

Licence Sciences et Techniques (LST)

GENIE CHIMIQUE

PROJET DE FIN D'ETUDES

**Etude comparative entre deux coagulants :
Sulfate d'Aluminium et Chlorure ferrique
 $Al_2(SO_4)_3, 18H_2O/FeCl_3$**

Présenté par :

◆ **EL-MERNISSI YASSINE**

Encadré par :

◆ **Mme.Fatima ez-zahrae NAFEA**

◆ **Pr.Elhadi LAMCHARFI**

Soutenu Le 7 Juin 2018 devant le jury composé de:

- **Pr.E. LAMCHARFI**

- **Pr.A. HARRACH**

- **Pr.B. IHSSANE**

Stage effectué à L'ONEP de Taounate

Année Universitaire 2017 / 2018

Dédicace

Je dédis ce travail
à mes chers parents pour leurs
soutiens, leurs efforts et leurs
encouragements. A mes très cher
frères en reconnaissance de leurs
encouragements et leur aide. A tous
mes professeurs et collègues pour tout
le bien que leur compagnie ma fait.

Remerciements

Au terme de ce travail, je tiens à remercier tous les responsables de l'Office National d'Électricité et d'Eau Potable à TAOUNATE qui m'ont accepté comme stagiaire au sein de leur établissement.

Mes remerciements vont également à **Fatima ez-zahrae NAFEA**, mon encadrant à l'ONEE et Monsieur le chef de production **Mohamed TOUIL**, pour m'avoir accueillie et veillé au bon déroulement de mon stage.

.je tiens à remercier aussi mon encadrant pédagogique monsieur **Elhadi LAMCHARFI** pour son encadrement ainsi pour ces remarques précieuses

Je ne laisse pas cette occasion passer sans remercier très vivement mes chers enseignants de la Faculté des Sciences et Techniques de Fès, pour les connaissances qu'ils m'ont permis d'acquérir. Que ce travail soit pour moi l'occasion de leur exprimer ma haute considération et sincère reconnaissance.

Je remercie également toute personne qui a participé à l'élaboration de ce travail de près ou de loin.

Merci à tous

ABREVIATION

ONEP :	Office National d'Eau Potable
DPD :	Diéthyl-Phénylène Diamine
EDTA :	Éthylène Diamine téTraAcide
°F :	Degré Français
MES :	Matière En Suspension
pH :	Potentiel Hydrogène
TA :	Titre Alcalimétrique
TAC :	Titre Alcalimétrique Complet
Tb :	Tombée de burette
TH :	Titre Hydrotimétrique Total
UTN :	Unité de Turbidité Néphélométrique
V :	Volume

Sommaire

<i>INTRODUCTION</i>	1
I. Présentation générale de l'Office National de l'Eau potable	2
1. Office National l'Eau Potable :	2
2. Mission principale de l'ONEP :	2
3. Office National de l'eau Potable de TAOUNAT :	2
4. Description lieu du stage :	3
5. Les critères de potabilité des eaux	3
I. Le traitement des eaux du barrage SAHLA	4
1. L'Aération.....	4
2. Le Débouage.....	4
3. La Pré-chloration	5
4. La Coagulation-floculation	5
5. La Décantation.....	5
6. La Filtration sur sable.....	6
7. La Filtration sur charbon actif en grain.....	6
8. La Désinfection.....	6
II. METHODES D'ANALYSES.....	7
1. Les analyses physico-chimiques :	7
2. Les analyses Microbiologiques des eaux du Barrage SAHLA	12
ETUDE COMPARATIVE ENTRE DEUX COAGULANTS.....	13
I. Introduction :	13
1. Propriétés des coagulants $Al_2(SO_4)_3$ et $FeCl_3$	13
2. Plan de travail :	20
<i>Essai 1</i> :	21
<i>Essai 2</i> :	22

Liste de figure

Figure 1 : station d'aération.....	4
Figure 2: Débourbeur.....	4
Figure 3 : décanteur.....	5
Figure 4 : Filtres à sable	6
Figure 5 : L'essai de jar test.....	19

Liste de tableau

Tableau 1 : Analyses de l'eau brute	20
Tableau 2 : Essai Jar-Test n°1.....	21
Tableau 3 : Essai Jar-Test n°2.....	22
Tableau 4 : Comparaison des meilleurs Béchers	23

INTRODUCTION

L'eau qui coule à nos robinets est un produit élaboré, qui a fait l'objet de nombreux traitements et contrôles. Il n'existe pratiquement plus, à l'état naturel, d'eaux propres aux usages alimentaires et à l'hygiène corporelle. Les caractéristiques physico-chimiques et microbiologiques des eaux brutes varient en fonction de la nature du sol et des activités locales (agricoles, industrielles et domestiques). Pour être exploitables, les eaux brutes doivent répondre à des critères de qualité fixés par la réglementation. Le choix des procédés et des équipements dépendra du niveau de qualité de chaque ressource en eau et sera homologué par le ministère de la santé.

Le type de traitement dépend de la qualité de l'eau brute captée : de la simple désinfection, éventuellement couplée à une filtration rapide, pour les eaux souterraines bien protégées par leur profondeur et la nature géologique des terrains traversés, à des traitements plus poussés (prétraitement, coagulation, floculation et procédés d'affinage avant désinfection) pour des eaux superficielles ou des eaux souterraines de moins bonne qualité. Le mot "traitement" est souvent associé, dans notre esprit, à l'idée de produits chimiques. Or dans les faits, le traitement de l'eau fait appel pour une très large part à des procédés naturels, physiques (filtration, décantation...), et à des procédés physico-chimiques (coagulation floculation). Les traitements chimiques sont essentiellement des traitements de désinfection par le chlore ou l'ozone.

Dans le présent travail, nous allons apporter une modeste contribution à ce procédé, en étudiant d'abord les étapes de traitement de l'eau du barrage SAHLA (région de taounat) et en essayant d'améliorer les choses en comparant les résultats de deux réactifs FeCl_3 et $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$.

Par conséquent le présent rapport sera divisé comme suit :

Après une introduction générale nous allons décrire dans un second chapitre les différentes étapes de traitement des eaux du barrage SAHLA. Dans un 3^{ème} chapitre nous allons étaler les résultats obtenus par la méthode de jar-test à la fois pour le chlorure ferrique et le sulfate d'aluminium utilisés comme coagulants et faire des interprétations avant de finir par une conclusion générale.

I. Présentation générale de l'Office National de l'Eau potable

1. Office National l'Eau Potable :

L'Office National de l'Eau Potable créé en 1929 par Dahir Chérif sous le nom de Régie d'Exploitation Installation et Planification (REIP), puis la Régie d'Exploitation et Planification (REP), puis sous le nom de l'Office National d'Eau Potable (ONEP) en 1972 et enfin sous le nom de l'Office National de l'Electricité et d'Eau Potable (ONEE) depuis 2012 . 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'Eau Potable est l'organisme gouvernemental qui assure l'essentiel de la gestion de la ressource en eau potable et de sa production au Maroc.

2. Mission principale de l'ONEP :

Parmi les missions de l'ONEP on trouve :

- **Planifier** : l'approvisionnement en eau potable du royaume et la programmation des projets.
- **Etudier** : l'approvisionnement en eau potable et assurer l'exécution des travaux des unités de production et de distribution.
- **Gérer** : la production d'eau potable et assurer la distribution pour le compte des communes qui le souhaitent.
- **Contrôler** : la qualité des eaux produites et la pollution des eaux susceptibles d'être utilisées pour l'alimentation humaine.
- **Assister** : en matière de surveillance de la qualité de l'eau.
- **Participer** : aux études, en liaison avec les ministères intéressés , des projets de textes législatifs et réglementaires à l'accomplissement de sa mission.

3. Office National de l'eau Potable de TAOUNAT :

L'alimentation et la distribution en eau potable de TAOUNAT est assurée par l'ONEP les ressources utilisées par l'ONEP de TAOUNAT sont :

- ❖ Ressource superficielle : l'eau du barrage de SAHLA
- ❖ Ressources souterraines : qui sont principalement les puits situés au niveau d'Ouad SRAA

4. Description lieu du stage :

Ce complexe de production est constitué de station :

- Station de traitement

Le laboratoire est doté d'un équipement moderne qui lui permet de procéder à la détermination de plusieurs paramètres, le laboratoire dispose de 3 salles :

- Une salle d'analyses physico-chimiques.
- Une salle d'analyses bactériologiques.
- Une salle de lavage.

5. Les critères de potabilité des eaux

Pour rendre l'eau potable, l'eau doit répondre à des critères de qualité très stricts. Fixés par le ministère de la santé, les critères d'une eau disponible à la consommation sont au nombre de 63, ils portent sur :

a. La qualité microbiologique :

L'eau ne doit contenir ni parasite, ni virus, ni bactérie pathogène.

b. La qualité chimique :

Les substances chimiques autres que les sels minéraux font l'objet de nombres très sévères. Ces substances sont dites "indésirables" ou "toxique".

c. La qualité physique :

L'eau doit être limpide, claire, aérée et ne doit présenter ni saveur ni odeur désagréable.

I. Le traitement des eaux du barrage SAHLA

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 procédé de traitement des eaux adoptées par l'ONEP sont :

1. L'Aération

Il s'agit d'un simple transfert gaz-liquide qui permet l'élimination des gaz indésirables (H_2S , CH_4 , CO_2 ...), et la ré-oxygénation de l'eau pour augmenter sa teneur en oxygène, et pour assurer l'oxydation de certains corps réducteurs (Mn, Fe,.....) qui précipitent et peuvent alors être éliminés au cours les étapes suivantes :



Figure 1 : station d'aération

2. Le Débourbage

C'est une opération de pré-décantation qui a pour but d'éliminer certaines matières en suspensions (MES) (limons et sables fins). Cette technique est utilisée quand la teneur en MES est supérieure à 2g/l.



Figure 2: Débourbeur

3. La Pré-chloration

Cette opération a pour but de :

- ✓ Oxyder le fer et le manganèse contenus dans l'eau brute (En général responsable de la couleur)
- ✓ Détruire les matières organiques, afin de réduire le gout et l'odeur de l'eau.
- ✓ Détruire les micro-organismes et d'inhiber la croissance algale.

4. La Coagulation-floculation

Dans l'eau brute existe des particules de très faible diamètre qu'on appelle Colloïdes, elles sont responsables de la couleur de l'eau de la surface.

L'élimination des Colloïdes demande beaucoup de temps à cause de leur faible diamètre, alors que la coagulation-floculation a pour but de favoriser la décantation.

- ❖ La coagulation c'est pour déstabiliser en éliminant la charge électrostatique (négative) de manière à favoriser leur rencontre par addition d'un coagulant.
- ❖ La floculation est l'agglomération des particules déstabilisées en micro-floc et ensuite en flocons plus volumineux appelé Floc par addition d'un floculant comme le poly-électrolyte.

5. La Décantation

Après avoir ajouté le coagulant et le floculant on laisse décanter comme le montre la photo suivante :

Lors de la décantation seul les particules qui ont une densité qui est supérieure à celle de l'eau vont décantées et vont s'accumuler au fond du bassin du décanteur périodiquement



Figure 3 : décanteur

6. La Filtration sur sable

La filtration consiste à faire passer l'eau à travers un lit de sable afin d'éliminer les matières en suspension qui n'ont pas été piégées lors des étapes précédentes. Le filtre peut jouer un double rôle suivantes conditions d'exploitations, il retient les matières en suspension par filtration d'une part, et il constitue un support bactérien permettant un traitement biologique d'une autre part, c'est à dire une consommation des matières organiques, ou de fer et du manganèse, par les bactéries qui sont développées sur le sable.

Ce traitement permet de réduire la turbidité de l'eau à des valeurs de préférences inférieures à 0,5 NTU.



Figure 4 : Filtres à sable

7. La Filtration sur charbon actif en grain

La filtration sur charbon actif en grain elle est Spécifique pour l'élimination de l'odeur, de la saveur et d'autres éléments indésirables tels que les pesticides et les Tri-Halo Méthane THM (Chloroforme, Bromodichlorométhane Dibromochlorométhane et Bromoforme).

8. La Désinfection

La désinfection est la dernière étape de traitement dans la station de RMILA-TAOUNATE Elle est essentielle pour la prévention des épidémies d'origine hydrique. Elle a pour rôle d'assurer la destruction des micro-organismes pathogènes de l'eau et pour cela on utilise un désinfectant qui est le chlore.

Il existe d'autres désinfectants : ozone, dioxyde de chlore, rayonnement UV, etc.....

Le choix de l'agent désinfection dépend de :

- De l'efficacité sur les pathogènes
- De respecter les qualités organoleptiques de l'eau
- Du coût

II. METHODES D'ANALYSES

1. Les analyses physico-chimiques :

a. Turbidité :

La turbidité désigne la teneur d'un liquide en matières qui le troublent. Elle est causée par des particules en suspension qui absorbent, diffusent et réfléchissent la lumière.

Son principe est basé sur la comparaison de l'intensité de la lumière diffracté par l'échantillon à celle de référence.

b. Conductivité

La conductivité mesure la capacité de l'eau à conduire le courant entre deux électrodes. La plus part 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.

Elle est fonction de la concentration totale en ions, de leur mobilité, de leur valence, de leur

Concentration relative et de la température, son unité est le siemens par mètre (S/m).

c. Température

Il est important de connaître la température de l'eau avec une bonne précision. En effet celle-ci joue un rôle dans la dissociation des sels dissous donc sur la conductivité électronique,

d. pH

Ce paramètre caractérise un grand nombre d'équilibre physico-chimique et dépend de facteurs multiples, dont l'origine de l'eau.

$$\text{pH} = -\log [\text{H}_3\text{O}^+]$$

La mesure du pH doit être faite sur le terrain par un pH-mètre.

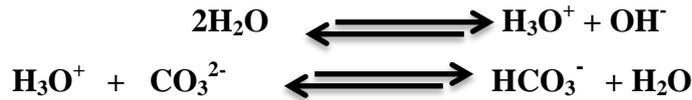
e. Détermination de l'alcalinité de l'eau : TA et TAC

L'alcalinité d'une eau est due à la présence des bicarbonates (HCO_3^-), des carbonates (CO_3^{2-}) et des hydroxydes (OH^-) ; elle est déterminée par le calcul de deux titres

i. Titre alcalimétrique TA

Le titre alcalimétrique TA correspond à la neutralisation des ions OH^- et à la transformation de la moitié des ions CO_3^{2-} en HCO_3^- par un acide fort en présence d'un indicateur coloré

Les réactions mises en jeu :



Mode opératoire : on introduit 100 ml de l'eau dans un erlenmeyer, puis on y ajoute deux gouttes de phénolphtaléine.

→ Deux cas peuvent se présenter : Soit il se produit une coloration rose, soit le contenu de l'erlenmeyer reste incolore.

✓ S'il se produit une coloration rose : ça signifie que l'eau est alcaline (pH=8,3) on détermine alors le titre alcalimétrique par une solution d'acide chlorhydrique HCl (0,1N) on ajoute HCl jusqu'à la zone de virage de la solution et on note le volume versé puis on passe à la détermination du titre alcalimétrique complet.

✓ S'il ne se produit pas de coloration rose : ça signifie que le pH de l'eau est inférieure à 8,3 alors TA=0. Donc on passe directement à la détermination de titre alcalimétrique complet

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

Au point d'équivalence : $N_a V_a = N_b V_b \rightarrow N_b = N_a V_a / V_b$

→ $N_b = 0,1 * V_a / 100 \rightarrow N_b = 10^{-3} * V_a \text{ (éq/l)}$

Donc : $N_b = V_a \text{ (még/l)}$

Alors :

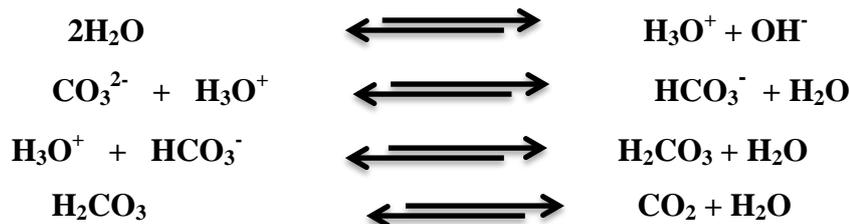
TA = V_m' en még/l

Avec V_m' est le volume moyen de la burette.

ii. Titre Alcalimétrique Complet TAC :

Le titre alcalimétrique complet TAC correspond à la neutralisation des ions HO⁻, CO₃, HCO₃⁻, par un acide fort en présence d'un indicateur coloré.

Les réactions mises en jeu :



Mode opératoire : On prend 100 ml de l'eau à analyser dans un erlenmeyer puis on ajout deux gouttes de la solution d'hélianthine, la solution prend une coloration jaune et on dose par l'acide chlorhydrique HCl (0,1N) jusqu'à l'apparition d'une coloration jaune orangée.

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

$$\text{TAC} = V_m + V_m' \quad \text{en még/l}$$

Avec V_m : le volume moyen de la burette.

f. Titre Hydrotimétrique :

Le titre hydrotimétrique (dureté de l'eau) correspond à la teneur de l'eau en ions calcium (Ca^{2+}) et magnésium (Mg^{2+}).

i. Principe :

Les ions Ca^{2+} et Mg^{2+} présents dans l'eau sont complexés par l'acide éthylène diamine tétra acétique (EDTA), le noir erichrome est utilisé comme indicateur coloré.

Elle est exprimée en °F et en még/l.

1 még de dureté calcique par litre = 20,04 mg Ca^{2+}

1 még de dureté magnésienne par litre = 12,16 mg Mg^{2+}

1 még = 5 degrés français

Les réactions mises en jeu sont :



Avec Y : le réactif EDTA

ii. Mode opératoire :

On met 100 ml d'eau à analyser dans un erlenmeyer, on ajoute 5 ml de solution tampon ($\text{NH}_3/\text{NH}_4^+$), une petite spatule d'indicateur de noir érichrome et on titre avec la solution d'EDTA jusqu'au virage du rouge au bleu royal.

iii. Expression des résultats :

Au point d'équivalence :

$$N_1 V_1 = N_2 V_2 \quad \rightarrow \quad N_2 = N_1 V_1 / V_2$$

$$N_2 = 0,02 \times 2 \times V_1 / 100$$

$$N_2 = 4 \cdot 10^{-4} \times V_1 \quad (\text{éq/l})$$

$$N_2 = 0,4 \cdot V_1 \quad (\text{még/l})$$

$$\text{avec} \left\{ \begin{array}{l} \text{Ca} = 0,02 \text{ mol/l} \quad N_2 : \text{Titre hydrotimétrique} \\ N_1 : \text{Normalité d'EDTA.} \quad V_2 : \text{Volume de l'échantillon} \\ V_1 : \text{Volume versé d'EDTA.} \quad (100\text{ml}) \end{array} \right.$$

Donc :

$$\text{TH} = V_1 \times 0,4 \quad (\text{még/l})$$

Ion Calcium Ca^{2+} :

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

Principe : Le calcium et le magnésium présents dans l'eau sont complexés par l'Ethylène Diamine Tétracétique (EDTA). Le calcon est utilisé comme indicateur pour le dosage du calcium. Le magnésium est précipité lors du dosage sous forme d'hydroxydes $\text{Mg}(\text{OH})_2$ et n'interfère pas.

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 au moyen de la solution EDTA jusqu'au virage du rose au bleu.

Résultat : Selon le calcul précédant de TH on a :

$$N_2 = 0,4 \times V_1 \text{ (méq/l)} \quad \text{et} \quad \text{On a : } C_2 = N_2/2$$

$$\text{Donc : } C_2 = 2 \cdot 10^{-1} \times V_a \text{ (mol/l)} \quad \text{avec} \quad M(\text{Ca}^{2+}) = 40 \text{ g/mol}$$

$$\text{On a : } T(\text{Ca}^{2+}) = M(\text{Ca}^{2+}) \times C_b \quad \rightarrow \quad T(\text{Ca}^{2+}) = 40 \times 2 \times 10^{-1} \times V$$

$$T(\text{Ca}^{2+}) = V \times 8 \quad \text{(mg/l)}$$

Ion magnésium Mg^{2+} :

La concentration en ions Mg^{2+} se détermine par calcul.

$$T(\text{Mg}^{2+}) = (\text{TH} - T(\text{Ca}^{2+})) \times 12,16 \text{ en (mg/l)}$$

g. Oxydabilité

L'oxydabilité correspond à la quantité d'oxygène exprimée en mg/l cédée par l'ion permanganate MnO_4^- et consommée par les matières oxydables contenues dans un litre d'eau.

a. Principe : Chauffage d'un échantillon dans un bain marie bouillant en présence d'une quantité connue de KMnO_4 dans un milieu acide pendant un temps donnée, réduction d'une partie de permanganate par les matières oxydables de l'échantillon et détermination de l'excès de permanganate par addition d'un excès d'acide oxalique suivi par un titrage de l'oxalate $\text{C}_2\text{O}_4^{2-}$ en excès par le MnO_4^- .



b. Mode opératoire : Dans un ballon on met 100 ml d'eau à analyser plus 2 ml de l'acide sulfurique (H_2SO_4) concentré plus 10 ml de KMnO_4 (N/100), puis le ballon est mis au bain marie à

100 °C pendant 13min, après on ajoute 1ml d'acide oxalique (H₂C₂O₄) (N/10) et on titre avec le KMnO₄ (N/100) jusqu'à l'apparition d'une faible teinte rose.

c. Expression des résultats: Après les réactions précédant on trouve :

$$n(\text{MnO}_4^-)/2 = n(\text{C}_2\text{O}_4^{2-}) / 5 \quad \rightarrow \quad n(\text{MnO}_4^-) = 2/5 n(\text{C}_2\text{O}_4^{2-})$$

$$n(\text{MnO}_4^-)_{\text{cons}} = n(\text{MnO}_4^-)_{\text{initial}} - n(\text{MnO}_4^-)_{\text{reste}}$$

$$n(\text{MnO}_4^-)_{\text{cons}} = n(\text{MnO}_4^-)_{\text{initial}} - 2/5 n(\text{C}_2\text{O}_4^{2-})_{\text{cons}}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{avec : } n(\text{C}_2\text{O}_4^{2-})_{\text{cons}} = n(\text{C}_2\text{O}_4^{2-})_{\text{initial}} - n(\text{C}_2\text{O}_4^{2-})_{\text{reste}} \\ n(\text{C}_2\text{O}_4^{2-})_{\text{reste}} = \frac{5}{2} n(\text{MnO}_4^-)_{\text{final}} \end{array} \right.$$

Alors :

$$n(\text{MnO}_4^-)_{\text{cons}} = n(\text{MnO}_4^-)_{\text{initial}} - 2/5 n(\text{C}_2\text{O}_4^{2-})_{\text{initial}} + 2/5 [5/2 n(\text{MnO}_4^-)_{\text{final}}]$$

$$n(\text{MnO}_4^-)_{\text{cons}} = C_O V_O - 2/5 \times C_R V_R + C_{2O} \times V_{\text{versé}} \quad \rightarrow \quad n(\text{MnO}_4^-)_{\text{cons}} = N_O V_O / p_1 - 2/5 N_R V_R / p_2 + V_{\text{versé}} N_O / p_1$$

$$\text{donc : } \quad n(\text{MnO}_4^-)_{\text{cons}} = 1/500 V_{\text{versé}} \times 10^{-3}$$

$$\text{D'après la réaction (3) : } n(\text{MnO}_4^-)/2 = n(\text{O}_2)/(5/2) \quad \rightarrow \quad n(\text{O}_2) = 5/4 n(\text{MnO}_4^-)$$

$$n(\text{O}_2) = 5/4 \times 1/500 \times V_{\text{versé}} \times 10^{-3} \quad \rightarrow \quad n(\text{O}_2) = 1/400 \times V_{\text{versé}} \times 10^{-3}$$

$$\text{Alors : } C(\text{O}_2) = n(\text{O}_2) / V_{\text{initial de l'échantillon}} \quad \text{Avec : } V_{\text{initial de l'échantillon}} = 100 \text{ (ml)} = 100 \times 10^{-3} \text{ (l)}$$

$$\text{Donc : } \quad C(\text{O}_2) = 1/400 \times V_{\text{versé}} / 100 \quad \rightarrow \quad n(\text{O}_2) = 1/4 V_{\text{versé}} \times 10^{-4} \text{ (mol/l)}$$

$$C_m(\text{O}_2) = C(\text{O}_2) \times M(\text{O}_2) \quad \rightarrow \quad C_m(\text{O}_2) = 32/4 V_{\text{versé}} \times 10^{-4} \text{ (g/l)}$$

$$C_m(\text{O}_2) = 8 \times V_{\text{versé}} \times 10^{-4} \text{ (g/l)} \quad \rightarrow \quad C_m(\text{O}_2) = 0.8 \times V_{\text{versé}} \text{ (mg/l)}$$

Alors la quantité d'oxygène nécessaire est donnée par l'expression:

$$\text{Oxydabilité} = V_{\text{versé de KMnO}_4} \times 0,8 \text{ en mg/l}$$

h. Dosage du chlorure Cl⁻

La teneur en chlorures d'une eau dépend de l'origine d'eau et de la nature du terrain qu'elle traverse en plus les chlorures participent à la conductivité électrique des eaux.

Mode opératoire: On ajoute à 100 ml d'échantillon d'eau à analyser 0,5 ml d'indicateur de pH plus quelques gouttes de HNO₃ (N / 3) (le milieu est basique) jusqu'à l'apparition de la coloration jaune et on ajoute encore 3 goutte en excès, on effectue un dosage par AgNO₃, on arrête le dosage une fois la couleur jaune se transforme en mauve foncé.

Expression des résultats:

$$[\text{Cl}^-] = V \times 35,5 \quad (\text{mg/l})$$

Avec V : le volume de AgNO₃ et M(Cl)=35,5

i. Chlore résiduel

Lorsque du chlore est ajouté à l'eau, il attaque les matières organique et tente les détruire. Si suffisamment de chlore est ajouté, une partie restera dans l'eau une fois que tous les organismes sensibles au chlore auront été éliminés. Ce qui reste est appelé chlore résiduel.

La méthode la plus rapide et la plus facile pour tester la présence de chlore résiduel est le test DPD (diethyl paraphenylene diamine) en utilisant un comparateur colorimétrique. Une pastille de DPD est ajoutée à un échantillon d'eau teint l'eau en rose. L'intensité de la couleur est comparée visuellement à celle d'une échelle de couleur afin de déterminer la concentration en chlore.

2. Les analyses Microbiologiques des eaux du Barrage SAHLA

L'appareil digestif de l'homme et des animaux constitue un réservoir de germes potentiellement pathogènes qui peuvent se trouver dans les eaux, les agentes pathogènes d'origine fécale sont de trois types : Bactéries (Salmonella, E. coli, Listeria ...), Virus (Rota virus, ...etc.), et protozoaires (Toxoplasme gondi...etc.).

Puisqu'il est impossible de rechercher tous ces pathogènes dans une eau potable, on se contente de rechercher ce qu'il est contenu d'appeler « germes indicateurs de pollution fécale ».

Les micro-organismes recherchés dans une eau destinée à la consommation humaine sont : Les coliformes totaux, les coliformes fécaux (E. coli), clostridium perfringens, les streptocoques fécaux, micro-organismes revivifiables.

ETUDE COMPARATIVE ENTRE DEUX COAGULANTS

I. Introduction :

Les procédés de coagulation et de floculation facilitent l'élimination de MES (matières en suspension) et des colloïdes en les rassemblant sous forme de floc dont la séparation est ensuite effectuée par des systèmes de décantation, flottation et/ou filtration.

Ils constituent les traitements de base appliqués pour corriger tout ou partie des défauts de l'eau liés aux fractions particulaires inertes (limons, argiles, colloïdes) ou vivantes (micro, amibes, giardia, cryptosporidium...) ils assurent aussi l'élimination de la fraction floculable des matières organiques (macromolécules, en particulier la plupart des acides humiques responsables de la couleur), de certains métaux lourds, plus généralement de la fraction des micropolluants associée à ces MES et macromolécules colloïdales (dont les virus, pratiquement toujours portés par les MES et colloïdes de l'eau).

1. Propriétés des coagulants $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ et FeCl_3

Les réactifs de coagulation et de floculation sont des sels minéraux, simples ou polymérisés. Les cations trivalents (Al^{3+} et Fe^{3+}) très utilisés notamment pour traiter les eaux fortement chargées en MES et produisent des boues importantes qui seront à éliminer dans un processus de séparation liquide-solide ultérieur.

En effet, les coagulants minéraux sont utilisés pour des raisons :

- D'innocuité (parfois remise en cause dans certains pays pour l'aluminium : risque possible du rôle de celui-ci dans la maladie d'Alzheimer)
- D'efficacité (cations trivalent)
- De coût

A. Sel d'Aluminium $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$:

La réaction de base, lors de l'ajout de l'ion Al^{3+} dans l'eau est la formation d'un précipité d'hydroxyde d'Aluminium avec libération d'une certaine acidité :



Cette acidité peut réagir sur certaines espèces en solution, notamment sur les ions bicarbonates :



Cette acidité peut être compensée lors de l'ajout du coagulant par l'adjonction d'une base (soude, chaux, carbonate de sodium).



Le réactif qu'on va utiliser à base d'Aluminium est :

- **Le sulfate d'Aluminium** : peut-être sous deux forme soit cristallisé $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14 \text{H}_2\text{O}$, soit liquide : solution à 600 ou 720 g/l de sulfate cristallisé couramment appelé sulfate d'Aluminium ou encore Alum en anglais de réaction :



B. Sel de fer FeCl_3

Le principe de la réaction est le même que pour les sels d'Aluminium avec :



Le réactif qu'on va utiliser à base de fer est :

- **Chlorure ferrique FeCl_3**



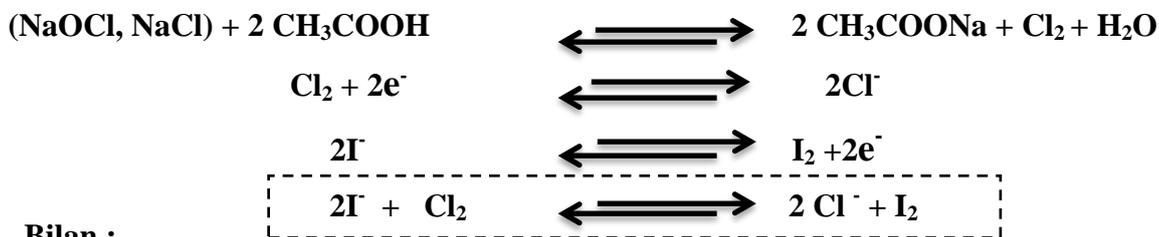
C. Demande en Chlore

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.

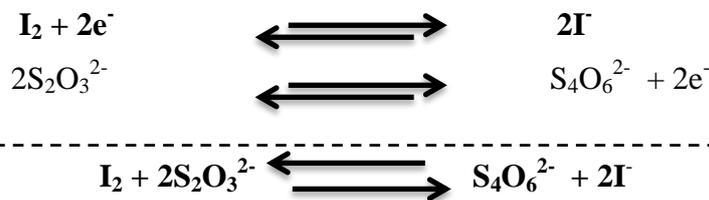
On commence d'abord par la détermination de la concentration du chlore qui se trouve dans l'eau de javel.

a. Dosage chlorométrique :

Principe : Eau de javel ou hypochlorite en milieu acide, eau de javel est décomposée avec dégagement de chlore qui oxyde les iodures.



L'iode libéré est dosé par une solution titré de thiosulfate $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ méthode de bunsen



Réactifs:

- ✓ KI à 10%, exempte d'iode libre (une goutte de mercure au fond du flacon suffit à empêcher l'oxydation de l'iodure).
- ✓ Acide acétique CH_3COOH (9N) : On prend 500 ml de CH_3COOH cristallisable et on complète par l'eau distillée jusqu'à 1 litre.
- ✓ Thiosulfate exactement N/10.
- ✓ Empois d'amidon.

Mode opératoire : Dans un erlenmeyer, on introduit 1ml d'eau de javel, 10 ml d'acide acétique CH_3COOH et 10 ml de KI 10%, puis on ajoute l'empois d'amidon (indicateur coloré), on obtient une coloration brune et on dose par thiosulfate de sodium $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ jusqu'à disparition de couleur.

La disparition du couleur dû à la présence de l'ion I^- .

On note le volume tombé de la burette T_b .

Expression de résultat :

$$T_b = V_{\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3}$$

$$C_i V_i = C_f V_f$$

$$\text{Avec } C_i = T_b * 3,55 \text{ (g/l)}$$

On prépare une concentration finale C_f de 1 g/l à partir d'une concentration initiale C_i connue

$$\text{Alors } C_i V_i = C_f V_f \implies V_i = C_f V_f / C_i$$

On introduit le volume V_i de la solution d'eau de javel dans une fiole jaugée de 100 ml et on ajoute l'eau distillée jusqu'au trait de jauge. Puis on diluera la solution d'eau de chlore par l'eau distillé de façon à avoir une solution étalon à 0,1 mg/ml.

b. Détermination de break point

On prépare 6 flacons de 150 ml de volume, que l'on numéroté. On introduit dans chacun des flacons 100 ml d'eau à analyser, puis on ajoute des doses connues de solution chlorée de 0,1 mg/l dans chaque flacon respectivement 0.5, 1, 1.5, 2, 2.5, 3.

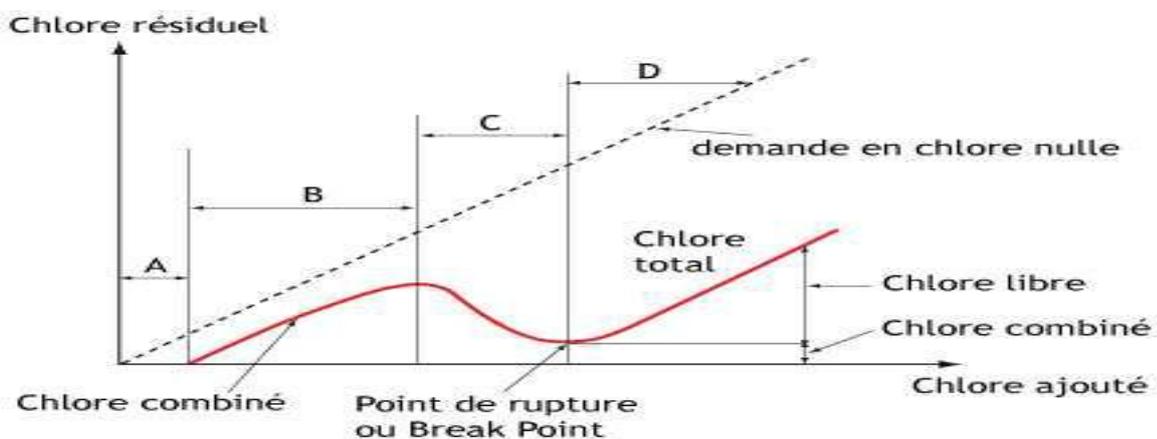
On conserve les flacons à l'obscurité pendant 30 min après les avoir bouchés et agités.

Au bout 30 min d'exactement, on dose le chlore résiduel par introduction des réactifs colorimétriques

habituels EDTA, Orthotolidine ou DPD. Puis on trace la courbe en portant en abscisse la concentration choisie en chlore actif introduit, et on ordonnée la concentration en chlore résiduel au bout de 30 min.

(Figure 5)

Courbe théorique



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

Zone A : destruction du chlore par des composés organiques.

Zone B : formation des chloroamines.

Zone C : destruction des chloroamines.

Zone D : chlore libre +traces de chlore combinée.

Quand le chlore est introduit dans l'eau, il subit une hydrolyse rapide selon l'équation suivante:



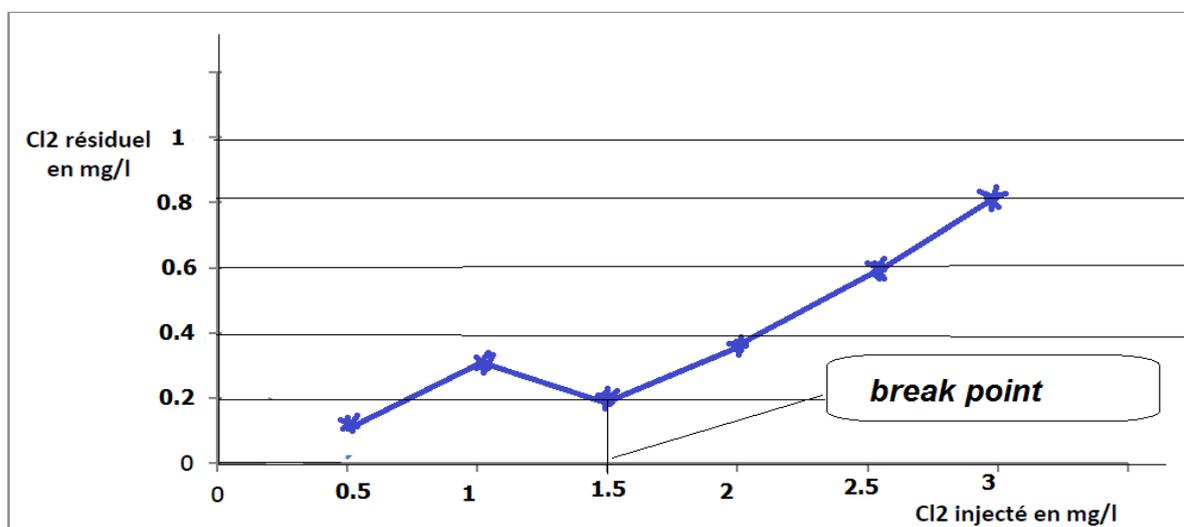
Le même phénomène apparaît, lorsque le réactif est hypochlorite de sodium (eau de javel) ou de calcium :



A partir d'une certaine valeur de pH, (voisine de 6), l'acide hypochloreux se dissocie en donnant l'ion hypochloreux :



Courbe expérimentale



Courbe 2 : courbe expérimentale de la demande en Chlore

La demande en chlore dans la station de TAOUNAT est 1.5 mg/l

D. Jar-test :

a. Principe :

Il permet d'optimiser le traitement, de choisir la nature et les doses probables du ou des réactifs permettant de clarifier l'eau dans une station de traitement.

Il faut réaliser l'essai le plutôt possible après le prélèvement à une température voisine de celle que possédera effectivement l'eau au cours de son traitement industrielle.

Le procédé adopté par le laboratoire consiste à suivre les étapes suivantes :

- Pré-chloration par le chlore au break-point
- Essai au sulfate d'alumine, ou chlorure ferrique
- Utilisation d'autres réactifs d'amélioration et de correction tels que le permanganate de potassium, le charbon actif, la chaux et l'acide sulfurique.

b. Réactifs :

- Solution mère d'eau de javel
- Solution de sulfate d'alumine et/ou chlorure ferrique comme coagulant de concentration 10g/l

c. Mode opératoire :

Avant d'entreprendre le jar-test, un certain nombre de paramètres doivent être effectués sur l'échantillon à traiter (pH, L'oxydabilité, TAC, Turbidité, Conductivité).

Après on commence l'essai de jar test :

- On remplit les 6 flacons à hélices par 1 litre d'eau brute.
- On injecte la quantité de chlore correspondant à la demande en chlore précédemment déterminée (1.5 mg/l).
- On injecte une quantité croissante de coagulant avec une agitation de 120 tours /min pendant 2 min.
- On diminue l'agitation à une vitesse de 40 tours/minute pendant 20 min.
- On note le délai d'apparition des floes à partir du début de l'agitation lente
- On relève les hélices et on laisse décanter pendant 30 min.



Figure 5 : L'essai de jar test

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

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

Au cours de ce temps de décantation on estime la vitesse de sédimentation des flocons formés (rapide, moyenne ou lent).

- 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 est celle qui produit les résultats les plus comparables à ceux obtenus par filtration sur sable ;
- On détermine la turbidité et l'alcalinité sur chaque échantillon

d. Critère de choix du meilleur bécber :

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

- Taille de floc supérieure 06
- pH Entre 7 et 7,40
- Turbidité filtrée inférieur ou égale 0,5 NTU
- Oxydabilité inférieur ou égale 2mg/l
- Turbidité Décanté inférieur à 5 NTU
- Aluminium < 0.2 mg/l.
- Fer < 0.3 mg/l.

2. Plan de travail :

Deux essais de coagulation-floculation "Jar-Test", sur des échantillons prélevés à des jours différents et ayant des valeurs de pH proches dans le but de faire une comparaison entre les deux coagulants sujet d'étude, en comparant les meilleurs béchers.

On procède comme suivant :

- ❖ **Essai 1** : Doses croissantes de coagulant " $Al_2(SO_4)_3$ ",
- ❖ **Essai 2** : Doses croissantes de coagulant " $FeCl_3$ "

Résultats :

A. Analyses de l'eau brute

Avant d'entreprendre chaque essai de Jar-test, on doit d'abord faire des analyses physico- chimiques de l'eau brute. Nous avons effectués plusieurs essais mais on a choisi ces deux essais (15/05/2017, 24/05/2017) par ce que son analyse physico-chimique est presque semblable pour faire une comparaison équitable. Les résultats obtenus sont regroupés dans le tableau suivant :

Tableau 1 : Analyses de l'eau brute

Eau brute	Essai 1 15/05/2017	Essai 2 24/05/2017
pH	7.8	7.83
Température	16.8	17.3
TA en méq/l	0.1	0.16
TAC en méq/l	2.2	2.26
Oxydabilité en mg/l	1.7	1.1
Turbidité en NTU	7.3	8.9
Conductivité	664	658

B. Résultats des Essais

Essai 1 :

Tableau 2 : Essai Jar-Test n°1

Les béchers	1	2	3	4	5	6
Pré-chloration en mg/l	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
Coagulant $Al_2(SO_4)_3$	10	15	20	25	30	40
Aspect des floccs	02	04	04	06	06	06
pH	7.67	7.71	7.61	7.49	7.36	7.37
Oxydabilité mg/l	1.9	1.7	1.41	1.3	0.8	0.96
Turbidité décanté NTU	6.6	4.6	3.71	2.25	1.53	1.8
Chlore résiduel	0.6	0.5	0.4	0.6	0.6	0.5
Turbidité filtrée NTU	0.6	0.57	0.98	0.18	0.28	0.17
TAC	1.9	1.8	1.58	1.54	1.6	1.42
Al^{3+} résiduel mg/l	0.2	0.12	0.14	0.11	0.1	0.1

↪ D'après les critères de choix du meilleur bécher : ● L'aspect des 3 premières béchers < 6 donc à éliminer ; ● Le bécher n° 1 : Al résiduel = 0.2 mg/l donc à éliminer ; ● On va choisir le bécher n° 5 puisqu'il répond aux critères.

Essai 2 :

Tableau 3 : Essai Jar-Test n°2

Les béchers	1	2	3	4	5	6
Pré-chloration en mg/l	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
Coagulant FeCl ₃	4	8	12	16	20	24
Aspect des floes	02	04	06	06	08	08
pH	7.82	7.72	7.64	7.54	7.36	7.79
Oxydabilité Mg/l	0.86	1.18	0.86	0.66	1.66	1.7
Turbidité décanté NTU	8.8	6.8	6.7	4.41	3.7	1.71
Chlore résiduel	0.8	0.6	0.5	0.6	0.4	0.5
Turbidité filtrée NTU	1.08	1.02	0.7	0.4	0.35	0.17
TAC	2	1.8	1.84	1.76	1.76	0.6
Fe ³⁺ résiduel mg/l	0	0	0.1	0	0	0.1

↳ D'après les critères de choix du meilleur bécher :

- L'aspect des 1^{er} et 2^{eme} béchers < 6 donc à éliminer ; ○ Turbidité filtrée du 3^{eme} bécher >0.5 donc à éliminer ;
- On va choisir le bécher n° 5 puisqu'il répond aux critères.

C. Conclusion et résultats

Le Tableau ci-dessous rassemble les résultats des meilleurs béciers pour les deux essais :

Tableau 4 : Comparaison des meilleurs Béciers

	Essai 1	Essai 2
Pré-chloration mg/l	15	15
Coagulant mg/l	30	20
Aspect des floes	06	08
pH	7.38	7.36
Oxydabilité mg/l	0.8	1.66
Turbidité décanté NTU	1.53	3.7
Chlore résiduel	0.6	0.4
Turbidité filtrée NTU	0.28	0.35
TAC	1.6	1.76
Fe³⁺ et Al³⁺ résiduel mg/l	0,1	0

D'après l'observation des résultats des deux béciers, on constate que tous les deux respectent les normes, mais l'utilisation du sulfate d'aluminium est mieux que l'utilisation de chlorure ferrique. D'abord par ce qu'il est moins chère malgré que leur dose est élevée par rapport au chlorure ferrique, et par ce que l'utilisation de ce dernier, avec une dose élevée, donne un aspect jaune à l'eau, ce qui ne respecte pas les normes organoleptiques.

L'eau de barrage de SAHLA doit subir un traitement pour la rendre potable, ce traitement consiste à faire passer l'eau via une chaîne de traitement au niveau de la station de RMILA-TAOUNAT, dans laquelle plusieurs étapes sont mises en œuvre pour éliminer d'abord la matière en suspension à l'aide des procédés physico-chimique, puis éliminer les microorganismes par la procédé désinfection

Dans ce travail l'étude a porté sur la comparaison entre deux coagulants par la méthode de jar-test, afin de déterminer le meilleur coagulant et sa dose optimale à injecter dans l'eau brute et les bonnes conditions du milieu, nous avons effectués deux essais avec les deux coagulants dans l'eau et nous avons travaillé aussi sur la détermination de la dose optimale de ces deux réactifs qui nous aidera également à déterminer le meilleur coagulant.

Le suivi de cette étape à révéler que l'utilisation du sulfate d'aluminium peut nous faire gagner en quantité de coagulant utilisée. Cela n'est pas uniquement bénéfique au niveau financier, mais aussi au niveau santé, vue que l'utilisation d'un sel ferrique, chlorure ferrique dans notre cas, à dose élevée induit souvent une coloration rouille (jaune) de l'eau traitée du au résidu de fer et cela peut constituer un risque potentiel pour la santé.

L'étude a aussi révélée que les doses du coagulant déduites à partir de la méthode du Jar-test donnent une fois utilisées de bons résultats étant donné que l'eau traitée est dans les normes de potabilisation.

ANNEXE

Paramètre physico-chimique liée à la qualité (norme de qualité) :

Paramètres	Expression des Résultats	VMA	Commentaire
Odeur	Seuil de perception à 25°C	3	
Serveur	Seuil de perception à 25°C	3	
Couleur réel	Unité Pt mg /l	20	
Turbidité	Unité de Turbidité néphélométrie (NTU)	5	Turbidité médiane ≤ 1 NTU et Turbidité de l'échantillon ≤ 5 NTU
Potentiel hydrogène	Unité pH	6,5 < pH < 8,5	Pour que la désinfection de l'eau par le chlore soit efficace, le pH doit être de préférence < 8
Conductivité	$\mu\text{s}/\text{cm}$ à 20 ° C	2700	
Chlorures	Cl	750	
Sulfates	SO ₄ : mg / l	400	
O ₂ dissous	O ₂ : mg O ₂ / l	5 \leq O ₂ \leq 8	
Aluminium	Al : mg/l	0,2	
Ammonium	NH ₄ : mg/l	0,5	
Oxydabilité au KMnO ₄	O ₂ : mg O ₂ / l	5	La valeur de 2mg O ₂ /l doit être respectée au départ des installations de traitement
Hydrogène sulfuré		Non détectable organoleptiquement	
Fer	Fe : mg / l	0,3	
Zinc	Zn : mg/l	3	
Température	° C	Acceptable	

A. Norme marocaine relatif au Contrôle et surveillance de l'eau NM 03.7.002/2011 :