

Licence Sciences et Techniques (LST)

Techniques d'Analyse et Contrôle de Qualité

TACQ

PROJET DE FIN D'ETUDES

ETUDE COMPARATIVE
ENTRE DEUX COAGULANTS
SULFATES D'ALUMINE ET LE
CHLORURE FERRIQUE

*Présenté par :

♥ BOULMANE Khaoula

*Encadre par :

♥ Ms ALILOU El Houssine (FSTF)

♥ Mme ANNOUH Fouzia (ONEE/BE)

Soutenu présentiel, le 05/07/2022 devant le jury compose de :

- Pr. ALILOU El Houssine

- Pr. MELIANI Abdesslam

-Pr. TOUZANI Hanane

Stage effectué à l'ONEE/BE de Fès

Année Universitaire 2021 / 2022



FACULTE DES SCIENCES ET TECHNIQUES FES

☒ B.P. 2202 – Route d'Imouzzer – FES

☎ Ligne Directe : 212 (0)535 61 16 86 – Standard : 212 (0)535 60 82 14

🌐 Site web : <http://www.fst-usmba.ac.ma>

Dédicaces

*C'est avec profonde gratitude et sincères mots,
Que je dédie cet humble travail de fin d'études,*

A mes chers parents sources de tendresse,

Pour leur immense soutien, leur grand amour,

Leurs sacrifices,

Leurs conseils judicieux et leurs prières

A mes chers frères,

*Aucun mot ne pourra décrire vos dévouements et vos
sacrifices.*

A tous les membres de ma famille ;

A tous mes enseignants ;

Et à tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin.

Remerciements

Je remercie en premier lieu mes chers parents qui ont toujours été là pour moi.

J'adresse mes sincères remerciements à :

Monsieur le Directeur Régional de l'ONEE/BE qui a eu la bienveillance de m'accorder ce stage ;

*Mon encadrant de stage Madame ANNOUH Fouzia qui m'a facilité l'intégration ainsi pour son bienveillance durant mon stage ; et a toute l'équipe de laboratoire pour leurs aides et leurs conseils, je tiens à remercier avec l'honneur et privilège ♥ Madame OUALI ALAMI Oumkeltoum♥ ,
Monsieur EL FELLAH Mohammed*

Un grand merci à ♥ Monsieur ALILOU El Houssine♥, qui a pris le temps de lire et corriger ce travail. Son regard critique et constructif m'a été un grand aide.

Liste des figures

Figure1 : dégrillage.....	6
Figure2 : Relevage.....	7
Figure3 : dessablage.....	7
Figure4 : débouillage.....	8
Figure 5 : pré-chloration.....	9
Figure 6 : décantation.....	10
Figure 7 : filtration.....	10
Figure 8: désinfection.....	11
Figure 9: Thermomètre.....	13
Figure10 : ph mètre	14
Figure 11 : conductivité mètre	14
Figure 12 : Le turbidimètre	15
Figure 13 : Comparateur de chlore avec DPD.....	16
Figure 14 : Test d'Aluminium.....	18
Figure 15 : Test de Fer.....	18
Figure 16 : Test de Manganèse.....	19
Figure 17 : Test d'ammonium.....	19
Figure18 : Variation de la demande en chlore en fonction de la quantité du chlore injectée.....	24
Figure 19 : appareil de jar test (essai de floculation).	25
Figure 20 : décantation des floes.....	26
Figure 21 : la technique de filtration utilisée au laboratoire.....	29
Figure 22 : Evolution des paramètres dans l'eau contenant le chlorure ferrique.....	29
Figure 23 : Evolution du pH et de la turbidité dans l'eau contenant le sulfate d'alumine.....	31

Liste des tableaux

Tableau 1 : Résultats du chlore résiduel en fonction des doses injectés de l'eau de Javel.....	23
Tableau 2 : Résultat d'analyse d'eau brute.....	27
Tableau 3 : Résultats des essais de Jar-test effectués sur l'eau pré-chlorée par le chlorure ferrique	28
Tableau 4 : Résultats des essais de Jar-test effectués sur l'eau pré-chlorée par le sulfate d'alumine.....	29
Tableau 5 : Les similitudes entre les deux coagulants.....	32

SOMMAIRE

<i>I/Introduction</i>	- 1 -
<i>PARTIE 1 : Partie bibliographique</i>	- 2 -
<i>Chapitre I : Présentation de L'Office National de l'Electricité et de l'Eau Potable-Branche Eau</i>	- 3 -
<i>I-Introduction</i> :	- 3 -
1-Missions principales :	- 3 -
2-Description du complexe de traitement des eaux d'oued Sebou :	- 3 -
3-Le laboratoire régional de Fès dispose de cinq salles :	- 4 -
<i>II-Conclusion</i> :	- 4 -
<i>Chapitre II : Etude bibliographie</i>	<i>Erreur ! Signet non défini.</i>
<i>I-Généralités</i>	- 5 -
1-Définition :	- 5 -
2- Propriétés de L'eau :	- 5 -
3-Les problèmes liés à l'eau :	- 5 -
<i>Chapitre III : Généralité sur la station</i>	- 6 -
<i>I-Station de prétraitement</i>	- 6 -
1-Dégrillage :	- 6 -
2-Relvage :	- 7 -
3-Déssablage :	- 7 -
4-Melangeurs :	- 7 -
5-Débouillage :	- 7 -
<i>II-Station de traitement</i> :	- 8 -
<i>Chapitre IV : Les méthodes d'analyses des eaux</i>	- 12 -
<i>I-Contrôle de la qualité de l'eau</i> :	- 12 -
*Analyse organoleptique :	- 12 -
*pH (Potentiel d'Hydrogène) :	- 13 -
*La conductivité	- 14 -

*La turbidité :	- 15 -
<hr/>	
*Le Chlore résiduel	- 15 -
<hr/>	
.....	- 16 -
<hr/>	
*L'oxydabilité :	- 16 -
<hr/>	
*Détermination de l'alcalinité de l'eau :	- 17 -
<hr/>	
* Paramètre mesuré par kit :	- 17 -
<hr/>	
<i>II-Caractéristiques bactériologique de l'eau :</i>	<i>- 20 -</i>
<hr/>	
<i>PARTIE 2 : Partie expérimentale</i>	<i>- 21 -</i>
<hr/>	
<i>Essai de coagulation-floculation (Jar-test)</i>	<i>- 21 -</i>
<hr/>	
<i>Introduction:</i>	- 22 -
<hr/>	
I -Demande en chlore :	- 22 -
<hr/>	
Expression des résultats :	- 23 -
<hr/>	
<i>II-Jar-test :</i>	<i>- 25 -</i>
<hr/>	
<i>III-Résultats des essais de coagulation-floculation :</i>	<i>- 28 -</i>
<hr/>	
.....	- 28 -
<hr/>	
<i>IV-Comparaison entre Sulfate d'Aluminium et le Chlorure Ferrique :</i>	<i>- 32 -</i>
<hr/>	
<i>V-Conclusion :</i>	<i>- 32 -</i>
<hr/>	
<i>Conclusion generale:</i>	<i>- 34 -</i>

I/Introduction

L'élément majeur du monde c'est l'eau est aussi le vecteur privilégié de l'activité humaine, c'est un solvant universel des substances naturelles et aussi le réservoir ultime de toutes les substances introduites par l'activité humaine.

C'est pourquoi, elle fait l'objet d'un contrôle de qualité permanent de façon à en garantir la sécurité sanitaire. L'eau, pour pouvoir être consommée sans danger, ne doit comporter aucun élément toxique, ni bactérie, ni parasite ou virus nuisibles pour l'homme. L'appréciation de la qualité de l'eau potable se base sur la mesure des paramètres physico-chimiques ainsi que sur la présence ou l'absence des micro-organismes aquatiques, indicateurs d'une plus ou moins bonne qualité de l'eau au sein d'un laboratoire approprié.

Par conséquent, l'Office National de l'Eau et l'Electricité–Branche Eau de Fès est chargé de la production de l'eau potable à l'échelle nationale au niveau urbain, effectue le contrôle et la surveillance de la qualité de l'eau sur tout son réseau, de la source de prélèvement jusqu'au consommateur.

L'objectif de ce projet de fin d'étude, c'est l'étude de comparaison entre deux coagulant utilisée dans le précédé de traitement classique type A3, il s'agit de Sulfate d'aluminium et de Chlorure Ferrique, a partir des résultats obtenu en détermine le meilleur réactif adapter sur le plan qualitatif et économique,

PARTIE 1 : Partie bibliographique

Chapitre I : Présentation de L'Office National de l'Electricité et de l'Eau Potable-Branche Eau

I-Introduction :

L'ONEE est le pilier de la stratégie énergétique et bras armé de l'Etat dans le secteur de l'eau et de l'assainissement au Maroc. Depuis le milieu des années 1990, l'office est sur tous les fronts : généralisation de l'accès à l'électricité et à l'eau potable, épuration des eaux usées et développement du service de l'assainissement liquide, modernisation et élargissement des réseaux de production, de commercialisation et de distribution des ressources électriques et hydrauliques lutte contre le gaspillage et implémentation de nouveaux instruments et technique d'économies de l'eau et d'électricités....

L'ONEE, né du regroupement en 2012 de l'Office Nationale d'Electricité(ONE) créé en 1963 et l'Office National de l'Eau Potable(ONEP) créé en 1972, s'investit pleinement dans de grands projets structurants pour le Maroc, le dotant d'infrastructures de production, transport et de distribution d'électricité et d'eau ainsi que d'épuration des eaux usées indispensables au développement durable du pays.

1-Missions principales :

- ♥ Planification de l'approvisionnement en eau potable de royaume.
- ♥ Etude, réalisation et gestion des adductions d'eau potable.
- ♥ Gestion de la distribution d'eau potable et de l'assainissement dans les communes qui la demandent.
- ♥ Assistance technique en matière, de surveillance de la qualité de l'eau.
- ♥ Contrôle de la qualité des eaux et protection des ressources en eau susceptibles d'être utilisées pour l'alimentation humaine.

2-Description du complexe de traitement des eaux d'oued Sebou :

Ce complexe de production est constitué de quatre stations :

- Station de prétraitement
- Station de pompage d'eau brute (d'Oued Sebou)
- Station de traitement

- Station de pompage d'eau traité (Ain Nokbi)

3-Le laboratoire régional de Fès dispose de cinq salles :

Le laboratoire est équipé de matériel moderne qui lui permet de déterminer plusieurs paramètres tel que : pH, conductivité, turbidité....

- ◆ Une salle pour les analyses physico-chimique
- ◆ Une salle pour les analyses bactériologiques
- ◆ Une salle pour les analyses par spectrophotométrie d'absorption moléculaire et les analyses par chromatographie a phase gazeuse
- ◆ Une salle pour les analyses par spectrophotométrie d'absorption atomique
- ◆ Une salle de lavage et de stérilisation.

II-Conclusion :

L'ONEE est donc chargée de la gestion, la production de la distribution de l'eau potable dans tout le royaume du Maroc. Cette eau pour qu'elle soit consommable elle ne doit contenir en quantité dangereuse ni microorganismes ni substances chimique nocifs pour la santé. Les eaux d'alimentation doivent satisfaire aux exigences de qualité.

I-Généralités

1-Définition :

*L'eau brute : est celle qui se trouve dans l'environnement, qui n'a pas été traitée et possède tous ses minéraux, particules, bactéries ou parasites. L'eau de pluie, l'eau souterraine, celle des réservoirs comme les rivières et les lacs sont des eaux brutes.

* L'eau potable : ou l'eau traitée est une eau consommable sans risque pour la santé,

2- Propriétés de L'eau :

Est indispensable au fonctionnement du corps humain, dont les réserves en eau doivent être alimentées en permanence pour ne jamais être déshydraté. L'eau assure de multiples fonctions : elle irrigue les tissus, permet la digestion en dissolvant les aliments, assure l'équilibre thermique du corps, permet l'évacuation des déchets.

L'eau contient une multitude d'éléments présents dans les milieux qu'elle traverse, notamment des sels minéraux pris au contact des roches (Sodium, Potassium, Calcium, Fer, Magnésium et Phosphore) et des oligo-éléments (Iode, Cuivre, Fluor, Chlore, Zinc, Cobalt, Sélénium, Manganèse) nécessaires au métabolisme et au bon fonctionnement de notre corps.

3-Les problèmes liés à l'eau :

Les risques pour la santé provenant de la pollution d'eau ne sont pas encore assez étudiés. On connaît juste les effets de certaines substances nocives telles que le nitrate, le plomb, le cuivre, les phosphates et le chlore etc. Ils sont soupçonnés de provoquer des cancers, des mutations, la stérilité, des troubles du système nerveux, des dommages à l'ossature, des difficultés aux facultés intellectuelles et même, dans le cas du Nitrate, la mort des nourrissons. Par conséquent, des normes ont été établies pour fixer notamment les teneurs limites de ces substances nocives.

L'eau potable est une denrée alimentaire essentielle aux êtres vivants et doit être conforme aux normes en vigueur.

Chapitre III : Généralité sur la station

I-Station de prétraitement

Le rôle de la station de prétraitement est d'éliminer les éléments les plus grossiers. Ces éléments sont en générale les déchets de grands tailles et aussi réduire la concentration des matières en suspension (MES) jusqu'à une concentration inférieure ou égale à 2g/l.

- Si $MES < 2g/l$: l'eau brute est pompée directement vers la station de traitement.
- Si $2g/l < MES < 50g/l$: l'eau brute passe par un prétraitement avant d'être pompée vers la station de traitement.
- Si $MES > 50g/l$: l'arrêt des deux stations.

La station de prétraitement comporte :

1-Dégrillage : C'est la première étape dans le prétraitement, il permet de séparer et d'évacuer les corps flottants et les gros déchets tel que les plastique, les branches...) Pour ce faire, l'eau passe à travers une ou plusieurs grilles dont les mailles sont de plus en plus serrées. Celles-ci sont en général équipées de système automatiques de nettoyage pour éviter leur colmatage, et aussi pour éviter le dysfonctionnement des pompes.

On a 3 types des dégrilleurs :

- Prédégrilleure à 15 mm de diamètre
- Le dégrilleur moyen à 10 mm de diamètre
- Le dégrilleur fin à 5mm de diamètre.



Figure1 : dégrillage

2-Relvage : La station de relevage dispose de trois vis d'Archimède pour transporter l'eau de l'oued qui se trouve à un niveau plus bas que la destination souhaité (vers les déssableurs) en assurant un débit de 550 l/s chacune.



Figure2 : Relevage

3-Déssablage : prétraitement physique qui permet par décantation de retirer les particules douces (sable, gravier et les autres matières non dissoutes).



Figure3 : dessablage

4-Mélangeurs : il permet de mélange l'eau brute avec le polymère (Alginate ou poly-électrolyte) pour casser la stabilité colloïdale et augmenter la taille des particules contenues dans les eaux brutes ainsi la répartition de l'eau dans les débourbeurs.

5-Débourbage : permettant d'éliminer les boues et certaines matières en suspension. Cette technique est utilisée quand la teneur en MES est supérieure à 2g/l.



Figure4 : débouage

Station de pompage : le pompage de l'eau brute dans cette station est équipé de 4 groupes électropompes, chacune à un débit de 500 l/s. Ces groupes refoulent l'eau vers la station de traitement (Ain Nokbi) par une conduite de refoulement équipée par un anti-bélier de volume 20000l, l'aspiration se fait à partir d'une prise directe sur l'Oued SEEBOU ou bien à partir de la bache 1600m³ au cas où la station de prétraitement est marche.

II-Station de traitement :

Avant d'être distribuée aux utilisateurs, l'eau brute est seulement une matière première, qui fera l'objet de plusieurs traitements pour être une eau potable destinée à l'alimentation.

Les étapes de traitement sont :

- 1- **Pré-chloration** : il permet d'éliminer les matières organiques ou minérales ainsi que les bactéries présentes dans l'eau afin de faciliter les opérations suivantes :
 - ✚ Eliminer le goût, les odeurs des micropolluants et la couleur ;
 - ✚ Eliminer le fer et le manganèse : l'oxydation les transforme en hydroxydes insolubles, facilement séparables du liquide pour décantation et filtration ;
 - ✚ Eliminer MES ;
 - ✚ Amélioration de la coagulation floculation ;
 - ✚ Protéger les ouvrages contre les Algues ;

Le chlore est introduit dans l'eau à partir de chlore gazeux Cl₂ pour former l'**acide hypochloreux** suivant la réaction suivante :

Le produit généralement utilisé est le chlore Cl₂ : $\text{Cl}_2 + \text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{HClO} + \text{HCl}$



Figure 5 : pré-chloration

2- **Coagulation-floculation** : La coagulation-floculation est une procède de traitement physico-chimique d'épuration de l'eau, son principe repose sur la difficulté qu'ont certaines particules à se décarter naturellement : **les colloïdes**

☞ Les colloïdes sont caractérisés par leur très faible diamètre et sont notamment responsable de la couleur et la turbidité de l'eau de surface.

***Coagulation :**

Cette opération a pour but principale de déstabiliser les particules en suspension c.-à-d. de faciliter leur agglomération, elle se fait soit par addition de **sulfate d'aluminium** ou par **chlorure ferrique**.

***floculation :**

Elle vise à favoriser l'agglomération des micros floes, afin de former d'amas de plus en plus volumineux appelés « **floes** », et pour améliorer la floculation on peut ajouter un polymère (Alginate ou poly électrolyte).

3- **Décantation** : une phase très importante dans le cycle de traitement de l'eau de surface, elle doit permettre d'éliminer à l'aide d'une floculation préalable toute les matières colloïdales donnant à l'eau brutes on aspect trouble.

La décantation dépend de nombreux facteurs :

- ❖ La dimension, la forme et le poids du floe ;
- ❖ La viscosité et par conséquent la température de l'eau ;
- ❖ La vitesse de débordement ;
- ❖ La vitesse d'écoulement ;

- ❖ La profondeur du bassin ;



Figure 6 : décantation

4- **Filtration** : permet d'éliminer les plus petites particules non décantées en les faisant passer dans des **filtres à sables** pour aboutir à une eau pure est potable, le filtre peut jouer un double rôle : d'une cote il retient les MES par filtration et d'autre il permet de faire un traitement biologique c-à-dire une consommation des matières organiques, l'ammoniaque, fer et le manganèse par les bactéries qui sont développées sur le sable.

Après une période de fonctionnement les filtres doivent être régénérés par lavage à contre-courant avec de l'air et du vent, celui-ci assure un brassage complet de la masse filtrante et détache les matières qui y sont retenues.



Figure 7 : filtration

4- **Désinfection** : C'est la dernière étape de traitement de l'eau, elle permet d'éliminer les microorganismes pathogènes de l'eau.

Il existe plusieurs désinfectants : rayonnement UV, chlore, ozone.... L'agent de désinfection utilisé à la station de traitement ONEP de Fès est le chlore.



Figure 8: désinfection

➡ Après désinfection, l'eau devient potable stockée dans un réservoir de 30000m³ et deux bâches de 7500 m³ chacune puis il acheminée vers le réservoir de Bâb El Hamra de la RADEEF.

Chapitre IV : Les méthodes d'analyses des eaux

Aujourd'hui, pour être déclarée « eau potable », l'eau doit répondre à plusieurs critères de qualité différente définissant la potabilité chimique ainsi que la potabilité bactériologiques, organoleptiques, etc.....

Paramètres organoleptiques : ils concernent la couleur, le goût et l'odeur de l'eau. L'eau doit être agréable à boire, claire et sans odeur.

Paramètres physico-chimiques : ils correspondent aux caractéristiques de l'eau tels que le pH, la température, la conductivité ou la dureté de l'eau et délimitent les ions, les chlorures, le potassium et les sulfates.

Paramètres bactériologiques : ils permettent de contrôler que l'eau ne contient aucun germe pathogène, comme les virus, les bactéries ou les parasites, pouvant provoquer des maladies.

I-Contrôle de la qualité de l'eau :

*Analyse organoleptique :

L'eau doit être agréable à boire, claire, fraîche et sans odeur. C'est principalement par ces aspects que le consommateur apprécie la qualité d'une eau. Mais ces critères n'ont pas une valeur sanitaire directe. L'eau peut avoir un goût, odeur et parfois une couleur particulière et être consommable selon la norme marocaine (03-07-001).

- **Le goût :** peut être défini comme l'ensemble des sensations gustatives, olfactives et de sensibilité chimique commune perçue par les organes gustatifs lorsqu'ils sont en contact avec l'eau à tester.

L'apparition de gout provient de l'augmentation de la matière organique qui se combine avec le chlore et qui donne un goût amer.

- **L'odeur :** on dilue l'eau à examiner jusqu'à ce qu'elle ne présente plus d'odeur perceptible, l'échantillon d'eau prélevé doit être conservé à l'abri de l'air pour ne pas perdre son odeur.

En effet, toute odeur est un signe de pollution ou de la présence de la matière organique en décomposition.

- **La couleur :**

- Couleur réelle : c'est la couleur due aux substances en solution dans l'eau.

- Couleur apparente : c'est la couleur due aux substances en suspension dans l'eau.

☞ **NB :** s'il y a la présence du goût et/ou d'odeur, on peut ajouter du charbon actif en poudre pour éliminer ces critères.

* Paramètres physico-chimiques :

*La température :

La température de l'eau doit être connue avec une bonne précision, en effet, celle-ci joue un rôle dans la solubilité des sels, surtout des gaz, la valeur du pH permet de déterminer l'origine de l'eau et des mélanges éventuels. On mesure la température de l'eau à l'aide d'un **thermomètre**.

La température de l'eau doit être acceptable pour ne pas affecter la qualité de l'eau, l'augmentation de la température des eaux à l'état naturel peut :

- ✓ Favoriser le développement de germes et de bactéries
- ✓ Intensifie l'odeur, la couleur, la saveur et le goût
- ✓ Favorise le développement des algues
- ✓ Diminue l'effet du chlore résiduel
- ✓ Réduit la densité et la viscosité



Figure 9: Thermomètre

*pH (Potentiel d'Hydrogène) :

Le pH mesure la concentration en ions H^+ de l'eau .Il traduit ainsi la balance entre acide et base sur une échelle de 0 à 14,7 étant le pH de 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** ou par colorimétrie.



Figure10 : pH mètre

*La conductivité :

La conductivité mesure la capacité de l'eau à conduire le courant entre deux électrodes, elle est fonction de la concentration totale en ions, leurs mobilités, leurs valences, leurs concentrations relatives et de la température

La mesure des conductivités permet donc d'apprécier la quantité de sels dissous dans l'eau.

NB : La conductimètre permet de mesurer la conductivité en $\mu\text{S}/\text{cm}^2$



Figure 11 : conductivité mètre

*La turbidité :

La turbidité est la capacité de l'eau à diffuser ou absorber la lumière. Elle varie selon la teneur en matière qui la trouble. Cet indice de la limpidité de l'eau s'exprime en **Unité Néphelométrique de Turbidité (UNT)** et fait partie des paramètres analysés lors d'une physicochimie d'eau potable.

On se sert de la turbidité comme indicateur de changement de qualité. Lorsqu'elle augmente, l'altération de la transparence qu'elle traduit est généralement causée par les matières en suspension tel les débris de roche ou la dégradation de végétaux, la présence de microorganismes, de micro-algues ou de contaminants polluants.

La turbidité de l'eau potable est considérée non conforme dès qu'elle dépasse 5 UNT.

- NTU < 5 => eau claire
- NTU < 30 => eau légèrement trouble
- NTU > 50 => Eau trouble.

Pour mesure la turbidité on utilise **le turbidimètre**.



Figure 12 : Le turbidimètre

NB : Le turbidimètre permet de déterminer la turbidité, il est étalonné par des solutions références de turbidité à chaque fois qu'il est nécessaire.

*Le Chlore résiduel : (Au moment de prélèvement)

Le Chlore est sous forme d'acide hypochloreux, chloramine ou d'hypochlorite.

Le contrôle du Chlore résiduel a pour but d'assurer que l'eau est suffisamment traitée, ainsi qu'il a assez de Chlore disponible pour réagir complètement à tous risque de pollution.

La mesure de Chlore résiduel est faite par un comparateur de chlore avec disque, comprimés de DPD.



⇒ Comparateur de chlorure résiduel

⇒ DPD1 (Diethyl Paraphénylène Diamine)



Figure 13 : Comparateur de chlore avec DPD

*L'oxydabilité :

L'oxydation chimique des matières organique et des substances oxydables est effectuée par le permanganate de potassium à chaud, ce test permet de déterminer la teneur en matière organique en même temps que d'autres substances oxydables

Mode opératoire :

- 100ml d'échantillon +2ml de H_2SO_4 +10ml de $KMnO_4$
- Chauffage au bain marie pendant 13min
- Décoloration (1ml d'acide oxalique)
- Dosage par $KMnO_4$

⇒ La solution prend un couleur **rose** au point d'équilibre

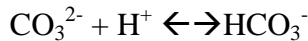
L'oxydation est évaluée à l'aide de la formule suivant : $[O_2]=V_e * 0,8 \text{ (mg/l)}$

*Détermination de l'alcalination de l'eau :

L'alcalination de eaux correspond à la présence des hydrogénocarbonates HCO_3^- carbonates CO_3^{2-} et hydroxydes OH^-

* Le titre alcalimétrique (TA) :

Correspond à la neutralisation des ions hydroxydes et à la transformation des ions carbonates en hydrocarbonates par un acide fort (pH supérieur à 8,3)



Mode opératoire :

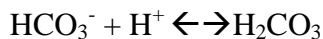
- 100ml d'échantillon + quelque goutte de phénolphtaléine, On a deux cas, si :

♦ **pH >8,3** donc on obtient une coloration **rose**, on **dose par HCL**

♦ **pH <8,3** donc pas de coloration, donc **TA= 0**

* Le titre alcalimétrique complet (TAC) :

Correspond à la neutralisation par acide fort des ions hydroxydes, carbonates et hydrogénocarbonates



Mode opératoire :

- 100ml d'échantillon + quelque goutte d'hélianthine

- On dose par HCl jusqu'à coloration **jaune orange**

* Paramètre mesuré par kit :

* **Test d'aluminium** : C'est un test qui sert à détecter l'absence ou la présence d'Al dans l'eau traitée,

Mode opératoire :

En Prend 5ml de l'échantillon, on ajoute une spatule d'Al-N°1A puis 1,2ml d'Al-N°2A et 4 gouttes d'Al-N°3A, La lecture finale des résultats se fait après 7 min.

Chaque couleur correspond à une valeur et La variation des couleurs varie entre : **jaune, verte, bleu**

→ La valeur maximale admissible : **0,2 mg/l**



Figure 14 : Test d'Aluminium

* **Test de Fer** : C'est un test sert à détecter la présence ou l'absence du Fer dans l'eau traitée.

Mode opératoire :

On Prend 6mL de l'échantillon, on ajoute 3 gouttes du réactif (Fer-1) et on laisse 3min ensuite on fait la comparaison du couleur

→ La valeur maximale admissible : **0,3mg/l**

- La présence faible du fer est due à la conduite.



Figure 15 : Test de Fer

* **Test de manganèse** : C'est un test qui sert à détecter la présence ou l'absence du manganèse dans l'eau brute.

Mode opératoire :

On remplit le tube jusqu'à trait du jauge, on ajoute 8gouttes de Mn-N°1 plus 4gouttes de Mn-N°2 et on laisse 2min, ensuite on ajoute 4gouttes de Mn-N°3 et on laisse reposer 5min après on compare les couleurs, La couleur varie entre **beige** et **marron**

→ La valeur maximale admissible : **0,5mg/l**



Figure 16 : Test de Manganèse

* **Test d'ammonium** : Comme les tests précédant le test d'ammonium permet de détecter la présence ou l'absence de NH_4^+ dans l'échantillon.

Mode opératoire :

On remplit le tube de 20ml de l'échantillon, on ajoute 5gouttes de NH_4^+ N°-1 puis 5gouttes de NH_4^+ N° 2 et 5gouttes de NH_4^+ N°-3 et en laisse reposer 3min puis on compare les couleurs

→ La valeur maximale admissible : **0,5mg/l**



Figure 17 : Test d'ammonium

II-Caractéristiques bactériologique de l'eau :

Les paramètres microbiologiques permettent de contrôler que l'eau ne contient aucun germe pathogène, ces germes sont les virus, les bactéries ou les parasites, pouvant provoquer des maladies.

Les analyses microbiologiques réalisées en laboratoire ont ainsi pour but de déceler et évaluer la présence dans les eaux de microbes pathogènes dangereux pour l'homme, il s'agit de détecter les bactéries indicatrices de contamination fécale ; les Escherichia coli (E. Coli) et les Entérocoques « **Naturellement présents dans les déjections animales ou humains, ces organismes d'origine intestinale peuvent se retrouver dans l'eau** ».

Rq : Les Entérocoques sont pathogènes de même que certains colibacilles l'eau potable du robinet doit donc être exempt de la présence de ces bactéries.

Les bactéries recherchées :

- ✱ Escherichia coli (E. coli)
- ✱ Les bactéries coliformes
- ✱ Les anaérobies sulfite-réducteurs (ASR)
- ✱ Les microorganismes revivifiables
- ✱ Les entérocoques intestinaux

PARTIE 2 : Partie expérimentale

Essai de coagulation-floculation

(Jar-test)

Introduction:

La coagulation-floculation est un procédé qui permet de collecter les particules très fines contenues dans l'eau afin de créer des « floccs », des particules plus grandes qui vont être décanté ou flotter plus facilement.

Ce procédé adapté en laboratoire consiste à suivre les étapes suivantes :

- 🌿 Pré-chloration par le chlore au break-point.
- 🌿 Essai au sulfate d'aluminium ou chlorure ferrique.
- 🌿 Amélioration de l'essai par l'utilisation de flocculant : le poly électrolyte, l'alginate.
- 🌿 Utilisation d'autre réactifs d'amélioration et de correction tels que le charbon actif, la chaux, le permanganate de potassium, l'acide sulfurique.

I -Demande en chlore :

La demande en chlore nous permet de déterminer la quantité de chlore optimale (Break point) qui doit être injectée dans l'eau brute au cours du pré chloration. Le rôle du chlore est de prévenir et de limiter la prolifération des bactéries et des algues de façon à ne pas causer de problèmes à un stade avancé du traitement. La pré chloration élimine les odeurs et contrôle la croissance biologique dans l'ensemble du système de traitement.

Premièrement, on détermine la concentration de l'eau de javel.

Mode opératoire : Dans un bécher, on introduit :

- 🌿 1 ml de l'eau de javel (NaOCl, NaCl)
- 🌿 10 ml de solution d'iodure de potassium (KI à 10%)
- 🌿 10 ml de solution d'acide acétique (CH₃COOH) 9N

Enfin, on titre par une solution de thiosulfate de sodium Na₂S₂O₃ (N/10) jusqu'à décoloration.

Interprétation :

Dans un milieu acide (CH₃COOH), l'hypochlorite de sodium NaOCl (eau de javel) est décomposé par la libération de chlore qui déplace l'iode d'une solution d'iodure de potassium

KI. L'iode rejeté est déterminé au moyen d'une solution standard de thiosulfate de sodium. $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$.



Expression des résultats :

Le titre de l'eau de javel est donné par cette relation : **[Eau de javel] = $T_b \times 3.55$ (g/l)**

T_b : le volume (ml) de thiosulfate de sodium (N/10) au point d'équivalence.

→ Pour déterminer la demande en chlore on procède de la façon suivante :

Mode opératoire :

Dans des flacons de 250 ml on introduit 100ml d'échantillon de l'eau à traiter (eau brute) et on ajoute des doses croissantes de la solution de chlore de concentration égale à 0,1 g/l.

On laisse les flacons à l'obscurité pendant 30 min et à l'aide d'un comparateur + DPD on mesure le chlore « libre » résiduel et on trace la courbe.

« **Break point** : c'est le point de rupture, ou point critique, il permet de déterminer la quantité de chlore nécessaire et d'éviter la formation de chloramines. »

Les résultats obtenus :

Tableau 1 : Résultats du chlore résiduel en fonction des doses injectés de l'eau de Javel

N° flacon	1	2	3	4	5	6	7	8	9

Cl₂ injecté (mg/l)	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5
Cl₂ résiduel (mg/l)	0.1	0.1	0.3	0.6	0.8	0.7	1.5	2	2.5

➤ Détermination de break point (point de rupture) :

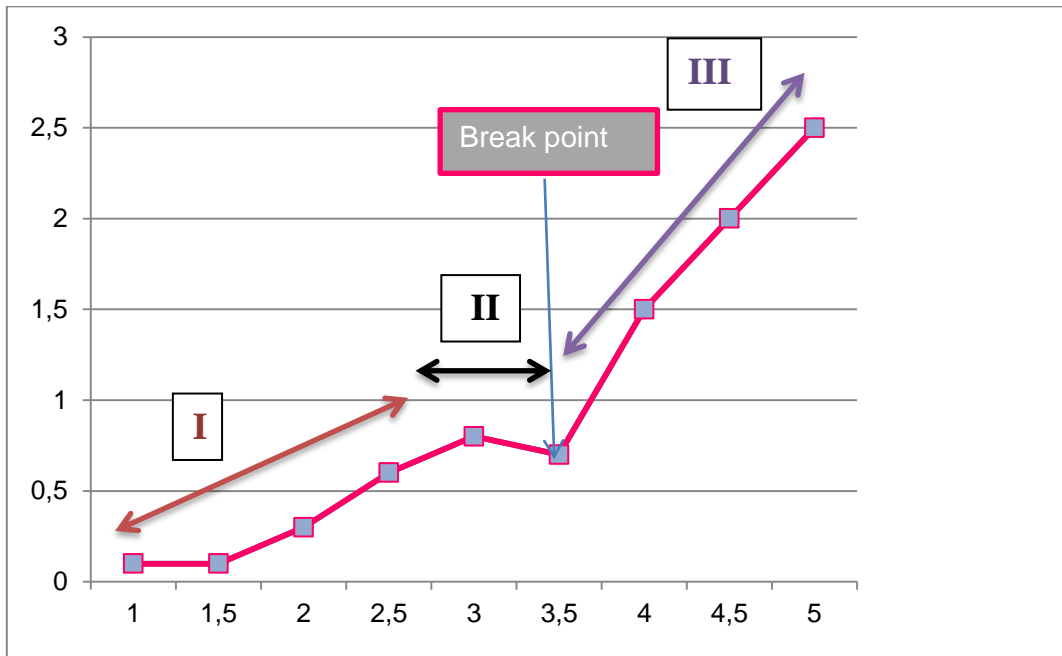


Figure18 : Variation de la demande en chlore en fonction de la quantité du chlore injectée

Donc la demande en chlore égale à 3,5 mg /l

Remarque :

I : le chlore ajoutée réagit avec les agents réducteurs (H_2S ; Mn^{2+} ; Fe^{2+} ...) et la matière organique puis le chlore réagit avec l'azote et on a la formation de compose chlores principalement le monochloramines.

II : les monochloramines sont transformés en dichloramine et en acides HCL

III : Le chlore ajouté et un chlore libre très efficace pour la désinfection.

II-Jar-test :

Procédure qui simule les unités de coagulation-floculation du traitement de l'eau, ces tests permettent d'évaluer différents paramètres qui influencent ce processus. Ce procédé consiste à suivre les étapes suivantes :

- Pré-chloration par le chlore de 10g/l (Break-point la demande en chlore).
- Essai de sulfate d'aluminium « $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3, 18\text{H}_2\text{O}$ » ou chlorure ferrique « FeCl_3 » comme coagulante de concentration 10g/l.
- Amélioration de l'essai par l'utilisation de floculant « **poly-électrolyte, l'alginate** » de concentration 0,1g/l.



Figure 19 : appareil de jar test (essai de floculation).

Mode opératoire :

Avant de commencer l'essai de floculation, les analyses suivantes (pH, température, TA, TAC, l'oxydabilité, turbidité) pour l'eau brute filtrée directement sur un papier filtre.

*** Injection des réactifs :**

- Dans chacun des béchers on met 1 litre d'eau brute et on les place sur le banc de floculation
- On agite l'eau rapidement pendant 5min ;
- Dans ces 6 béchers, on ajoute une dose de l'eau de javel correspondante à la demande en chlore précédemment déterminée ;
- On met en marche les agitateurs à une vitesse d'environ 120 tours/minute ;

* Coagulation-Floculation :

- On ajoute aussi rapidement que possible au six béchers, des quantités croissantes du coagulant ;
- On maintient l'agitation rapide pendant 2 minutes ;
- On ajoute le poly-électrolyte et on diminue l'agitation à 40 tours/minute ;
- On maintient l'agitation lente pendant 20 minutes ;
- On note le délai d'apparition du floc (en minute et en seconde) à partir du début de l'agitation lente.

*Décantation :

- Après, on relève les hélices et on laisse décanter pendant 30min.

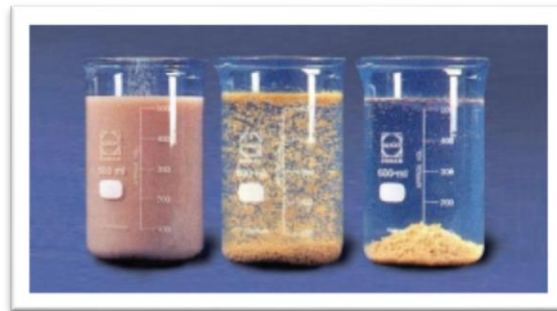


Figure 20 : décantation des floes

*Filtration :

- Après on filtre le surnageant par un papier filtre, le filtrat récupéré est mesuré à l'aide d'un turbidimètre.

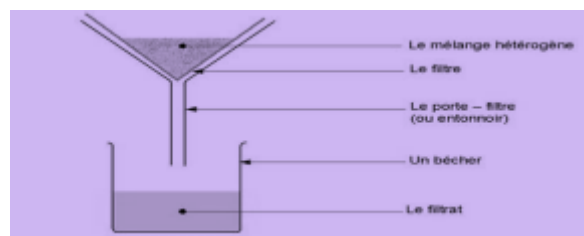


Figure 21 : la technique de filtration utilisée au laboratoire

Remarque : Expression de l'aspect du floc en fin d'agitation lente par une note :

- 00- pas de floc ; 02- légère opalescence
 04- petits points ; 06- flocons de dimensions moyennes
 08- bon floc ; 10- excellent floc

Expression de la vitesse de sédimentation : **R** : rapide **L** : lente **M** : moyenne

✿ Avant de commencer l'essai de coagulation, les analyses suivantes (pH, température, TA, TAC, l'oxydabilité, turbidité normale et colloïdale) pour l'eau brute filtrée directement sur un papier filtre. Les résultats sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau 2: Résultat d'analyse d'eau brute:

Paramètre	Essai
Ph	8,14
Température de l'eau au moment du prélèvement en °C	23,9
TA	0,2
TAC	6
L'oxydabilité en mg/l O ₂ consommé	6
Turbidité en NTU	104
Turbidité colloïdale en NTU	3,1

NB : cette analyse préliminaire de l'eau brute effectuée au laboratoire permet de caractériser la qualité de l'eau :

Critères de choix de la dose optimale de traitement « **Meilleur béccher** » est basé sur les éléments suivants :

- ⊕ Taille de floc supérieure à 6
- ⊕ pH Entre 7 et 7,40
- ⊕ Oxydabilité inférieur ou égale 2mg d'O₂/l
- ⊕ Turbidité filtrée inférieur ou égale 0,5 NTU
- ⊕ Turbidité Décanté inférieur à 5 NTU
- ⊕ Al³⁺ résiduel inférieur à 0.2 mg/l
- ⊕ Fe²⁺ résiduel inférieur à 0.3mg/l

III-Résultats des essais de coagulation-floculation :

Tableau 3 : Résultats des essais de Jar-test effectués sur l'eau pré-chlorée par le chlorure ferrique :

Essai de coagulation						
Coagulant	Chlorure ferrique					
bécher N°	I	II	III	IV	V	VI
Le taux du coagulant mg/L	20	25	30	35	40	45
Floculant (polymère)	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Délai d'apparition du floc pendant agitation lente	45s	30s	30s	25s	20s	10s
Aspect du floc, en fin d'agitation lente*	6	8	8	8	8	8
vitesse de sédimentation*	M	R	R	R	R	R
Résultats après T=30 min de décantation :						
Ph	7,54	7,35	7,33	7,30	7,22	7,20
Oxydabilité mg/l	1,10	0,7	1,15	0,9	1,30	0,40
Turbidité NTU	1,3	1,27	0,92	0,72	1,82	2,07
Chlore résiduel mg/l	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Résultats après filtration						
Turbidité colloïdale NTU	0,25	0,2	0,18	0,15	0,23	0,12
T.A.C	4,48	4,52	3,17	3,55	3,5	3,4
fer mg/l	0,03	0,02	0,015	0,07	0	0

La figure suivante représente l'évolution de la turbidité et du pH en fonction des doses injectées de coagulante :

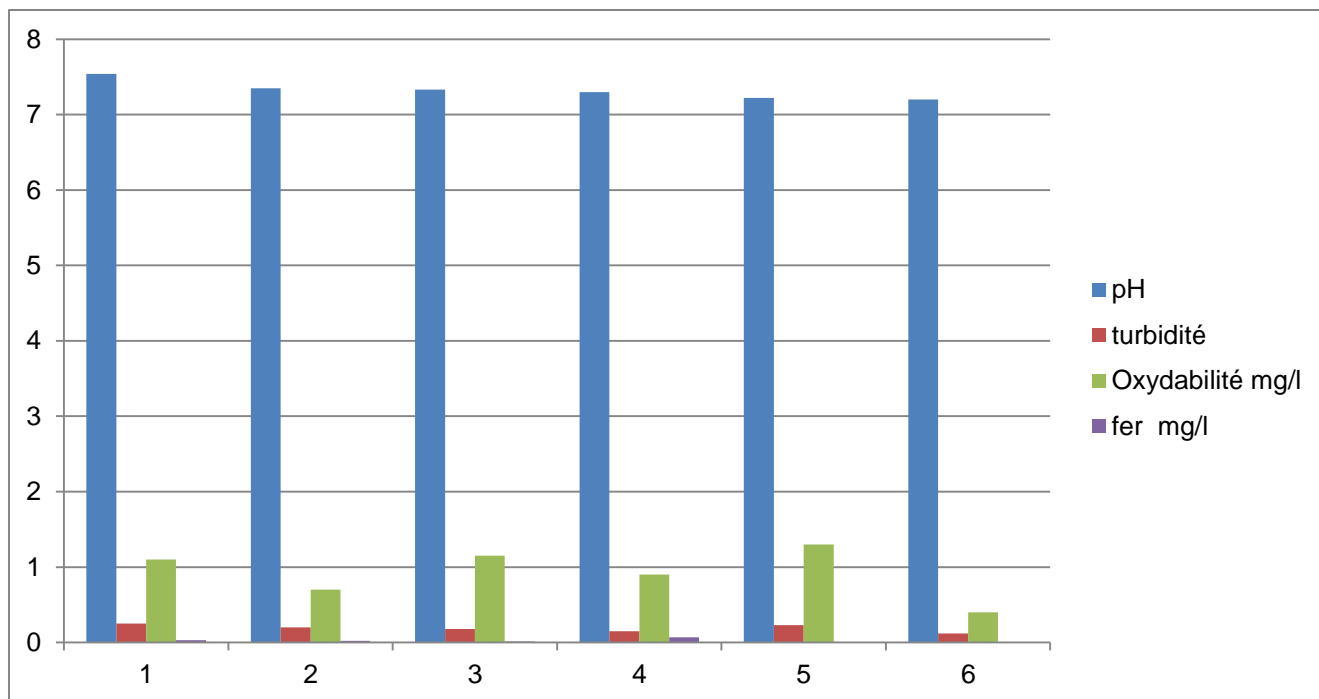


Figure 22 : Evolution des paramètres dans l'eau contenant le chlorure ferrique

D'après les résultats obtenus dans le tableau et la figure on observe que la turbidité diminue en fonction de l'augmentation progressive de la concentration du coagulant (FeCl_3) pour atteindre 0,12 NTU pour 45 mg/L de coagulant. On remarque aussi qu'avec l'augmentation de la concentration du coagulant la valeur du pH subit une diminution de 7,54 à 7,20 cela est dû à l'acidité du coagulant (FeCl_3). En ce qui concerne le taux d'oxydabilité on remarque aussi qu'il diminue en fonction des doses injectées. Et la même chose pour l'oxydabilité.

D'après les résultats de la turbidité d'eau filtrée et de l'eau décantée, on constate qu'ils sont tous conforme aux normes, donc on fait recours au pH :

- Pour le béciers I le pH est différent à l'intervalle de la norme fixé au niveau de la station
- Les 5 derniers béciers répondent aux critères de choix, donc on va choisir le bécier II: 25 mg/L car il contient moins de coagulant « chlorure ferrique» (raison économique).

Tableau 4 : Résultats des essais de Jar-test effectués sur l'eau pré-chlorée par le sulfate d'alumine

Essai de coagulation

Coagulant	Sulfate d'aluminium					
	I	II	III	IV	V	VI
bécher N°						
Le taux du coagulant mg/L	20	25	30	35	40	45
Floculant (polymère)	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Délai d'apparition du floc pendant agitation lente	45s	40s	30s	29s	25s	20s
Aspect du floc, en fin d'agitation lente*	4	4	4	6	6	8
vitesse de sédimentation*	L	L	L	M	M	R
Résultats après T=30 min de décantation :						
Ph	7,98	7,88	7,79	7,63	7,57	7,38
Oxydabilité mg/l	2,92	2,12	2,56	1,3	1,7	1,88
Turbidité NTU	2,45	1,15	0,95	0,8	1,05	2,18
Chlore résiduel mg/l	0,4	0,5	0,5	0,6	0,65	0,7
Résultats après filtration						
Turbidité colloïdale NTU	0,81	0,94	0,65	0,48	0,4	0,29
T.A.C	5,1	5,3	4,8	5	4,75	4
Aluminium mg/l	0,12	0,07	0,12	0,07	0	0

La figure représente l'évolution du pH et de la turbidité en fonction des doses injectées de coagulant « sulfate d'aluminium » :

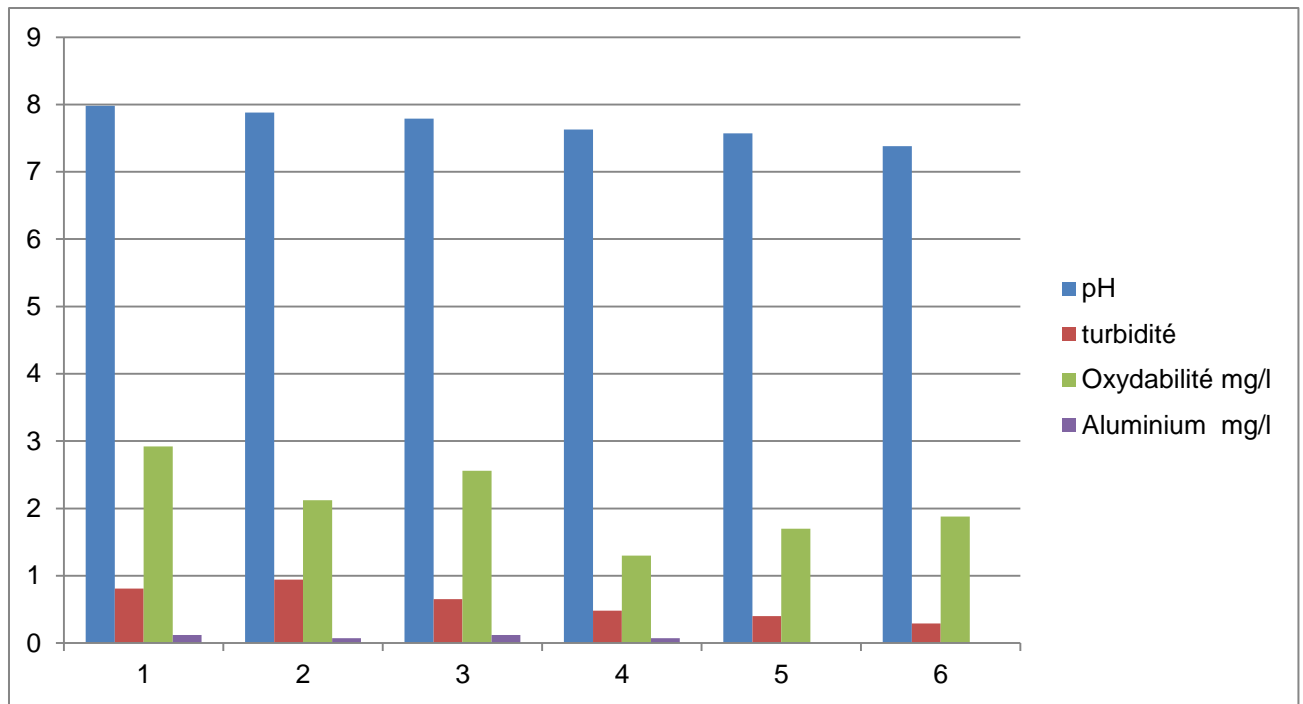


Figure 23 : Evolution du pH et de la turbidité dans l'eau contenant le sulfate d'alumine

On remarque dans le tableau et la figure qu'à l'addition de 20 mg/L du coagulant « sulfate d'aluminium » une diminution de la valeur de la turbidité de 3,1 NTU de l'eau brute de l'entrée de la station à 2,45 NTU, et avec l'augmentation de la concentration du coagulant ces valeurs de turbidité continuent à diminuer. Cela est dû à ce que les particules du coagulant déstabilisent les colloïdes négativement chargés présents dans l'eau à traiter. On remarque aussi qu'avec l'augmentation de la concentration du coagulant la valeur du pH subit une diminution de 7,98 à 7,38 cela est dû à l'acidité du coagulant « sulfate d'aluminium ». Joutant à cela on remarque que le taux d'oxydabilité diminue en fonction des doses injectées.

Donc pour choisir le taux de concentration du coagulant convenable, nous avons adopté aux normes :

- La turbidité filtrée des 3 premiers béciers est supérieur à la norme : (0,81 NTU, 0,94 NTU, 0,65NTU) > 0,5 NTU donc à éliminer.
- La taille des floccs pour les 5 béciers I, II, III, IV et V inférieur à 6 donc on élimine
- Le derniers béciers répond aux critères de choix, donc on va choisir le bécier 6: 45mg/L

IV-Comparaison entre Sulfate d'Aluminium et le Chlorure Ferrique :

D'après le tableau et les résultats obtenus on remarque que :

- ✓ La turbidité colloïdale de l'eau diminue par l'augmentation de la dose des deux coagulants
- ✓ La taille des floccs obtenue à partir des essais des deux coagulants presque de même grosseur
- ✓ Les valeurs d'aluminium et de fer dissous après filtration sont acceptables et de ne dépassent pas la norme

Choix et comparaison entre les meilleurs essais de chacun des deux coagulants :

Tableau 5 : Les similitudes entre les deux coagulants :

	Meilleur essai sulfate d'alumine	Meilleur essai chlorure ferrique
Ph	7,38	7,30
Oxydabilité mg/l	1,88	0,9
Turbidité NTU	2,18	0,72
Chlore résiduel mg/l	0,7	0,1
Turbidité colloïdale NTU	0,29	0,15
Délai d'apparition des floccs	40s	20s
Aspect des floccs	Bon flocc	Excellent

V-Conclusion :

On déduit que coagulant chlorure ferrique et plus efficace par rapport au sulfate d'aluminium. Mais cela n'empêche pas que le sulfate d'aluminium est le plus facile à réaliser au niveau de la station de Fès et le plus adapté industriellement, car le chlorure ferrique présente plusieurs inconvénients parmi eux :

 La couleur :

La présence d'un résiduel de fer s'oxyde avec l'eau de javel (désinfectant), ce qui implique une apparition de couleur au niveau de l'eau.

Effet corrosif :

Le chlorure ferrique est toxique et hautement corrosif. La forme anhydre est un agent déshydratant très puissant. Il doit être manipulé avec précautions. Il a un caractère d'acide fort et présente donc tous les risques dus aux produits corrosifs.

Méfaits sur la santé :

• Effets principaux :

- Irritant pour la peau; corrosif pour les muqueuses et les yeux.
- Risque d'altérations du foie.
- L'exposition chronique au produit peut provoquer une accumulation de fer dans les tissus (sidérose) caractérisée par des dépôts rouge-brun.

• Inhalation :

Irritation intense du nez et de la gorge. Toux et respiration difficile. En cas d'expositions répétées ou prolongées : risque de maux de gorge, de saignements de nez, de bronchite chronique. En cas d'expositions répétées ou prolongées : risque de coloration brune des dents.

• Contacts avec les yeux :

Irritation intense, larmoiement, rougeur des yeux et gonflement des paupières. Brûlures, Risque de lésions graves ou permanentes de l'œil.

Au niveau économique :

Le chlorure ferrique est plus cher que le sulfate d'alumine.

- ❖ Le sulfate d'alumine coute 3.28 DH/Kg
- ❖ Le chlorure ferrique coute 11.84 DH/Kg.

Conclusion :

Mon stage au sein de l'ONEE/BE ma donnée une vision claire sur le procédé de traitement classique appliquée au niveau de l'unité de traitement d'oued Sebou, ainsi que les efforts déployés par le laboratoire pour assurer une qualité conforme aux normes en vigueur.

L'objectif de Mon PFE et de faire une étude comparative entre deux coagulant SA et le CF utilisée fréquemment dans les étapes de traitement « phase de coagulation »

Le sulfates d'aluminium est moins chers malgré que leur dose est élevée par rapport au chlorure ferrique, et que l'utilisation de FeCl_3 avec une grand dose donne une couleur jaune à l'eau du au résidu de fer et cela peut constituer un risque sanitaire, et aussi ne respecte pas les normes organoleptiques.

Le choix entre les deux coagulants se base sur les critères cité précédemment, mais aussi sur la nature de l'eau brute .Certains ONEE/BE au Maroc utilisent par obligation le chlorure ferrique comme coagulant (par exemple : ONEE de Tétouane) vue que leur eau brute contient déjà une quantité de sulfate d'alumine, donc s'ils le traite avec ce dernier l'eau va dépasser les normes.

ANNEXES

Tableau : les normes marocaines de l'eau potables

SUBSTANCES INDESIRABLES ET/OU POUVANT DONNER LIEU A DES PLAINTES

paramètres physico-chimiques

PARAMETRES	EXPRESSION DES RESULTATS	VMA	COMMENTAIRES
Odeur	Seuil de perception à 25°C	3	
Saveur	Seuil de perception à 25°C	3	
Couleur réelle	Unité Pt mg/l	20	
Turbidité	Unité de turbidité néphélométrique (NTU)	5	Turbidité médiane ≤ 1 NTU et Turbidité de l'échantillon ≤ 5 NTU.
Température	°C	Acceptable	
Potentiel hydrogène	Unités pH	6,5 < pH < 8,5	Pour que la désinfection de l'eau par le chlore soit efficace, le pH doit être de préférence < 8
Conductivité	μ S/cm à 20°C	2700	
Chlorures	Cl:mg/l	750	
Sulfates	SO4:mg/l	400	
Oxygène dissous	O ₂ :mg O ₂ /l	5 \leq O ₂ \leq 8	
Aluminium	Al : mg/l	0,2	
Ammonium	NH4: mg/l	0,5	
Oxydabilité KMNO ₄ au	O ₂ : mg O ₂ /l	5	La valeur de 2 mg O ₂ /l doit être respectée au départ des installations de traitement
Hydrogène sulfuré		Non détectable organoleptiquement	
Fer	Fe:mg/l	0,3	
Zinc	Zn: mg/l	3	