



**Licence Sciences et Techniques (LST)**

*Techniques d'analyse chimique et contrôle de qualité*

*TACCQ*

**PROJET DE FIN D'ETUDES**

**Essais de Coagulation-Floculation Jar-Test**

**Présenté par :**

◆ **Sara HAJIB**

**Encadré par :**

- ◆ **Mr M. FELLAH (ONEP)**
- ◆ **Pr A. ZEROUALE (FST)-FES**

**Soutenu Le 12 Juin 2013 devant le jury composé de:**

- **Pr A. ZEROUALE (FST)-FES**
- **Pr E. LAMCHARFI (FST)-FES**
- **Pr A. BOUKIR (FST)-FES**

**Stage effectué à l'ONEP**

**Année Universitaire 2012 / 2013**

# Sommaire

<b>Introduction</b> .....	1
<b>Présentation de l'Office National de l'Eau Potable</b> .....	2
➤ Missions principales .....	2
➤ Nouvelle orientation stratégique de l'ONEP.....	3
➤ Description du complexe de traitement.....	4
<b>Production de l'eau potable</b> .....	5
<b>I. Station de Prétraitement</b> .....	6
1. Dégrillage.....	6
2. Relevage.....	6
3. Dessablage.....	7
4. Débourage.....	7
<b>II. Traitement</b> .....	8
1. Pré-chloration.....	8
2. Coagulation-floculation.....	8
3. Répartiteur.....	9
4. Décantation.....	9
5. Filtration.....	10
6. Désinfection .....	10
<b>Contrôle de la Qualité de l'eau</b> .....	11
<b>I. Analyses organoleptiques</b> .....	12
1. Odeur.....	12
2. Goût.....	12
3. Couleur.....	12
<b>II. Analyses physico-chimiques</b> .....	12
1. Turbidité.....	12
2. Potentiel d'hydrogène.....	13
3. Conductivité.....	14
4. Température.....	15
5. Détermination de l'alcalinité : Dosage de TA et TAC.....	15
a. Le Titre Alcalimétrique TA.....	15
b. Titre Alcalimétrique Complet TAC.....	15
6. Titre hydrotimétrique.....	17
a. Mode opératoire.....	17
b. Expression des résultats.....	17
7. Dureté calcique.....	18
a. Mode opératoire.....	18
b. Expression des résultats.....	18
8. Oxydabilité.....	18
a. mode opératoire.....	18

b. Réactions de dosage.....	19
c. Expression des résultats.....	19
<b>Jar-test « essai de coagulation-floculation ».....</b>	<b>20</b>
<b>I. Coagulation-floculation.....</b>	<b>21</b>
a. Coagulation.....	21
b. Floculation.....	21
<b>II. Jar test : essai de floculation.....</b>	<b>22</b>
1. Demande en chlore.....	22
a. Mode opératoire.....	22
b. Interpretation.....	23
c. Expression des résultats.....	23
2. Jar-test.....	25
a. Réactifs.....	26
b. Mode opératoire.....	26
c. Critères de choix de la dose optimale.....	28
d. Analyse de l'eau brute.....	28
e. Essai de coagulation-floculation.....	29
<b>Conclusion.....</b>	<b>33</b>

# INTRODUCTION

L'eau joue un rôle capital dans la biosphère. Elle représente une source de vie pour tous les êtres vivants, notamment l'être humain.

La consommation de l'eau augmente de plus en plus dans ce monde industriel et fini par polluer l'environnement.

En effet l'eau provenant des nappes phréatiques ou des rivières est tellement exposée à une pollution constante dont la nécessité de contrôler sa qualité. Dans ce contexte, l'ONEP joue un rôle primordial pour la potabilité de cette eau.

Notre

Ce mémoire est constitué de 4 chapitres :

- Présentation de l'ONEP.
- Production de l'eau.
- Contrôle de la qualité de l'eau.
- Essai Jar-test.

**Présentation de  
l'Office  
National de l'Eau  
Potable**

# I. Présentation de l'Office National de l'Eau Potable

Créé en 1972, l'ONEP est un établissement public à caractère industriel et commercial doté de la personnalité civile et de l'autonomie financière. C'est l'acteur principal dans le secteur de l'eau potable et de l'assainissement.

## 1. Missions principales de l'ONEP

- œ **Planifier** l'approvisionnement en eau potable du royaume et programmer les projets.
- œ **Etudier** l'approvisionnement en eau potable et assurer l'exécution des travaux des unités de production et de distribution.
- œ **Gérer** la production d'eau potable et assurer la distribution pour le compte des communes qui le souhaitent.
- œ **Contrôler** la qualité des eaux produites et distribuées ainsi que la pollution des eaux susceptibles d'être utilisées pour la consommation.
- œ **Assister** en matière de surveillance la qualité de l'eau.
- œ **Participer** aux études, en liaison avec les ministères intéressés, des projets de textes législatifs et réglementaires nécessaires à l'accomplissement de sa mission.
- œ **Protéger** l'environnement des eaux usées en utilisant les derniers moyens techniques de l'assainissement.

## 2. Nouvelles orientations stratégiques de l'ONEP

Les efforts déployés par l'ONEP durant les trois dernières décennies ont permis d'améliorer le niveau de l'approvisionnement en eau potable en milieu urbain.

Aujourd'hui l'Office s'est fixé de nouvelles stratégies visant la généralisation de l'accès à l'eau potable à l'ensemble des citoyens et l'intervention dans le secteur de l'assainissement liquide dans une vision globale et intégrée du cycle de l'eau. La nouvelle stratégie s'articule autour de trois axes :

- Généralisation de l'accès à l'eau potable,
- Assainissement liquide,

- Maintien des acquis,
- Formation et coopération,
- Sensibilisation,
- Dessalement et déminéralisation,
- Amélioration de la qualité de l'eau.

### ***3. Description du complexe de traitement de Ain Nokbi :***

Pour répondre aux besoins de la ville de Fès en eau potable, l'ONEP a réalisé en 1987 un complexe de traitement des eaux de l'Oued Sebou avec une capacité de production initiale de 800 l/s. Ce complexe de production est constitué de deux stations :

☞ Station de prétraitement.

☞ Station de traitement.

Le laboratoire est doté d'un équipement moderne qui lui permet de procéder à la détermination de plusieurs paramètres. Ces déterminations sont réalisées sur des échantillons d'eaux brutes ou traitées.

Le laboratoire dispose de 5 salles :

☞ Une salle d'analyses physico-chimiques.

☞ Une salle d'analyses par spectrométrie d'absorption moléculaire.

☞ Une salle d'analyses par spectrométrie d'absorption atomique.

☞ Une salle d'analyses bactériologiques.

☞ Une salle de lavage.

Le personnel du laboratoire assure la surveillance du réseau d'approvisionnement en eau potable tout entier, de la prise d'eau brute jusqu'aux points de livraison aux consommateurs. Cette surveillance destinée à protéger la santé du consommateur, est basée sur des normes et règlements nationaux en vigueur régissant la qualité de l'eau potable avec recours, au besoin, aux directives internationales.

Deux types d'eau sont régulièrement analysés :

- Eaux traitées pour l'alimentation.
- Eaux brutes destinée à la production d'eau d'alimentation :

- Eau brute superficielle : barrage, rivière.
- Eau brute souterraine : puits, forages, sources.

# PRODUCTION DE L'EAU POTABLE

Le complexe de traitement de Ain Nokbi est constitué de deux stations :

## ***I. Station de prétraitement***

Le rôle de la station de prétraitement est de diminuer la charge de la matière en suspension de l'eau brute à une valeur inférieure à 2 g/l selon un certain nombre d'opération.

## 1. Dégrillage



*Figure 1 : Dégrilleur*

Il constitue la première étape du prétraitement, le dégrillage a pour rôle de retirer de l'eau des gros déchets qui peuvent provoquer des bouchages dans les unités de l'installation tels que les branches, les bouteilles, les plastiques .....

Les eaux sont filtrées à travers une ou plusieurs grilles dont les barreaux sont plus ou moins espacés. Celles-ci sont en général équipées d'un système automatique de nettoyage afin d'éviter leur colmatage et ainsi que le dysfonctionnement des pompes.

## 2.

## Relevage



*Figure 2 : Vis d'Archimède.*

Le relevage permet le pompage de l'eau vers les dessableurs. Cette opération est assurée par 3 vis d'Archimède permettant une régularité dans le débit d'alimentation de la station.

## 3. Dessablage



*Figure 3 : Le dessableur*

Cette opération purement physique a pour fonction d'enlever les sables et autres particules lourdes qui pourraient endommager les équipements mécaniques du traitement des boues et embourber les canaux et les bassins. La séparation est obtenue par décantation dans une eau relativement calme.

#### **4. Débourageage**



*Figure 4 : Le débourbeur*

C'est une opération de pré-décantation qui a pour but d'éliminer certaines matières en suspension de concentrations supérieures à 2 g /l pour éviter l'engorgement des ouvrages de pompage et de traitement par les boues.

## ***II. Station de traitement***

Avant d'être distribuée aux usagers, l'eau brute n'est qu'une matière première, qui va subir une série de traitements pour être une eau potable destinée à l'alimentation.

Les principales étapes du traitement sont :

### **1. Pré-chloration**

La pré-chloration est la première étape du traitement, elle s'effectue normalement sur l'eau brute et permet essentiellement d'augmenter la dégradation des matières organiques. Cette opération a pour but :

- ✚ L'oxydation des minéraux tels que : le fer et le manganèse,
- ✚ L'oxydation de la matière organique,
- ✚ La décoloration de l'eau,
- ✚ L'élimination des goûts et des odeurs,

- ✚ Le maintien des ouvrages en bon état,
- ✚ L'amélioration de la coagulation,
- ✚ Empêche la prolifération des algues et des micelles.

## 2. Coagulation –floculation

Les colloïdes sont des particules de très faible diamètre et sont notamment responsables de la couleur et de la turbidité de l'eau de surface. En raison de leur très faible vitesse de sédimentation, la seule solution pour éliminer les colloïdes est de procéder à une coagulation et une floculation

### a. Coagulation

La coagulation est l'une des étapes les plus importantes dans le traitement des eaux de surface. Elle consiste à déstabiliser les particules en suspension c'est-à-dire de faciliter leur agglomération. En effet, ces matières en suspension portent des charges généralement négatives induisant des forces de répulsions intercolloïdales. Elle se fait soit par l'addition de sulfate d'aluminium ( $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ ) ou encore de chlorure ferrique ( $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ).

### b. Floculation

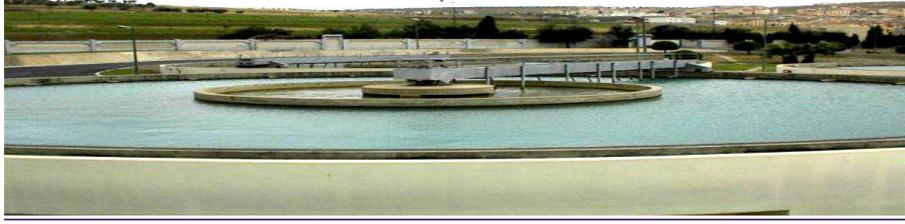
La floculation permet de s'attaquer aux colloïdes de faibles diamètres. Le véritable souci est en fait la masse qui ne permet pas une sédimentation naturelle et exploitable dans le cadre d'un traitement. La floculation permet de provoquer, grâce à l'ajout de flocculant, une agglomération des particules colloïdales. Par la suite, ces agglomérats de colloïdes appelés floccs disposent d'une masse suffisante pour pouvoir se décanter. Le flocculant ajouté est généralement un polymère jouant le rôle de colle entre les colloïdes.

**Remarque :** il est très important que le procédé coagulation-floculation soit utilisé correctement. En effet la production d'un flocc trop petit ou trop léger entraîne une décantation insuffisante. Les eaux qui arrivent sur les filtres, contiennent de grandes quantités de particules de floccs qui encrassent rapidement ces derniers, ce qui nécessite des lavages fréquents (perte d'eau et d'énergie). Par ailleurs lorsque le flocc est fragile, il se brise en petites particules pouvant traverser les filtres et altérer la qualité de l'eau produite.

## 3. Répartiteur

C'est un ouvrage qui assure l'équipartition de l'eau brute sur les six décanteurs par l'intermédiaire de vannes manuelles. Chaque départ vers un décanteur est équipé d'une vanne murale. A ce niveau se fait l'injection des réactifs.

## 4. Décantation



***Figure 5 : Décanteur***

La décantation est un procédé naturel de séparation par gravité des matières solides sédimentables aboutissant à l'élimination de solides en suspension de densité supérieure à celle de l'action exclusive de la force de la gravité. Dans le cas d'une eau très chargée en matières en suspension, la décantation est fréquente à l'amont de la filtration. C'est une décantation statique simple. L'eau sera ensuite acheminée vers les filtres qui enlèveront les plus petites particules qui n'ont pas sédimentées ou décantées.

## 5. Filtration



***Figure 6 : Filtres à sables***

La filtration permet d'éliminer les plus petites particules non décantées en les faisant passer dans des filtres à sable pour aboutir à une eau pure est potable. 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.

## 6. Désinfection

La désinfection est l'étape terminale du traitement de l'eau, elle a pour objectif d'assurer l'élimination et la destruction des microorganismes pathogènes de l'eau. Il existe plusieurs désinfectants : chlore, ozone, dioxyde de chlore, rayonnement UV. L'agent de désinfection utilisé à la station de traitement ONEP de Fès est le chlore. Après désinfection, l'eau devient potable et prête à être acheminée vers le réservoir de Bâb El Hamra de la RADEEF.

# **Contrôle de la qualité de l'eau traitée**

## **I. Analyses organoleptiques**

Ce sont des paramètres qui n'ont pas de signification sanitaire mais peuvent indiquer une pollution ou un mauvais fonctionnement des stations de traitement ou de distribution. Il s'agit de l'odeur, du goût et de la couleur.

### **1. Odeur**

L'ensemble de sensations perçues par l'organe olfactif en flairant certaines substances volatiles.

### **2. Goût**

L'ensemble des sensations gustatives, olfactives et de sensibilité chimique commune perçue par l'organe gustatif lorsqu'ils sont en contact avec l'eau testée.

### **3. 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.

## **II. Analyses physico-chimiques**

Les analyses physico-chimiques sont effectuées quotidiennement sur des prélèvements de l'eau brute, l'eau décantée, l'eau filtrée ainsi que l'eau traitée.

Les analyses effectuées sont:

- Mesure de la turbidité, de la température, du pH et de la conductivité.
- Mesure de titre alcalimétrique, de titre alcalimétrique complet, de titre hydrotimétrique, de la dureté calcique et de l'oxydabilité.

### **1. Turbidité**

La turbidité désigne la teneur en matières troublant un liquide. Elle est causée par des particules en suspension qui absorbent, diffusent et/ou réfléchissent la lumière.

Son principe est basé sur la comparaison de l'intensité de la lumière diffractée (effet de Tyndall) par l'échantillon à celle de référence dans les mêmes conditions (longueur d'onde, angle entre le rayon incident et le rayon diffracté). Elle est mesurée à l'aide d'un turbidimètre selon la méthode néphélométrique. Son unité est le NTU.



**Figure 7 : Turbidimètre**

**Résultats :**

**Tableau 1 : Mesure de la turbidité**

Date	Turbidité de l'eau brute en NTU	Turbidité de l'eau décantée	Norme	Turbidité de l'eau filtrée en	Norme	Turbidité de l'eau traitée en	Norme
22/04/13	32	1.2	5	0.3	0.5	0.38	0.5
23/04/13	39	1.7	5	0.22	0.5	0.2	0.5
24/04/13	32	2.5	5	0.23	0.5	0.52	0.5
25/04/13	49	2.7	5	0.4	0.5	0.42	0.5
26/04/13	34	1.5	5	0.22	0.5	0.37	0.5

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 NTU sinon les filtres doivent être lavés.

La turbidité de l'eau décantée ne doit pas dépassée 5 NTU sinon les décanteurs nécessitent une purge des boues du fond.

## **2. Potentiel hydrogène pH**

La mesure du pH d'une eau se fait par mesure potentiométrique à l'aide d'un pH-mètre, en déterminant l'activité des ions hydrogènes par utilisation d'une électrode de verre et d'une électrode de référence au calomel plongeant dans la même solution. La différence de potentiel existant entre ces deux électrodes, donne une valeur qui s'affiche sur l'écran de l'appareil, c'est le pH de l'échantillon.



**Figure 8 : pH-mètre**

**Résultats**

**Tableau 2 : Mesure du pH**

Date	Eau brute	Eau décantée	Eau filtrée	Eau traitée
22/04/13	7.90	7.18	7.22	7.37
23/04/13	7.95	7.21	7.30	7.48
24/04/13	7.92	7.26	7.37	7.52
25/04/13	7.90	7.26	7.32	7.47
26/04/13	8.07	7.21	7.32	7.50

On constate que les valeurs du pH de l'eau traitée sont inférieures à celles de l'eau brute.

### 3. Conductivité

La conductivité mesurée en  $\mu\text{S}/\text{cm}$  détermine la capacité de l'eau à conduire le courant entre deux électrodes.

La plupart des matières dissoutes dans l'eau se trouvent sous forme d'ions. La mesure de la conductivité permet donc d'apprécier la quantité de sels dissous dans l'eau.

La conductivité change en fonction de la température de l'eau, elle augmente en fonction de la température.

*Figure 9 :*

#### Conductimètre

### 4. Température

La température joue un rôle important dans la solubilité des sels et surtout des gaz, elle conditionne les équilibres de dissociation. Elle agit sur la conductivité et le pH et influe sur la densité, la viscosité, les réactions chimiques et biochimiques, ainsi que la teneur en oxygène dissout.

### 5. Détermination de l'alcalinité de l'eau : TA et TAC

L'alcalinité des eaux est essentiellement due à la présence des carbonates ( $\text{HCO}_3^-$ ), bicarbonates ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) et des hydroxydes ( $\text{OH}^-$ ).

#### a. Titre alcalimétrique TA

Le TA correspond au dosage de la moitié des ions carbonates ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) et la totalité des ions hydroxydes ( $\text{OH}^-$ ) à un pH de 8.3.

#### Réactions chimiques :





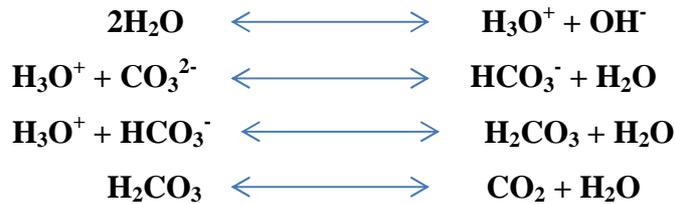
Le TA est donné par la formule :

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

### b. 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.

#### Réactions chimiques:



Le TAC est donné par la formule :

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

#### Mode opératoire:

On prélève 100 ml d'eau dans un erlenmeyer de 250 ml, on ajoute deux gouttes de phénophtaléine, deux cas peuvent se présenter :

- Une coloration rose, qui signifie que le TA est différent de 0, ce qui nécessite un dosage par HCl (N/10). On verse goutte à goutte jusqu'à décoloration et on note le volume versé V.
- Absence de Coloration rose, ce qui signifie que le TA est égal à 0, donc le pH de l'eau est inférieur à 8.3.

Pour déterminer le TAC, on utilise l'hélianthine, qu'on ajoute à 100 ml d'eau pour donner une coloration jaune, ce qui nécessite un dosage par HCl, on ajoute un volume V' d'acide chlorhydrique à l'aide d'une burette, tout on agitant après chaque goutte versée jusqu'à l'apparition d'une coloration jaune orangée.



Coloration jaune après ajout  
Coloration jaune-orange après dosage par HCL d'hélianthine

#### Résultats :

**Tableau 3 : Valeur de TAC**

Date	Eau brute	Eau traitée
25/04/13	5.4	4.7
26/04/13	5.5	4.9
28/04/13	5.5	4.8
29/04/13	5.2	5
01/05/13	5.6	5

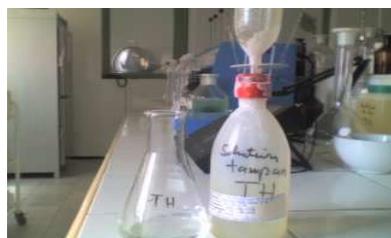
Le TAC diminue lors du passage de l'eau brute à l'eau traitée car il y'a une diminution des concentrations des ions  $\text{OH}^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$  et  $\text{CO}_3^{2-}$ .

## 6. Titre hydrotimétrique

Le titre hydrotimétrique ou la dureté de l'eau est la concentration totale en ions calcium, magnésium et autres cations bivalents dans cette eau.

### a. Mode opératoire :

À 100 ml d'eau à analyser, on ajoute 5ml de solution tampon ( $\text{NH}_3/\text{NH}_4^+$ ), une pincée d'indicateur de noir eriechrome et on titre avec la solution complexométrique (EDTA) jusqu'au virage du rose au bleu.



100ml de l'échantillon  
+5ml de la solution tampon TH



une pincée d'indicateur  
coloré « noir eriechrome »



Dosage par la solution d'EDTA à 0,02 mol/l  
Jusqu'à l'obtention d'une couleur bleue

### **b. Expression des résultats :**

$$TH \text{ (mg/l)} = T_b \times 0.4$$

T<sub>b</sub> : tombée de burette

## **7. Dureté calcique**

Afin de déterminer la dureté calcique on précipite sélectivement les ions Mg<sup>2+</sup> puis on procède au titrage des ions calcium restés solubles.

Pour cela on effectue un titrage par l'EDTA à pH > 12 (solution tampon=la soude) en utilisant le Calcon comme indicateur.

### **a. Mode opératoire :**

À 100 ml d'eau on ajoute 5 ml de la solution tampon NaOH, une petite spatule d'indicateur coloré (Calcon), puis on titre par une solution EDTA jusqu'au virage du rose au bleu.

### **b. Expression des résultats :**

$$T_{Ca^{2+}} \text{ (mg/l)} = T_b \times 8$$

T<sub>b</sub> : tombée de burette

## **8. Oxydabilité**

L'oxydabilité consiste à oxyder les matières oxydables contenues dans l'échantillon par un excès de permanganate de potassium en milieu acide et à ébullition pendant 13 minutes

L'addition de l'acide oxalique permet la réduction de permanganate de potassium.

On procède à un titrage en retour par le permanganate de potassium.

### **a. Mode opératoire**

Dans un ballon, on introduit 100 ml de l'eau à analyser, et on ajoute 2 ml d'acide sulfurique (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) concentré et 10 ml de permanganate de potassium (KMnO<sub>4</sub>, N/100), puis on chauffe à reflux au bain marie pendant 13 minutes. On ajoute après 1 ml d'acide oxalique (C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>O<sub>4</sub> 0,05M), et on laisse reposer quelques secondes (décoloration) puis on effectue un dosage en retour par le permanganate de potassium.



100 ml de l'échantillon  
+ 2 ml de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>  
+ 10 ml de KMnO<sub>4</sub>



13 min à ébullition



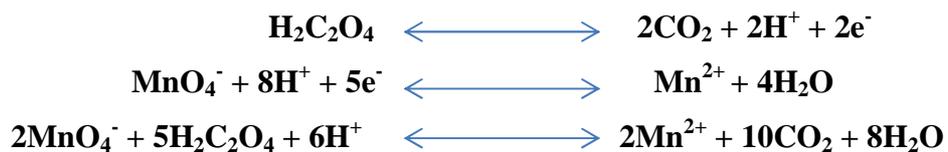
oxalique

On ajoute 1 ml de l'acide dosage en retour par



KMnO<sub>4</sub>

### b. Réactions du dosage:



### c. Expression des résultats:

$$[\text{O}_2] = \text{Tb} \times 0.8 \text{ (mg/l)}$$

**Tableau 4: Mesure de l'oxydabilité**

Date	Oxydabilité de l'eau brute (mg/l)	Oxydabilité de l'eau traitée (mg/l)	Norme (mg/l)
22/04/13	2.08	1.2	2
25/04/13	2	0.72	2
28/04/13	2.08	0.8	2
29/04/13	1.20	0.16	2
01/05/13	1.84	0.8	2

L'oxydabilité doit être inférieure à 2 mg/l pour une eau destinée à l'alimentation humaine ce qui est le cas pour l'eau produit au niveau de la station du traitement Ain Noukbi.

**Jar test**

**Essai de coagulation**

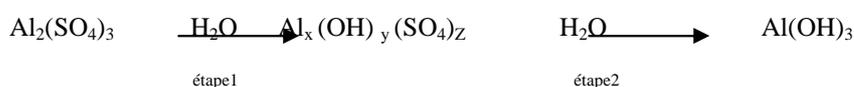
**floculation**

# I. Coagulation-floculation

La coagulation-floculation est un procédé de traitement physico-chimique d'épuration de l'eau. Elle facilite l'élimination des MES (matière en suspension) et des colloïdes en les rassemblant sous forme de floes. Leur séparation s'effectue par décantation et filtration. Ces colloïdes sont des particules de très faible diamètre contenant des charges négatives ce qui les conduit à se repousser et à les 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  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ . Ces cations sont attirés et adsorbés sur la surface des colloïdes. La mise en solution d'un coagulant s'effectue en deux étapes :



Etape 1 : phase d'hydrolyse

- Formation d'intermédiaires polychargés positifs
- Neutralisation de la charge des colloïdes
- Déstabilisation des particules chargées négativement (forme coagulante).

Etape 2 : formation du précipité de  $\text{Al}(\text{OH})_3$

La réaction de formation de  $\text{Al}(\text{OH})_3$  dépend de l'agitation de milieu qui assure la coalescence de colloïdes déstabilisés (forme floculante).

## b. Flocculation

La flocculation 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. Jar-test (Essai de coagulation-flocculation)

L'essai a pour but de déterminer la nature et les doses probables des réactifs permettant de clarifier l'eau au cours de son traitement. Cet essai est réalisé 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 flocculation par l'utilisation d'adjuvant de flocculant : 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).

### 1. Demande en chlore

La demande en chlore nous permet de déterminer la quantité du chlore (break point) qu'il faut injecter à l'eau brute lors de la pré-chloration. Le chlore a pour rôle d'empêcher et limiter la prolifération des bactéries et des algues afin de ne pas causer de problèmes à un stade avancé du traitement. La pré-chloration enlève odeur et contrôle la croissance biologique partout dans le système de traitement. Le chlore oxyde aussi le fer, le manganèse et/ou le sulfure d'hydrogène présent lors du processus de sédimentation.

Tout d'abord, on détermine de la concentration du chlore présent dans l'eau de javel

#### a. 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 ( $CH_3COOH$ ) 9N

Enfin, on titre par une solution de thiosulfate de sodium  $Na_2S_2O_3$  (N/10) jusqu'à décoloration.

## b. Interprétation

En milieu acide ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ ) l'hypochlorite de sodium  $\text{NaOCl}$  (eau de javel) est décomposé avec dégagement de chlore qui déplace l'iode d'une solution d'iodure de potassium  $\text{KI}$ . L'iode libéré est dosé par une solution titrée de thiosulfate de sodium  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$



## c. Expression des résultats

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

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

**Tb** : est 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 :

- Préparation de deux solutions de concentration différente de l'eau de javel (1 g/l) et (0,1 g/l).
- On introduit dans chacun des flacons 100ml 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 (temps de contact) après les avoir bouchés et agités.
- Après 30 min on dose le chlore résiduel avec un comparateur par introduction de réactifs colorimétriques (DPD : diéthyl-para-phénylène diamine).

- ° On trace la courbe du chlore résiduel en fonction du chlore injecté.

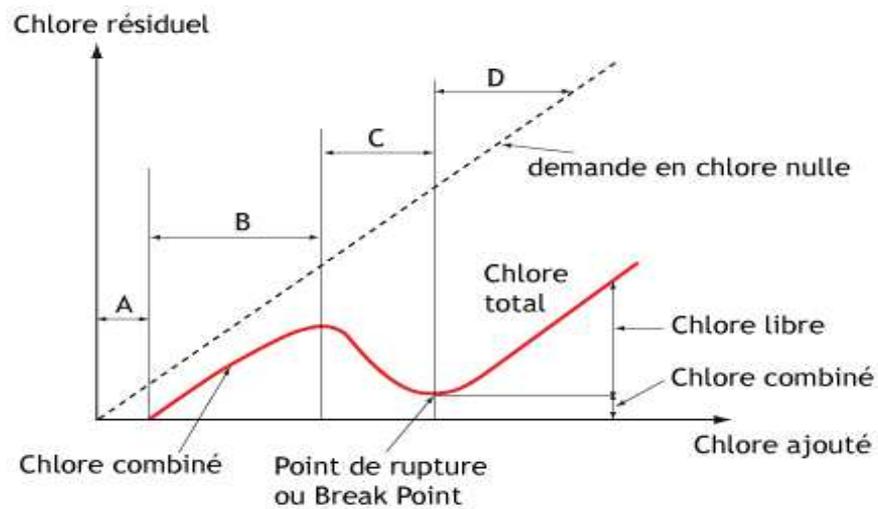


Figure 1 : Courbe de la demande en chlore (break point).

**Zone A :** Oxydation de substances réductrices, spécialement des composés minéraux (Fer, Manganèse.....) Tout l'hypochlorite est consommé.

**Zone B :** Formation de composés chlorés, principalement des chloramines, agissant comme chlore résiduel, qui désinfecte l'eau.

**Zone C :** destruction des composés chlorés formés antérieurement.

**Zone D :** tout le chlore ajouté reste sous forme de chlore libre.

#### d. Résultats

Tableau 5: Valeurs du chlore résiduel

N° de flacon	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Cl <sub>2</sub> injecté en mg/l	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6	6.5
Cl <sub>2</sub> résiduel en mg/l Essai 1	0.1	0.55	0.75	1.25	2	1.25	0.8	1	1.25	1.5	1.75	2.25
Cl <sub>2</sub> résiduel en mg/l Essai 2	0	0.1	0.1	0.2	0.3	1.2	1.8	1.4	2.5	3	3.5	4

Essai 1

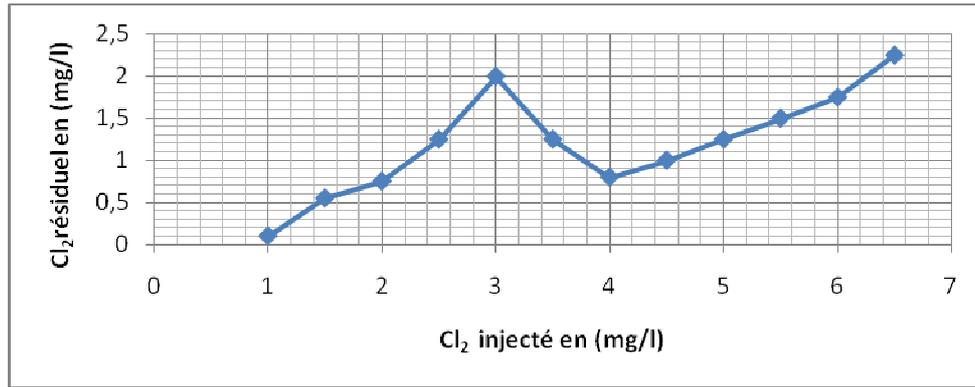


Figure 10 : Variation de la demande en chlore en fonction de la quantité du chlore injectée

## Essai 2

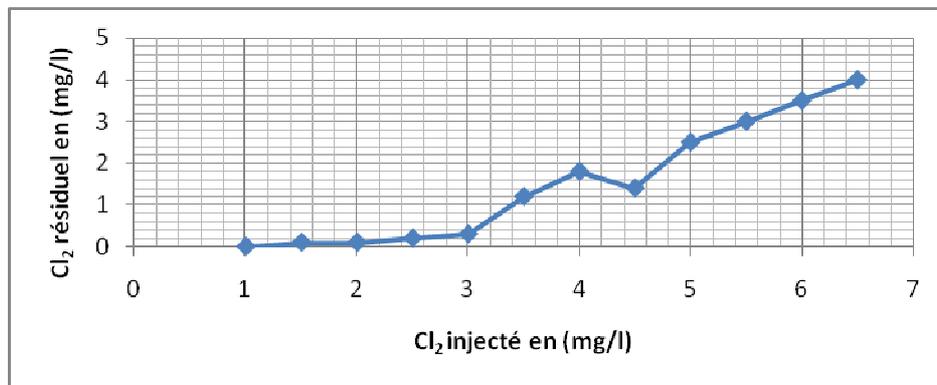


Figure 11 : Variation de la demande en chlore en fonction de la quantité du chlore injectée

Tableau 6 : La dose du chlore injectée

	Essai 2	Essai 3
Pré-chloration	4	4.5

Le Break-point varie généralement entre 4 et 5

## 2. Jar test

Une procédure qui simule les unités de coagulation-floculation du traitement de l'eau avec différentes doses de produits chimiques, des vitesses de mélange, et de pH pour estimer la dose minimale ou idéale du coagulant nécessaire pour avoir une certaine qualité de l'eau.



### a. Réactifs

- Solution mère de l'eau de javel de concentration (1 g/l).
- Solution de sulfate d'alumine  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$  comme coagulant de concentration 10 g/l.
- Solution de poly-électrolyte comme flocculant de concentration 0,1 g/l.
- Solution d'acide sulfurique en cas d'acidification.

### b. 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 floccs est noté par :**

- 0** – pas de floc ;
- 2** – légère opalescence ;
- 4** – petits points ;
- 6** – floccs de dimensions moyennes ;
- 8** – bon floc ;
- 10**– excellent.

- On laisse décanter pendant 30 minutes.
- On regarde s'il reste des floccs en suspension ;
- On détermine le pH, la turbidité, l'oxydabilité et le chlore résiduel du surnageant ;
- 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 échantillon ;
- On détermine la teneur en aluminium par kit.

L'origine principale d'aluminium est le sulfate d'alumine  $Al_2(SO_4)_3$ . Pour mesurer la quantité d'aluminium on utilise un test kit.

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

### **c. Critères de choix de la dose optimale**

L'objectif de coagulation-floculation est de déterminer les conditions optimales pour avoir une eau potable qui présente les caractéristiques suivantes :

- Taille des floccs supérieurs à 6 (taille de floccs 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.

Donc après la détermination de ce procédé on passe directement aux essais dont les résultats sont regroupés dans le tableau suivant :

#### d. Analyses de l'eau brute

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

**Tableau 7 : Analyses physico chimiques de l'eau brute**

Eau brute	Valeur moyenne essai 1 et 2	Valeur moyenne essai 3,4 et 5
pH	7.87	8.12
Température	20.9	22
TA en méq/l	0	0
TAC en méq/l	6.00	6.3
Oxydabilité en mg/l	2.3	2.56
Turbidité en NTU	12.6	32.2
Demande en chlore en	4	4.5
Chlore résiduel en mg/l (break-point)	0.8	1.4

#### e. Essais de coagulation floculation

##### Essai n° 1 : Absence de floculant

Cet essai permet de déterminer le dose optimale du coagulant en absence de floculant

**Tableau 8 : optimisation du coagulant en absence de floculant**

N° de béchers	I	II	III	IV	V	VI
Pré-chloration en mg/l	4	4	4	4	4	4
Coagulant mg/l	20	30	40	50	60	70
Aspect des floes	02	04	04	06	06	06
pH	7.82	7.67	7.56	7.40	7.31	7.29
Oxydabilité mg/l	1.28	2.32	0.96	1.12	1.12	0.64
Turbidité décanté NTU	5.19	3.82	3.71	2.71	3.36	3.56
Chlore résiduel	1	1.2	1	1	1.2	1.2
Turbidité filtrée NTU	0.24	0.2	0.24	0.31	0.29	0.23
TAC	4.78	4.76	4.70	4.5	4.3	4.3

<b>Al<sup>3+</sup> résiduel mg/l</b>	0.4	0.35	0.2	0.2	0.2	0.12
--------------------------------------	-----	------	-----	-----	-----	------

C'est le bécher N°IV qui donne les meilleurs résultats car, il respecte les normes.

Donc la dose optimale du sulfate d'alumine est de **50 mg/l**.

### **Essai n° 2 : Fixation du coagulant**

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

**Tableau 9 : Optimisation du floculant en présence d'une dose fixe de coagulant**

<b>N° de béchers</b>	<b>I</b>	<b>II</b>	<b>III</b>	<b>IV</b>	<b>V</b>	<b>VI</b>
<b>Pré-chloration mg/l</b>	4	4	4	4	4	4
<b>Coagulant mg/l</b>	50	50	50	50	50	50
<b>Floculant mg/l</b>	0.05	0.1	0.15	0.2	0.25	0.3
<b>Aspect des floes</b>	04	08	08	08	08	08
<b>pH</b>	7.44	7.4	7.38	7.35	7.32	7.3
<b>Oxydabilité Mg/l</b>	0.48	0.96	0.56	0.8	0.64	1.44
<b>Turbidité décanté NTU</b>	1.09	0.7	0.62	0.61	0.53	0.68
<b>Chlore résiduel</b>	0.8	0.8	0.8	0.8	0.75	0.8
<b>Turbidité filtrée NTU</b>	0.17	0.16	0.12	0.18	0.17	0.21
<b>TAC</b>	4.6	4.5	4.45	4.6	4.6	4.6
<b>Al<sup>3+</sup> résiduel mg/l</b>	0.2	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12

Le bécher N°II représente le meilleur choix car il donne des résultats obéissant aux normes souhaitées.

La dose optimale du polymère est **0.1 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° 3 : 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 10: Optimisation du coagulant en présence de floculant**

<b>N° de béchers</b>	<b>I</b>	<b>II</b>	<b>III</b>	<b>IV</b>	<b>V</b>	<b>VI</b>
<b>Pré-chloration mg/l</b>	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5

<b>Coagulant mg/l</b>	10	20	30	40	50	60
<b>Floculant mg/l</b>	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
<b>Aspect des floccs</b>	04	06	08	08	08	08
<b>pH</b>	7.91	7.79	7.66	7.54	7.51	7.39
<b>Oxydabilité Mg/l</b>	0.96	0.56	0.56	1.36	0.4	0.96
<b>Turbidité décanté NTU</b>	1.26	0.94	0.93	0.87	0.57	0.82
<b>Chlore résiduel</b>	1	0.8	1	1	1	1
<b>Turbidité filtrée NTU</b>	1.15	0.36	0.14	0.37	0.47	0.26
<b>TAC</b>	5.5	5.4	5.3	5.2	4.9	4.82
<b>Al<sup>3+</sup> résiduel mg/l</b>	0.35	0.2	0.2	0.2	0.12	0.12

Les résultats du bécher N°V obéissant aux normes.

#### **Essai n° 4 : Acidification**

Pour déterminer la dose optimale du pH, on fixe la dose du coagulant à 50 mg/l et celle du floculant à 0,1 mg/l puis on injecte des doses différentes d'acide sulfurique pour stabiliser le pH à (7.8, 7.5, 7.2, 7, 6.8 et 6.5)

***Tableau11 : Optimisation du pH.***

<b>N° de béchers</b>	<b>I</b>	<b>II</b>	<b>III</b>	<b>IV</b>	<b>V</b>	<b>VI</b>
<b>pH après acidification</b>	7.80	7.50	7.20	7.00	6.80	6.50
<b>Pré-chloration mg/l</b>	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5
<b>Coagulant mg/l</b>	50	50	50	50	50	50
<b>Floculant mg/l</b>	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
<b>Aspect des floccs</b>	06	06	06	06	06	06
<b>pH</b>	7.56	7.37	7.12	7.11	6.76	6.64
<b>Oxydabilité mg/l</b>	0.96	0.4	0.4	0.4	0.96	0.96
<b>Turbidité décanté NTU</b>	1.27	1.23	0.8	0.81	0.67	0.54
<b>Chlore résiduel</b>	0.90	0.50	0.70	0.70	0.60	0.70
<b>Turbidité filtrée NTU</b>	0.26	0.21	0.13	0.25	0.24	0.17
<b>TAC</b>	5.1	4.9	4.4	4.2	3.78	2.76
<b>Al<sup>3+</sup> résiduel mg/l</b>	0.2	0.2	0.12	0.12	0.12	0.12

Le bécher N° III présente les meilleures caractéristiques, donc le pH optimal est de 7,2.

L'acidification permet d'améliorer les résultats de traitement surtout le pH. En effet, plus le pH est faible au voisinage de 7, plus la désinfection est efficace.

#### **Essai n° 5 : changement de la vitesse de floculation**

Pendant cet essai, on augmente la vitesse d'agitation jusqu'à 60 tr/m

***Tableau 12 : Changement de la vitesse***

<b>N° de béchers</b>	<b>I</b>	<b>II</b>	<b>III</b>	<b>IV</b>	<b>V</b>	<b>VI</b>
----------------------	----------	-----------	------------	-----------	----------	-----------

<b>Pré-chloration mg/l</b>	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5
<b>Coagulant mg/l</b>	10	20	30	40	50	60
<b>Floculant mg/l</b>	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
<b>Aspect des floccs</b>	04	04	06	06	06	06
<b>pH</b>	7.94	7.81	7.71	7.68	7.45	7.38
<b>Oxydabilité mg/l</b>	1.60	1.76	0.40	0.80	1.60	1.20
<b>Turbidité décanté NTU</b>	2.34	1.35	0.69	1	1.2	0.9
<b>Chlore résiduel</b>	2.50	2	2	2	1	1
<b>Turbidité filtrée NTU</b>	0.36	0.16	0.14	0.27	0.36	0.28
<b>TAC</b>	4.70	4.50	4.40	4.40	4.30	4.20
<b>Al<sup>3+</sup> résiduel mg/l</b>	0.50	0.50	0.35	0.2	0.12	0.12

D'après ces résultats on constate que la meilleure dose est celle du bécher N° 6

L'augmentation de la vitesse d'agitation conduit à briser les floccs en petites particules.

- Le tableau N°13 regroupe les résultats des meilleurs essais.

Dans ce tableau on a regroupé les résultats du meilleur bécher de chaque essai.

**Tableau 13: Résultats des meilleures doses**

<b>Essai</b>	<b>I</b>	<b>II</b>	<b>III</b>	<b>IV</b>	<b>V</b>
<b>Pré-chloration mg/l</b>	4	4	4.5	4.5	4.5
<b>Coagulant mg/l</b>	50	50	50	50	60
<b>Floculant mg/l</b>	-	0.1	0.1	0.1	0.1
<b>Aspect des floccs</b>	06	08	08	06	06
<b>pH</b>	7.40	7.4	7.51	7.12	7.38
<b>Oxydabilité mg/l</b>	1.12	0.96	0.4	0.4	1.20
<b>Turbidité décanté NTU</b>	2.71	0.7	0.57	0.8	0.9
<b>Chlore résiduel</b>	1	0.8	1	0.70	1
<b>Turbidité filtrée NTU</b>	0.31	0.16	0.47	0.13	0.28
<b>TAC</b>	4.5	4.5	4.9	4.4	4.20
<b>Al<sup>3+</sup> résiduel mg/l</b>	0.2	0.12	0.12	0.12	0.12

L'étude effectuée montre que lorsqu'on utilise le coagulant et le floculant en même temps comme réactifs, on obtient de meilleurs résultats qu'en présence du coagulant seul. En acidifiant le milieu et en baissant le pH à 7,2 ; on améliore la clarification de l'eau brute et on diminue le taux résiduel de l'aluminium.

En augmentant, la vitesse d'agitation, on risque de briser les floccs en petites particules.

Ces petites particules peuvent arriver jusqu'aux filtres, ce qui nécessite un lavage fréquent de ces derniers.

# Conclusion

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

Ce stage m'a permis de suivre toutes les opérations que l'eau subit de son état brut à son état potable.

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