;
- ✓ Le lavage d'entretien (wagon, sols, bouteilles, etc.) ;
- ✓ la fabrication de laine de verre.



#### **II.1.4 Refroidissement industriel**

Nombre d'industries procèdent à des opérations de refroidissement consommant une importante quantité d'eau:

- ✓ centrales électriques ;
- ✓ réacteurs nucléaires ;
- ✓ pétrochimie ;
- ✓ chimie ;
- ✓ industrie du caoutchouc ;
- ✓ industrie automobile.

### **III. coagulation-floculation**

En traitement des eaux, la coagulation et la floculation sont des traitements qui visent à optimiser l'élimination des particules en suspension par les procédés de décantation et de filtration. 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 physicochimiques. La séparation par décantation et filtration met en jeu des phénomènes essentiellement physiques.

Le temps de décantation des particules coagulées dépend du type de particules, du diamètre des particules et de leur surface spécifique.

#### **III .1 Caractéristiques des particules en suspension**

Les composés retrouvés dans l'eau sont généralement regroupés dans trois catégories : les matières en suspension (MES), les matières colloïdales et les matières dissoutes. Les matières en suspension 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 faible. Les matières colloïdales d'origine minérale ont une densité relative de l'ordre de 2,65 alors que celles d'origine organique ont une

densité relative beaucoup plus faible, soit de l'ordre de 1.1. Les particules colloïdales de faible densité peuvent nécessiter théoriquement jusqu'à 666 000 années pour décanter de un mètre.

Les matières dissoutes, quant à elles, sont généralement des cations ou anions de quelques nanomètres de diamètre, elles décantent donc encore plus lentement. L'élimination des MES et des matières colloïdales dans des délais raisonnables est faisable à l'aide d'une coagulation-floculation. On a recours à de tels procédés car les particules retrouvées dans l'eau sont très stables et donc peu aptes à une décantation naturelle.

### III .1.1 Stabilité des particules

Les particules colloïdales 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 faciles à éliminer. Elles demeurent donc stables. Une particule typique est représentée dans la figure 3:

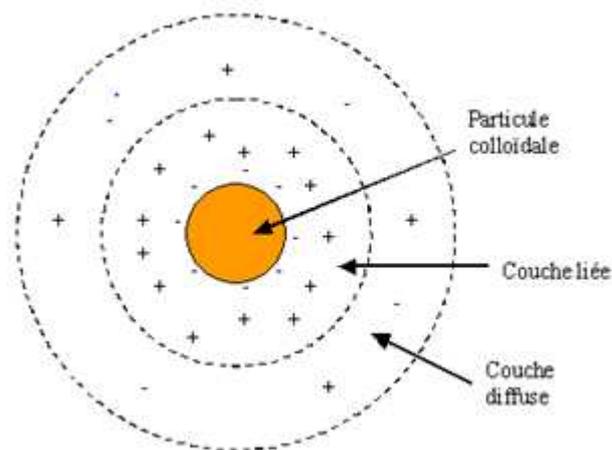


Figure 3: Double couche d'une particule colloïdale

Les ions positifs présents dans l'eau neutralisent la charge à la surface de la particule et forment une « couche liée » (théorie de Helmholtz). Cette couche se déplace avec la particule. Cette couche attire à son tour des ions négatifs inégalement répartie et formant la « couche diffuse » (théorie de Gouy-Chapman). Cette dernière ne se déplace pas avec la particule d'où l'inégalité dans la densité et la répartition des ions la composant. La figure représentée ci-haut est en fait un rassemblement des deux théories, communément appelée théorie de la "double-couche".

Lorsque deux particules sont sur le point d'entrer en contact, elles sont essentiellement soumises à deux forces: la force d'attraction de van der Waals, et la force de répulsion électrostatique. Le potentiel de répulsion est défini par EB et le potentiel d'attraction est défini par EA. La résultante

des deux potentiels,  $E$ , traduit l'interaction énergétique nette qui existe entre les deux particules telle que décrite dans la figure 4.

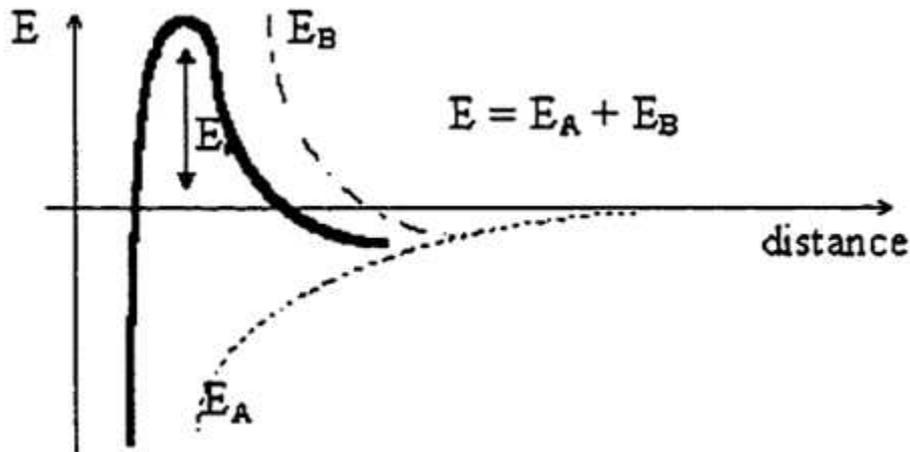


Figure 4: Stabilité d'une suspension colloïdale

Si le potentiel de répulsion est plus élevé que le potentiel d'attraction, la particule est dite électrostatiquement stabilisée et doit subir un traitement pour être déstabilisée. La déstabilisation dans ce cas se ferait en diminuant les forces de répulsion électrostatique.

### III .1.2 Potentiel Zéta

Le potentiel électrostatique diminue à mesure où l'on s'éloigne de la particule. Le potentiel Zéta se situe à la limite extérieure de la couche liée. C'est ce potentiel qui persiste lorsque la particule se déplace. Lorsqu'un champ électrique est appliqué, les particules ayant un potentiel Zéta négatif se déplacent en direction de l'électrode positive. Le potentiel Zéta est important car il définit le comportement électrocinétique des particules et par voie de conséquence leur stabilité dans la solution. L'annulation du potentiel Zéta est l'objectif de la coagulation. Cela permet de déstabiliser les particules et de favoriser leurs agglomérations.

### III .1.3 Principe

Le principe de la technique de la coagulation-floculation est basé sur la déstabilisation des particules en suspension par l'injection et la dispersion rapide de produits chimiques afin de favoriser leur agglomération et de permettre leur décantation.

Les particules en suspension les plus difficiles à éliminer dans les eaux à traiter sont celles qui possèdent une très petite taille (particules colloïdales causant la turbidité) et celles qui sont dissoutes (matières organiques causant la coloration). Ces colloïdes portent habituellement une charge



électrique négative qui empêche les particules de s'agglomérer les unes aux autres pour former des particules plus volumineuses (flocs) et faciliter leur élimination par sédimentation et filtration.

Le but de la coagulation est de déstabiliser les particules colloïdales. Cela permet aux particules de s'agglomérer et de décanter plus rapidement. 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.

Ces quatre mécanismes sont décrits brièvement ci-dessous.

### III .1.4 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. La force ionique est représentée par l'équation suivante:

$$\mu = \frac{1}{2} \sum^n C_n Z_n^2$$

$\mu$  = force ionique

$C_n$  = concentration de l'ion n (mol/l)

$Z_n$  = valence de l'ion n

### III .1.5 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. Les particules seraient ainsi restabilisées.

### III .1.6 Emprisonnement des particules dans un précipité

Lorsque des quantités suffisantes de coagulant comme  $Al_2(SO_4)_3$  ou  $FeCl_3$ , sont ajoutées, ils forment un précipité possédant généralement une charge positive. Le pH de l'eau doit se situer dans une plage où la solubilité des sels est minimale. Le précipité formé, appelé floc, entre en contact avec

les particules de charge négative et les emprisonne. Les particules sont ensuite entraînées lors de la décantation. La figure 5 ci-dessous résume bien ce mécanisme décrit:

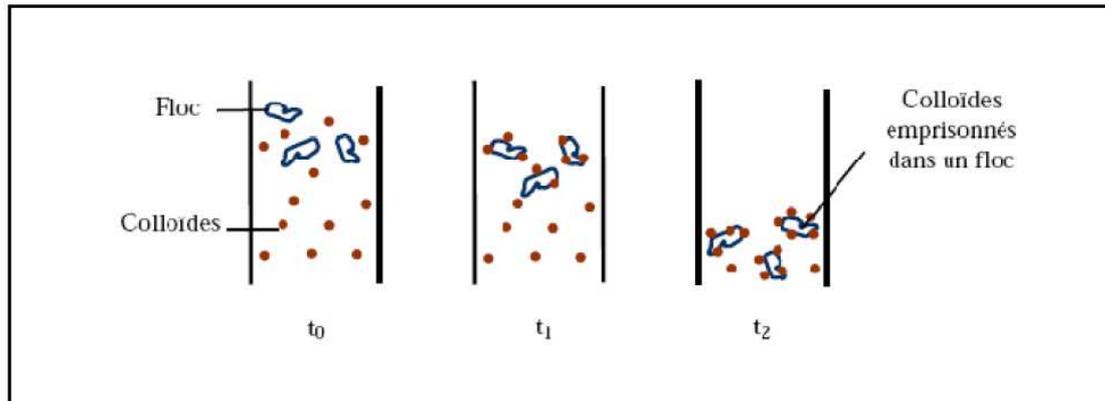


Figure 5 : Emprisonnement des particules dans les flocs pendant la décantation.

### III .1.7 Adsorption et pontage entre les particules

Ce mécanisme implique l'utilisation de polymères cationiques ou anioniques ayant une masse moléculaire élevée et une structure longitudinale. Un polymère en présence d'un colloïde l'adsorbe à une de ses extrémités à l'aide d'un de ces groupes fonctionnels. Les autres extrémités demeurent libres et peuvent adsorber un autre colloïde. Ce mécanisme permet donc l'agglomération des particules par "pontage" des polymères. La figure 6 décrit le processus. Par contre, une concentration de polymères trop élevée peut restabiliser les colloïdes. Les polymères verront alors chacune de leurs extrémités être adsorbées par la même particule, d'où une restabilisation.

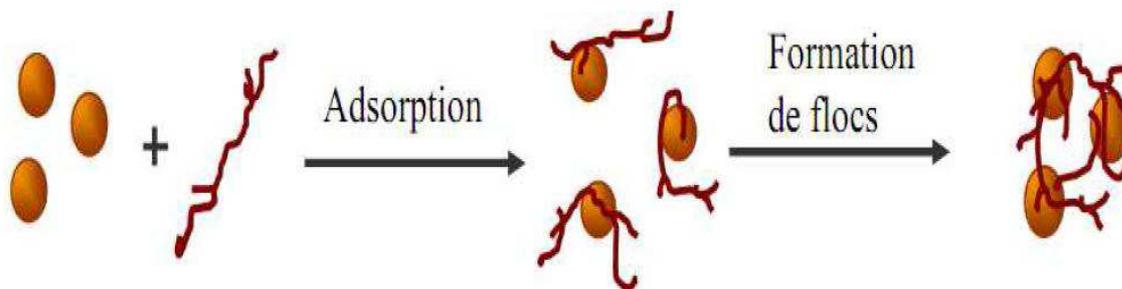


Figure 6 : Adsorption et pontage à l'aide de polymère

## III .2 Types des Coagulants

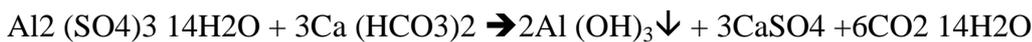
### III .2.1 Coagulant minéral

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. Ils sont cités dans le tableau

Tableau 3: Dérivés des sels d'aluminium et de fer

| Sels d'aluminium Formule chimique |                | Sels de fer Formule chimique |                |
|-----------------------------------|----------------|------------------------------|----------------|
| Sulfate d'aluminium (alun)        | $Al_2(SO_4)_3$ | Chlorure ferrique            | $FeCl_3$       |
| Chlorure d'aluminium              | $AlCl_3$       | Sulfate ferrique             | $Fe_2(SO_4)_3$ |
| Aluinat de sodium                 | $NaAlO_2$      |                              |                |

Les produits les plus utilisés sont l'alun et le chlorure ferrique. Ces coagulants, une fois introduits dans l'eau, forment des produits d'hydrolyse qui déterminent l'efficacité de la coagulation. Par exemple, lorsque l'alun est utilisé, plusieurs radicaux hydroxyalumineux monomères ou polymères sont formés (Lengo, 1994). Ces produits complexes ont une solubilité qui varie avec le pH. Dans le cas de l'alun. Les réactions suivantes décrivent comment est formé le précipité (Desjardins, 1997):



### III .2.2 Coagulant organique

Dans certains pays, on remplace maintenant tout ou partie du coagulant minéral par un polyélectrolyte cationique de synthèse (mélamine-formaldéhyde, EPI-DMA, POLYDADMAC) ; ces réactifs de masse molaire relativement peu élevée (de l'ordre de 105) sont présentés en solution aqueuse et dilués en ligne juste avant injection dans l'eau à traiter ; leurs taux de traitement usuel, exprimé en produit commercial, est généralement compris entre 5 et 15 g · m<sup>-3</sup> ; leur avantage est, entre autres, de diminuer la production de boues et de ne pas modifier le pH ni la salinité de l'eau.

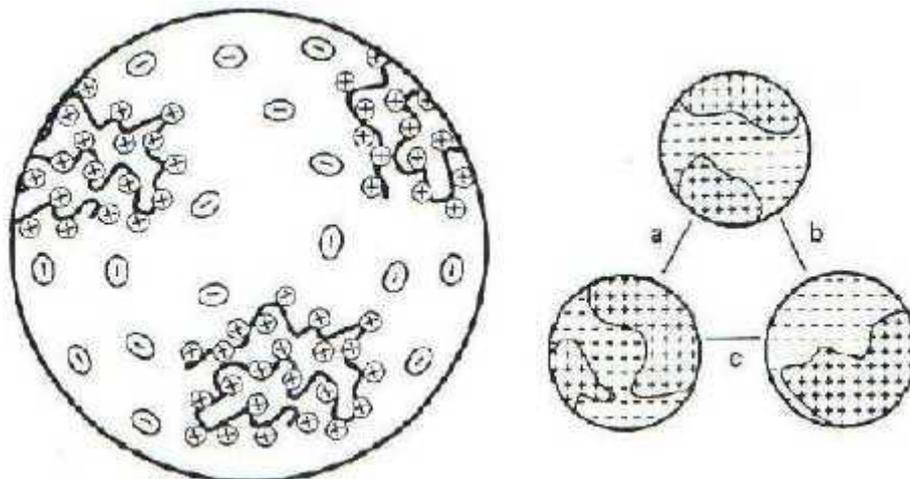


Figure 7 : Disposition des chaînes de polymère cationique sur une surface chargée négativement, et illustration des différents mécanismes



d'interaction interparticulaires correspondant : a et b répulsions, c attraction.

### III .2.3 Choix du coagulant

Un certain nombre de paramètres doivent être pris en compte :

- ✓ Température de l'eau,
- ✓ Caractéristiques des eaux brutes (dont l'équilibre calco-carbonique),
- ✓ Paramètres physico-chimiques à inclure ou éliminer prioritairement (turbidité et/ou Matières Organiques, par exemple),
- ✓ Gestion de l'exploitation (stocks, automatisme, etc...),
- ✓ Coût du produit,
- ✓ Choix imposé ou "considération esthétique".

### III .3 Aides-coagulants (adjuvant de floculation)

Les floculants sont aussi appelés adjuvants de coagulation ou de floculation. Ils peuvent intervenir au niveau de la filtration (vis-à-vis de l'avancement du front de colmatage, évitant ainsi les phénomènes de « crevaison » des filtres) aussi bien qu'à celui de la floculation décantation (vitesse de floculation ; floc plus gros, donc mieux décantable ; cohésion accrue dans les appareils à contact de boues). On peut classer les floculants en deux groupes :

#### III .3.1 Floculants 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.). On obtient un polymère anionique linéaire, de formule générale :

#### III .3.2 Floculants organiques

##### a. 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, Sobalgin, Cellalgine, etc.

##### b. D'origine synthétique



Ce sont des polyélectrolytes anioniques, cationiques ou non ioniques, à très haute masse molaire (106 à 107) ; 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 en France, 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.

#### IV. Facteurs influençant la coagulation et floculation

Le processus de coagulation est complexe et peut être influencé par plusieurs facteurs.

Dans cette partie, nous discutons brièvement des effets de la température, du pH et de l'alcalinité.

Les facteurs qui peuvent influencer la coagulation sont :

- PH : qui doit être compris dans une zone optimale de 4 à 6 pour les sels de fer et entre 5 et 7 pour les sels d'aluminium (Prévoist, 2010);
- Température : la diminution de la température augmente la viscosité de l'eau et rend la décantation du floc difficile. Le bris de floc est favorisé et la plage de pH optimale est rétrécie (Desjardins, 1997); Plusieurs recherches ont montré que la plage de pH optimal varie avec la température de l'eau. Pour l'alun, le pH optimal augmente d'environ 0.6-0.8 unités lorsque la température de l'eau passe de 20°C à 4°C, alors que pour le chlorure ferrique, l'augmentation du pH optimal est d'environ 0,4 unité (Kang et al., 1995). Une diminution de température cause une diminution du produit ionique de l'eau.
- Temps de mélange : la coagulation nécessite un mélange vigoureux et de courte durée (maximum 120s) afin de disperser de façon uniforme le coagulant, tandis que la floculation nécessiterait un mélange lent d'une durée moyenne de 5 à 60 min (Prévoist, 2010);
- Type de coagulant : le choix du coagulant ainsi que de sa dose se fait à l'aide de jar-tests. Généralement les sels de fer sont utilisés pour traiter les eaux riches en matières organiques (Prévoist, 2010); et Sels dissous : la présence de sels dissous modifiera le temps de floculation, la plage de pH optimal et la dose de coagulant requis.





# CHAPITRE 2 : MATÉRIELS ET MÉTHODES

Ce chapitre décrit en premier lieu la zone d'étude qui est l'Oued de Fès, les méthodes de la coagulation-floculation, ainsi que les opérations de la minéralisation réalisées au cours de cette recherche. Le matériel utilisé ainsi que les méthodes de mesure sont également décrits. D'un autre

coté l'analyse des effluents avant et après chaque type de traitement a été également détaillée. Finalement, les approches expérimentales utilisées pour atteindre les objectifs de cette recherche sont détaillées.

## I. Matériels et Méthodes

### I.1 Description de la zone d'étude

Avec une superficie de 879 km<sup>2</sup>, le bassin versant de l'oued Fès se situe entre les parallèles 33°30' et 34°08'N et entre les méridiens 4°54' et 5°09'W. Il se compose de trois unités topographiques différentes,

Du point de vue hydrologique, le bassin versant de l'oued Fès est drainé par un réseau hydrographique relativement dense. Il est composé de plusieurs sous-bassins de tailles et morphologies différentes : oued Boufekrane (52,40 km<sup>2</sup>), oued El Mehraz (52,40 km<sup>2</sup>), oued El Himmer (80,74 km<sup>2</sup>), oued Chkou (428,08 km<sup>2</sup>) et oued El Malleh, à l'aval du bassin versant (34,03 km<sup>2</sup>). L'oued Fès représente le principal collecteur qui reçoit plusieurs affluents. Certains prennent naissance dans le causse du Moyen Atlas (oueds Boufekrane, El Mehraz, El Himmer, Chkou) et ont un écoulement saisonnier à intermittent ; d'autres affluents, alimentés par les sources artésiennes du plateau de Saïs (oueds Ain Chkef, Ain Smen, Ain Chgag et Ain Bou Rkaiz), ont un écoulement permanent. Les rides pré-rifaines contribuent aussi à l'alimentation de l'oued Fès (oued El Malleh et autres ravins).

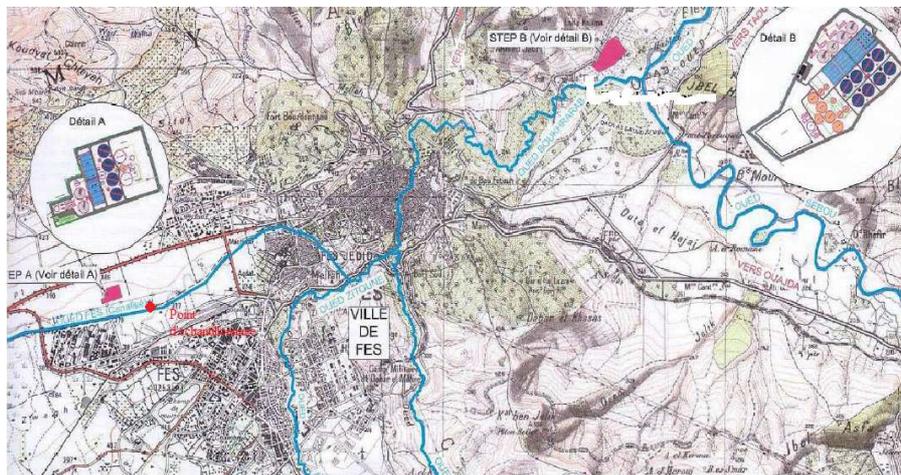


Figure 8: Carte de situation de la zone d'étude et de localisation de station de prélèvement, Mohamed MEZIANI, RADEEF Nicolas FORNAGE, AFD

## I.2 Point d'échantillonnage

D'après nos recherches bibliographiques, le point d'échantillonnage doit être situé à un endroit caractéristique de l'effluent où il y a suffisamment de turbulence pour assurer l'homogénéité du rejet.

Notre point d'échantillonnage a été bien choisi dans les mêmes conditions décrite précédemment et notre échantillonnage a été fait avec précaution car il doit être représentatif des eaux rejetées afin de traduire au mieux les caractéristiques de l'effluent. Il est situé dans un zone où il y'a suffisamment de turbulence.

Les échantillons ont été prélevés le 26/02/2016 dans le Oued de Fès. L'endroit est situé à environ 800 mètres en amont de la station d'épuration des eaux usées de Fès.



Figure 9 : Oued Fès (point d'échantillonnage)

## I.3 JAR TEST

Depuis plus de 50 ans, le Jar Test est la technique standard utilisée pour optimiser l'addition de coagulants et de floculant dans le domaine du traitement de l'eau.

Le Jar-test est un appareil qui permet de déterminer la concentration optimale du coagulant pour le processus de coagulation floculation.



Figure 10 : Appareil JAR TEST

### I.3.1 Principe de la méthode de JAR TEST

La méthode Jar-test repose sur le phénomène de coagulation floculation. Une série de béchers est agitée de la même façon. La série comporte les mêmes volumes d'échantillons (eaux usées) et sont soumis à des doses croissantes du coagulant pour en déterminer la dose optimale. Les résultats sont appréciés visuellement, par mesure de turbidité, d'absorbance et volume des boues.

Ce processus comprend trois phases :

- \* Agitation rapide : le coagulant est introduit dans l'échantillon répandu rapidement et uniformément.
- \* **Coagulation**: l'ajout de coagulant à une dispersion colloïdale provoque une déstabilisation des particules par une diminution des forces qui tendent à séparer les particules. Le coagulant réagit avec les colloïdes à travers un ensemble de réactions chimiques et physico-chimiques, qui conduisent à la diminution des forces répulsives.
- \* **Floculation**: correspond par définition à la formation des flocons qui sont des agrégats particulaires. C'est la deuxième étape de la formation des particules décantables à partir des colloïdes déstabilisés. Ceci est dû à une agitation lente, qui transforme les particules en flocons de plus grande taille pour permettre la séparation par décantation.

### I.3.2 Techniques expérimentales

Dans une série de 4 béchers de 1 l on introduit 300 ml de l'eau usée. On ajoute des doses croissantes du coagulant. On laisse le mélange sous agitation rapide durant 5 minutes puis agitation lente pendant 15 minutes. On transvase ensuite la solution dans une éprouvette graduée et on laisse le mélange décanter. On prélève alors un volume  $v$  en ml du surnageant (pour un temps de



décantation donné) pour lequel on mesure la turbidité et l'absorbance. Les volumes de boue décantés sont mesurés en fonction du temps de décantation pour chaque coagulant. On détermine alors l'efficacité du traitement pour chaque dose de coagulant suite à l'abattement de la turbidité et de l'absorbance aussi que de l'évolution des volumes de boues.

## **I.4 Techniques analytiques**

### **I.4.1 Analyses physico-chimiques**

Sur l'ensemble des échantillons traités, nous avons effectué les analyses physico-chimiques suivantes : pH, conductivité, absorbance et turbidité. La détermination de l'ensemble de ces paramètres a été effectuée selon les méthodes standards pour examen des eaux et eaux usées.

La caractérisation physico-chimique a été basée sur l'étude des paramètres suivants :

Le pH, la turbidité, l'absorbance, la conductivité et la salinité.

### **I.4.2 Éléments métalliques**

Les éléments métalliques dans l'eau brute et traité ont été analysés par ICP après minéralisation dans l'eau régale. La Technique de minéralisation consiste à préparer un mélange de 100 ml d'échantillon (eau brute), 10 ml de HCl, 20 ml d'acide nitrique (HNO<sub>3</sub>). Le mélange est chauffé jusqu'à obtenir un liquide transparent. On complète après avec de l'eau distillé à 100 ml. Les analyses des métaux lourds ont été réalisées par ICP au CURI (Centre Universitaire Régionale d'Interface de Fès).

- ✓ Le mesure du pH est réalisée à l'aide d'un pH mètre (HANNA instruments modèle 210).
- ✓ La turbidité est mesurée à l'aide d'un turbidimètre de type AQUA LYTIC modèle AL250T-IR.
- ✓ L'intensité de la couleur a été déterminée par la mesure de l'absorbance à l'intervalle [430-710nm] (spectrophotomètre visible (JENWAY modèle 6051)).
- ✓ La conductivité et la salinité sont mesurés à l'aide d'un conductimètre de type inoLabLevel 1.
- ✓ Les analyses UV-vis ont été déterminées par UV 2300 II SPECTROPHOTOMETER
- ✓ Les analyses minéralogiques ont été effectuées au CURI de Fès.

### **I.4.3 Paramètres d'analyses**

La température de l'eau est un paramètre de confort pour les usagers. Elle permet également de corriger les paramètres d'analyses dont les valeurs sont liées à la température (conductivité



notamment). De plus, en mettant en évidence des contrastes de température de l'eau sur un milieu, il est possible d'obtenir des indications sur l'origine et l'écoulement de l'eau.

La température doit être mesurée in situ. Les appareils de mesure de la conductivité ou de pH possèdent généralement un thermomètre intégré.

#### **a. Conductivité**

La conductivité mesure la capacité de l'eau à conduire le courant entre deux électrodes. La plupart des matières dissoutes dans l'eau se trouvent sous forme d'ions chargés électriquement. La mesure de la conductivité permet donc d'apprécier la quantité de sels dissous dans l'eau. Comme la température, les contrastes de conductivité permettent de mettre en évidence des pollutions. Des zones des mélanges ou d'infiltration... la conductivité est également l'un des moyens de valider les analyses physico-chimique de l'eau : la valeur mesurée sur le terrain doit être comparable à celle mesurée au laboratoire.

#### **b. pH (potentiel hydrogène)**

Le pH mesure la concentration en ion  $H^+$  de l'eau, il traduit ainsi la balance entre acide et base sur une échelle de 0 à 14 ; 7 étant le pH neutralité. Ce paramètre caractérise un grand nombre d'équilibre physico-chimique et dépend de facteurs multiples, dont l'origine de l'eau.

Le pH doit être impérativement mesuré sur le terrain à l'aide d'un pH-mètre.

#### **c. Turbidité**

La mesure de la turbidité permet de préciser les informations visuelles sur l'eau. La turbidité traduit la présence de particules en suspension dans l'eau (débris organique, argile, organismes microscopique...). Les désagréments causés par une turbidité auprès des usagers sont relatifs, car certaines populations sont habituées à consommer une eau plus ou moins trouble et n'apprécient pas les qualités d'une eau très claire. Cependant une turbidité forte peut permettre à des micro-organismes de se fixer sur des particules en suspension. La turbidité est en fonction des particules en suspension. Elle se mesure sur le terrain à l'aide d'un turbidimètre.



## II. Résultats et discussion

Au cours de cette partie et pour les besoins de notre étude, nous présenterons en premier temps, les différents résultats et interprétations des essais de coagulation-floculation effectués avec les deux coagulants (sulfate d'aluminium et chlorure ferrique), ainsi que Les résultats d'analyse des métaux lourds dans l'eau brute et traitée et nous finirons par une comparaison de ces deux coagulant utilisés.

### II.1 Caractéristiques physico-chimique de l'eau brute

L'eau brute nécessaire pour ce travail a été prélevée à partir d'Oued de Fès. Cet échantillon a été conservé à une température de 4°C.

Les paramètres physico-chimiques de l'eau brute sont rapportés dans le tableau 4:

Tableau 4: Caractéristiques physico-chimiques du

| Paramètres                                 | valeurs     |
|--|-------------|
| PH   | 8.11        |
| Turbidité(NTU)                             | 17.5        |
| Conductivité ( $\mu\text{s} / \text{cm}$ ) | 1201 à 14°C |
| Salinité (g /l)                            | 0.6         |
| TDS (mg/l)                                 | 984         |
| Al mg/l                                    | 2,15        |
| Ca mg/l                                    | 133,413     |
| Cr mg/l                                    | 0,288       |
| Cu (mg/l)                                  | 0,215       |
| Fe (mg/l)                                  | 3,735       |
| K (mg/l)                                   | 24,550      |
| Mg (mg/l)                                  | 35,27       |
| Mn (mg/l)                                  | 0,014       |
| Ni (mg/l)                                  | 0,048       |
| Zn (mg/l)                                  | 0,367       |

### II.2 Traitement par coagulation-floculation: Cas de sulfate d'aluminium

Les conditions et les résultats des essais de coagulation utilisant le sulfate d'aluminium à différentes doses avec un suivi de temps de décantation (5mn, 45mn, 4h, 8h) sont illustrés sur des tableaux ci-dessous.



### II.2.1 Analyses après 45mn de décantation

Les conditions et les résultats des essais de coagulation utilisant le sulfate d'aluminium comme coagulant sont illustrés sur le tableau 5. Il a été mesuré en fonction du temps de décantation. Ces résultats correspondant à un temps de décantation de 45mn.

Tableau 5 : Analyses après 45 mn de décantation

| Echantillons | Dose de coagulant (mg) | Turbidité (NTU) | Volume de boue (ml) |
|--------------|------------------------|-----------------|---------------------|
| Ech Témoin   | 0,0                    | 31.4            | 0                   |
| Ech 1        | 50                     | 17.3            | 2                   |
| Ech 2        | 100                    | 30.5            | 4                   |
| Ech 3        | 150                    | 35              | 5                   |
| Ech 4        | 200                    | 47              | 5                   |
| Ech 5        | 250                    | 12.7            | 7                   |
| Ech 6        | 500                    | 20.5            | 8                   |
| Ech 7        | 750                    | 17.34           | 1                   |
| Ech 8        | 1000                   | 13.02           | 1                   |

Après 45mn de décantation on remarque :

- ✓ L'apparition des boues dans les 9 éprouvettes cependant on a plus des boues dans la cinquième éprouvette qui contient 250mg de coagulant (sulfate aluminium). Par contre on n'a presque pas d'apparition des boues dans l'éprouvette Témoin (contient pas de coagulant).
- ✓ Un changement de couleur dans tout les béchers, les échantillons deviennent plus clairs. La décoloration est plus importante dans le cinquième bécher qui contient 250mg de coagulant et dont la turbidité est de 12.7 NTU.

### II.2.2 Analyses après 4 heures de décantation

Les conditions et les résultats des essais de coagulation utilisant le sulfate d'aluminium comme coagulant sont illustrés sur le tableau 6. Il a été mesuré en fonction du temps de décantation. Ces résultats correspondant à un temps de décantation de 4 heures.

Tableau 6 : Analyses après 4H de décantation

| Echantillons | Dose de coagulant (mg) | Turbidité (NTU) | Volume de boue (ml) |
|--------------|------------------------|-----------------|---------------------|
|--------------|------------------------|-----------------|---------------------|



| Ech Témoin | 0,00 | 37.7 | 2  |
|------------|------|------|----|
| Ech 1      | 50   | 16.7 | 5  |
| Ech 2      | 100  | 10.3 | 8  |
| Ech 3      | 150  | 8.52 | 10 |
| Ech 4      | 200  | 8.84 | 15 |
| Ech 5      | 250  | 8.3  | 20 |
| Ech 6      | 500  | 30.5 | 20 |
| Ech 7      | 750  | 35   | 10 |
| Ech 8      | 1000 | 47   | 11 |

Après 4h de décantation on remarque :

- ✓ Une diminution de la turbidité dans certaines éprouvettes qui est plus remarquable avec la dose de 250 mg. Par contre on a une augmentation remarquable de turbidité pour les doses de 500,750 et 1000mg de coagulant qui peut aussi s'expliquer par le fait qu'on est dépassé la dose optimale.
- ✓ Le volume de boue devient plus important surtout pour les doses de 250 et 500mg.
- ✓ une diminution de pH qui peut s'expliquer par l'ajout du coagulant qui rend le milieu plus acide.

### II.2.3 Analyses après 8 heures de décantation

Les conditions et les résultats des essais de coagulation utilisant le sulfate d'aluminium comme coagulant sont illustrés sur le tableau 7. Il a été mesuré en fonction du temps de décantation. Ces résultats correspondant à un temps de décantation de 8 heures.

Tableau 7 : Résultats des Analyses après 8H de décantation

| Echantillons | Dose de coagulant (mg) | Turbidité (NTU) | Volume de boue (ml) |
|--------------|------------------------|-----------------|---------------------|
| Ech Témoin   | 0,0                    | 35,4            | 2                   |
| Ech 1        | 50                     | 12,4            | 5                   |
| Ech 2        | 100                    | 7,01            | 8                   |
| Ech 3        | 150                    | 5,68            | 10                  |

|              |             |             |           |
|--------------|-------------|-------------|-----------|
| <b>Ech 4</b> | <b>200</b>  | <b>5,71</b> | <b>18</b> |
| <b>Ech 5</b> | <b>250</b>  | <b>3.35</b> | <b>20</b> |
| <b>Ech 6</b> | <b>500</b>  | <b>6.76</b> | <b>20</b> |
| <b>Ech 7</b> | <b>750</b>  | <b>7.69</b> | <b>15</b> |
| <b>Ech 8</b> | <b>1000</b> | <b>7.02</b> | <b>15</b> |

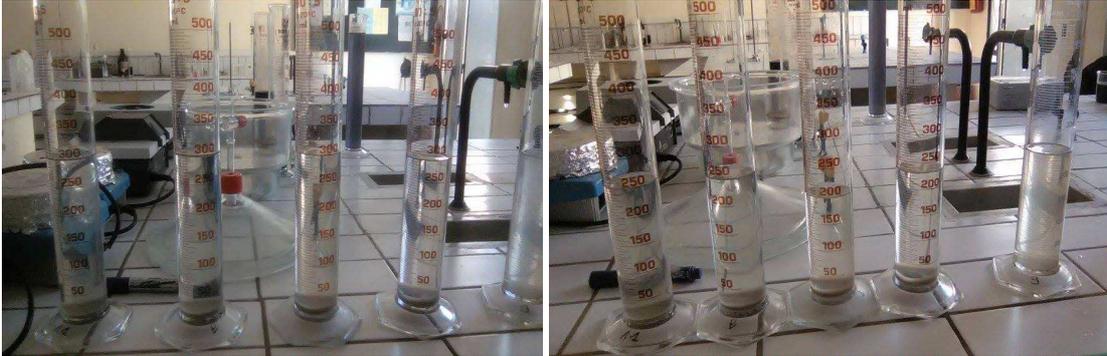


Figure 11 : 8 h de décantation de l'effluent

Après 8h de décantation on remarque :

- ✓ le volume de boue reste presque constant tandis que la turbidité a ce moment la est de l'ordre de 3.35 NTU pour la dose de 250 mg ;
- ✓ Une diminution de turbidité dans les quatre échantillons ;
- ✓ Augmentation légère du pH ;
- ✓ La conductivité reste presque constante.

### II.2.4 Spectrophotométrie (Visible)

L'absorbance est mesuré pour différent longueur d'onde, les résultats sont illustrés dans le tableau suivant.

Tableau 8 : Absorbance en fonction des longueurs d'ondes

| <b>Longueur d'absorption en nm</b> | <b>Ech Témoin</b> | <b>Ech 1 (50mg)</b> | <b>Ech 2 (100mg)</b> | <b>Ech 3 (150mg)</b> | <b>Ech 4 (200mg)</b> | <b>Ech 5 (250mg)</b> | <b>Ech 6 (500mg)</b> | <b>Ech 7 (750mg)</b> | <b>Ech 8 (1000mg)</b> |
|------------------------------------|-------------------|---------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|-----------------------|
| 430                                | 0.15              | 0.05                | 0.06                 | 0.02                 | 0.1                  | 0.02                 | 0.06                 | 0.09                 | 0.16                  |
| 470                                | 0.17              | 0.05                | 0.06                 | 0.02                 | 0.12                 | 0.02                 | 0.08                 | 0.12                 | 0.18                  |
| 490                                | 0.15              | 0.04                | 0.05                 | 0.01                 | 0.06                 | 0.02                 | 0.01                 | 0.05                 | 0.12                  |
| 520                                | 0.14              | 0.04                | 0.05                 | 0.02                 | 0.09                 | 0.02                 | 0.05                 | 0.08                 | 0.16                  |
| 540                                | 0.14              | 0.03                | 0.05                 | 0.02                 | 0.06                 | 0.02                 | 0.01                 | 0.04                 | 0.11                  |
| 580                                | 0.13              | 0.03                | 0.04                 | 0.01                 | 0.09                 | 0.01                 | 0.05                 | 0.07                 | 0.14                  |
| 600                                | 0.12              | 0.03                | 0.03                 | 0.02                 | 0.05                 | 0.01                 | 0.00                 | 0.03                 | 0.09                  |
| 710                                | 0.10              | 0.02                | 0.03                 | 0.01                 | 0.01                 | 0.01                 | 0.00                 | 0,02                 | 0.04                  |

### II.2.5 Interprétations des résultats

#### a. Turbidité et volume des boues



La figure suivante représente l'évolution de la turbidité et du volume des boues décantées en fonction de la dose du coagulant sulfate d'aluminium.

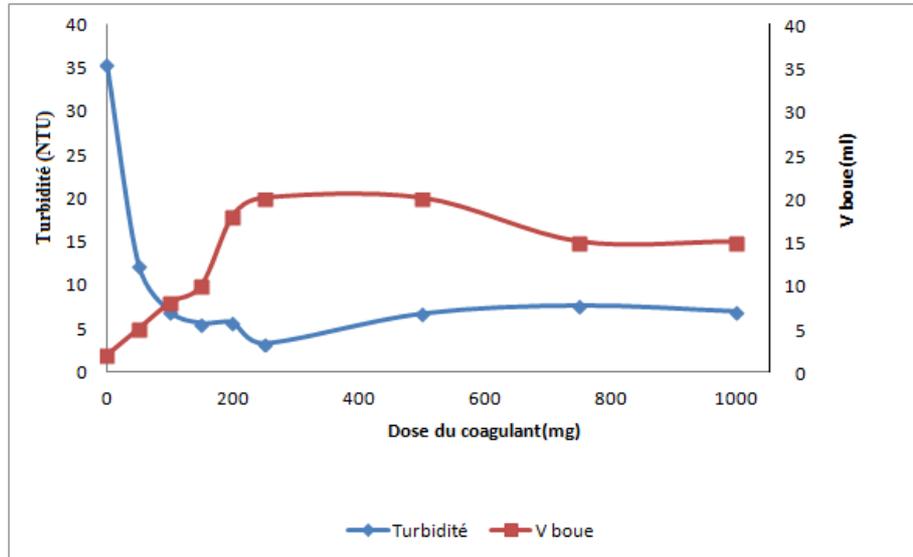


Figure 12: Variation de la turbidité et du volume des boues en fonction de la dose d' $Al_2(SO_4)_3$

On constate que la turbidité est minimale pour une quantité de 250 mg puis augmente au fur et à mesure que la dose du coagulant augmente. Le volume des boues est maximal aux environs de 250 mg puis diminue au fur et à mesure de l'ajout du coagulant. On obtient des décolorations pour les doses à partir de 250 mg. On peut donc conclure que la dose optimale de 250 mg de  $Al_2(SO_4)_3$  permet un bon abattement de la turbidité (80%) et une bonne décoloration. Il permet de produire le maximum de volume de boue 20 ml.

### b. La turbidité

On remarque bien que l'addition de (50 mg) de sulfate aluminium a provoqué la diminution de la valeur de la turbidité de 17.5 à 12,4 NTU et avec l'augmentation de la concentration du coagulant ces valeurs continuent à diminuer. Cela est dû à ce que les particules du coagulant déstabilisent les colloïdes négativement chargés présents dans l'eau à traiter, en neutralisant les charges qui génèrent les forces de répulsion entre colloïdes.

Arrivant à une concentration de 250 mg de coagulant, nous avons remarqué que la valeur de turbidité a atteint 3.35 NTU c'est la turbidité la plus basse donc on peut dire que cette valeur (250 mg) est la concentration optimale de ce coagulant dans cette eau, les cations apportés par le coagulant ont englobés presque la totalité des suspensions colloïdales dans le liquide ce qui entraîne une clarté meilleure.



Au delà de 250 mg on a remarqué l'augmentation des valeurs des paramètres mesurés qui croît avec l'accroissement de la dose du coagulant. On comprend de cela que la surdose en coagulant provoque la restabilisation des particules colloïdales.

### c. Volumes des boues

On constate que le volume de boues augmente parallèlement avec l'augmentation de la dose de coagulant. La dose qui permet d'obtenir le plus grand volume des boues est 250 et 500mg. Au delà de 250 mg et 500mg, on remarque une diminution nette du volume de boue mesuré, on comprend de cela que la surdose en coagulant provoque la restabilisation des particules colloïdales. Ce résultat permet de confirmer que la valeur (250 mg) est la concentration optimale.

### d. Spectrophotométrie (Visible)

Un suivi par spectrophotométrie a été réalisé sur l'effluent dans la zone du visible (depuis la longueur d'onde 430 nm jusqu'à 710 nm). Ceci en vue de mesurer les absorbances correspondantes. La figure 14 représente la variation de l'absorbance en fonction de la longueur d'onde.

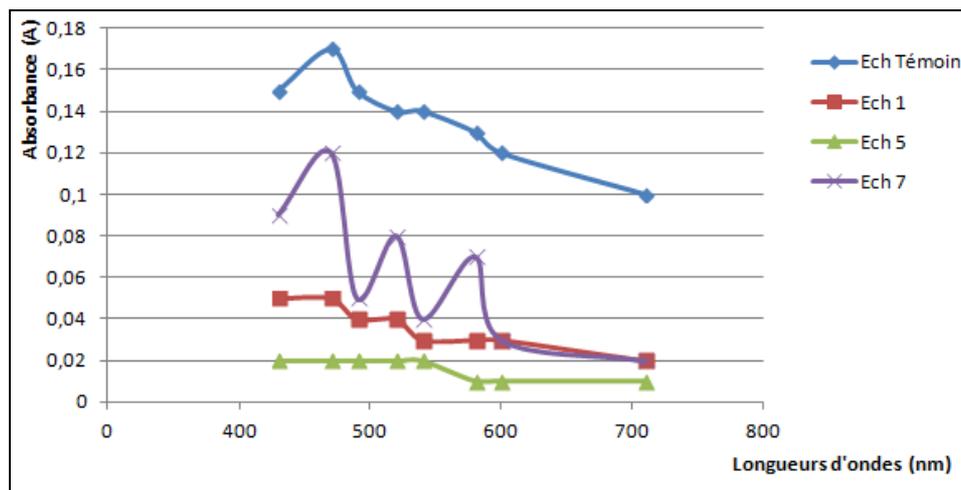


Figure 13 : Absorbance en fonction de la Longueur d'onde

On remarque que l'effluent brut présente des fortes absorbances pour toute la gamme du visible (de 430 à 710 nm). Cependant on note surtout une bande d'absorption pour la longueur d'onde 470 nm.

Cette bande diminue progressivement en fonction du traitement. Elle diminue dans le cas de l'échantillon 1 (50 mg) puis disparaît totalement pour l'échantillon 5 (250 mg).

Cette bande réapparaît dans le cas de l'échantillon 7. Il correspond en effet à l'ajout de 750 mg de coagulant. On a donc une surdose qui a poussé à une réapparition de la bande.

On peut donc souligner que la longueur d'onde reste faible pour l'échantillon 5 qui contient 250mg de coagulant.

### e. Spectrophotométrie (UV-visible)

La figure suivante représente les spectres UV-visible de l'eau brute et eau traitée avec le sulfate d'aluminium à des doses différentes longueur.

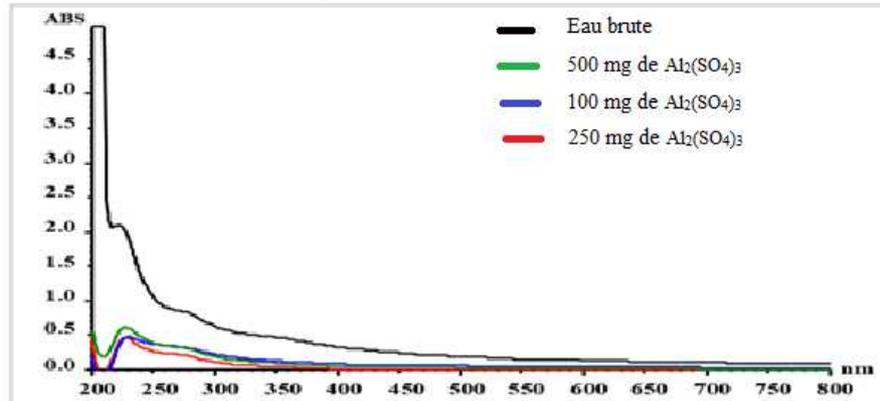


Figure 14 : spectres UV-visible de l'eau brute et de l'eau traitée

La comparaison des spectres UV des échantillons traités avec le sulfate d'aluminium et de l'eau brute nous permet de voir une diminution nette des bandes d'absorption. En effet, on remarque que les bandes à la longueur d'onde (225nm) et (275nm) diminuent une fois l'effluent traité.

On remarque que l'absorbance est minimale pour la dose (250 mg). C'est donc bien la dose optimale.

On peut conclure que :

Le prétraitement de cette eau par coagulation-floculation, nous a permis de déterminer la dose optimale (250 mg) de sulfate d'alumine pour atteindre une meilleure élimination de la matière organiques et de la matière en suspension. On obtient une valeur de turbidité très faible de 3.35 NTU et un volume de boue maximale. Les meilleures décolorations sont obtenues pour cette même dose. Les analyses par UV ont confirmé cette valeur.

## II.3 Traitement par coagulation-floculation: Cas du Chlorure Ferrique

Les essais de coagulation utilisant le chlorure ferrique comme coagulant ont été réalisés. La décantation a été mesurée en fonction du temps. Elle se fait beaucoup plus rapidement que dans le cas du sulfate d'aluminium.

Les résultats des différents temps de décantations ont été détaillés.

### II.3.1 Analyses après 5mn de décantation

Au bout de 5mn, on remarque le début de décantation dans les deux premières éprouvettes qui contiennent les doses respectives 250,300 mg de  $\text{FeCl}_3$ . Cependant, on n'observe pas de décantation dans ceux de 350 et 400mg. En plus, la couleur reste rouille.



Figure 15: Après 5mn de décantation

### II.3.2 Analyses après 45mn de décantation

Les conditions et les résultats des essais de coagulation utilisant sont illustrés sur le tableau 9. Ces résultats correspondant à un temps de décantation de 45mn.

Tableau 9 : Analyses après 45mn de décantation

| Echantillons | Dose du coagulant (mg) | Turbidité (NTU) | Volume de boue (ml) |
|--------------|------------------------|-----------------|---------------------|
| Ech 1        | 50                     | 8.05            | 5                   |
| Ech 2        | 100                    | 12.9            | 5                   |
| Ech 3        | 150                    | 7.67            | 10                  |
| Ech 4        | 200                    | 10.4            | 4                   |
| Ech 5        | 250                    | 7.87            | 5                   |
| Ech 6        | 300                    | 4.91            | 10                  |
| Ech 7        | 350                    | 17.4            | 1                   |
| Ech 8        | 400                    | 25.5            | 1                   |

### II.3.3 Analyses après 4 heures de décantation

Les conditions et les résultats des essais de coagulation utilisant le chlorure ferrique comme coagulant sont illustrés sur le tableau 10. Il a été mesuré en fonction du temps de décantation. Ces résultats correspondant à un temps de décantation de 4 heures.



Tableau 10: Analyses après 4H de décantation

| Echantillons | Dose du coagulant (mg) | Turbidité (NTU) | Volume de boue (ml) |
|--------------|------------------------|-----------------|---------------------|
| Ech 1        | 50                     | 3.05            | 10                  |
| Ech 2        | 100                    | 2.88            | 15                  |
| Ech 3        | 150                    | 2.67            | 20                  |
| Ech 4        | 200                    | 2.01            | 25                  |
| Ech 5        | 250                    | 1.87            | 25                  |
| Ech 6        | 300                    | 1.91            | 30                  |
| Ech 7        | 350                    | 10.4            | 5                   |
| Ech 8        | 400                    | 13.5            | 5                   |

Après 4h de décantation on remarque :

- ✓ une augmentation des volumes de boue qui atteint 30 ml pour une dose de 300 mg de coagulant;
- ✓ Une diminution de la turbidité dans certaines éprouvettes qui est plus remarquable avec la dose de 250 mg et 300mg ;
- ✓ une diminution de pH plus remarquable.

### II.3.4 Analyses après 8 heures de décantation

Les conditions et les résultats des essais sont illustrés sur le tableau 11. Ces résultats correspondant à un temps de décantation de 8 heures.

Tableau 11 : Analyses après 8H de décantation

| Echantillons | Dose du coagulant (mg) | Turbidité (NTU) | Volume de boue (ml) |
|--------------|------------------------|-----------------|---------------------|
| Ech 1        | 50                     | 3.07            | 10                  |
| Ech 2        | 100                    | 2.87            | 15                  |
| Ech 3        | 150                    | 2.13            | 20                  |
| Ech 4        | 200                    | 1.61            | 25                  |
| Ech 5        | 250                    | 1.39            | 25                  |
| Ech 6        | 300                    | 1.18            | 30                  |
| Ech 7        | 350                    | 13.6            | 30                  |
| Ech 8        | 400                    | 27.4            | 5                   |



Figure 16 : Après 8H de décantation

Après 8h de décantation on remarque :

- ✓ une stabilisation des paramètres mesurés ;
- ✓ le volume des boues reste similaire à celui de 4h de décantation ;
- ✓ Une légère variation de pH ;
- ✓ Un bon abattement de turbidité avec la dose de 300 mg (1.18 NTU).

### II.3.5 Spectrophotométrie (Visible)

L'absorbance est mesurée pour différentes longueurs d'onde, les résultats sont illustrés dans le tableau suivant.

Tableau12 : Absorbance en fonction des longueurs d'ondes de l'effluent après traitement

| Longueur d'absorption en nm | Ech 1 50mg | Ech 2 100mg | Ech 3 150mg | Ech 4 200mg | Ech 5 250mg | Ech 6 300mg | Ech 7 350mg | Ech 8 400mg |
|-----------------------------|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 430                         | 0.30       | 0.10        | 0.29        | 0.05        | 0.05        | 0.05        | 0.45        | 0.84        |
| 470                         | 0.31       | 0.20        | 0.30        | 0.05        | 0.04        | 0.05        | 0.50        | 1.06        |
| 490                         | 0.30       | 0.10        | 0.29        | 0.05        | 0.05        | 0.05        | 0.43        | 0.82        |
| 520                         | 0.30       | 0.20        | 0.28        | 0.04        | 0.04        | 0.04        | 0.38        | 0.63        |
| 540                         | 0.29       | 0.21        | 0.27        | 0.04        | 0.03        | 0.04        | 0.34        | 0.49        |
| 580                         | 0.28       | 0.34        | 0.26        | 0.03        | 0.03        | 0.02        | 0.31        | 0.39        |
| 600                         | 0.27       | 0.30        | 0.26        | 0.03        | 0.03        | 0.03        | 0.29        | 0.35        |
| 710                         | 0.25       | 0.30        | 0.23        | 0.02        | 0.02        | 0.02        | 0.26        | 0.30        |

### II.3.6 Interprétations des résultats

La figure 18 représente l'évolution de la turbidité et du volume des boues décantées en fonction de la dose du coagulant chlorure ferrique.

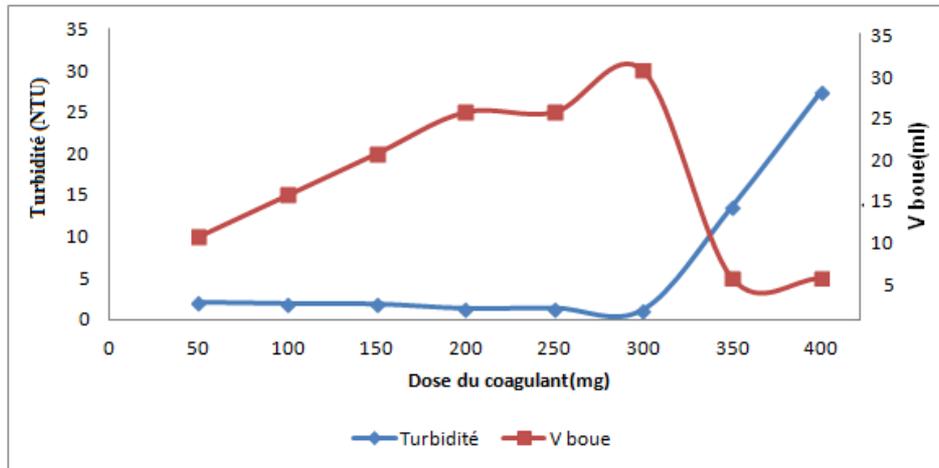


Figure 17: Variation de la turbidité et du volume des boues en fonction de la dose de  $FeCl_3$

### a. La turbidité

On remarque bien que l'addition de (50 mg) de chlorure ferrique a provoqué la diminution de la valeur de la turbidité de 19.03 à 2.02 NTU et avec l'augmentation de la concentration du coagulant ces valeurs continuent à diminuer. Cela est dû à ce que les particules du coagulant déstabilisent les colloïdes négativement chargés présents dans l'eau à traiter, en neutralisant les charges qui génèrent les forces de répulsion entre colloïdes.

Arrivant à une concentration de 300 mg de coagulant, nous avons remarqué que la valeur de turbidité a atteint 1.18 NTU c'est la turbidité la plus basse donc on peut dire que cette valeur (300 mg) est la concentration optimale de ce coagulant dans cette eau, les cations apportés par le coagulant ont englobé presque la totalité des suspensions colloïdales dans le liquide ce qui entraîne une clarté meilleure.

Au-delà de 300 mg on a remarqué l'augmentation des valeurs des paramètres mesurés qui croît avec l'accroissement de la dose du coagulant. On comprend de cela que la surdose en coagulant provoque la restabilisation des particules colloïdales.

### b. Volumes des boues

On constate que le volume de boues augmente parallèlement avec l'augmentation de la dose de coagulant. La dose qui permet d'obtenir le plus grand volume des boues est 300 et 350 mg. Au-delà de 300 mg et 300 mg, on remarque une diminution nette des valeurs des paramètres mesurés. On



comprend de cela que la surdose en coagulant provoque la restabilisation des particules colloïdales. Ces résultats permettent de confirmer que la valeur (300 mg) est la concentration optimale.

### c. Spectrophotométrie (Visible)

La figure suivante présente l'évolution de l'absorbance en fonction de la longueur d'onde.

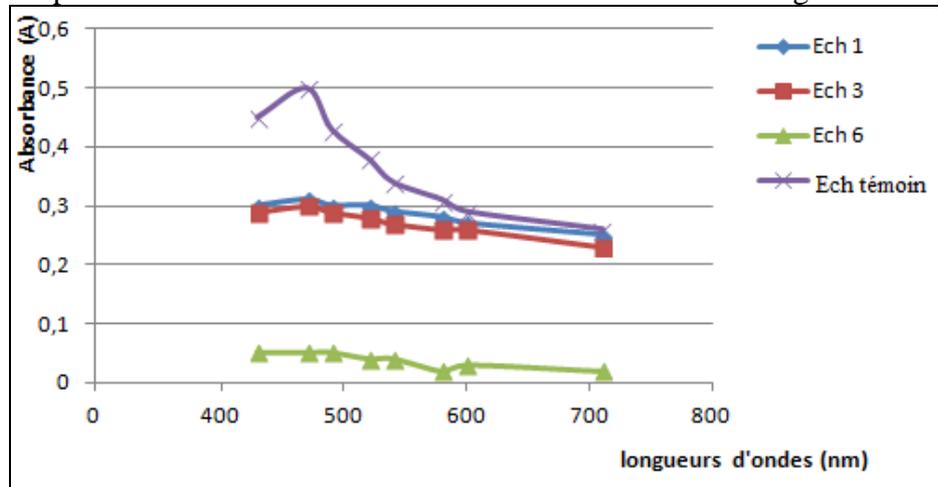


Figure 18 : Absorbance en fonction de la Longueur d'onde

On remarque que l'effluent brut présente des fortes absorbances pour toute la gamme du visible (de 430 à 710 nm). Cependant on note surtout une bande d'absorption pour la longueur d'onde 470 nm.

Cette bande diminue progressivement en fonction du traitement. Elle diminue dans le cas de l'échantillon 1 (50 mg) et l'échantillon 3 (150 mg) puis disparaît totalement pour l'échantillon 6 (300 mg).

On peut donc souligner que la longueur d'onde reste faible pour l'échantillon 6 qui contient 300 mg de coagulant.

### d. Spectrophotométrie (UV-visible)

La figure suivante représente les spectres UV-visible de l'eau brute et eau traitée avec le chlorure ferrique à des doses différentes.

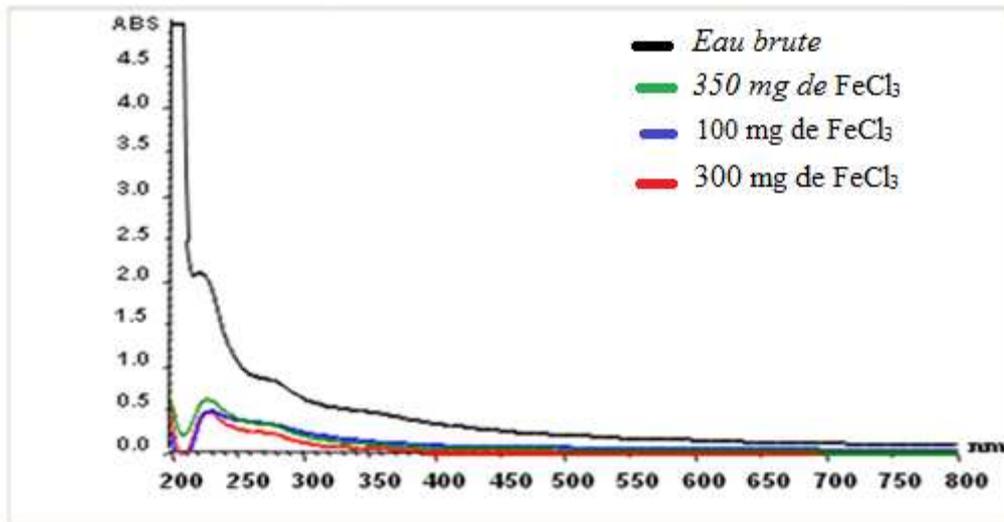


Figure 19 : UV-visible de l'eau brute et eau traitée avec  $\text{FeCl}_3$

La comparaison des courbes d'UV des échantillons traités avec le chlorure ferrique et de l'eau brute nous permet de voir une diminution nette des valeurs des eaux traités.

On remarque que l'ajout des doses de chlorure ferrique fait diminuer les courbes mais elle est plus faible pour la dose 300mg. Ce qui confirme que c'est la dose optimale.

D'après les résultats obtenus on peut conclure :

La dose de 300mg de chlorure ferrique permet une bonne diminution de la turbidité 1.18 NTU et une bonne décoloration, avec un pH qui est de 6.98 presque neutre. Ces résultats sont confirmés par les analyse avec UV et de l'absorbance.

## II.4 Comparaison des résultats De deux coagulants

Le tableau résume les résultats des essais effectués pour les deux types de coagulants (sulfate d'aluminium et chlorure ferrique). On présente notamment les paramètres (Turbidité et volume des boues) correspondant à la dose optimale.



Tableau 13: Turbidité et volume de boue de l'eau traitée par les différents coagulants

| Coagulant                  | Quantité de coagulant (mg) | Turbidité (NTU) | Taux d'abattement de Turbidité | Volume des boues (ml) | aux d'abattement de VB |
|----------------------------|----------------------------|-----------------|--------------------------------|-----------------------|------------------------|
| <b>Sulfate d'aluminium</b> | 250                        | 3.35            | 80%                            | 20                    | 6.66%                  |
| <b>Chlorure ferrique</b>   | 300                        | 1.18            | 93%                            | 30                    | 10%                    |

D'après les résultats regroupés dans le tableau, on observe une élimination importante de la turbidité. La quantité des boues décantées est élevée et elle est inversement proportionnelle à la turbidité. Le chlorure ferrique permet la réduction du maximum de la turbidité, un bon abattement de turbidité et produit le maximum des boues décantées (environ 93 % d'élimination de turbidité). Après on a le chlorure ferrique (environ 80 % d'élimination de turbidité) et produit le moins de boues décantées.

Cependant la décoloration est nettement meilleure pour le traitement avec le chlorure ferrique.

## II.5 Analyse des métaux lourds

Les résultats d'analyse des métaux lourds dans l'eau brute et traité (dans les conditions optimales) respectivement pour les deux coagulants sont illustrés sur le tableau14. On note la présence dans l'eau de plusieurs éléments métalliques et notamment Al, Ca, Cd, Cu, Cr, Fe, K, Mn, Mg, Ni, Pb et Zn. Les éléments métalliques K, Mg et Fe est le plus présent suivi d'Al et du Zn. L'eau a montré aussi des teneurs élevées en Ni, Cr et Mn alors que les éléments Cd, Pb sont présents en faible teneurs. Ces résultats témoignent d'une pollution par plusieurs types de rejets solides industriels riches en métaux.

Tableau 14: Concentrations des éléments métalliques dans l'eau avant et après traitement par le Sulfate d'Alumine et le Chlorure Ferrique



| Éch   | Al<br>mg/l | Ca<br>mg/l | Cd<br>mg/l | Cr<br>mg/l | Cu<br>mg/l | Fe<br>mg/l | K<br>mg/l | Mg<br>mg/l | Mn<br>mg/l | Ni<br>mg/l | Pb<br>mg/l | Zn<br>mg/l |
|---|------------|------------|------------|------------|------------|------------|-----------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Eau brute                                       | 2,15       | 133,413    | 0,44       | 0,288      | 0,215      | 3,735      | 24,550    | 35,27      | 0,014      | 0,048      | 0,12       | 0,367      |
| Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> | 3,45       | 66,671     | < 0.01     | 0,013      | 0,207      | 1,261      | 24,926    | 35,79      | < 0.01     | 0,0 28     | < 0.01     | 0,125      |
| FeCl <sub>3</sub>                               | < 0.01     | 75,169     | < 0.01     | 0,198      | 0,174      | 4,701      | 25,324    | 35,16      | 0,340      | 0,043      | < 0.01     | < 0.01     |
| FeCl <sub>3</sub>                               | 0,35       | 55,742     | < 0.01     | 0,022      | 0,264      | 5,231      | 24,304    | 37,71      | 0,212      | 0,101      | < 0.01     | < 0.01     |

Le traitement de l'eau de l'oued Fès par coagulation floculation en utilisant les deux coagulants a montré que le pourcentage d'élimination des différents éléments métalliques varie d'un coagulant à l'autre. Ainsi, Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> présente des propriétés lui permettant de se lier à certains métaux. Les éléments métalliques Ca, Fe et Zn sont fortement éliminés par le Sulfate d'Aluminium. Il est notamment très approprié pour l'élimination du Ni, Pb, Chrome et Zinc.



## Conclusion

À l'issue de ce travail relatif à la caractérisation et au traitement de l'eau de l'oued Fès par coagulation-floculation, nous pouvons retenir qu'il s'agit d'effluents à pH basique (8.11), représentant une turbidité élevée (17.5 NTU) et une teneur élevée des métaux lourds.

Dans cette étude, le traitement de l'eau provenant de l'oued de Fès par un procédé de coagulation floculation a été évalué. Plusieurs expériences jar-tests ont été effectuées en vue de déterminer les conditions optimales pour éliminer la pollution pour deux coagulants (le sulfate d'aluminium et le chlorure ferrique).

L'efficacité du processus est évaluée en termes de pollution métallique, de turbidité, de production de boues et d'enlèvement de la couleur.

Le meilleur traitement est enregistré avec le chlorure ferrique à une dose optimale de 300 mg.

La quantité de boue décantée est élevée et elle est inversement proportionnelle à la turbidité. Le traitement par le chlorure ferrique aboutit respectivement à des abattements de 93 % pour la turbidité et 10% de volume de boue décanté. Une diminution de des métaux lourds ont été constatées suite au traitement. Le traitement avec le sulfate d'aluminium a permis une élimination de la turbidité de l'ordre de 80 % et aussi une diminution de des métaux lourds ont été constatées suite au traitement.

L'analyse des métaux lourds a montré une élimination importante des éléments métalliques (As, Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Sb et Zn). Le chlorure ferrique permet d'élimination de la plus part des éléments métalliques avec une affinité pour le Cd, Cu, Ni, Cr et Zn. Le sulfate d'aluminium est très approprié pour l'élimination du Nickel avec un pourcentage de 95%, le Plomb avec 94%, le Chrome avec 84% et enfin le Zinc avec un pourcentage de 93%.



## Références bibliographiques

A. El Ouali Lalami et al. / Larhyss Journal, 9 (2010) pollution des eaux de surface de la ville de fes au maroc : typologie, origine et consequences

[1] Dr.R.SALGHI. Cours. Différents filières de traitement des eaux. Ecole Nationale des Sciences Appliquées d'Agadir ENSA. Université IBN ZOHR.

[2] Moise Desire DIHANG.(2007). Mécanismes de coagulation et de floculation de suspensions d'argiles diluées rencontrées en traitement des eaux. Mémoire du doctorat. Université PAUL SABATIER. TOULOUSE III.

[3] LAKHDARI Bouazza. (2011). Effet de la coagulation-floculation sur la qualité des eaux épurées de la STEP de Ain El Houtz. Mémoire de Magister. Département de chimie. Université ABOU BEKR BELKAID-TLEMCEN.

[4] Prévost, M. 2010. Traitements physico-chimiques. Notes du cours CIV8210. École Polytechnique de Montréal.

[5] Desjardins, R. 1997. Le Traitement des eaux. 2e éd. Montréal; Presses internationales Polytechnique.

[6] Desjardins, C. 1999. Simulation et étude en laboratoire de la floculation lestée (Actiflo) à l'aide d'une procédure modifiée de jar test (Mémoire de maîtrise, École Polytechnique de Montréal).

[7] Yves MICHEL. William MOREAUD. Laetitia SALVADORI. Licence prétraitement des eaux. TP

Jartest.

[8] Lahcen EL YOUSSEFI. (2013) Durabilité d'un système de cultures non conventionnel irrigué par les eaux usées traitées dans la région d'Agadir. Mémoire du doctorat. L'Université Ibn Zohr

[9] MESIANI Mohamed.(2006) « Programme de dépollution de l'Oued Sebou » RADEEF.



---

[10] F. Khalil, O. Bouaouine, H. Chtioui, S. Souabi, M.A. Aboulhassan, A. Ouammou.( 2015)  
Etude Traitement des lixiviats de décharge publique contrôlée de Fès par coagulation-floculation.  
service assainissement RADEEF, fiche de publication des travaux de la station  
d'épuration des eaux usées de Fès 2007 << créer le réseau d'assainissement de la ville de  
Fès>>, RADEEF.

## ANNEXE



## TRAITEMENT DES EAUX DE OUED FES PAR COAGULATION FLOCCULATION



M.B.KANE<sup>1</sup>, E.KHALIL<sup>1</sup>, Z.CHIAOUKI<sup>2</sup>, ILZAITAN<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Laboratoire de Chimie Appliquée, Faculté des Sciences et Techniques BP 2202, Fès, Maroc  
<sup>2</sup> Laboratoire de Chimie de la Matière Condensée, Faculté des Sciences et Techniques, BP 2202, Fès, Maroc

### Introduction

La coagulation-flocculation est un procédé qui a montré une grande efficacité de l'élimination de la pollution dans le traitement des effluents d'eau usée. Au cours des dernières années, un large éventail d'expériences de laboratoire et à l'échelle pilote a été menée pour évaluer l'effet de plusieurs coagulants. Les objectifs de cette étude sont donc l'examen de l'efficacité des processus de coagulation flocculation pour le traitement d'un eau usée, notamment en termes de pollution métallique, de turbidité, production de boues et d'un éventuel de la couleur. Les conditions optimales pour l'application efficace de traitement d'effluent par coagulation flocculation ont été réalisées en utilisant les deux coagulants sulfate d'aluminium  $Al_2(SO_4)_3$  et chlorure ferrique  $FeCl_3$ .

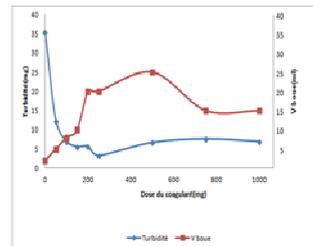


### Caractéristiques de l'effluent brut

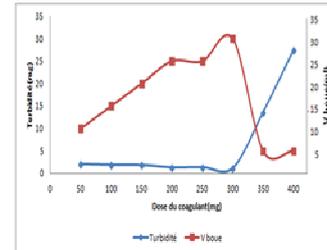
|   |      |
|---|------|
| pH  | 8.11 |
| Conductivité ( $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ ) | 1201 |
| TDS ( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ )             | 984  |
| Turbidité (NTU)                                   | 17.5 |

### Concentrations des éléments métalliques dans l'effluent brut et traité

| Métaux ( $\text{mg}/\text{l}$ ) | Effluent Brut | Effluent traité |
|---------------------------------|---------------|-----------------|
| Fe                              | 3,735         | 1,261           |
| Cr                              | 0,288         | 0,022           |
| Zn                              | 0,367         | 0,073           |
| Mn                              | 0,014         | < 0,01          |
| Al                              | 2,15          | < 0,01          |
| Cu                              | 0,215         | 0,174           |

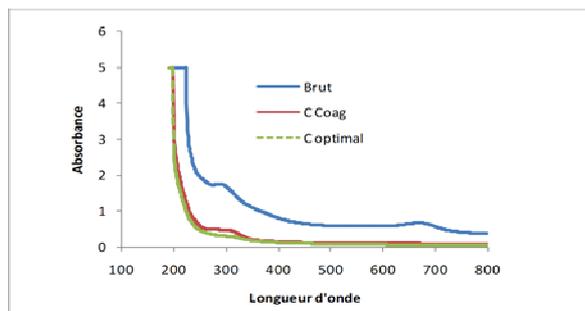


Variation de la turbidité et du volume des boues décantées en fonction de la dose de  $Al_2(SO_4)_3$ .

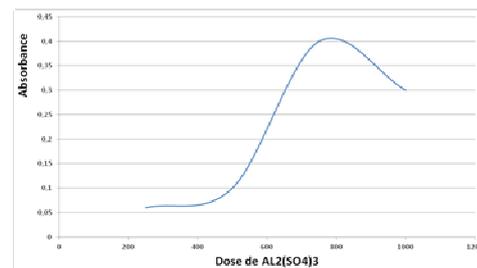


Variation de la turbidité et du volume des boues décantées en fonction de la dose de  $FeCl_3$ .

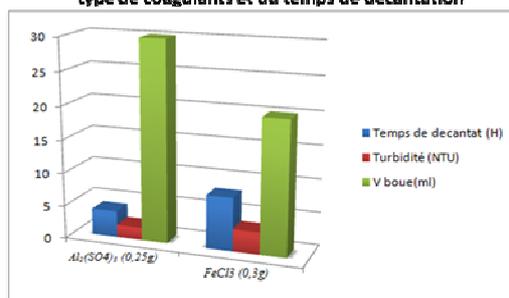
### Variation de l'Absorbance en fonction de la longueur d'onde



### Variation de l'Absorbance en fonction de la dose du coagulant



### Variation de la turbidité et du volume des boues en fonction du type de coagulants et du temps de décantation



### conclusion

Dans cette étude, le traitement des eaux de oued Fes par un procédé de coagulation flocculation a été réalisé. Plusieurs expériences pré-tests ont été effectuées en vue de déterminer les conditions optimales pour éliminer la pollution par deux coagulants. L'efficacité du processus est évaluée en termes de pollution métallique, de turbidité, de production de boues, d'absorbance et d'enlèvement de la couleur. La dose optimale obtenue par le sulfate d'aluminium est 250mg avec un rendement d'élimination de la turbidité de 80%. La quantité de boues produite après 8 heures de décantation est de 20 ml.

$FeCl_3$  donne 93% d'élimination de la turbidité et produit légèrement la même quantité de boues décantées que le sulfate d'aluminium (25ml). La dose optimale obtenue est estimée à 300mg. Ce constat confirme l'intérêt de l'optimisation et l'ajustement des paramètres aussi bien mécaniques que physico-chimiques pour avoir une meilleure efficacité d'élimination des impuretés.

L'analyse des métaux lourds a montré une élimination importante des éléments métalliques en particulier les éléments Cr, Fe, Al et Ni. Le sulfate d'aluminium est notamment très approprié pour l'élimination du Cr, Fe et Zn respectivement 83 %