



Licence Sciences et Techniques (LST)

GENIE CHIMIQUE

PROJET DE FIN D'ETUDES

Optimisation de traitement des eaux par Coagulation-Floculation

Présenté par :

- ◆ El Gharad Zakaria

Encadré par :

- ◆ Mr EL FILALI Rachid (ONEE)
- ◆ Pr Misbahi Houria (FST)

Soutenu Le 8 Juin 2017 devant le jury composé de:

- Pr Misbahi Houria
- Pr Bouayad Abdelwahed
- Pr Idrissi Kandri Noureddine

Stage effectué à ONEE-Fès

Année Universitaire 2016 / 2017

DÉDICACES

J'ai le plaisir d'offrir ce travail à tous ceux qui de près ou de loin m'ont aidé à sa réalisation:

A mes chers parents

Pour leur générosité et leur présence permanente.

A mes professeurs

Pour leur aide et soutien pendant toute notre période de formation.

A tous mes amis

Pour leur conseil et la fraternité.

A tout le personnel de L'ONEE-BO

Pour l'inspiration de ma vivacité et la motivation de mes efforts.

REMERCIEMENTS

Au terme de ce travail je tiens à remercier toutes les personnes qui ont contribués de près ou de loin à l'élaboration de ce travail.

Mes remerciements iront tout d'abord à monsieur le directeur régional de l'**Office National de l'Electricité et de l'Eau Potable** (branche eau) de Fès qui a eu la bienveillance de m'accorder ce stage au sein de son établissement.

Je remercie chaleureusement madame **HOURIA MISBAHI** et monsieur **EL FILALI RACHID**, mes encadrants de ce mémoire, pour l'intérêt qu'ils ont porté à mon travail, pour leurs conseils et leurs encouragements.

J'adresse mes sincères remerciements à tous les professeurs, intervenants et l'ensemble du personnel de **L'ONEE-BO** qui par leurs paroles, leurs écrits, leurs conseils et leurs critiques ont guidé mes réflexions.

Je remercie sincèrement les membres du jury, **Pr Idrissi Kandri Noureddine** et **Pr Bouayad Abdelwahed**, d'avoir bien voulu accepter de faire partie de la commission d'examineurs.

Que tous les enseignants ayant contribués à ma formation tout au long de ces trois dernières années reçoivent l'expression de ma considération et de mon respect envers eux.

Sommaire

INTRODUCTION	3
Chapitre I : Présentation de L'ONEE-BO	4
A. Historique de l'ONEE-BO :	4
B. Direction régionale de l'ONEE-BO :	4
C. Description du lieu de stage :	4
D. Laboratoire régional de Fès :	5
Chapitre II : Prétraitement	6
1. Dégrillage :	6
2. Relevage :	6
3. Dessablage :	6
4. Débourbage :	6
Chapitre III : Traitement	7
1. Pré –chloration :	7
2. Coagulation- Flocculation :	7
3. Décantation :	7
4. Filtration :	8
5. Désinfection :	8
Chapitre IV : contrôle de la qualité de l'eau	9
Analyses physico -chimiques :	9
1. Turbidité :	9
2. Conductivité :	9
3. Potentiel d'Hydrogène (pH) :	9
4. Détermination du chlore résiduel libre.....	10
5. Oxydabilité :	10
6. Alcalinité :	11
7. Dureté de l'eau :	12
8. Détermination de l'aluminium résiduel :	14
Chapitre V : Coagulation-Flocculation (Jar Test)	15
A. La coagulation-flocculation.....	15
1. Définition :	15
2. Les colloïdes :	15
3. La coagulation :	16

4. La floculation :.....	17
B. Demande en chlore :.....	18
1. Mode opératoire :.....	18
2. Détermination du break-point :.....	19
3. Résultats :.....	20
Chapitre VI : L'Essai de Jar Test.....	22
A. Objectif :.....	22
B. Optimisation des conditions de l'essai de coagulation- floculation	24
Essai 1 : En Absence de Flocculant :.....	25
Essai 2 : Optimisation de flocculant en présence de coagulant	26
Essai 3 : Acidification (pH=7,5)	27
Essai 4 : Acidification (pH=7,02)	28
Conclusion.....	30

INTRODUCTION

L'eau est un élément sous forme liquide en conditions standards (température et pression ambiante), composé sous sa forme pure de molécules qui associent deux atomes d'hydrogène et un atome d'oxygène sous la forme H_2O .

L'eau est essentielle aux organismes vivants à la fois pour ses caractéristiques mécaniques et ses propriétés chimiques. Ces êtres vivants peuvent par conséquent être composés jusqu'à 97% d'eau.

D'un point de vue chimique, l'eau dissout, en milieu physiologique, la majorité des corps solides et facilite ainsi les réactions chimiques, donc le métabolisme. L'eau est en effet un solvant essentiel, parfois qualifié de « solvant universel ».

L'eau destinée à la consommation humaine ne doit contenir en quantité dangereuse ni substances chimiques, ni germes nocifs pour la santé.

En outre, elle doit être aussi agréable à boire que les circonstances le permettent. La fraîcheur, l'absence de turbidité, de micro-organismes pathogènes, des goûts ou d'odeurs désagréables sont autant de qualités exigées d'une eau d'approvisionnement public.

Mon stage a été réalisé au sein du laboratoire de station de l'ONEP pour le traitement de l'eau d'Oued Sebou. Mon travail consiste à optimiser les opérations de coagulation-floculation et chloration dans le but d'avoir une eau bien traitée, potable.

Ce mémoire se compose de trois parties :

La première partie : décrit la station de prétraitement et de traitement de l'eau potable.

La deuxième partie : traite les différentes méthodes d'analyse de l'eau effectuées au sein du laboratoire.

La troisième partie : concerne la partie expérimentale décrivant la demande en chlore et l'optimisation des doses des réactifs de coagulation-floculation (Jar Test).

Chapitre I : Présentation de L'ONEE-BO

A. Historique de l'ONEE-BO :

L'Office National de l'Electricité l'Eau Potable (branche eau) était créé en 1972 en substitution à la Régie des Exploitations Industrielle (R.E.I) par le Dahir n° 172103 du 3 avril 1972. L'office national de l'eau potable désigné sous le sigle « O.N.E.E. » est un établissement public à caractère doté de l'autonomie financière est placé sous la tutelle du ministère de l'eau potable et d'environnement et sous le contrôle du ministère de finance.

L'ONEE : 1^{er} producteur couvrant les besoins de 90% de la population totale urbaine du royaume.

L'ONEE : 1^{er} distributeur avec plus d'1 million de clients abonnés représentant :

- ✓ 456 villes et centres (5,6 millions d'habitants).
- ✓ Le reste du Royaume est desservi par 13 régies municipales et 3 concessionnaires privés.

B. Direction régionale de l'ONEE-BO :

La direction régionale de centre nord - Fès a été créée en juillet 1997 dans le cadre de la décentralisation et elle a pour mission l'alimentation en eau potable des zones dépendantes de son territoire.

Les ressources utilisées par l'ONEE de Fès, pour la production de l'eau sont :

Ressources souterraines : principalement les forages situent dans la plaine du Saiss.

Ressources superficielles : les eaux de d'Oued Sebou.

C. Description du lieu de stage :

Le complexe de production est constitué de 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 de la refouler jusqu'à la station de traitement.

La station de traitement Ain Noukbi : édiée le 19 mars 1987.Elle a pour missions :

- ✓ 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.

D. Laboratoire régional de Fès :

Le laboratoire régional de Fès a pour tâche la surveillance de la qualité des eaux brutes et leur traitement dans les centres relevant de la direction régionale du centre nord. Dans le but de livrer aux consommateurs une eau potable

Il est doté d'un équipement moderne qui lui permet de procéder à la détermination de plusieurs paramètres.

Le laboratoire dispose de 5 salles :

- Une salle pour les analyses physico-chimiques
- Une salle pour les analyses des paramètres par spectrométrie d'absorption moléculaire
- Une salle pour les analyses des paramètres par spectrométrie d'absorption atomique
- Une salle pour les analyses bactériologiques
- Une salle de lavage et de stérilisation

Chapitre II : Prétraitement

C'est un traitement préliminaire qui permet de réduire le taux de matière en suspension.

La station de prétraitement est mise en service selon le taux des matières en suspension [M.E.S] ;

- ✓ S'il est inférieur à 2 g/l, l'eau brute est pompée directement vers la station de traitement.
- ✓ S'il est supérieur à 2 g/l l'eau passe d'abord par un prétraitement avant d'être pompée vers la station de traitement.

Ce prétraitement comporte quatre opérations majeures :

1. Dégrillage :

Le dégrillage, premier poste de traitement physique permet de séparer et d'évacuer les matières volumineuses transportées par l'eau brute (branche, arbre, bouteille, etc.,....), il se place à l'entrée de la station ou se trouvent les installations de prélèvement de l'eau brute.

2. Relevage :

Le relevage est assuré par trois vis d'Archimède qui permettent le pompage de l'eau du fleuve vers les dessaleurs.

3. Dessablage :

Le dessablage est un prétraitement physique qui par décantation, d'éliminer les particules denses contenues dans les eaux brutes (les sables).

4. Débourbage :

Un débourbeur est destiné à piéger, par décantation gravitaire, les matières lourdes (sables, boues..) contenues dans les effluents.

Chapitre III : Traitement

Après avoir diminué la charge de l'eau en matière en suspension (MES < 2g/l), on passe à la phase de traitement qui permet d'obtenir une eau potable, destinée à la consommation humaine.

Cette phase comporte cinq étapes :

1. Pré-chloration :

La première étape du traitement consiste en une pré-chloration de l'eau brute. Cette opération a pour but de :

- Oxyder les matières minérales (fer et le manganèse) contenues dans l'eau brute. (responsables de la couleur) ;
- Détruire les matières organiques. (Améliorer le goût et l'odeur de l'eau) ;
- Détruire les micro-organismes et inhiber la croissance des algues.

On utilise souvent le chlore car il est plus économique et plus facile à utiliser.

2. Coagulation-Floculation :

Le processus de coagulation-floculation facilite l'élimination des solides en suspension et des particules colloïdales. On l'utilise dans l'étape d'une séparation solide-liquide :

La **coagulation** est la déstabilisation de particules colloïdales par addition d'un réactif chimique appelé coagulant.

La **floculation** est l'agglomération de particules déstabilisées en microfloc et ensuite en flocons plus volumineux que l'on appelle floccs. On peut rajouter un autre réactif appelé flocculant ou adjuvant de floculation pour faciliter la formation de floccs.

3. Décantation :

La décantation est une technique physique de séparation des matières en suspension et les colloïdes rassemblés en floccs, après l'étape de coagulation-floculation.

Lors de la décantation, les particules dont la densité est supérieure à celle de l'eau, vont s'accumuler au fond du décanteur sous l'effet de la pesanteur.

Ces dernières seront éliminées du fond du décanteur périodiquement, l'eau clarifiée se situant à la surface du décanteur est ensuite dirigée vers un filtre.

4. Filtration :

La filtration a pour but d'éliminer les dernières matières en suspension non éliminées par le décanteur par passage d'eau à travers un filtre à sable qui retient les derniers floccs.

Les filtres utilisés sont formés d'une couche de sable quartzéux, d'une hauteur de 0,95 m et débitent $6,7 \text{ m}^3 / \text{h}$ de filtrat.

L'efficacité de la filtration est vérifiée par la valeur de la turbidité de l'eau filtrée, celle-ci doit être inférieure à 0,5 NTU (unité de turbidité néphalométrique).

5. Désinfection:

C'est la dernière phase du traitement de l'eau, la désinfection permet de détruire le microorganisme pathogène. Pour cela on utilise un désinfectant comme le chlore, oxydant fort, qui réagit avec plusieurs substances organiques et inorganiques.

La désinfection est très importante pour la potabilité de l'eau, de plus le chlore ne doit pas dépasser une concentration de $1 \text{ g} / \text{l}$ à la sortie du réservoir.

Chapitre IV : contrôle de la qualité de l'eau

Afin de protéger la santé du consommateur et pour obtenir une eau traitée qui répond aux normes, la station de traitement de l'O.N.E.E (branche eau) effectue plusieurs analyses physico-chimiques.

Analyses physico -chimiques :

1. Turbidité :

La turbidité désigne la teneur de l'eau en matières qui la troublent. Elle est causée par des particules en suspension qui absorbent, diffusent et réfléchissent la lumière.

C'est une méthode basée sur la comparaison de l'intensité de la lumière diffractée (effet Tyndall) par échantillon à celle de l'étalon de référence dans les mêmes conditions (longueur d'onde entre le rayon incident et diffracté)

La mesure de la turbidité se fait à l'aide d'un turbidimètre, elle est exprimée en NTU (Nephelometric turbidity unit).

2. Conductivité :

La conductivité est une mesure de la capacité de l'eau à faire passer un courant électrique d'un point A vers un point B. Cette traversée est affectée par la présence des matières dissoutes.

La conductivité de l'eau est généralement mesurée en micro-Siemens par cm à l'aide d'un conductimètre.

3. Potentiel d'Hydrogène (pH) :

Le pH d'une eau est une indication de sa tendance à être acide ou alcaline, Il est déterminé à partir de la quantité d'ions hydrogène libre (H^+) contenus dans la substance.

Le pH est mesuré par pH-mètre à l'aide d'une électrode de verre spécifique à l'hydrogène.

$$pH = -\log [H_3O^+]$$

4. Détermination du chlore résiduel libre

Le chlore résiduel libre présent dans une eau traitée sous forme d'acide hypochloreux (HOCL) ou d'ions hypochlorite (ClO⁻) ou les deux à la fois, suivant la valeur de pH.

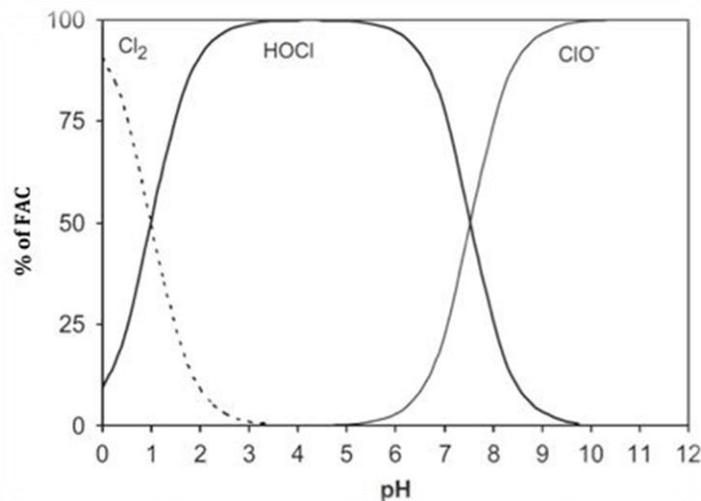


Figure 1 : Proportion de l'acide hypochloreux en fonction du pH.



La détermination du chlore résiduel se fait par le teste de DPD : Diéthyle Paraphénylène Diamine, indicateur d'essai au moyen d'un comparateur visuel.

Mode opératoire :

On ajoute un comprimé de DPD à l'échantillon ce dernier donne une coloration qui sera ensuite comparée aux couleurs de comparateur. On détermine enfin la quantité du chlore résiduel présent dans l'eau en mg/l.

5. Oxydabilité :

L'indice permanganate d'une eau correspond à la quantité d'O₂ exprimée en mg/l cédée par l'ion permanganate (MnO₄⁻) et consommée par les matières oxydables contenues dans un litre d'eau.

L'oxydation chimique des matières oxydables est effectuée par un excès de permanganate de potassium en milieu acide à chaud pendant 13 min. L'excès de permanganate est ensuite réduit par un excès d'acide oxalique. On effectue un dosage en retour de cet excès par le KMnO₄.

Mode opératoire :

Dans un ballon on introduit 100 ml d'eau à analyser, on additionne 2 ml d'acide sulfurique (H₂SO₄) concentré et 10 ml de permanganate de potassium (KMnO₄, N/100), puis on chauffe à reflux au bain marie pendant 13 minutes. On ajoute après 1 ml d'acide oxalique (C₂H₂O₄:0,05M), on laisse reposer quelques secondes (décoloration) puis on effectue un dosage en retour par les permanganates de potassium.

Les demi-réactions redox mises en jeu :



La réaction de dosage est :



Expression des résultats :

$$\text{Oxydabilité (mg/l)} = \text{Tb} \times 0,8$$

Tb : volume versé de KMnO₄

6. Alcalinité :

L'alcalinité d'eau correspond à la présence des ions hydrogencarbonates (HCO₃⁻), carbonates (CO₃²⁻) et hydroxydes (OH⁻).

La technique d'analyse comporte la méthode volumétrique, basée sur la neutralisation d'un certain volume d'échantillon par acide minéral en présence d'un indicateur coloré.

a) Titre Alcalimétrique : TA

Le titre alcalimétrique est une mesure de la teneur de l'eau en ions hydroxydes, la moitié de la teneur en carbonates :

$$\text{TA} = 1/2 [\text{CO}_3^{2-}] + [\text{OH}^-] \text{ (még/l)}$$

Mode opératoire :

On prélève 100 ml d'échantillon, on ajoute quelques gouttes de phénophtaléine :

- S'il y a une coloration rose, on dose avec HCl (N/10) jusqu'à décoloration et on note le volume versé.

- S'il n'y a pas de coloration rose, cela veut dire que TA=0, donc le pH de l'eau est inférieur à 8.3.

Les réactions mise en jeu :



Expression des résultats :

$$\text{TA (méq/l)} = V_{\text{versé de HCl}}$$

b) Titre Alcalimétrique Complet :

Le titre alcalimétrique complet correspond à la teneur de l'eau en hydroxydes, carbonates et hydrogénocarbonates :

$$\text{TAC} = [\text{OH}^-] + [\text{HCO}_3^-] + [\text{CO}_3^{2-}] \text{ (méq/l)}$$

Mode opératoire :

On prélève 100 ml d'échantillon, on ajoute quelques gouttes d'hélianthine, on obtient une coloration jaune, puis on dose avec HCl (N/10) jusqu'au virage de la coloration au jaune orangée.

Les réactions mise en jeu :



Expression des résultats :

$$\text{TAC} = V_{\text{versé de HCl (méq/l)}}$$

7. Dureté de l'eau :

La dureté totale ou titre hydrotimétrique (TH) indique globalement la teneur en sels de calcium (Ca^{2+}) et de magnésium (Mg^{2+}).

$$\text{TH} = \text{TH Ca}^{2+} + \text{TH Mg}^{2+}$$

TH Ca^{2+} : dureté calcique indique la teneur en sels de calcium.

TH Mg^{2+} : dureté magnésienne indique la teneur en sels de magnésium.

a) Dureté totale

Le calcium et le magnésium présents dans l'eau sont complexés par l'éthylène diamine tétra acétique (EDTA) en présence du noir d'eriochrome comme indicateur coloré qui donne une couleur violette en présence des ions Ca^{2+} et Mg^{2+} .

Mode opératoire :

On prélève 100 ml d'eau à analyser, on ajoute 5 ml de solution tampon, une petite spatule d'indicateur de noir ériochrome et on dose avec l'EDTA (N/50) jusqu'au virage du rouge au bleu royal.

Les réactions mise en jeu :



Expression des résultats :

La dureté totale s'exprime en méq/l, elle est calculée suivant la formule :

$$\text{TH} = 0,4 * \text{Ve} \text{ (méq/l)}$$

Ve : volume à l'équilibre d'EDTA

b) Dureté calcique:

La dureté calcique est la concentration en ions Ca^{2+} d'une eau.

Mode opératoire :

On prélève 100 ml de l'échantillon, on ajoute 5 ml de la solution tampon (la soude) plus une petite pincée d'indicateur de calcon, on obtient une couleur rose ; le titrage est effectué par l'EDTA (0,02 M) jusqu'au virage du rose au bleu royal.

Les réactions mises en jeu :



Expression des résultats :

La dureté calcique s'exprime en méq/l, elle est calculée suivant la formule :

$$\text{TCa}^{2+} = 8 * \text{V}_e \text{ (mg/l)}$$

Ve : volume à l'équilibre d'EDTA

c) Dureté magnésienne :

La dureté magnésienne est la concentration d'ions Mg^{2+} d'une eau.

Elle est calculée à partir du titre hydrotimétrique et de la dureté calcique :

$$T_{Mg^{2+}} = [Ve (TH) - Ve (Ca^{2+})] * 0,4 * 12,5 (mg/l)$$

8. Détermination de l'aluminium résiduel :

L'aluminium ne présente pas de caractère de toxicité lorsqu'il est retrouvé dans l'eau de distribution. Des quantités massives d'aluminium sont utilisées pour le traitement de l'eau sans conséquences toxicologiques.

La détermination d'aluminium résiduel se fait par le kit.

Mode opératoire :

- Prendre 5ml de l'échantillon
- Ajouter une spatule d'AL-1
- Ajouter 1,2ml d'AL-2
- Ajouter 4 gouttes d'AL-3
- On laisse 7 min ensuite on fait la comparaison de couleurs. Chaque couleur correspond à une valeur et ces couleurs varient entre : jaune, orange, rose.

Chapitre V : Coagulation-Floculation (Jar Test)

A. La coagulation-floculation

1. Définition :

La coagulation-floculation est un procédé de traitement physico-chimique permettant l'élimination de particules en suspension de très petit diamètre (colloïdes).

2. Les colloïdes :

Les particules colloïdales sont caractérisées par deux points essentiels : d'une part, elles ont un diamètre très faible (de 1 nm à 1 μm) - d'autre part, elles ont la particularité d'être chargées électronégativement, engendrant des forces de répulsions inter colloïdales. Ces deux points confèrent aux colloïdes une vitesse de sédimentation extrêmement faible (que l'on peut même considérer comme nulle dans le cadre du traitement de l'eau). et elles sont notamment responsables de la couleur et de la turbidité de l'eau de surface.

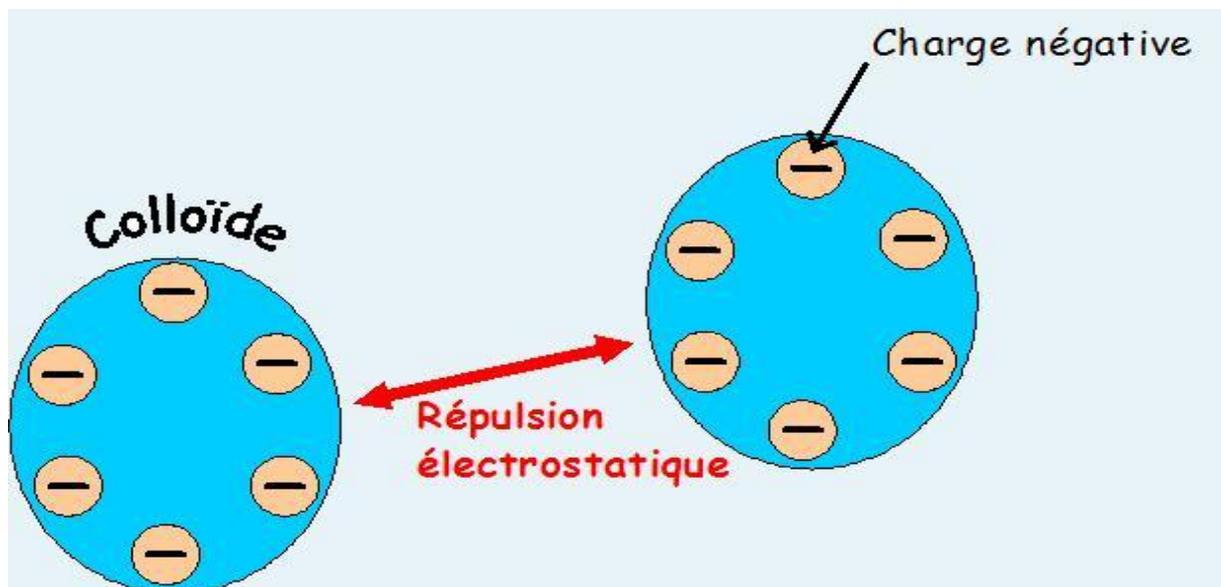


Figure 2 : Structure des colloïdales

3. La coagulation :

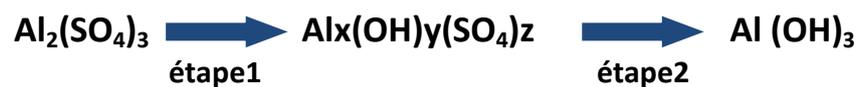
La coagulation a pour but principal de déstabiliser les particules en suspension, c'est-à-dire de faciliter leur agglomération. Elle consiste à la neutralisation des charges négatives portées par les colloïdes.

En pratique, ce procédé est caractérisé par l'injection des sels métalliques (coagulants).

Les principaux coagulants utilisés pour déstabiliser les particules et produire des floccs sont :

- le sulfate d'aluminium $Al_2(SO_4)_3$
- l'aluminate de sodium $NaAlO_2$
- le chlorure ferrique $FeCl_3$
- le sulfate ferrique $Fe_2(SO_4)_3$
- le sulfate ferreux $FeSO_4$

Le sel métallique est ajouté comme étant un coagulant : le sulfate d'aluminium $Al_2(SO_4)_3$



L'étape 1: est une étape d'hydrolyse, des intermédiaires polychargés positifs se forment. Ils sont très efficaces pour neutraliser la charge des colloïdes. Il s'agit de la véritable forme coagulante qui déstabilise les particules chargées négativement.

L'étape 2 : est une étape qui permet la formation du précipité $Al(OH)_3$. Cette réaction dépend de l'agitation du milieu. Ce précipité est l'élément qui assure la coalescence des colloïdes déstabilisés.

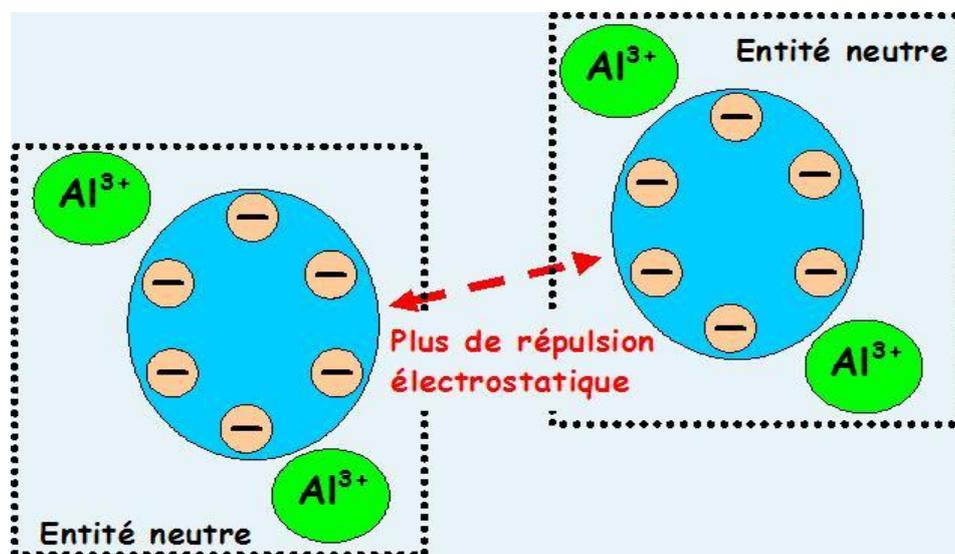


Figure 3 : Déstabilisation des colloïdales.

4. La floculation :

La floculation a pour but de favoriser, à l'aide d'un mélange lent, les contacts entre les fines particules neutres formées lors de la coagulation. Ces particules s'agglutinent pour former un floc qu'on pourra facilement éliminer par décantation.

L'utilisation d'un flocculant est alors nécessaire. Il rassemble toutes les particules de floc dans un filet, construisant un pont d'une surface à l'autre et liant chaque particule pour former de vastes agglomérats.

Les différents types de flocculant :

- Les flocculants minéraux : la Silice activée, le charbon active.
- Les flocculants organiques : les polyélectroliques, les polymères, l'alginate et parfois l'amidon.

Cette étape est assurée par l'ajout d'un flocculant généralement un polyélectrolyte.

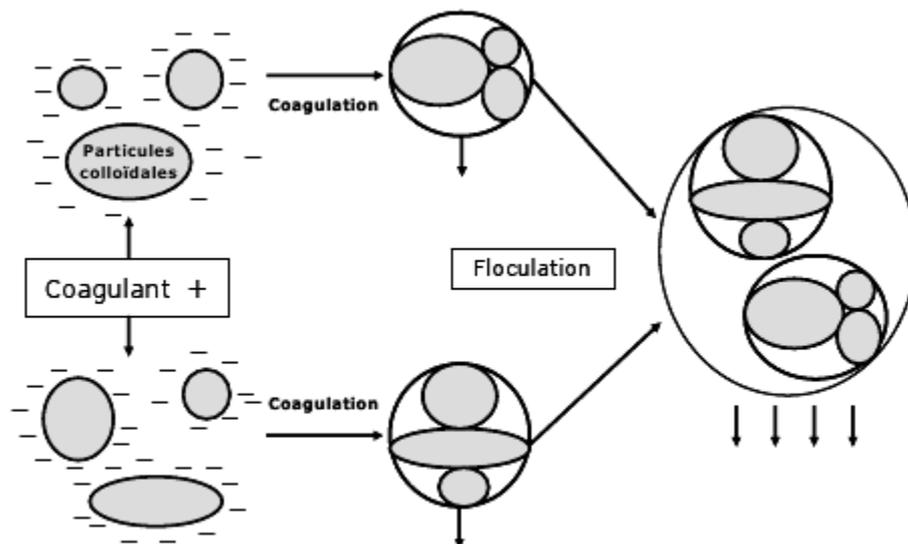


Figure 4 : Schéma de la coagulation-floculation

B. Demande en chlore :

Cette méthode a pour but de déterminer la quantité de chlore nécessaire qu'il faut injecter à l'eau brut lors de pré-chloration.

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

1. Mode opératoire :

Dans un erlenmeyer on introduit successivement :

- 1ml de l'eau de javel (NaOCl, NaCl)
- 10ml de solution de KI a 10%
- 10ml de solution d'acide acétique (CH₃COOH) 9N
- On titre l'iode en excès par une solution de thiosulfate de sodium (Na₂S₂O₃) N/10

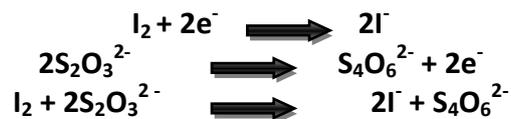
Les réactions mises en jeu :



Les réactions d'oxydo-réduction sont les suivantes :



La réaction de dosage:



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

$$[\text{Eau de javel}] = \text{Tb} \times 3.55 \text{ g/l}$$

Tb (tombée de burette) : représente le volume exprimé en ml de thiosulfate de sodium N/10 versé au point d'équivalence.

2. Détermination du break-point :

Le break-point est la dose en chlore correspondant à la disparition de toutes les chloramines et les odeurs minimales.

Mode opératoire :

- On prépare une solution de concentration (0.1 g/l) qu'on utilise pour déterminer la demande en chlore.
- 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 chlorées, 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 avoir bouchés et agités.
- Au bout de 30 min exactement on dose le chlore résiduel avec un comparateur par introduction de réactif colorimétrique habituel DPD n°1.
- On trace la courbe du chlore résiduel en fonction du chlore injecté :

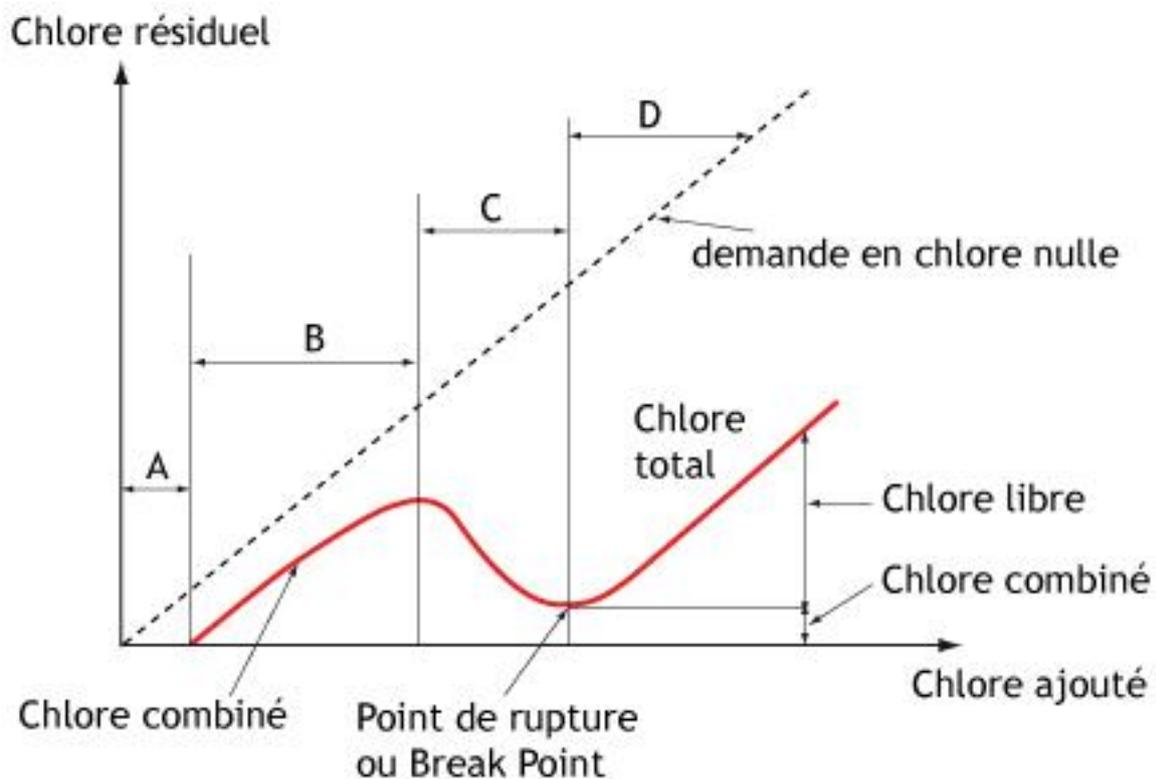
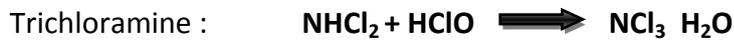
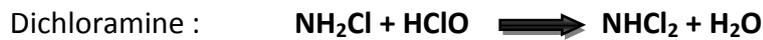


Figure 5 : chloration au break-point

Partie A : réaction du chlore avec les composés minéraux.

Partie B : formation des chloramines.



Partie C : destruction des chloramines.

Partie D : chlore libre + traces de chlore combiné.

Le chlore actif : représente la forme active, il est composé des formes HClO (acide hypochloreux) et Cl₂ (chlore moléculaire dissous).

Le chlore combiné : représente essentiellement les chloramines (NH₂Cl, NHCl₂, NCl₃), mais aussi les organochlorés (association de chlore avec la matière organique).

Le chlore total : est l'ensemble du chlore libre et du chlore combiné.

3. Résultats :

Tableau 1 : demande en chlore

N 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 (mg/l) Essai 1	0	0,4	0,65	1	1,4	1	1,6	1,8	2,5	2,8	3	3,5
Cl ₂ résiduel (mg/l) Essai 2	0	0	0,1	0,3	0,7	1,3	0,9	1,2	1,7	2,5	3,1	3,6

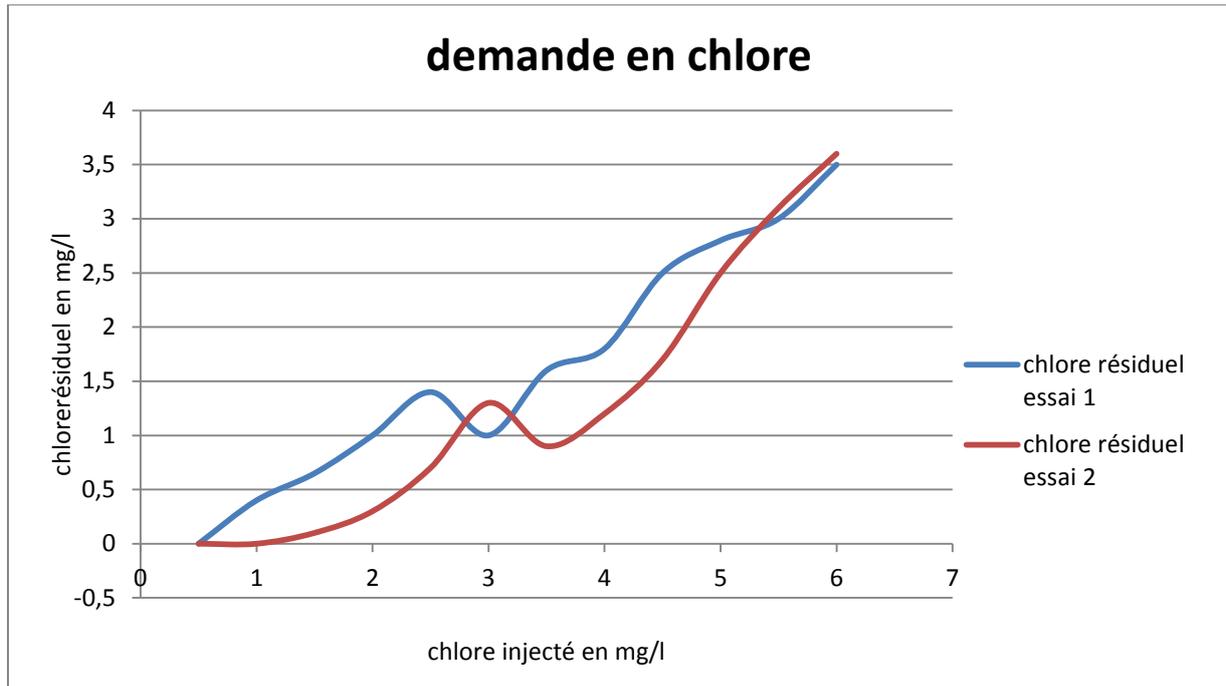


Figure6 : Courbe du Break Point

La quantité de chlore injecté correspond au break point :

Tableau 2 : la dose du chlore a injecté

N° essai	1	2
Pré-chloration	3	3.5

Chapitre VI : L'Essai de Jar Test

A. Objectif:

L'essai a pour objet de déterminer les doses probables des réactifs permettant de clarifier l'eau dans la station de traitement, en fonction de l'eau brute arrivant à la station.

Il faut réaliser l'essai le plus tôt possible après prélèvement à une température voisine de celle que possédera l'eau au cours du traitement.

Mode opératoire :

- On remplit 6 béchers par 1 litre d'eau brute.
- On injecte la quantité de chlore correspondant à la demande en chlore précédemment déterminé.
- On ajoute aux différents échantillons, des quantités croissantes de coagulant avec une agitation de 120 tours/min pendant 2 min.
- On ajoute le floculant (polyélectrolyte) dans chaque flacon avec une vitesse de 40tours/min pendant 20 min.
- Pendant le déroulement du processus, on note le délai de l'apparition des floccs, leurs aspects et l'estimation de la vitesse de décantation pendant agitation lente.

Tableau 3 : les aspects de floc

Pas de floc	Légère opalescence	Petits points	Moyenne floc	Bon floc	Excellent
0	02	04	06	08	10

- -On relève les hélices, et on laisse décanter toutes les portions pendant 30 min dans les béchers.

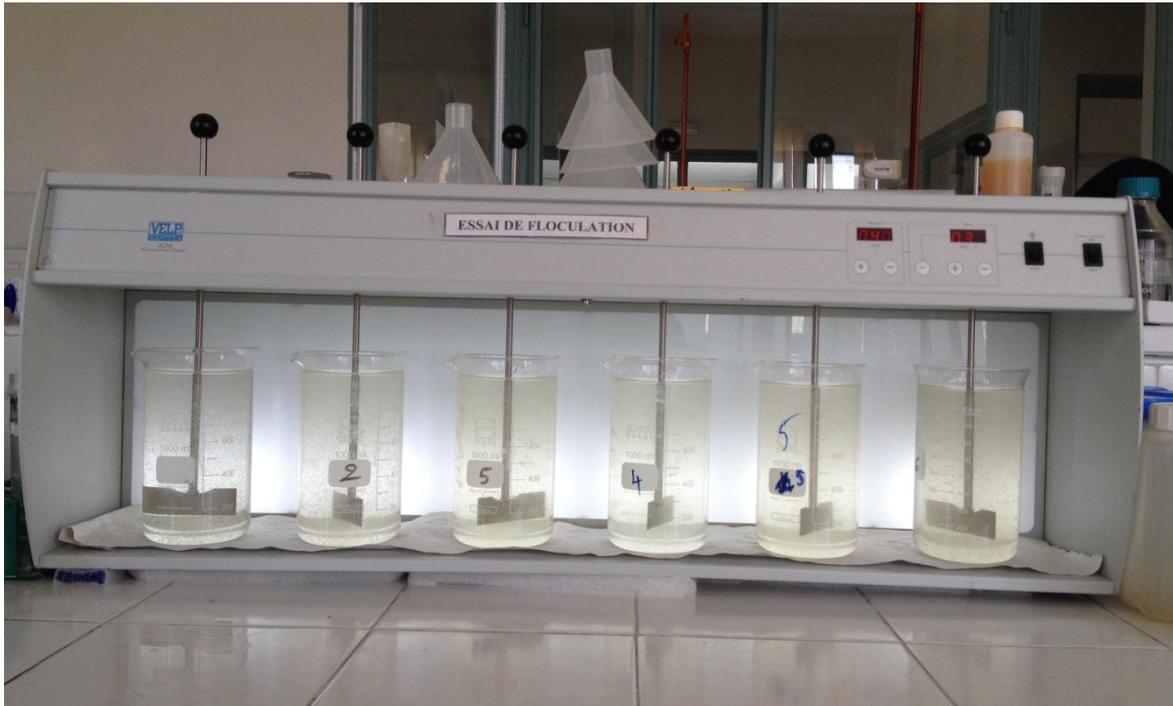


Figure7: schéma de dispositif expérimental de l'essai de coagulation-floculation <<Jar Test>>

- Ensuite, on détermine le pH, la turbidité, l'oxydabilité et le chlore résiduel du surnageant.
- Puis on filtre le surnageant sur papier filtre et on détermine la turbidité, l'alcalinité et la teneur en aluminium de chaque bêche.
- Ensuite l'agressivité de l'eau décantée du bêche présentant les critères de pH.

Critères de choix de la dose de traitement (meilleur bêche) :

Le tableau 4 regroupe les critères du choix du traitement :

Tableau 4 : les critères du choix le meilleur bêche

Taille des floccs	Le pH	Turbidité décante	Turbidité filtrée	Oxydabilité	Al résiduel
> 6	Entre 7 et 7.40	< 5 NTU	< 0.5 NTU	≤ 2 mg/l	< 0.2mg/l

B. Optimisation des conditions de l'essai de coagulation- floculation

Avant d'entreprendre l'essai, on doit d'abord faire des analyses physico-chimiques de l'eau brute. Celles-ci concernent :

- Le pH.
- La température.
- La turbidité.
- L'alcalinité (TA et TAC).
- L'oxydabilité.
- La demande en chlore de l'eau à traiter.

Les résultats obtenus sont regroupés dans le tableau suivant :

Tableau 3 : Résultats des analyses physico-chimies de l'eau brut.

	Essai 1	Essai 2	Essai 3	Essai 4
Turbidité (NTU)	76	93	170	90
pH	8,3	8,2	8,19	8,2
Température	20	19	25,3	24,6
TA (méq/l)	0,3	0,2	0	0,6
TAC (méq/l)	6.2	6,0	4,8	5,7
Oxydabilité (mg/l)	2,64	2,56	3,36	4
La demande en Cl₂ (mg/l)	3	3,5	3,5	3,5

Essai 1 : En Absence de Flocculant :

Pour optimiser la dose du coagulant en absence du flocculant, on a injecté seulement des doses croissantes de sulfate d'alumine, le tableau suivant représente les résultats du test :

Tableau 5 : Optimisation de coagulation en absence de flocculant

Béchers	1	2	3	4	5	6
Pré-chloration	3	3	3	3	3	3
Coagulant en mg/l	30	40	50	60	70	80
Aspect du floc	04	04	04	06	06	06
pH	7,68	7,59	7,50	7,44	7,34	7,25
Turbidité décantée(NTU)	4,3	3,7	2,9	2,6	1,9	1,7
Oxydabilité en mg/l	1,92	1,84	1,68	1,6	1,52	1,44
Turbidité filtrée en NTU	0,90	0,82	0,67	0,37	0,35	0,31
TAC en méq/l	5,5	5,1	5,0	4,7	4,5	4,4
Al résiduel en mg/l	0,07	0,07	0,07	0,07	0,12	0,12
Chlore résiduel en mg/l	0,65	0,70	0,70	0,65	0,65	0,7

Interprétation des résultats :

On constate qu'il y a une diminution significative de tous les paramètres, ceci est dû à l'action des réactifs injectés (S.A et chlore).

D'après les résultats le meilleur béccher à choisir est le béccher N°4, car il respect tous les critères de choix du meilleur béccher.

Critères de choix de la dose optimale :

- La turbidité filtrée des 3 premiers béchers est supérieure à 0,5 NTU, donc à éliminer
- Les 3 derniers béchers répondent aux critères de choix donc on va choisir le béccher N°4 puisqu'il contient moins de coagulant (raison économique) : 60 mg/l.
 - ↳ La dose optimale du coagulant est égale 60 mg/l.

Essai 2 : Optimisation de flocculant en présence de coagulant

Pour optimiser la dose du polyélectrolyte, on a injecté une dose fixe du sulfate d'alumine, celle de l'essai précédent, et des doses croissantes du polyélectrolyte. Les résultats obtenus sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau 6 : Optimisation de flocculant en présence d'une dose fixe de S.A=60mg/l

Béchers	1	2	3	4	5	6
Pré-chloration	3	3	3	3	3	3
Coagulant en mg/l	60	60	60	60	60	60
Flocculant	0,05	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3
Aspect du floc	04	06	06	06	06	06
pH	7,39	7,40	7,41	7,44	7,39	7,35
Turbidité décantée(NTU)	2,6	2,3	2,5	2,4	1,9	1,7
Oxydabilité en mg/l	1,6	1,2	1,2	1,12	1,04	1,28
Turbidité filtrée en NTU	0,50	0,30	0,35	0,37	0,37	0,30
TAC en méq/l	5,5	5,1	5,0	4,7	4,5	4,4
Al résiduel en mg/l	0,07	0,07	0,07	0,07	0,12	0,12
Chlore résiduel en mg/l	0,65	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70

Interprétation des résultats :

On constate que l'ajout de polyélectrolyte améliore la turbidité décantée et filtrée

D'après les critères de choix de la dose optimale :

- Les béchers 1 et 2 sont à choisir mais la taille des floccs du bêcheur N°1 est petite (04) ceci va entraîner une décantation insuffisante, lorsque les flocc brises arrivent sur les filtres et les encrassent ce qui nécessite des lavages fréquents.
- Le bêcheur à choisir et le bêcheur N°2 car la taille des floccs est meilleure que le bêcheur N°1.
 - ↳ La dose optimale du flocculant est égale 0,1mg/l.

Essai 3 : Acidification (pH=7,5)

Ce test a pour objectif d'optimiser le pH. Pour cela on a ajouté la même quantité d'acide sulfurique dans les six béchers pour stabiliser le pH à 7,5, avec présence de doses croissantes de coagulant et une dose fixe de floculant (0,1mg/l). Les résultats obtenus sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau 7 : Optimisation du pH

Béchers	1	2	3	4	5	6
Pré-chloration	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5
Coagulant en mg/l	20	30	40	50	60	70
Floculant	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Aspect du floc	04	06	06	06	06	06
pH	7,38	7,35	7,22	7,23	7,14	7,12
Turbidité décantée(NTU)	2,53	2,2	1,8	1,51	0,49	0,48
Oxydabilité en mg/l	2,16	1,6	1,8	0,6	1,4	0,95
Turbidité filtrée(NTU)	1,72	0,6	0,45	0,33	0,23	0,2
TAC en méq/l	5,1	4,85	4,7	4,75	4,5	4,8
Al résiduel en mg/l	0,35	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12
Chlore résiduel en mg/l	0,6	0,5	0,2	0,5	0,4	0,6

Interprétation des résultats :

D'après les résultats on remarque que l'abaissement du pH a provoqué la diminution de la consommation de coagulant.

D'après les critères de choix de la dose optimale :

- La turbidité filtrée des 2 premiers béchers est supérieure à la norme (0,5NTU) donc à éliminer
- Les 4 derniers béchers répondent aux critères de choix donc on va choisir le bécher N°3 puisqu'il contient moins de coagulant et les paramètres mesures sont pratiquement inchangés.

- ↳ La dose optimale du coagulant est égale 40mg/l et 0,1 du flocculant avec une acidification du pH à 7,5.

Essai 4 : Acidification (pH=7,02)

IL s'agit du même test que le test précédent mais cette fois ci on a stabilisé le pH à 7,02. Le tableau suivant représente les résultats obtenus :

Tableau 8 : Optimisation du pH

Béchers	1	2	3	4	5	6
Pré-chloration	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5
Coagulant en mg/l	20	30	40	50	60	70
Flocculant	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Aspect du floc	04	06	06	06	08	08
pH	7,05	7,06	6,8	6,95	6,89	6,95
Turbidité décantée(NTU)	1,46	0,47	0,6	0,62	0,55	1,36
Oxydabilité en mg/l	2,48	1,2	1,44	0,96	0,48	1,76
Turbidité filtrée(NTU)	0,6	0,35	0,22	0,26	0,23	0,26
TAC en méq/l	5,3	4,6	4,6	4,65	4,5	4,6
Al résiduel en mg/l	0,09	0,02	0,07	0,07	0,07	0,07
Chlore résiduel en mg/l	0,2	0,1	0,1	0,2	0,3	0,2

Interprétation des résultats :

D'après les résultats on remarque que l'abaissement du pH a provoqué la diminution de la consommation de coagulant une deuxième fois.

D'après les critères de choix de la dose optimale :

- La turbidité filtrée du premier béccher est supérieure à la norme (0,5NTU) donc à éliminer.
- Les 5 derniers béchers répondent aux critères de choix donc on va choisir le béccher N°2 puisqu'il contient moins de coagulant.

↳ La dose optimale du coagulant est égale 30 mg/l à pH de l'eau brute 7,02.

Interprétations des 4 essais

D'après ces essais on conclut que les meilleures conditions de traitement sont ;

- Acidifier l'eau jusqu'au pH 7.02
- Utiliser une dose du sulfate d'alumine de 30mg/l
- Utiliser une dose du poly-électrolyte de 0.1 mg/l

Mais ces paramètres peuvent varier selon la qualité de l'eau et la saison.

Dans la station de traitement de mon stage on n'acidifie pas l'eau brute pour optimiser le traitement car la manipulation de l'acide sulfurique est très dangereuse.

CONCLUSION

Le stage que j'ai effectué pendant un mois et demi m'a été très bénéfique dans la mesure où j'ai pu d'avoir une idée assez claire sur le fonctionnement de la station de traitement de l'eau.

Mon stage au sein de l'ONEE-BO m'a permis, également, d'améliorer mes connaissances et d'acquérir une expérience professionnelle en suivant de près toutes les étapes de traitement de l'eau

L'étape de coagulation-floculation a été bien détaillée dans ce mémoire vu l'intérêt qu'elle représente dans le procédé du traitement.

J'ai effectué le suivi des différents paramètres tels que les doses du coagulant et du floculant ainsi que la variation du pH, selon la méthode des essais de Jar test, et ce pour obtenir une eau potable avec la meilleure qualité.

La procédure de Jar test décrit bien les tests de coagulation et floculation, elle permet aux utilisateurs de la méthode d'optimiser les conditions qui donnent les meilleurs rendements.