كلية العلوم و التقنيات فاس
ⵜⴰⵙⴻⴷⴰⵍⵜ ⵏ ⵜⵎⴰⵙⵙⴰⵏⵉⵏ ⴷ ⵜⵉⵏⵉⵜⵜⵉⵏ
Faculté des Sciences et Techniques de Fès

جامعة سيدي محمد بن عبد الله
ⵜⴰⵙⴷⴰⵡⵉⵜ ⵙⵉⴷⵉ ⵎⵓⵃⵎⵎⴰⴷ ⴱⵏ ⵄⴱⴷⵍⵍⴰⵀ
Université Sidi Mohamed Ben Abdellah

Licence Sciences et Techniques (LST)

GENIE CHIMIQUE

PROJET DE FIN D'ETUDES

Optimisation du traitement par coagulation floculation des eaux d'oued sebou

Présenté par :

- **Mr MOUJAHID Mehdi**

Encadré par :

- **Mr HAMDANI Driss (ONEE/BO)**
- **Pr BOULAHNA Ahmed (FST)**

Soutenu Le 07 Juin 2018 devant le jury composé de :

- **Pr BOULAHNA Ahmed (FST)**
- **Pr EL ASRI Mohamed (FST)**
- **Pr MELIANI Abdesalam (FST)**

Stage effectué à ONEE/BO

Année Universitaire 2017 / 2018

FACULTE DES SCIENCES ET TECHNIQUES FES – SAISS
B.P. 2202 – Route d'Imouzzer – FES
Ligne Directe : 212 (0)5 35 61 16 86 – Standard : 212 (0)5 35 60 82 14
Site web: http://www.fst-usmba.ac.ma

Dédicace

A mes très chers parents,

Pour tout l'amour qu'ils nous portent et pour leurs encouragements qu'ils nous ont apportés au cours de ce projet, je dédie ce travail en témoignage d'un grand amour et reconnaissance infinie,

Je dédie aussi ce modeste travail,

A toute ma famille, pour le soutien moral.

Ames chers enseignants, sans aucune exception.

A tout le personnel de **l'ONEE/BO Fès**, qui m'ont bien aidé à atteindre mon objectif.

A mes collègues, ainsi qu'à tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin et qui ont eu une main dans la réussite de mon stage.

Merci infiniment.

Remerciement

Avant d'intégrer le fond de mon rapport, je tiens à exprimer

-Ma profonde gratitude à **Mr M.BERKIA** Directeur Régional de l'ONEE/BO à FES.

-Mes remerciements les plus distingués à mon encadrant **Mr. BOULAHNA Ahmed** pour ses conseils, ses directives et les encouragements qui m'a prodiguée tout au long de ce travail. Je le remercie aussi pour sa disponibilité à encadrer ce travail à travers ses critiques et ses propositions d'amélioration.

- Je tiens à remercier également mon encadrant à la ONEE/BO**, Mr. HAMDANI Driss**, pour l'aide et les conseils concernant la réalisation de ce rapport, ainsi ses éclaircissements des différentes étapes de mon stage.

- Je remercie également les membres de jury **Pr. BOULAHNA Ahmed, Pr. EL ASRI Mohamed** et **Pr. MELIANI Abdeslam** d'avoir accepté de juger Ce travail.

-Et sans oublier bien sûr de remercier tous ceux qui m'ont apporté soutien, conseil, disponibilité et toute personne qui accordera une attention particulière à ce rapport.

Liste des figures

Figure 1:degrilleur ……10
Figure 2: relevage……...……..……...11
Figure 3:dessableur……....……..……..…11
Figure 4: débourbeur……...……...……13
Figure 5: Répartiteur-mélangeur……...……..….14
Figure 6: décanteur……...……..…15
Figure 7: Filtre à sable……...……..16
Figure8:Turbidimètre…….……18
Figure 9: essai de coqgulation et floculation jar-test……..……...….……25
Figure 10: Chloration au break point……..……27
Figure 11: méthode de la membrane filtrante……29

LISTE D'ABREVIATIONS

ONEE/BO : Office National de l'Electricité et de l'Eau potable Branche Eau

ONEP : Office National de l'eau potable

TH : Titre hydrotimétrique (dureté totale)

TCa : dureté calcique

TAC : Titre alcalimétrique complet

TA : Titre alcalimétrique

NTU : Unité de turbidité niphélométrique

VMA : Valeur maximale admissible

Sommaire

Introduction…… 6
Chapitre I : Présentation de L'ONEE/BO……...7
- Historique……8
- Missions principales ……8
- Description du complexe de traitement oued Sebou……8

Chapitre II : Procédés de traitement des eaux d'oued Sebou……9
1. Prétraitement ……10
   a. Dégrilleur……11
   b. Relevage……...11
   c. Dessableur……12
   d. Débourbeur……..12
   e. Pré chloration……12
2. Traitement ……13
   - Coagulation-Floculation……13
   - Répartiteur mélangeur……...14
   - Décantation……15
   - Filtration……...15
   - Désinfection……16

Chapitre III : Analyses physico-chimique et Bactériologique……...17
I. Analyses physico-chimique……18
1. Turbidité……18
2. Potentiel d'hydrogène……..18
3. Température ……...19
4. Conductivité……19
5. Chlore résiduel……19

II. Analyses chimiques……..20
   1. Alcalinité de l'eau TA ……20
   2. Oxydabilité……..21
   3. Dureté de l'eau……22
   4. Oxygène dissout……..23
   5. Demande en chlore……..25

III. Analyses bactériologique……27
   1. Micro-organisme recherchés……28
   2. Micro-organisme revivifiables……29
   3. Méthodes d'analyses……29

Chapitre IV : Essai de coagulation-Floculation jar-test……..31
I .Coagulation-Floculation……32
   a. Coagulation……32
   b. Floculation……32
II. Jar-test (Essai de coagulation-Floculation)……32
   Résultats et Interprétation ……..33

INTRODUCTION

L'eau est considérée comme potable lorsqu'elle ne présente aucun danger pour la santé, et afin d'assurer cela, des normes ont été établies pour fixer notamment les teneurs limites à ne pas dépasser pour un certain nombre de substances nocives et susceptibles d'être présentes dans l'eau. Le fait que l'on soit conforme aux normes, signifie que l'eau est potable.

Selon les normes, une eau potable doit être exempte de germes pathogènes (bactéries, virus) et d'organismes parasites car les risques sanitaires liés à ces microorganismes sont grands.

L'eau peut contenir, en quantités limitées, certaines substances chimiques qualifiées indésirables ou toxiques, comme les nitrates et les phosphates, les métaux lourds ou encore les hydrocarbures et les pesticides pour lesquels des concentrations maximales admissibles ont été définies.

Une eau potable doit être agréable à boire, claire, avoir une bonne odeur et un bon goût. Elle doit contenir un minimum de sels minéraux dissous (de 0,1 à 0,5 g /l) qui sont par ailleurs indispensables à l'organisme sans pour autant corroder les canalisations. L'eau brute destinée à la consommation humaine est prélevée dans un cours d'eau dans une nappe souterraine ou à partir d'une eau superficielle (rivières, sources, mer...) et ensuite acheminée vers une usine de production d'eau potable où elle subit divers traitement physico-chimiques et bactériologiques pour devenir potable.

Le présent travail s'inscrit dans ce cadre, il a comme objectif l'optimisation du traitement par coagulation-floculation des eaux d'oued Sebou. Ainsi notre travail sera présenté comme suit :

- Une présentation du lieu de stage : ONEE/BO ;
- Les procédés du traitement des eaux d'oued Sebou ;
- Les analyses physico-chimiques et bactériologiques ;
- Les essais de coagulation-floculation (Jar-Test).

Chapitre I : Présentation de l'ONEE/BO

I. Présentation de l'ONEE/BO

1. Historique

L'**ONEP** crée en **1972** par Dahir sous le nom de **REIP** (Régie d'Exploitation Installation et Planification), puis **REP** (Régie d'Exploitation et Planification), et en **2012** prend le nom **ONEE** Branche Eau après fusion avec l'Office National de l'Electricité (**ONE**).

C'est un établissement public à caractère industriel et commercial, doté de la personnalité civile et de L'autonomie financière, l'Office National de l'Electricité et de l'Eau Potable est l'organisme gouvernemental qui assure l'essentiel de la gestion de la ressource en eau potable et de sa production.

2. Mission Principales de L'ONNE/BO

- Planifier l'approvisionnement en eau potable à l'échelle national ;
- Production l'eau potable ;
- Contrôle de la qualité des eaux ;
- Suivi de l'efficacité du traitement ;
- Distribution de l'eau potable pour le compte des collectivités locales.

L'ONEE/BO est le première producteur avec **750 millions m^3** en **2006** couvrant les besoins de **96%** de la population totale urbaine du Royaume et sans oublier bien sûr est le premier distributeur avec plus d'un million de client, en plus on trouve d'autres activités particulières :

- Amélioration de la qualité de l'eau ;
- Sensibilisation ;
- Formation et cooperation.

3. Description du complexe de traitememt

Le Complexe de production d'Oued comporte deux stations :

•La station de prétraitement située à Sebou : Sa construction remonte à **1989** son rôle est l'extraction de l'eau brute et la diminution du taux de matière en suspension jusqu'à une valeur inférieure à **2g/l** et jusqu'à la station de traitement.

•La station de traitement Ain Noukbi : édifiée le **19 mars 1987**assure :

- Le traitement des eaux reçues de la station de prétraitement.
- Le contrôle de la qualité des eaux traitées (dans le laboratoire régional).
- Refoulement des eaux vers le réservoir BAB HAMRA.

Chapitre II : Procédés du traitement des eaux d'oued Sebou

I. Traitement de l'eau d'oued Sebou

1. Prétreatment

C'est une étape de traitement qui permet d'extraire de l'eau brute la grande quantité des matières en suspension et des matières organiques qui gênent l'efficacité du traitement.
Elle comporte un certain nombre d'opérations uniquement physiques ou mécaniques.

La station de prétraitement est mise en service selon le taux des matières en suspension [MES].

- MES **<2 g/l**, l'eau brute est pompée directement vers la station de traitement
- **2 g/l** <MES **≤50 g/l** l'eau passe d'abord par un prétraitement avant d'être Pompée vers la station de traitement.
- MES **>50 g/l** les deux stations de prétraitement et traitement sont en arrêt et l'alimentation de la ville de Fès en eau potable sera globalement par les forages situés à la nappe de sais.

La station de prétraitement est constituée de :
-Une prise d'eau équipée de trois grilles et un dérailleur ;
-Une station de relevage équipée de trois (3) vis d'Archimède ;
-Deux dessaleurs ;
-Un répartiteur mélangeur ;
-Trois débourbeurs.

Ce prétraitement comporte 3 opérations :

a. Dégrillage

C'est une étape préliminaire, a pour rôle de faire passer l'eau à travers des grilles qui arrêtent les corps flottants et les gros déchets (d'arbres, roches, bois) et de matières de taille plus faible (branches, feuilles, objets métalliques).

Figure 1: dérailleur

b. Relevage

Le relevage permet le pompage de l'eau vers les dessableurs est assuré par trois vis d'Archimède qui permettent le pompage de l'eau de l'oued Sebou vers les dessaleurs.

Figure 2: Vis d'Archimède.

c. Dessablage

C'est un premier traitement physique de l'eau brute, qui permet par décantation de retirer les sables et gravier mélangés dans les eaux.

Figure 3: dessableur

d. Débourbage

C'est une opération de séparation solide-liquide par pré-décantation qui a pour but d'éliminer les boues et supprimer certaines particules en suspension (concentration supérieure à **2g/l**) pour éviter d'engorger les ouvrages de pompage de traitement par la boue.

Figure 4: débourbeur

e. Pré-chloration

La pré chloration est une étape du traitement, qui permet d'oxydation de :

- Ions manganeux, ferreux ;
- Matière organique ;
- Nitrites, nitrates.

Elle présente de nombreux avantages notamment :

- Amélioration de l'efficacité de la coagulation ;
- Evite le développement d'algues et autres organismes mais présente l'inconvénient de former des Produits secondaires (THM) qui conduisent à une détérioration de la qualité de l'eau.
- Une décoloration de l'eau.
- Détruire les microorganismes

Le produit généralement utilisé est le chlore.

1. Traitement

La phase de traitement vient après les opérations de prétraitement qui permettent à l'eau d'être moins chargé de matière en suspension et organiques, a pour but d'éliminer la turbidité, la pollution chimique et microbiologique par toute une série de transformation afin d'obtenir une eau potable destinée à l'alimentation humaine.

Les principales étapes du traitement sont :

- **Coagulation-floculation**

Pour éliminer les matières colloïdales et les particules en suspension présentes dans les eaux brutes, on utilise les procédés couplés de coagulation et de floculation.

- **Coagulation**

Cette opération a pour but principal de déstabiliser les particules en suspension c'est-à-dire de faciliter leur agglomération par neutralisation des charges électrostatiques négatives superficielles des particules colloïdales, on pratique cette opération est caractérisée par l'injection et la dispersion rapide de Sulfate d'alumine : **(Al_2 $(SO4)_3$, 18 H_2O).**

- **Floculation**

La floculation a pour objectif de favoriser a l'aide d'un mélange lent les contacts entre les particules déstabilisées ; ces particules s'agglutinent pour former un floc qu'on peut facilement éliminer par les procèdes de décantation et de filtration.

➢ Répartiteur-mélangeur

Son rôle est de mélanger les réactifs de traitement (chlore, sulfate d'alumine, poly électrolyte et le charbon actif) avec l'eau provenant de l'ouvrage d'arrivée. Il permet aussi la répartition de l'eau brute mélangée avec les réactifs dans les 6 décanteurs.

Figure 5 : Répartiteur-Mélangeur

➢ Décantation

La décantation est une phase très importante de traitement de l'eau pour récupérer une grande partie des flocs. Elle permet aux flocs formés lors de l'étape de coagulation -floculation de se déposer sous l'effet de la gravité.

Figure 5: décanteur

- **Filtration**

C'est une opération qui permet d'éliminer les matières en suspension non décantées.Le type de filtration le plus répandu est la filtration sur sable. L'eau à filtrer passe donc à travers un lit de sable (environ 0.9 m de hauteur) et se débarrasse de flocs non éliminés par la décantation.Ce traitement doit réduire la turbidité de l'eau à des valeurs inférieures ou égales à **0.5 NTU.**

Figure 6 : Filtre à sable

- **Disinfection**

C'est l'étape finale du traitement de l'eau, elle a pour objectif d'assurer la destruction des micro-organismes pathogène de l'eau.L'agent de désinfection utilisé à la station de traitement de Fès est le chlore. Le chlore résiduel libre a la sortie de la station doit être maintenu entre **0.5** et **1mg/l**.

Remarque : La forme de chlore la plus utilisée et la moins coûteuse est le chlore gazeux, un produit chimique très toxique qui doit être transporté, manutentionné et répertorié avec beaucoup de soin**.**

Chapitre III : Analyses physico-chimiques et bactériologiques

I. Analyses physico-chimiques

1. Turbidité

La turbidité désigne la teneur d'une eau en particules suspendues qui la trouble (organismes microscopiques, argiles), elle est une caractéristique optique de l'eau, à savoir sa capacité à absorber ou diffuser la lumière .Donc la turbidité est un facteur de la couleur de l'eau .

Figure 7: Turbidimètre

➢ Résultats

Tableau 1 : Mesure de la Turbidité

Date	Turbidité de l'eau brute en NTU	Turbidité de l'eau décantée en NTU	Turbidité de l'eau filtrée en NTU	Turbidité de l'eau traitée en NTU
03/05/18	**51.8**	**2.3**	**0.36**	**0.28**
04/05/18	**123**	**2.8**	**0.41**	**0.35**

Pour une eau destinée à l'alimentation humaine la **VMA** est de **5 NTU**

La station de traitement Ain Noukbi vise à produire une eau traitée qui a une turbidité Inférieure à **0.5 NTU**.

La turbidité de l'eau filtrée ne doit pas dépassée **0.5 NT**U sinon les filtres doivent être lavés.

La turbidité de l'eau décantée ne doit pas dépassée **5 N**TU sinon les décanteurs nécessitent Une purge des boues du fond.

2. Potentiel Hydrogène pH

Le pH est une mesure qui permet de déterminer à quel point l'eau est acide ou basique.
Cela est lié directement à la quantité d'ions hydrogène (H^+) dans l'eau.
Plus il y a d'ions H^+, plus l'eau est acide et plus le pH est bas.

Le pH est mesuré à l'aide d'un appareil appelé le pH-mètre .

Tableau 2 : Mesure du pH

Date	Eau brute	Eau décantée	Eau filtrée	Eau traitée
03/05/18	7.90	7.66	7.53	7.37
04/05/18	8.16	7.75	7.68	7.48

On constate que les valeurs du pH de l'eau traitée sont inférieures à celles de l'eau brute.
Pour une eau destinée à l'alimentation humaine la **VMA** : **6.5 < PH < 7.5**

3. Temperature

La température joue un rôle dans la solubilité des sels surtout des gaz, dans la détermination du pH, pour la connaissance de l'origine de l'eau et des mélanges éventuels.
En général, la température de l'eau est influencée par celle du milieu entourant.
Ainsi la température des eaux superficielles est en relation permanente avec celle de l'air.
On mesure la température à l'aide de thermomètre et L'unité de la température est le degré Celsius (°C) ou le kelvin .

4. Conductivité

La conductivité est une expression numérique de la capacité d'une solution à conduire le courant électrique.

Ce paramètre a pour but de donner une idée sur la salinité d'eau puisque les sels minéraux en solution sont de bons conducteurs, la conductivité électrique s'exprime en **micro siemens/cm** à l'aide d'un conductimètre.

L'analyse s'effectue sur un prélèvement d'eau dont le volume doit être suffisant pour plonger la sonde de conductivité, laisser la jusqu'à stabilisation.

5. Chlore résiduel

Le test du chlore sert à détecter, la quantité du chlore résiduel dans l'échantillon.

L'ajout du **DPD (di-éthyleparaphénylène diamine),** sous forme de comprimé donne en présence du chlore résiduel une coloration rose.

Des disques colorés étalonnés spécifiques pour chaque réactif et un comparateur sont utilisés pour la déduction des différentes teneurs en chlore résiduel.

Figure 8 : Comparateur en lumière du jour

II. Analyses chimiques

1. Alcalinité de l'eau TA

L'alcalinité de l'eau se définit comme sa capasité à réagir avec un acide acide fort.

Elle est due à la présence des ions **hydroxydes**, **carbonates** et **bicarbonates** dans l'eau.

La détermination de l'alcalinité est basée sur la neutralisation des ions alcalins d'un certain volume d'eau par un acide minéral dilué, en présence d'un indicateur coloré **phénolphtaléine** .

- **Titre Alcalimétrique(TA)**

TA «Titre Alcalimétrique » : correspond à la neutralisation des ions hydroxydes OH^- et la transformation de la moitié des ions carbonates CO_3^{2-} en hydrogénocarbonates HCO_3^- par un acide fort.

Les réactions mises en jeu sont :

$$TA = [OH^-] + \tfrac{1}{2}[CO_3^{2-}]$$

$$OH^- + H_3O^+ \text{---------} > 2H_2O$$

$$CO_3^{2-} + H_3O^+ \text{---------} > HCO_3^- + 2H_2O$$

- **Titre alcalimétrique complet (TAC)**

Le TAC correspond à la neutralisation des **ions hydroxydes**, **carbonates** et **bicarbonates** par un acide fort en présence d'un indicateur coloré **méthyle orange**.

➢ Reactions chimiques:

$$2H_2O + H_3O^+ \rightleftharpoons OH^-$$

$$H_3O^+ + CO_3^{2-} \rightleftharpoons HCO_3^- + H_2O$$

$$H_3O^+ + HCO_3 \rightleftharpoons H_2CO_3 + H_2O$$

$$H_2CO_3 \rightleftharpoons CO_2 + H_2O$$

Le TAC est donné par la formule :

$$TAC\ (méq/l) = [OH^-] + [HCO^{3-}] + [CO_3^{2-}]$$

➢ Mode opératoire

Dans un erlenmeyer de **250 ml**, on ajoute **100 ml** d'eau à analyser et une goutte de l'idicateur coloré la **phénophtaléine**. deux cas peuvent se présenter, soit :

- Une coloration rose, ce qui signifie que le TA ‡0, ce qui nécessite un dosage par HCl (N /10).On verse la solution d'acide, goutte à goutte dans l'erlenmeyer, en ayant soin de l'agiter entre chaque addition, jusqu'à décoloration et on note le volume versé en ml.
- Pas de coloration rose ce qui signifie que le TA=0, donc le PH de l'eau est inférieur à 8,3.

➢ Résultat

$$TA = Tb\ (meq/l)$$

Avec : **Tb : volume versé de l'acide HCl (N/10)**

Tableau 3 : Valeur de TAC

Date	Eau brute	Eau traitée
03/05/18	6.35	4.80
04/05/18	6.12	4.70

2. Oxydabilité " Indice permanganate"

L'oxydabilité au permanganate de potassium **$KMnO_4$** d'une eau correspond à la quantité d'oxygène exprimé en **mg/l** consommée par les matière oxydable contenues dans un litre d'eau et cédée par l'ion permanganate .

Il consiste à oxyder les matières oxydables contenues dans l'échantillon par un excès de permanganate de potassium **$KMnO_4$ (N/100)** en milieu acide, à chaud pendant **13 minutes**. Ensuite, le **$KMnO_4$ (N/100)** est réduit par l'acide oxalique en excès, et enfin un dosage en retour de cet excès est effectué par le **$KMnO_4$ (N/100)**.

➢ Mode opératoire

Dans un ballon a col rode on introduit **100 ml** de l'eau à analyser, on ajoute **2 ml** d'acide Sulfurique **H_2SO_4** concentré et **10 ml** de permanganate de potassium **$KMnO_4$ (N/100**), puis on chauffe à reflux au bain marie pendant 13 minutes.

On ajoute après 1 ml d'acide oxalique **$H_2C_2O_4$ (0,05M),** on laisse reposer quelques secondes (décoloration) puis on effectue un dosage en retour par le permanganate de potassium **(N/100)**.

La solution prend une couleur rose au point d'équivalence.

Les réactions de dosage effectuées sont :

$$H_2C_2O4^{2-} \text{---------} > 2CO2 + 2H^+ + 2e^-$$

$$MnO_4^- + 8H^+ + 5e^- \text{---------} > Mn^{2+} + 4H_2O$$

La réaction globale est :

$$2MnO_4^- + 5H_2C_2O_4^{2-} + 6\,H^+ \text{---------} > 2Mn^{2+} + 10CO_2 + 8\,H_2O$$

➢ Résultat

[Oxydabilité] mg/l = 0,8×Tb

Avec : **Tb : volume versé de permanganate de potassium ($KMnO_4$N/100).**

Tableau 4 : Mesure de l'oxydabilité

Date	Oxydabilité de l'eau brute (mg/l)	Oxydabilité de l'eau traitée (mg/l)	VMA (mg/l)
03/05/18	2.8	0.72	2
04/05/18	2.96	0.8	2

3. dureté de l'eau

La dureté totale ou le TH d'une eau est la concentration totale en ions calcium, magnésium et autres cations bivalents et trivalents

- **Titre hydrotimétrique (TH)**

Le calcium et le magnésium présents dans l'eau sont complexés par **l'EDTA**.

➢ **Mode opératoire**

Dans un erlenmeyer, on ajoute **100 ml** d'eau à analyser, on ajoute **5 ml** de la solution tampon ammoniacal (NH_3/ NH_4^+), une petite quantité d'indicateur de **noire d'ériochrome**.

On dose au moyen de la solution **EDTA (0,02M)** jusqu'à l'obtention d'une couleur bleu.

Les réactions mises en jeu sont :

$$Ca^{2+} + Y^{4-} \text{ ---------->} YCa^{2-}$$

$$Mg^{2+} + Y^{4-} \text{ ---------->} Y\,Mg^{2-}$$

Y : l'EDTA : Acide Ethylène Diamine Tétra Acétique

➢ **Résultat**

$$TH\ (meq/l) = Tb \times 0.4$$

Avec : Tb est le volume versé d'EDTA (0.02M)

- **Dureté calcique(Tca)**

La dureté calcique d'une eau est la concentration en ion calcium Ca^{2+} dans l'eau.

➢ **Mode opératoire**

Dans un erlenmeyer, on ajoute 100 ml de l'échantillon, on ajoute 5ml de solution de NaOH (2 mol/l) et une pincé de l'indicateur coloré **calcone**. A l'aide de la burette, on verse l'EDTA (0,02 M), goute à goute, tout en agitant la solution entre chaque addition jusqu'au virage de la coloration rose vers la coloration bleue royal.

N.B : l'addition du NaOH a pour but de précipiter le Mg^{2+} sous forme $Mg(OH)_2$.

$$2NaOH + Mg^{2+} \text{ ---------->} 2Na^{+} + Mg(OH)_2$$

Les réactions mises en jeu sont :

$$Ca^{2+} + Y^{4-} \text{----------} > YCa^{2-}$$

Y : C'est le EDTA : Acide Ethylène Diamine Tétra Acétique.

- **Résultat**

$$T_{Ca} = Tb \times 8 \text{ en mg/l}$$

Avec : **Tb : volume versé d'EDTA (0.02M)**

4. Oxygène dissout

C'est la quantité d'oxygène présente dans une eau. La mesure se fait par une électrode spécifique à ce paramètre, L'échantillon à analyser doit être prélevé sans bulle d'air.

5. Demande en chlore

Cette méthode a pour but de déterminer la quantité du chlore nécessaire (**break point**) qu'il faut injecter à l'eau brute lors de pré-chloration.

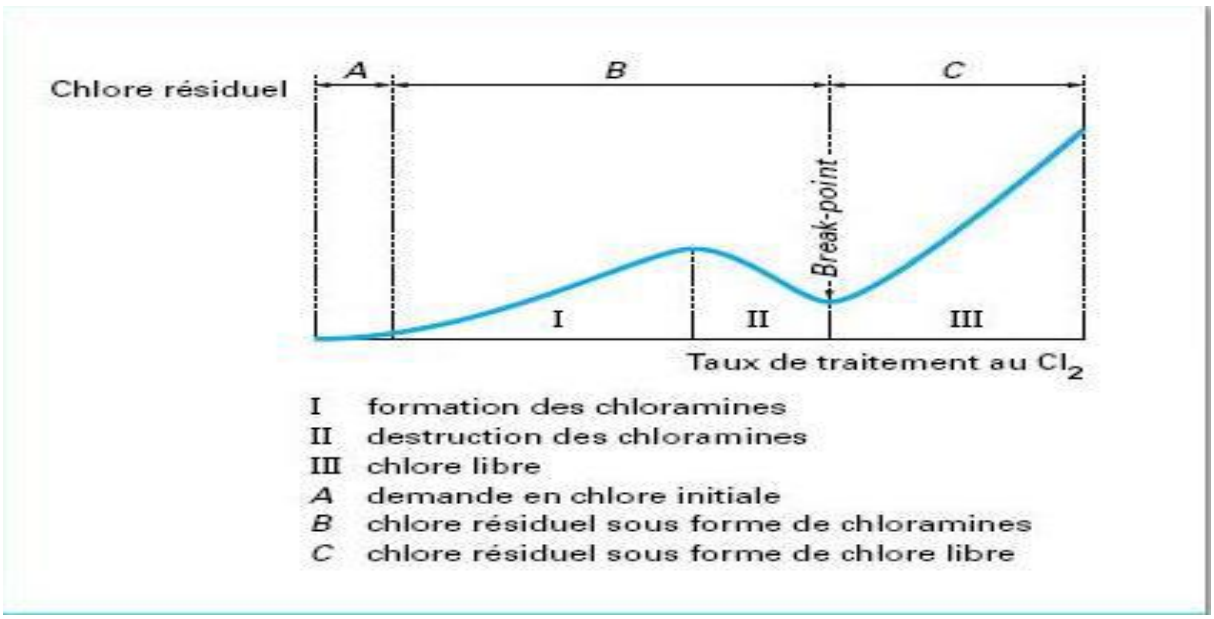


Figure 8: Chloration au break point

➢ Mode opératoire

On commence d'abord par la détermination de la concentration du chlore qui se trouve dans l'eau de javel.

Dans un erlenmeyer on introduit successivement :

- 1ml de l'eau de javel **(NaOCl, NaCl)** ;
- 10ml de solution d'iodure de potassium (KI à 10%) ;
- 10ml de solution d'acide acétique (CH_3COOH) 9N ;
- On titre l'iode libéré par une solution de thiosulfate de sodium ($Na_2S_2O_3$) N/10 jusqu'à décoloration.

Les réactions mises en jeu sont :

$$\mathbf{(NaOCl, NaCl) + 2CH_3COOH \text{----------} > 2CH_3COONa + Cl_2 + H_2O}$$

$$\mathbf{2I^- + Cl_2 \text{----------} > I_2 + 2Cl^-}$$

$$\mathbf{I_2 + 2S_2O_3^{2-} \text{----------} > S_4O_6^{2-} + 2I^-}$$

➢ Résultats

Le titre de l'eau de javel est donné par la relation suivante :

[Eau de javel] = Tb × 3.55 g/l

Avec : **Tb est le volume versé en ml de thiosulfate de sodium N/10 versé**.

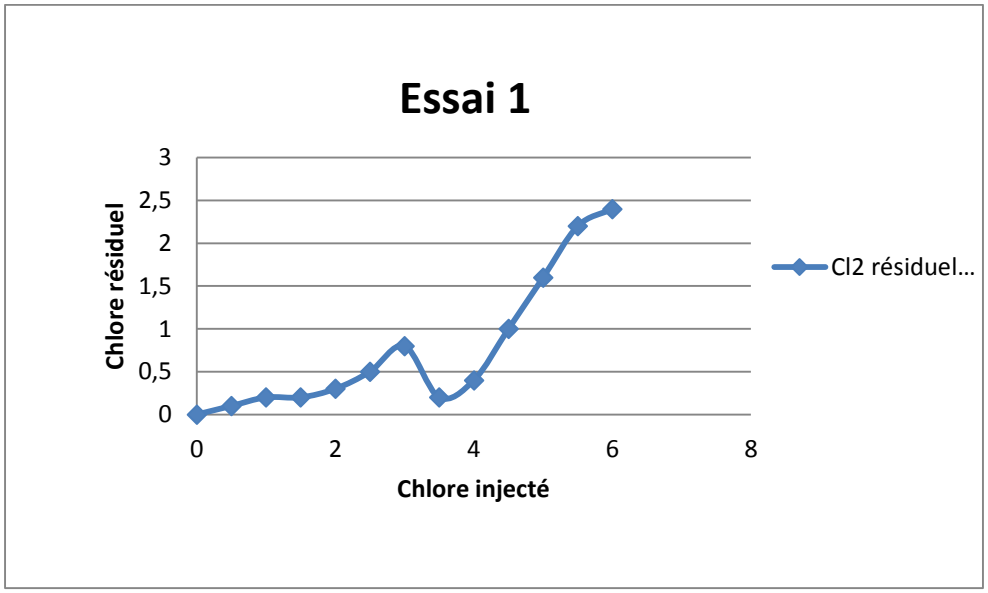
Tableau 5 : Valeur du chlore résiduel

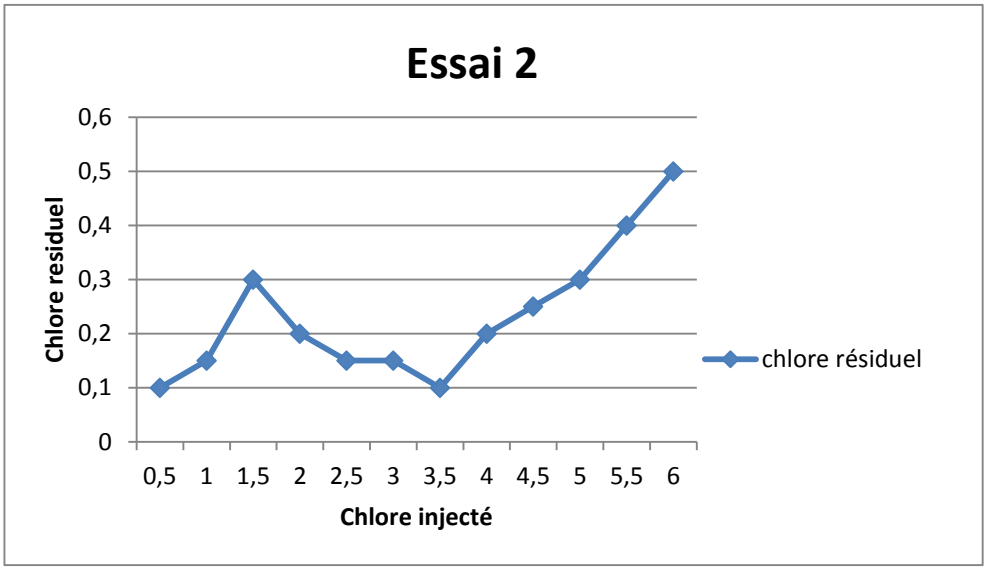
N° du flacon	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**
Cl_2 injecté en mg/l	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6
Cl_2 résiduel en mg/l Essai 1	0.1	0.2	0.2	0.3	0.5	0.8	0.2	0.4	1	1.6	2.2	2.4
Cl_2 résiduel en mg/l Essai 2	0.1	0.15	0.3	0.2	0.15	0.15	0.1	0.2	0.25	0.3	0.4	0.5

6. Determination du break-point

➢ Mode opératoire

- On prépare une solution de l'eau de javel a 0.1g/l a partir de la solution mère déjà titré ;
- On prépare **12** flacons de verre brun de volume **250 ml**, que l'on numérote. On introduit dans chacun des flacons **100 ml** d'eau à analyser, puis on ajoute des quantités connues de solutions chlorés, croissantes de flacon en flacon, de façon à avoir des concentrations précises en chlore actif ;
- On laisse les flacons à l'obscurité pendant **30 min** après les avoirs bouchés et agités ;
- On fait la lecture du Chlore résiduel a l'aide de comparateur du Chlore et le **DPD** ;
- On trace la courbe du chlore résiduel en fonction du chlore injecté.





Courbe 1et 2: variation du chlore résiduel en fonction du chlore injecté

III. Analyses bactériologiques

La bactériologie est une discipline qui intéresse non seulement les biologistes cellulaires mais également les chimistes. On voie que le danger de ces bactéries présente des différents effets à l'organisme, alors on doit faire des analyses bactériologique journalière pour garantir la potabilite de l'eau et eviter tout risque sanitaire qui pourra conduire a des maladies hydriques.

L'eau ne doit contenir ni microbes, ni bactéries pathogènes, qui pourraient entrainer une contamination biologique.

L'examen bactériologique ne peut être valablement interprété que s'ilest effectué sur un échantillon correctement prélevé dans un récipient stérilisé selon un mode opératoire précis pour éviter toute contamination accidentelle.

1. Micro-organismes recherchés

La contamination de l'eau par les micro-organismes constitue la principale cause de non-ptabilite des eaux distribuée.

C 'est pour cela que la qualité microbiologique de l'eau est très surveillé.elle varie considérablement d'une source à l'autre, pour la vérifier, on se sert des indicateurs suivants :

- **Escherichia Coli**

La principalebactérie coliforme spécifiquement d'origine fécale est E. Coli. Le milieuutilisé pour son identification est le Tergitol, l'incubation se fait à 44 °C± 0,5°C pendant 24h à 48h Conduit au dénombrement des coliformes thermo tolérants.

- **Bactéries coliformes**

des micro-organismes aérobies et anaérobies facultatifs, en forme debâtonnets, Gram négatif, ils sont capables de fermenter le lactose avec production d'acide (ou aldéhyde) et de gaz.Le milieu utilisé pour leur identification est le Tergitol, l'incubation se fait à 37°C ± 0,5°C pendant 48h.

- **Entérocoques intestinaux**

Ce terme en globe les bactéries de forme sphérique ou coccoide, Gram positif.Le milieu utilisé de leur identification est la gélose de SLANETZ, l'incubation se fait à 37°C ± 0,5°C pendant 48h.

2. Micro-organismes revivifiables

Toutes les bactéries aérobies, moisissure et levure, capable de former des colonies dans un milieu de culture nutritif gélosé, l'incubation se fait à 37°C pendant 48h et 22°C pendant 72h et le milieu de culture utilisé pur leur identification et la gélose à l'extrait de levure.

3. Méthodes d'analyses

a. Méthode par filtration sur la membrane filtrante(MF) pour les eaux traitées

Figure 9: la méthode de la membrane filtrante

C'est une technique qui permet de séparer par filtration un liquide de micro-organisme qu'il contient pour pouvoir les dénembrer par la suite, la membrane est mise en contact avec un milieu gélosé puis incubée à une température précise.

Le nombre de micro-organisme présent dans un échantillon se fait par dénombrement direct des colonies ayant poussées sur la membrane. Cette méthode est utlisé pour les eaux traitées.

La méthode par la filtration sur membrane filtrante (MF) est utilisée pour dénombrer les micro-organismes suivant :

- **Escherichia Coli.**
- **Entérocoques intestinaux.**
- **Bactérie coliformes.**

b. Méthode par ensemencement en milieu liquide (NPP) pour les eaux brutes

La méthode du nombre le plus probable (NPP) est applicable au dénombrement des coliformes totaux, des coliformes fécaux (ou **Escherichia Coli**) et streptocoque fécaux (ou **Entérocoques intestinaux)** dans les eaux usée et naturelle.

La technique du NPP est appelée la méthode de fermentation en tubes multiples, au cours de laquelle à la dilution de l'échantillon sont ensemencées dans des tubes de bouillon et incubées à une température précise, pendant une période donnée.

L'estimation du nombre le plus probable de micro-organisme présents dans un échantillon se fait à l'aide d'un tableau statistique standard de NPP appelé table de Mac Crady, selon le nombre de tubes indiquant la présence ou l'absence des micro-organismes recherchés.

Chapitre IV :Essais de coagulation Floculation Jar-test

I. Coagulation-floculation

La coagulation-floculation est un procédé de traitement physico-chimique d'épuration de l'eau. Elle facilite l'élimination de MES (matière en suspension) et des colloïdes en les rassemblant sous forme de flocs. Leur séparation s'effectue par décantation et filtration.
Ces colloïdes sont des particules de très faible diamètre contenant des charges négatives ce qui les conduisent à se repousser et à se maintenir en suspension.

a. Coagulation

La coagulation est la déstabilisation des particules colloïdales par addition d'un réactif Chimique, le coagulant apporte au milieu des cations multivalents, libres ou liés à une macromolécule organique. Le coagulant utilisé est **$Al_2(SO_4)_3;18H_2O$**. Ces cations sont attirés et adsorbés sur la surface des colloïdes.

b. Floculation

La floculation permet de favoriser, à l'aide d'un polymère, les contacts entre les particules Déstabilisées. Ces particules forment un floc qu'on peut éliminer par **décantation.**

II. Essais de coagulation-floculation (Jar-Test)

Les essais ont pour but de déterminer la nature et les doses probables des réactifs permettant de clarifier l'eau au cours de son traitement.

Ces essais sont réalisés juste après le prélèvement à la température du traitement.
Le procédé adopté par le laboratoire consiste à suivre les étapes suivantes :

- Pré-chloration par le chlore au break-point (la demande en chlore) ;
- Ajout du **sulfate l'alumine**, ou du **chlorure ferrique** ;
- Amélioration de la floculation par l'utilisation d'adjuvant de floculant: l'Alginate, le **poly-électrolyte** ;
- Utilisation d'autres réactifs d'amélioration et de correction tels que le permanganate de potassium, le charbon actif, la chaux et l'acide sulfurique ;
- Acidification par **H_2SO_4** (**variation du pH**).

➢ Réactifs

- Solution mère de **l'eau de javel** de concentration (**1 g/l**).
- Solution de sulfate d'alumine **$Al_2(SO_4)_3$,$18H_2O$** comme coagulant de concentration **10g/l.**
- Solution **de poly-électrolyte** comme floculant de concentration **0,1 g/l**.
- Solution **d'acide sulfurique** en cas d'acidification.

➢ Mode opératoire

Avant de commencer le Jar-test, on doit effectuer les analyses suivantes de l'eau brute :

La demande en chlore, le pH, la température, la turbidité, l'alcalinité (TA, TAC) et l'oxydabilité.

- 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 ;
- 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.

Après l'agitation, l'aspect des flocs est noté par :

Aspect des flocs	Numérotations
Pas de flocs	00
Légère opalescence	02
Petit point	04
Flocs de dimensions moyennes	06
Bon floc	08
Excellent	10

- On laisse décanter pendant **30 minutes** ;
- On regarde s'il reste des flocs en suspension ;
- On détermine le pH, la turbidité, l'oxydabilité et le chlore résiduel du surnageant pour l'eau décantée ;
- On passe le surnageant de chacun des béchers sur du papier filtre bande blanche disposé dans les entonnoirs. Cette filtration donne des résultats comparables à ceux obtenus par filtration sur sable.
- On détermine la turbidité et l'alcalinité de chaque de l'eau filtrée.
- On détermine la teneur en aluminium par kit de l'eau filtrée.

L'origine principale d'aluminium est le sulfate d'alumine **$Al_2(SO_4)_3$** ; $18H_2O$ utilisé pour la coagulation ; on détermine la quantité d'aluminium par un test kit d'Aluminium.

La valeur maximale admissible de la teneur en Aluminium dans une eau potable ne doit pas dépasser **0.2 mg/l.**

➢ Critères de choix de la dose optimale

L'objectif principale de la coagulation-floculation est de déterminer les conditions optimales :

- Taille des flocs supérieurs à **6 µm** (**taille de flocs moyenne**) ;
- Turbidité de l'eau décantée inférieure à **5 NTU** ;
- Turbidité filtrée inférieure à **0.5 NTU** ;
- pH de floculation entre **7.00** et **7.40** ;
- quantité d'oxygène nécessaire pour oxyder les matières oxydables contenue dans l'eau et doit être inférieure à **2 mg/l**.
- concentration de l'aluminium est inférieure à **0.2 mg/l.**

Figure 10: essai de floculation et coagulation (jar-test)

a. Analyses de l'eau brute

Avant de faire chaque essai, on doit effectuer des analyses physico-chimiques de l'eau brute.

Tableau 1 : Analyses physico chimiques de l'eau brute

Eau brute	Essai 1 03/05/18	Essai 2 04/05/18
PH	**8.16**	**7.87**
Température	**21.6**	**22.1**
TA en méq/l	**0.5**	**0.4**
TAC en méq/l	**5.6**	**6.1**
Oxydabilité en mg/l	**2.8**	**2.96**
Turbidité en NTU	**51.8**	**123**
Conductivité en µS/cm	**1060**	**979**
NH_4+ en mg/l	**0.1**	**0.1**
Demande en chlore en mg /l	**3.5**	**3.5**

b. Essais de coagulation floculation

▪ Essai N° 1 : Fixation du floculant

Pour optimiser la dose du sulfate d'alumine en présence du poly-électrolyte, on injecte des doses croissantes du sulfate d'alumine et une dose fixe du poly-électrolyte.

Tableau 3 : Optimisation du coagulant en présence d'une dose fixe de floculant

N° de béchers	I	II	III	IV	V	VI
Pré-chloration mg/l	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5
Coagulant mg/l	20	30	40	50	60	70
Floculant mg/l	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Aspect des flocs	06	08	08	08	08	08
pH	7.67	7.39	7.35	7.40	7.35	7.39
Oxydabilité mg/l	2.8	1.92	1.84	1.68	1.53	1.34
Turbidité décanté NTU	0.69	0.70	1.73	0.83	0.83	0.79
Chlore résiduel	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Turbidité filtrée NTU	0.37	0.44	0.53	0.44	0.33	0.32
TAC	5.1	5.1	5	5.2	5	5.2
Al^{3+} résiduel mg/l	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12

D'après l'analyse de ce tableau, le bécher N°V représente le meilleur choix car il donne des résultats qui sont en accord avec les normes souhaitées. **(Voir annexe)**

La dose optimale du polymère est **0.2 mg/l.** Ceci coïncide avec les taux des réactifs injectés lors du traitement au niveau de la station pendant les périodes normales :

- Demande en chlore : entre 3.5 et 5.5 ;
- Sulfate d'alumine : entre 50 et 70 mg/l ;
- Dose du poly-électrolyte : entre 0.05 et 0.1 mg/l.

- **Essai N° 2 : Fixation du coagulant**

Tableau 4 : Optimisation du coagulant en présence de floculant

N° de béchers	I	II	III	IV	V	VI
Pré-chloration mg/l	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5
Coagulant mg/l	60	60	60	60	60	60
Floculant mg/l	0.05	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30
Aspect des flocs	06	06	08	08	08	08
pH	7.55	7.38	7.49	7.47	7.45	7.36
Oxydabilité mg/l	2.96	1.87	1.74	1.63	1.57	1.3
Turbidité décanté NTU	2.39	1.54	1.36	0.91	0.83	0.56
Chlore résiduel	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Turbidité filtrée NTU	0.92	0.86	0.68	0.59	0.41	0.39
TAC	5.8	6.2	6.2	5.2	5.3	5.5
Al^{3+} résiduel mg	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2

D'après ce tableau, les résultats du bécher N°II sont en bonne conformité avec les normes d'analyse. En plus la quantité du polymère injecté est faible **(0.1 mg/l)**. **(Voir annexe)**

En pourra aussi choisir le bécher n° 3 mais il présente un pH supérieure à **7.40**.

CONCLUSION

Pour une eau potable, l'eau passe par plusieurs étapes de traitement à savoir la pré-chloration la coagulation, la floculation, la décantation, la filtration et la désinfection.

Ce stage effectué au sein de L'ONNE/BO m'a permis de suivre toutes les opérations que l'eau subit de son état brute à son état potable.

Les résultats expérimentaux obtenus des essais de coagulation floculation montrent des valeurs qui respectent les normes prédéfinies (test nº V pour la fixation du floculant et test nºII pour la fixation du coagulant).

La qualité de l'eau exige des méthodes d'analyses organoleptiques, physico-chimiques et biologiques dont on peut vérifier.

Préservation de l'eau potable et bien l'utiliser et ne pas la gaspiller.

Références bibliographiques

- Manuel des analyses physico-chimiques de l'ONEE (branche eau)
- Manuel des Normes marocaines relatives aux eaux d'alimentation humaine
- HAJIB Sara ; PFE de L'année 2012/2013 sous le thème Essais de coagulation-floculation Jar-Test ; ONEE/BO Fès ;
- AMZAD Mohamed ; PFE de L'année 2014/2015 sous le thème Optimisation du traitement par coagulation des eaux du barrage bab louta ;
- http://fr.wikipedia.org/wiki/Coagulation-floculation
- www.memoirepfefstf.com/jar-test
- www.onep.ma

ANNEXE

- **Normes des paramètres physico-chimiques relatives à la qualité d'eau.**

Paramètre	Expression des résultats	VMA
Oxydabilité	O_2 : mg /l	2mg/l
Chlore résiduel	Cl_2 : mg /l	1mg/l
potentiel Hydrogène	Unité PH	6 ,5≤ PH ≤ 7,5
Conductivité	µS/cm	2700µS /cm
Turbidité	Unité turbidité néphilométrique(UTN)	5 NTU
Temperature	°C	Acceptable