

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université M'Hamed BOUGARA
Faculté des Sciences de l'Ingénieur
Département de Génie de l'Environnement



Mémoire

En vue de l'obtention du diplôme de

Master 2 en génie de l'environnement

Spécialité : Génie de l'environnement

Intitulé du mémoire

**Étude comparative de l'efficacité des deux
coagulants $FeCl_3$ et Al_2SO_4 pour le
traitement de l'eau de la station de**

Présenté par :
BOUAICHA Zakaria

:

Encadré par :
Mme BOUMECHHOUR
Co-encadré par:
Mr HADJ Arab

Membres de jury

NOURI E l Hadi
ASSELAH Amel
BALLOUL Hakim
BOUMECHHOUR Fatima

Président
Examinatrice
Examineur
Rapporteur

Professeur UMBB
MCA UMBB
MCB UMBB
MCA UMBB

Année universitaire 2019/2020

ملخص

المياه في الحالة الطبيعية ، سطحية أو تحت الأرض ، ليست نقية أبدًا. قبل إرسالها إلى المستهلك ، يجب معالجتها. التخثر - التلبد هو تقنية لمعالجة المياه الخام ، واستخدام كبريتات الألومنيوم يعرض المخاطر الصحية ومشاكل التآكل. للقيام بذلك ، تتناول دراستنا استبدال كبريتات الألومنيوم بكلوريد الحديدك لمعالجة المياه الخام من محطة معالجة بودواو تم إجراء سلسلة من التجارب لتحسين جرعة من التخثر ، الندف ودرجة الحموضة. أظهرت النتائج التي تم الحصول عليها أن استبدال كبريتات الألومنيوم (مع التحمض) بكلوريد الحديدك (بدون تحمض) يعطي كفاءة مماثلة فيما يتعلق بالتعكر ، العدوانية والتآكل.

Abstract

Water in the natural state superficial or underground, is never pure. Before being sent to the consumer, it must be treated. Coagulation-flocculation is a technique for the treatment of raw water, the use of aluminum sulphate presents health risks and corrosion problems. To do this our study deals with the substitution of aluminum sulphate by ferric chloride for the treatment of raw water from the BOUDOUAOU treatment plant. A series of experiments was performed to optimize the dose of coagulants, flocculant and pH. The results obtained showed that the substitution of aluminum sulphate (with acidification) by ferric chloride (without acidification) gives a similar efficiency with respect to turbidity, aggressiveness and corrosivity.

Résumé

L'eau a l'état naturel superficiel ou souterrain, n'est jamais pure. Avant d'être acheminé vers le consommateur, elle doit être traitée. La coagulation-floculation s'annonce comme une technique pour le traitement des eaux brutes, l'utilisation du sulfate d'aluminium présente des risques sanitaires et des problèmes de corrosion.

Pour ce faire notre étude porte sur la substitution du sulfate d'aluminium par le chlorure ferrique pour le traitement des eaux brutes de la station de traitement de BOUDOUAOU.

Une série d'expériences a été réalisé afin d'optimiser la dose des coagulants, du flocculant et du pH.

Les résultats obtenus ont montré que la substitution du sulfate d'aluminium (avec acidification) par le chlorure ferrique (sans acidification) donne une efficacité similaire par rapport à la turbidité, l'agressivité et la corrosivité.

Une réduction de consommation en coagulant, en chaux et en acide sulfurique a été enregistrée.

Dédicace

Je dédié ce travail à :

*Ma mère, sources de tendresse et d'amours pour son soutien tout le long de
ma vie scolaire.*

Mon père, qui m'a toujours soutenu et qui fait tout possible pour m'aider.

Mes frères et Mes sœurs, que j'aime beaucoup.

Ma femme pour son aide.

Ma grande famille.

Mes chers amis, et enseignants.

Tout ceux qui ont collaboré de près ou de loin à l'élaboration de ce travail.

Que dieu leur accorde santé et prospérité

Z. BOUAICHA

REMERCIEMENT

Je tiens, au terme de ce travail, à présenter mes vifs remerciement à tous les personnes qui ont contribué, de près ou de loin, à son bon déroulement.

Je tiens à présenter tous mon respects et gratitude à Mr HADj arab pour m'avoir offert l'opportunité d'effectuer ce stage, ainsi pour son suivi et encouragement tout au long de ce travail.

Ma gratitude s'adresse également à Mme.F.Boumechhour pour son encadrement et pour l'aide qu'elle ma prodigué durant ce rapport.

Je remercie également les membres de jury qui ont accepté d'évaluer mon travail.

Mes vifs remerciement s'adresse à mon épouse pour son aide.

TABLE DES MATIÈRES

TABLE DES MATIÈRES

LISTE DES FIGURES

LISTE DES TABLEAUX

LISTE DES ABREVIATIONS

INTRODUCTION GENERALE 1

SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE

Chapitre I : Généralité sur les eaux

I.1.Les eaux de barrage	3
I.1.1.L'origine des eaux	3
I.1.2.Caractéristiques générales	3
I.2.Les filières de traitement des eaux de surface	4
I.2.1.La préoxydation	5
I.2.2-La clarification	7
I.2.2.1-La coagulation-Floculation	7
I.2.2.2-La décantation ou la flottation	8
I.2.2.3-La filtration	8
I.2.2.4- La désinfection	9

Chapitre II: Station de production d'eau potable de BOUDOUAOU

II.1- Introduction	10
II.2- Ressources et origine des eaux brutes	10
II.3- Procédés et chaîne élémentaire de production d'eau potable du centre de traitement	
BOUDOUAOU	11
II.3.1-Descriptif de la filière de traitement	11
II.3.1.1-Les étapes des procédés de traitement d'eau potable	11
II.3.1.2-Les réservoirs du stockage	14

TABLE DES MATIÈRES

Chapitre III: Procédé de traitement et analyses

III.1.1-La coagulation-floculation	15
III.1.1-Introduction	15
III.1.2-La coagulation	15
III.1.2.1-Le principe	15
III.1.2.1.1- La déstabilisation des particules colloïdales	15
III.1.2.1.2- La compression de la double couche	15
III.1.2.1.3-L'adsorption et la neutralisation des charges	16
III.1.2.1.4-L'emprisonnement des particules dans un précipité	16
III.1.2.1.5-L'adsorption et le pontage	16
III.1.2.2-Les coagulants	16
III.1.2.3-Les facteurs influençant la coagulation	17
III.1.2.3.1-L'influence du pH	17
III.1.2.3.2- Influence de la température de l'eau	17
III.1.2.3.3-L'effet de coagulant	17
III.1.2.3.4- Influence de l'agitation	18
III. 1.2.3.5- Influence de la turbidité	18
III.1.3-La floculation	18
III. 1.3.1-Le principe	18
III.1.3.2- Le procédé de la coagulation-floculation	18
III.1.3.3- Les avantages et les inconvénients de la coagulation-floculation	19
III.2-Les équilibre calco-carbonique	19
III.2.1- Introduction	19
III. 2.2-Les équilibres mis en jeux	21

TABLE DES MATIÈRES

III.2.4- CO ₂ libre-CO ₂ agressive -CO ₂ equilibrant	21
III.2.5.Méthode de test au marbre	22
III.2.6. Notion d'agressivité et d'entartrage de l'eau	22
III.3.La corrosion	22
III.3.1.Définition de la corrosion	22
III.3.2.Différents types de corrosion	23
III.3.3- Mécanismes de corrosion	23
III.3.4.La corrosion dans les conduites d'eau potable	23
III.3.4.1-Dissolution du plomb	24
III.3.4.2.Les facteurs influençant sur la solubilité du plomb	24
III.3.4.3.Caractéristique de l'eau	24
III.3.5.Les indices de corrosivité d'une eau	25
III.3.5.1- Indice de larson	25
III.3.5.2 Indice de leroy	26

PARTIE EXPÉRIMENTALE

Chapitre IV: MATÉRIELS ET MÉTHODES

IV.1-Introduction	27
IV.1. Les produits utilisés	27
IV.1.1.L 'eau brute de KEDDARA	27
IV.1.2. Sulfate d'aluminium Al ₂ (SO ₄) ₃	28
IV.1.3. Chlorure ferrique FeCl ₃	28
IV.1.4. Polyélectrolyte	30
IV.2. Mode opératoire	31
IV.2.1. Matériels utilisés	31

TABLE DES MATIÈRES

IV.2.1. Préparation des solutions	31
IV.2.2. Techniques d'analyse	32
IV.2.2.1. Détermination de la concentration d'aluminium	32
IV.2.2.2. Détermination de la concentration de fer	33
IV.2.2.3. Test de marbre	33
IV.2.2.4. Mesure de TAC	34
IV.2.2.5. Mesure de la dureté (TH)	35

Chapitre V: RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

V.1. Introduction	36
V.2. Optimisation de la dose du coagulant	36
V. 3. Optimisation de la dose du floculant	39
V.4. Efficacité du traitement	40
V.4.1. Mesure de la concentration d'aluminium et de Fer	41
V.4.2. Détermination du caractère agressif de l'eau coagulée	42
V.4.3. Étude de la corrosivité de l'eau	43
V.4.4. L'impact du changement de coagulant sur les consommations globales de réactifs	44
V.2.4.5. Compatibilité des ouvrages et équipements par rapport au chlorure ferrique	45
V.2.4.6. Élimination des algues	45
V.2.4.6. L'aspect économique des coagulants	48
CONCLUSION GÉNÉRALE	49

REFERENCES

BIBLIOGRAPHIQUES ANNEXES

Liste des figures

Chapitre I

Figure I.1 : Le procédé de coagulation-floculation et de sédimentation. 7

Chapitre II

Figure II.1 : Le Barrage de Keddara. 10

Chapitre III

Figure III.1 : Réparation de CO₂ dans l'eau. 21

Figure III.2 : Influence de la T° sur la concentration en plomb dans la canalisation.
25

Chapitre IV

Figure IV.1 : Des cristaux de sulfate d'aluminium. 29

Figure IV.2 : Des cristaux noirs à bruns de Chlorure ferrique. 30

Figure IV.3: La structure chimique du polyélectrolyte. 30

Figure IV.4: Un jar test de type Lp sélecta. 31

Figure IV.5: Spectrophotomètre dr 6000. 33

Figure IV.6: Test de marbre. 34

Chapitre V

Figure V.1: Variation de la turbidité et M.O en fonction de la dose du coagulant à (pH = 8.07)
36

Figure V.2: Variation de la turbidité et M.O en fonction de la dose du coagulant à (pH = 7.40)
37

Figure V.3: Variation de la turbidité et M.O en fonction de la dose du coagulant à (pH = 7.20)
37

Figure V.4 : Variation de la turbidité et M.O en fonction du coagulant à (pH = 7.99) 39

Liste des figures

Figure V.5 : Variation de la turbidité et M.O en fonction du volume du floculant (pH = 8.07, [Al ₂ (SO ₄) ₃]=60 mg/l)	40
Figure V.6 : Variation de la turbidité et M.O en fonction du volume du floculant (pH =7.40, [Al ₂ (SO ₄) ₃]=50 mg/l)	40
Figure V.7 : Variation de la turbidité et M.O en fonction du volume du floculant (pH =7.20, [Al ₂ (SO ₄) ₃]=40mg/l)	41
Figure V.8 : Variation de la turbidité et M.O en fonction du volume du floculant (pH =7.99, [FeCl ₃]=40mg/l)	41
Figure V.9 : Pourcentage de rendement du sulfate d'alumine et le chlorure ferrique en fonction du pH	42
Figure V.10: Concentration de l'Aluminium total et dissous en fonction du pHi	43
Figure V.11: Concentration du fer total et dissous en fonction du pHi=7.9	44
Figure V.12: Consommations en coagulant, acide et en chaux pour le sulfate d'aluminium et le chlorure ferrique pour la station de BOUDOUAOU.	46

Liste des tableaux

Chapitre I

Tableau I.1: Les caractéristiques des eaux de surface.	4
Tableau I.2: Les doses de chlore nécessaire à l'oxydation.	5

Chapitre III

Tableau III.1: L'évaluation de la tendance à la corrosion en fonction de l'indice de Larson.	26
--	----

Chapitre IV

Tableau IV.1: Les caractéristiques moyennes d'un mois de l'eau brute de KEDDARA.	28
Tableau IV.2: Les Propriétés Physiques et chimiques de sulfate d'aluminium.	28
Tableau IV.3: Les Propriétés Physiques et chimiques de Chlorure ferrique.	29

Chapitre V

Tableau V.1: Résultats expérimentaux après coagulation.	38
Tableau V.2: pH et l'indice de saturation de l'eau.	42
Tableau V.3: Valeurs des paramètres étudiés pour la corrosion.	44
Tableau V.4: Autonomie et prix des réactifs.	46

Liste des abréviations

CIRSEE : Centre International de Recherche Sur l'Eau et l'Environnement

EDTA : Éthylène diamine Tétra Acétique

Eb : Eau Brute

ET : Eau Traité

[Fer tot] : Concentration de Fer total (mg/L)

Fer dis : Concentration de Fer dissous (mg/L)

Is: Indice de saturation

II : Indice de leroy

ILr : Indice de larson

K1 : Constante de première acidité

K2: Constante de deuxième acidité

Ks: Produit de solubilité

MES: Matière en suspension

MO: Matière organique

NTU: Unité de Turbidité Néphélométrie

pH: Potentiel d'hydrogène

pHeb : Potentiel d'hydrogène d'eau brute

pHf : Potentiel d'hydrogène finale

phi : Potentiel d'hydrogène initial

pHs : Potentiel d'hydrogène de saturation

SA : Sulfate d'Aluminium

SEAAL : Société des Eaux et de l'Assainissement d'Alger

SPIK : Système de production ISSER KEDDARA

INTRODUCTION GÉNÉRALE

INTRODUCTION

L'eau est un bien économique, social et environnemental. Il est donc nécessaire et important d'en garantir la disponibilité dans le temps au moyen de formes d'exploitation durables qui permettent de faire face aux exigences actuelles sans menacer l'équilibre environnemental.

L'eau est une ressource renouvelable car elle participe à un cycle. L'évaporation par l'énergie solaire, les précipitations et l'écoulement en surface et sous terre constituent les étapes de cycle. La problématique de l'eau est dans sa quantité et sa qualité, liée à ses ressources et à sa pollution.

L'eau du robinet est l'un des produits alimentaires les plus contrôlés accessible à tous, elle doit satisfaire plus de soixante-dix critères des exigences sanitaires. Depuis la ressource naturelle, en passant par l'usine de potabilisation et le réseau de distribution, jusqu'au robinet, traitements et contrôles garantissent la qualité. La réglementation s'appuie sur les travaux médicaux et les recommandations en vigueur de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) qui établit les doses maximales admissibles, c'est-à-dire la quantité d'une substance qu'un sujet peut absorber quotidiennement et sans danger sur sa vie.

En effet, les eaux de surface contiennent à des concentrations très différentes, des substances ou des micro-organismes qui par leur nature et leur concentration peuvent être indispensables, acceptables, indésirables, voire toxiques ou dangereux. L'eau prélevée dans le milieu naturel n'est généralement pas utilisable directement pour la consommation humaine car des éléments liés à l'activité de l'homme peuvent être entraînés (nitrates, matières organiques pesticides, matières en suspension, micro-organismes...). La qualité des eaux de surface ; souvent polluées, et donc très variable et ne peut être traitée qu'au cas par cas par des traitements appropriés à sa nature et à son degré de pollution.

L'élimination des matières en suspension (MES) et la réduction de la matière organique sont des objectifs souvent assurés au cours du procédé conventionnel de la clarification. La coagulation-floculation conditionnera le reste du traitement et elle permet, par un processus physico-chimique comprenant l'ajout de sels métalliques dénommés coagulants, de transformer la suspension colloïdale en des particules plus importantes qui sont aptes à sédimenter [1].

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Les coagulants les plus couramment employés sont les sels d'aluminium et de fer. Leur utilisation fait partie des procédés de purification des eaux depuis quelques décennies [2].

L'objectif de notre travail est donc dans un premier temps, le suivi global d'un procédé de traitements de potabilisation de la station de Société des Eaux et de l'Assainissement d'Alger (SEAAL) BOUDOUAOU, durant la période de stage Mars et Avril, plus particulièrement une comparaison d'efficacité de la coagulation-floculation par des adjuvants industrielle dont le sulfate d'aluminium et le chlorure ferrique comme coagulant sur les eaux brute de la station de SEAAL BOUDOUAOU, Des essais sont menés pour une évaluation objective de cette comparaison.

Le présent manuscrit est structuré en quatre chapitres :

Dans le premier chapitre, nous avons inclus une synthèse bibliographique sur les procédés de potabilisation des eaux naturelles.

La description de la station de potabilisation des eaux SEAAL, BOUDOUAOU est communiquée au deuxième chapitre.

Dans le troisième chapitre, nous avons décrit les procédés traitement et leurs analyses.

Et on retrouve tout ce qui concerne la mise en œuvre expérimentale ; matériels, modes opératoires de différentes analyses dans le quatrième chapitre.

Les résultats obtenus et leurs discussions sont englobés dans le chapitre cinq.

En fin nous terminons par une conclusion qui résume les résultats les plus concluants de ce travail.

SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE

Chapitre I :
Généralités sur les eaux

I.1. Les eaux de barrage

I.1.1. L'origine des eaux de barrage

L'eau de barrage englobe toutes les eaux circulantes ou stockées à la surface des continents. Elles ont pour origine les eaux de ruissellement. Elles se rassemblent en cours d'eau, caractérisés par une vitesse de circulation. Elles peuvent se trouver stockées en réserves naturelles (lacs) ou artificielles (retenues dans les barrages) où peut apparaître une grande hétérogénéité de la qualité selon la profondeur.

I.1.2. caractéristiques générales

La composition chimique des eaux de surface dépend de la nature des terrains. Au cours de son acheminement, l'eau dissout les différents éléments constitutifs ces terrains. Leur teneur en gaz dissous (oxygène, azote, gaz carbonique) dépend des échanges entre l'eau et la nature et de l'activité métabolique des organismes aquatiques au sein de l'eau.

On retrouve dans l'eau :

- ❖ Une présence de gaz dissous, en particulier l'oxygène
- ❖ Une concentration importante en matières en suspension. Ces dernières sont très diverses, allant des particules colloïdales aux éléments entraînés par les rivières en cas d'augmentation importante du débit. Dans le cas des eaux de barrage, le temps de séjour provoque une décantation naturelle des éléments les plus grossiers la turbidité résiduelle est alors faible.
- ❖ Une présence de matières organiques d'origine naturelle provenant du métabolisme puis de la décomposition post mortem des organismes végétaux ou animaux vivant à la surface du bassin versant ou dans la rivière.
- ❖ Une présence de plancton les eaux de surface sont parfois le siège d'un développement important de phytoplancton (algues...) et de zooplancton, surtout dans les cas d'eutrophisation. Certains de ces organismes peuvent sécréter des produits toxiques

Dans les retenues d'eau de surface, la qualité de l'eau varie de la surface à la retenue (la température, le pH, l'oxygène, le fer, le Manganèse, l'oxydabilité et le plancton). Le profil de ces paramètres varie en fonction des périodes de stratification ou de circulation de l'eau suivant les saisons.

Tableau I.1: Les caractéristiques des eaux de surface [1].

Caractéristiques	Eau de surface
Température	Variable (saison)
Turbidité/MES	Variable (parfois élevé/crués)
Couleur	Dépend de MES, des acides humiques et des algues
Gout et odeurs	Fréquents
Minéralisation	Variable (précipitations des rejets, Nature des terrains traversés)
Fe et Mn dissous	Absents sauf dystrophisation des eaux profondes
CO ₂ agressif	Généralement absent
O ₂ dissous	Variable (proche de la saturation dans les eaux)
H ₂ S	Absent
NH ₄ ⁺	Seulement dans les eaux polluées
Nitrate	Variable (absent, parfois en quantité dans les zones d'excédent azoté)
Silice	Teneur normalement modérée
Micropolluants	Dans les régions industrialisées
Solvants chlore	Absents
Eléments vivants	Virus, bactéries, algues, protistes/ présence d'organismes pathogènes toujours possible
Eutrophie	Possible si les eaux sont chaudes

I.2. Les filières de traitement des eaux de surface

Pour traiter une eau, il faut généralement combiner plusieurs traitements élémentaires dont les bases peuvent être physiques (techniques séparatives), chimiques (Oxydation et désinfection) ou biologiques, qui ont pour effet d'éliminer les matières en suspension, puis les substances colloïdales et certaines substances dissoutes (minérales ou organiques) [2].

I.2.1. La préoxydation

Si les eaux à traiter contiennent beaucoup de matières organiques, ou encore de l'ammoniaque, du fer ou du manganèse, une étape d'oxydation préalable est nécessaire. La peroxydation permet d'éliminer facilement ces substances au cours de l'étape suivante de clarification, et cela par ajout de produits actifs [1].

a) L'Aération

consiste à compenser le déficit de l'eau brute en oxygène et réduire l'eau des gaz indésirable ou en excès (H_2S CO_2^-). Cette opération est effectuée à l'air libre ce qui induit l'augmentation de la teneur en oxygène de l'eau. Pour une eau moyennement ou fortement minéralisées, la présence du CO_2 peut rendre l'eau entartrant, le choix d'une aération sous pression s'avère nécessaire pour réduire la concentration du CO_2 et une augmentation de l'oxygène.

b) Oxydation chimiqueb.1. Pré chloration

Le chlore est introduit dans l'eau sous forme de chlore gazeux (Cl_2) ou d'hypochlorite de sodium (NaClO). Il se dissout pour former l'acide hypochloreux (HOCl) qui lui-même se dissocie selon les réactions ci-dessous. (Eq I.1, I.2, I.3)[1].

Réaction de Dissolution hydrolyse



Tableau I.2: les Doses de chlore nécessaire à l'oxydation [1].

ELEMENTS	NH_4	Fe	Mn	H_2S	NO_3^-
Cl_2 (mg/l)	7 a 10	0.63	1.3	3.4	1.5

b.2. Préoxydation par les chloramines

L'odeur et la saveur de l'eau ont été améliorées grâce à l'utilisation de chloramines depuis le début du 21^{ème} siècle. Dans certains cas les chloramines sont utilisées pour la désinfection de l'eau. Ils sont produites par addition de l'ammoniac dans l'eau contenant du chlore libre soit HOCl ou OCl, selon le pH du milieu.

Mécanisme réactionnel de préoxydation par les chloramines:



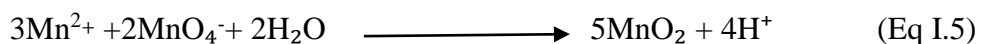
Pour la désactivation des bactéries ou autres micro-organismes, les chloramines sont aussi efficaces que le chlore mais leur mécanisme réactionnel est plus long. Ils jouent le rôle d'agents oxydant.

b.3. Préoxydation par le dioxyde de chlore

Le dioxyde de chlore (ou bioxyde de chlore) est un gaz jaune rougeâtre, de formule ClO₂. Il élimine les micro-organismes en agissant sur le transport de nutriments à travers la paroi cellulaire.

b.4. la Préoxydation par le permanganate de potassium

La préoxydation par le permanganate est utilisée lorsque l'eau brute contient du manganèse:



Cette réaction est favorisée pour un pH élevé. Le permanganate de potassium est utilisé pour l'élimination de mauvais goûts et pour lutter contre le développement d'algues dans les ouvrages de clarification [1].

b.5. la Préoxydation par l'ozone

L'ozone est utilisé pour le traitement de l'eau potable, en raison de ces qualités de désinfection et d'oxydation. Il est utilisé dans les systèmes de traitement, tels que la préoxydation, une Oxydation intermédiaire ou une désinfection finale. Dans le cas de la préoxydation, il est recommandé d'utiliser l'ozone.

I.2.2. La Clarification

La clarification regroupe les procédés de coagulation-floculation, décantation ou flottation et de la filtration. Ces procédés sont utilisés pour éliminer les MES (matières en suspension) minérales et organiques d'une eau brute ainsi qu'une partie des matières organiques dissoutes, fraction floculable. Suivant les concentrations des différents éléments indésirables, plusieurs techniques peuvent être mises en œuvre [3].

I.2.2.1. La Coagulation-Floculation

Pour une eau brute présentant une légère turbidité, et/ou légèrement colorée, on ajoute un coagulant et un floculant. Les doses utilisées doivent être faible, car ces réactifs diminuent la durée des cycles de filtration. Le processus de coagulation implique l'ajout du fer ou de l'aluminium sous forme de sulfate d'aluminium, de chlorure ferrique ou de polymères. Ces coagulants sont chargés positivement, ils peuvent ainsi neutraliser les particules dissoutes et suspendues, chargé négativement, Ceci entraîne la coagulation et/ou la floculation des particules et une sédimentation si les particules lourdes précipitent (Figure I.1).

Le procédé de coagulation est une étape primaire nécessaire, qui permet d'éliminer les Particules organique et inorganiques tel que le fer.

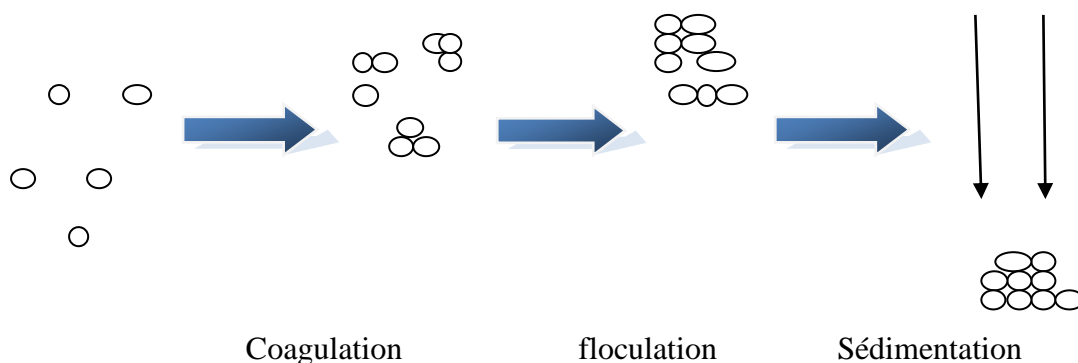


Figure I.1 : Le procédé de coagulation – floculation et de sédimentation.

I.2.2.2. La décantation ou la flottation

Ce sont des procédés physiques intervenant après la coagulation-floculation. L'eau coagulée et floculée entre dans le décanteur à vitesse réduite de façon à éviter les turbulences. Les floccs se déposent au fond de l'ouvrage et l'eau clarifiée est récupérée en surface.

A l'inverse, la flottation consiste à favoriser la clarification par entraînement des particules en surface, grâce à la génération de bulles d'air, qui s'accrochent aux matières en suspension et aux floccs. Les flottants sont récupérés en surface par un bras d'un racleur.

I.2.2.3. La filtration

C'est un procédé physique après décantation ou la flottation (notamment dans le cas des eaux de surface). Ce procédé peut être appliqué après une coagulation (cas des eaux souterraines) ou après une pré-oxydation (cas des eaux souterraines contenant du fer, du manganèse ou de l'arsenic).

La filtration permet de retenir les matières en suspension qui n'ont pas été piégées lors des étapes précédentes ou qui ont été formées lors de la pré-oxydation. Elle est réalisée sur des matériaux classiques (sable) ou sur membranes (cas des eaux souterraines karstiques).

La plus répandue est la filtration sur lit de sable (lit filtrant): une couche de sable retient les particules et laisse passer l'eau filtrée.

Le filtre peut jouer un double rôle suivant les conditions d'exploitation: d'une part, il retient les matières en suspension par filtration et d'autre part, il constitue un support bactérien permettant un traitement biologique, c'est à dire une consommation des matières organiques et de l'ammoniac, ou du fer et du manganèse, par les bactéries qui sont développées sur le sable.

Le filtre à sable nécessite un nettoyage périodique afin d'éliminer les matières retenues entre les grains qui ralentissent le passage de l'eau. La filtration sur lit de sable, efficace simple et peu coûteuse, s'est imposée, en raison des énormes volumes d'eau à filtrer.

La filtration sur membranes (microfiltration notamment) est de plus en plus fréquemment utilisée, mais elle reste encore onéreuse. Elle est fondée sur l'utilisation de membranes de faible épaisseur, comportant des pores réguliers de très petites dimensions. Ces membranes, sortes de barrières physiques, peuvent être d'origine organique ou minérale.

1.2.2.4. La désinfection:

Cette étape, commune à tous les traitements, est la plus importante. Elle a pour but de neutraliser tous les virus et bactéries pathogènes. Elle n'est efficace que si l'eau a été préalablement bien traitée, notamment dans le cas des eaux de surface. Bien que les eaux souterraines soient souvent naturellement exemptes de microorganismes, la désinfection prévient le risque d'une contamination par infiltration dans la ressource et dans le réseau. Elle peut être effectuée:

- Par des procédés chimiques : oxydation chimique avec des agents chlorés (chlore gazeux, eau de Javel, bioxyde de chlore) et ozone, ou rayonnements ultraviolets,

- Par des procédés physiques: Comme la filtration sur membranes. Pour que la désinfection soit totalement efficace, il convient de maintenir un résiduel de désinfectant dans l'eau distribuée jusqu'au robinet du consommateur. Lorsque la désinfection finale est réalisée par l'ozone (qui présente un faible pouvoir rémanent), par les UV ou par les membranes, une légère injection de réactifs chlorés (chlore, eau de Javel ou dioxyde de chlore) est nécessaire.

Comment l'eau potable est-elle acheminée jusqu'aux robinets ?

L'eau potable, sous pression et dans des tuyaux enterrés, est d'abord acheminée de la station de production jusqu'à un château d'eau. Puis elle transite, de ces lieux de stockage jusqu'au pied des bâtiments par le réseau public de distribution d'eau potable [4].

Chapitre II :

Station de production d'eau potable de
BOUDOUAOU

Chapitre II Station de production d'eau potable de BOUDOUAOU

II.1. Introduction

La station de traitement d'eau de BOUDOUAOU a été mise en service en 1986 .Elle fait partie du système SPIK (Système de Production ISSER KEDDARA), c'est une station qui alimente la capitale, sur les 970000 m³ nécessaires quotidiennement aux algérois, la station fournit environnant 300000 m³ en eau potable.

Le traitement de l'eau est opéré grâce à une série d'étapes successives et un processus complexe garantissant une eau de qualité répondant aux normes de potabilité algériennes.

II.2.Ressources et origine des eaux brutes

L'usine est alimentée à partir du barrage de Keddara, qui est alimenté par pompage depuis le barrage de Beni Amrane, approvisionné par l'oued Isser et d'eau de Keddara, lorsque le niveau d'eau est faible.

➤ Barrage de Keddara

Le barrage est doté d'une capacité de 143 millions de m³ (Figure II.1). Il constitue la réserve principale en recevant les eaux de l'oued Keddara, du barrage Beni- Amrane et du trop-plein du barrage Hamiz.



Figure II.1 : Le Barrage de Keddara.

➤ Barrage de Beni-Amrane

Le barrage de Beni-Amrane possède une capacité de 12 millions de m³, il est alimenté par l'oued Isser. Ce barrage comporte une station de pompage permettant de relever 7 m³/s vers le barrage de Keddara.

➤ Barrage de Koudiat Asserdoune

Il est Situé en amont du barrage de Beni-Amrane sur la rivière de l'oued Isser dans la wilaya de Bouira, le barrage à une capacité de stockage de 640 millions de mètres cubes.

II.3. Procédés et Chaîne élémentaire de production d'eau potable du centre de traitement BOUDOUAOU

Le centre de KEDDARA (capacité 142 millions de m³, profondeur de 106 m³, déversoir à (145 m) munie d'un système de dégrillage. Ce barrage est lui-même alimenté à partir de l'Oued KEDDARA, les eaux du barrage de BENI-AMRANE et le trop-plein du barrage HAMIZ, tous les deux situés en amont, L'usine produit actuellement 500 000 m³ / jour pour une capacité théorique de 540 000 m³/jour, soit environ la moitié des besoins globaux en eau potable de la Wilaya d'Alger.

II.3.1. Descriptif de la filière de traitement

Pour satisfaire la demande croissante en eau potable des différentes Wilayas et notamment celle d'Alger. En raison de sa capacité de production élevée, la station de BOUDOUAOU joue un rôle clef dans l'alimentation en eau potable du grand Alger la station comporte deux filières de traitement identiques. Chaque filière comporte 3 décanteurs lamellaires type PULSATOR et 8 filtres à sable AQUAZUR V, dont une représentation schématique est présentée ci-dessous.

II.3.1.1. Les étapes des procédés de traitement d'eau potable

Le procédé de traitement est un procédé classique, il comprend les différentes étapes de traitement :

- Une pré-aération ;
- Pré oxydation au chlore et au permanganate KMnO₄ ;
- Correction du pH avec l'acide sulfurique H₂SO₄ ;
- Adsorption sur charbon actif en poudre ;

- Coagulation au sulfate d'aluminium ;
- Flocculation à l'aide d'un polymère anionique ;
- Décantation lamellaire avec lit de boue ;
- Filtration sur sable ;
- Désinfection finale au chlore ;
- Remise à l'équilibre (lait de chaux) avant le stockage des eaux traitées.

Etape 1 :

L'eau brute est admise gravitairement par l'intermédiaire de deux canalisations 1 200cm, sous une pression de six bars, Chaque conduite aboutit dans un ouvrage unique d'admission par l'intermédiaire de quatre obturateurs à disque motorisés qui permettent de :

- 1- Briser la charge en entrée d'usine.
- 2- D'ajuster le débit de traitement à la valeur souhaitée.
- 3- D'aérer l'eau brute.
- 4- D'oxyder les composés aisément oxydables (le fer ferreux, par exemple).

Au niveau des obturateurs, l'eau brute subit un premier traitement, l'oxydation par l'air (l'aération) et une augmentation de l'oxygène dissous de l'eau brute en parallèle.

Etape 2:

L'eau passe par une deuxième étape : L'ajout des réactifs dans la chambre de mélange. L'injection des réactifs est assurée dans la largeur du canal, par des tubes en PVC perforés posés sur des supports.

- 1-Pré chloration au chlore gaz, hypochlorite de calcium ou sodium ;
- 2-Pré-oxydation au permanganate de potassium, qui est un traitement saisonnier ;
- 3-Adsorption au charbon actif, lors de la dégradation des goûts qui sont générés par les métabolites d'algues (saisonnier) ;
- 4-L'ajustement du pH par l'acide sulfurique ;
- 5-Coagulation au sulfate d'alumine pour la clarification ;

6-Floculation par ajout d'un poly électrolyte anionique.

Etape 3 :

Répartition de l'eau mélangée avec des réactifs vers les deux filières de traitement par six vannes murales où se fait l'injection du polymère.

Etape 4 :

La station de BOUDOUAOU est équipée de deux filières identique composé de trois décanteurs et huit filtres à sable chacune.

La décantation est assurée par un décanteur pulsateur ce dernier permet, en imprimant une pulsation lente aux sédiments contenue dans l'eau à traiter. L'abattement de la matière organique peut atteindre une valeur de 98%. Le principe de ces appareils vise à favoriser la formation de particules plus grosses, qui se décantent plus rapidement, en mélangeant des boues déjà décantées à la suspension avec un coagulant et un floculant. Les décanteurs à lit de boues fonctionnent par injection uniforme de la suspension à la base de l'ouvrage, au moyen d'une série de tuyaux perforés. Les boues sont maintenues en suspension.

Les particules de la suspension à traiter rencontrent les particules du lit de boues et s'y agrègent. Les boues sont récupérées par un siphon qui joue le rôle de régulateur de la hauteur de leur lit.

Etape 5 :

Afin d'éliminer le résiduel de turbidité après décantation l'usine est équipée de 8 filtres à sable de type AQUAZUR V sur chaque filière de traitement. Cette étape permet de réduire l'aluminium résiduel, algues et même les spores ASR. Il s'agit de filtres à sable de granulométrie homogène, fonctionnant par gravité, lavables simultanément à l'air et à l'eau. En filtration, l'eau est admise dans le filtre depuis le canal d'eau décantée. Un déversoir dénoyé permet l'équi-répartition des débits entre les filtres en service. L'eau filtrée est collectée par des buseleures traversant la dalle planché qui supporte les matériaux filtrants. Des vannes régulatantes augmentent ou diminuent le débit de manière à garder un niveau d'eau stable au-dessus du filtre, quelques soit le niveau de colmatage. L'eau est ensuite dirigée vers le canal d'eau filtrée.

Etape 6:

Après filtration l'eau subit une désinfection par le chlore pour amener un résiduel de 1.00 mg/l, en utilisant des réactifs tels que Chlore Cl₂, Hypochlorite de calcium et Hypochlorite de sodium.

Etape 7 :

Si le pH de l'eau filtrée désinfecté est agressive, l'eau subit une correction avec de la chaux.

Etape 8 :

L'eau traitée est stocké dans deux réservoirs d'une capacité de 50 000 m³ chacun. La régulation du débit d'entrée est en fonction du soutirage et du niveau de ces deux réservoirs.

II.3.1.2 Les Réservoirs du stockage

La station dispose de quatre (04) réservoirs semi-enterrés dont deux (2) avec une capacité de 50.000 m³ chacune qui sont destinés à stocker l'eau traité de BOUDOUAOU ; et deux autres réservoirs de 25.000 m³ chacune qui accueillent les eaux de TAKSEBT traitées au niveau de la station d'eau potable de Tizi-Ouzou. L'eau produite est ensuite mélangée avec celle de l'usine de TAKSEBT avant d'être livrée par gravité vers le réseau de distribution.

Chapitre III :
Procédé de traitement et analyses

III.1. coagulation-floculation

III.1.1. Introduction

La coagulation –floculation est un procédé physico-chimique visant la déstabilisation des particules colloïdal présenter dans l'eau puis la formation des floes par absorption et agregation.les floes formés seront décantes et filtros .La présence des particules colloïdales dans les eaux de barrage entraine la turbidité de cette dernière.

III.1.2. la coagulation

III.1.2.1. principe

Les particules colloïdales en solution sont chargée Négativement ainsi elles tendent a se repousser mutuellement en restant en suspension. On dit qu'il y a stabilisation des particules dans la solution , la coagulation consiste a déstabilisée ses particules par la neutralisation de leurs charges en utilisant des coagulants. L'ajout du coagulant produit en première étape un ensemble de réactions tels que l'hydrolyse, l'ionisation et la polymérisation, en second, étape, une déstabilisation des colloïdes par un ensemble de mécanismes complexes.

III.1.2.1.1. la déstabilisation des particules colloïdales

La déstabilisation des particules et leurs agglomérations nécessitent certain mécanismes

- ◆ La compression de la double couche ;
- ◆ L'adsorption et la neutralisation des charges ;
- ◆ L'emprisonnement des particules dans un précipité ;
- ◆ L'adsorption et le pontage entre les particules .

III.1.2.1.2. la compression de la double couche

L'augmentation des forces ioniques de l'eau réduit le volume et l'épaisseur de la couche diffuse, ainsi les forces de répulsion sont réduites

La force ionique est représentée par l'équation suivante [6] :

$$U = \frac{1}{2} \sum C_n Z_n^2 \quad (\text{Eq III.1})$$

U : la force ionique (mol/l)

C_n : la concentration molaire (mol/l)

Z_n : la valence de l'ion

III.1.2.1.3. L'adsorption et la neutralisation des charges

L'adsorption repose sur l'ajout du coagulant cationique afin de neutraliser la charge négative des particules stables par fixation des cations sur la surface des matières en suspension, un excès en coagulant entraîne une inversion de la charge (positive) ceci provoque la stabilisation des particules. :

III.1.2.1.4. l'emprisonnement des particules dans un précipité

Pour déstabiliser les particules colloïdales, on ajoute une quantité suffisante de coagulants, habituellement des sels de métaux trivalents, $Al_2(SO_4)_3$ ou $FeCl_3$, on obtient ainsi un précipité appelé floc. Lorsque le pH de l'eau est situé dans une plage acide ou neutre, les floccs constitués de molécules d'hydroxyde d'aluminium de fer charge positivement. La présence d'anion s'accélère la formation des floccs.

III.1.2.1.5. l'adsorption et le pontage

Ce mécanisme implique l'utilisation de polymères cationiques, ou anioniques ayant une masse moléculaire élevée [8].

Les molécules de polymères peuvent adsorber certaines particules colloïdales. Les sites vacants de ces molécules entraînent la fixation d'autres particules, on peut dire que les molécules de polymères forment des ponts [7].

III.1.2.2. les coagulants

L'efficacité de la clarification dépend du coagulant utilisé pour déstabiliser les particules colloïdales. Les plus efficaces sont des sels de métaux, à base d'aluminium ou de fer [9].

-le polychlorure basique d'aluminium :

C'est un polychlorure basique d'aluminium dont la formule chimique générale est $[Al_2(OH)_5Cl]_n$ qui est sous forme très instable [10].

-l'ozone :

L'ozone n'est pas considéré comme un coagulant au sens propre du mot mais il déclenche un mécanisme de coagulation lorsque l'eau présente des complexes liants des matières organiques comme le fer ou le manganèse [1].

III.1.2.3. Les facteurs influençant la coagulation

Le traitement de l'eau par le procédé de coagulation dépend de certains paramètres tels que le pH de l'eau, la turbidité, la température, afin d'optimiser la coagulation

III.1.2.3.1. l'influence du pH

Le pH est un paramètre important dans le procédé de coagulation. il est en fonction de la concentration du coagulant et de la composition de l'eau traiter.

Pour les sels de fer et aluminium, l'intervalle de pH optimales s'entend respectivement de 4 à 6 et 5 à 7

Pour abaisser le pH, il est nécessaire d'augmenter la quantité de coagulant. Lorsque le pH est optimale, les produits solubles d'aluminium ou de fer sont pratiquement inexistant [11].

III.1.2.3.2. influence de la température de l'eau

La température est un facteur physique important qui joue un rôle lors de la coagulation [12].

En effet, une température basse, entraîne une augmentation de la viscosité de l'eau crée une série de difficulté dans le déroulement de processus, la coagulation et la décantation du floccs sont ralenties, pour cela le changement du coagulant selon les saisons est nécessaire [4].

III.1.2.3.3. L'effet du coagulant

Le sulfate d'aluminium est le coagulant le plus fréquemment utilisé, il peut être avantageux de le remplacer par le sulfate ferrique. Ce dernier procure en effet a plusieurs eaux une plage de pH optimale plus large que celle due au premier. de plus, pour un même pH élevée le sulfate ferrique est moins soluble que le sulfate d'aluminium. on ne peut donc choisir un coagulant et déterminer la concentrations optimale pour une eau donné [11].

III.1.2.3.4. Influence de l'agitation

Le processus de coagulation floculation se déroule généralement en deux étapes [14] :

La première étape : est l'agitation énergique rapide de courte durée (2mn). Elle permet la dispersion et homogénéisation des produits injectés dans la totalité du volume d'eau à traiter.

La seconde : c'est l'agitation lente (60mn) elle provoque les contacts entre les particules pour former des floccs décantables [12].

III.1.2.3.5. Influence de la turbidité

La turbidité est un paramètre influant sur le bon fonctionnement du procédé de coagulation [13], elle est principalement due à la présence de particules de diamètre 0.2 à 5 μm . Il s'agit de grosses particules colloïdales qui peuvent se déposer naturellement [7].

L'augmentation de la quantité de coagulant ne varie pas de façon linéaire en fonction de la turbidité. Lorsque la turbidité est très élevée, la quantité de coagulant nécessaire est relativement faible, car la probabilité de collision entre les particules est très élevée. Par contre, lorsque la turbidité est faible, la coagulation est difficile.

III.1.3. la floculation

III.1.3.1. le principe

Après avoir été déstabilisé, les particules colloïdales ont tendance à s'agglomérer lorsque elles entrent en contact les unes avec les autres. Le taux d'agglomération des particules dépend de la probabilité des contacts qui ont été la pour l'efficacité de ces dernières.

Comme pour la coagulation, il existe un certain nombre de paramètres à prendre en compte pour le bon fonctionnement de ce procédé. L'agitation des particules doit être suffisamment lente afin d'assurer le contact entre les floccs engendrés par la coagulation. En effet, si la vitesse d'agitation est très élevée les floccs risquent de se briser.

III.1.3.2. Le procédé de la coagulation-floculation

Il faut associer dans un temps assez court, deux phases distinctes et incompatibles. En effet les conditions de mise en œuvre de la coagulation sont différentes de celles de la floculation on distingue les deux phases rapide et lente.

Au départ, un mélange rapide est nécessaire pour disperser les additifs dans la totalité du volume d'eau à traiter. Injection se fait dans une zone de turbulence créée par des chicanes ou par mélange mécanique avec des pales ou hélices. La deuxième phase favorise les contacts entre les particules de floes [7].

III.1.3.4. les avantages et les inconvénients de la coagulation-floculation

➤ les avantages :

- L'utilisation de ce procédé chimique est très répandue, disponibilité d'agent chimique
- Les systèmes de coagulation-floculation chimique sont généralement automatiques contrairement aux systèmes biologiques, ce système requiert moins d'espace et les coûts d'installation sont moins importants.
- Une réduction significative est obtenue en termes de micropolluants, de métaux lourds, de bactéries et de virus.

➤ les inconvénients :

- Une surdose de coagulant chimique peut diminuer l'efficacité du procédé
- Les coagulants utilisés sont souvent corrosifs, des normes de sécurité doivent être respectées. La présence d'aluminium résiduel peut entraîner des problèmes importants pour la santé comme l'Alzheimer.
- L'aluminium et le fer sont toxiques pour la faune et les écosystèmes.
- Pour une eau froide, le processus est peu efficace.
- Du point de vue économique, les coagulants chimiques sont très coûteux [15].

III.2. Les équilibres calco-carboniques

III.2.1. Introduction

Les eaux naturelles ne sont en fait pas pures et contiennent différents éléments chimiques dissous dont le plus fréquent est le bicarbonate (ou Hydrogénocarbonate) de calcium.

L'équilibre pratique de ce sel avec le dioxyde de carbone est régi par des lois assez complexes et son déplacement peut créer des réactions chimiques de dissolution de carbonate de calcium (Aggressivité) ou de précipitation de carbonate de calcium (entartrage) qui peuvent

se superposer aux réactions simples électrochimiques de corrosion qui sont spécifiques des métaux.

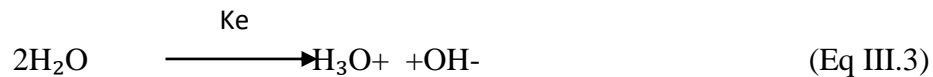
III.2.2. Les équilibres mets en jeux

Toutes les études de l'équilibre calco-carbonique reposent sur les relations suivantes

a) L'égalité des charges électriques :

$$[\text{H}_3\text{O}^+] + 2[\text{Ca}^{+2}] + 2[\text{Mg}^{+2}] + [\text{Na}^+] + [\text{K}^+] = [\text{OH}^-] + [\text{HCO}_3^-] + 2[\text{CO}_3^{2-}] + [\text{Cl}^-] + [\text{NO}_3^-] + 2[\text{SO}_4] \quad (\text{Eq III.2})$$

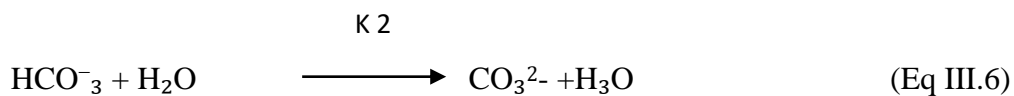
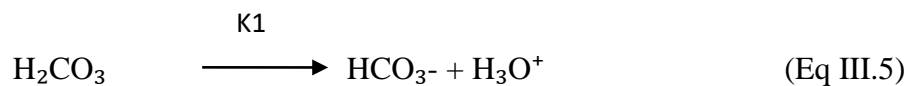
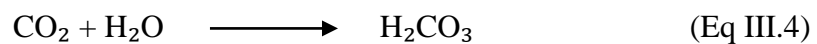
b) L'ionisation de l'eau :



Avec $[\text{H}_3\text{O}^+]. [\text{OH}^-] = \text{Ke} - \varepsilon$

ε : dépend de la conductivité.

c) La dissociation de l'acide carbonique :



Avec :

$$[\text{H}_3\text{O}^+]. [\text{HCO}_3^-] / [\text{H}_2\text{CO}_3] = \text{K}_1 - \varepsilon$$

$$[\text{H}_3\text{O}^+]. [\text{CO}_3^{2-}] / [\text{HCO}_3^-] = \text{K}_2 - 2\varepsilon$$

- Les ions négatifs et positifs qui jouent essentiellement sur la force ionique de la solution

sont des paramètres secondaires vis-à-vis de l'équilibre et sont définis par Legrand et

Poirier comme les éléments caractéristiques [17]

- La température est également un facteur important qui influe sur la valeur des constantes de

dissociation [9]

- Le terme ε dépend de la force ionique μ de la solution selon l'équation

$$\varepsilon = \mu / (1 + 1.4\sqrt{\mu}) \quad (\text{Eq.III.7})$$

Et on définit la force ionique μ exprimée en moles par litre par la relation

$$\mu = 1/2 \sum C_i Z_i^2 \quad (\text{Eq.III.8})$$

C_i et Z_i sont respectivement les concentrations en moles par kg et les valences des différents ions présents dans la solution [17]

III.2.4- CO₂ libre - CO₂ agressive - CO₂ équilibrant:

Selon l'équation globale de l'équilibre calco-carbonique, on constate que pour qu'une eau soit en équilibre elle exige une quantité de gaz carbonique dissous. Cette quantité de CO₂ est appelée CO₂ équilibrant (Figure IL4) [18]

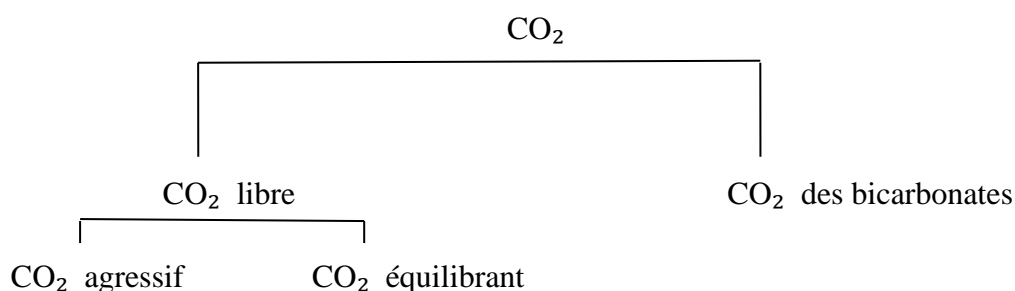


Figure III.1: Répartition de CO, dans l'eau

- Si la quantité de CO₂ dissous (appelé aussi CO₂ libre) est supérieure au CO₂ équilibrant, la réaction qui se produit est celle qui déplace l'équilibre thermodynamique

dans le sens direct (la loi de modération générale) par attaque de CaCO_3 . l'eau est dite agressive vis-à-vis du calcaire [18].

- Si la quantité de CO_2 dissous est inférieure au CO_2 équilibrant, la réaction qui ce produit et celle qui déplace l'équilibre thermodynamique dans le sens inverse, par la formation de CaCO_3 l'eau est dite entartrant [18].
- Une eau contenant juste la quantité dissoute de CO_2 équilibrant est à l'équilibre le pH correspond au pH de saturation (pH_s).

III.2.3. Méthode de test au marbre

Le pH de saturation peut être évalué par un test chimique, où l'eau à analyser est additionnée d'une quantité de marbre finement broyé et lavé. Après 24 heures on mesure le pH qui est égale au pH_s

III.2.4. Notion d'agressivité et d'entartrage de l'eau

Lange lier a établi un indice I_s (indice de saturation) égal à la différence entre le pH mesuré d'une eau considérée (pH) et son pH_s calculé [18].

$$I_s = \text{pH} - \text{pH}_s \quad (\text{Eq. II.9})$$

- Si $I_s = 0$ l'eau elle est en équilibre calco-carbonique;
- Si $I_s < 0$ l'eau a tendance à dissoudre le calcaire et attaquer les conduites, elle est agressive.
- Si $0 < I_s < 0,2$ l'eau a tendance à précipitée le calcaire, et former la couche de Tillmans.
- Si $I_s > 0,2$ L'eau a tendance à précipitée le calcaire, et boucher la canalisation C'est une eau entartrante.

III.3. La corrosion

III.3.1. Définition de la corrosion

La corrosion est une réaction chimique ou électrochimique entre un matériau généralement un métal et son environnement qui entraîne une dégradation du matériau et ses propriétés. La corrosion est dite sèche lorsque les agents oxydants sont en phase gazeuse (la corrosion par l'oxygène de l'air) et humide si les agents oxydants sont en milieu aqueux (corrosion en milieu marin d'un acier).

III.3.2. Différents types de corrosion

D'une manière général, on distingue une corrosion régulière dite corrosion uniforme et une irrégulière dite corrosion localisée.

Ces différentes types de corrosion ne sont pas toujours indépendantes les unes des autres, certaines peuvent se développer de façon simultanée sur la même pièce [19].

➤ Corrosion uniforme

La corrosion uniforme ou généralisée se manifeste avec la même vitesse en tous les points du métal entraînant une diminution régulière de l'épaisseur de celui-ci ou un changement de couleur simplement.

➤ Corrosion localisée

La corrosion localisée intervient lorsqu'une dissolution anodique importante apparaît sur une zone restreinte de la surface métallique [20].

III.3.3. Mécanismes de corrosion

Les mécanismes de base de la corrosion d'un matériau métallique, en milieu aqueux, sont de nature électrochimique. Ils résultent d'un ensemble de réactions qui se produisent à l'interface métal - solution et qui mettent en jeu des électrons et des espèces chimiques. Ces réactions électrochimiques peuvent être décrites d'une façon simplifiée par les équations ci-dessus [21].

Réaction anodique de dissolution du métal:



Réaction cathodique de réduction de l'électrolyte :

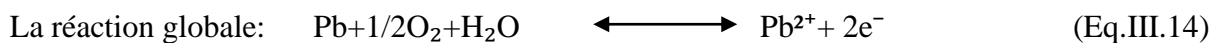
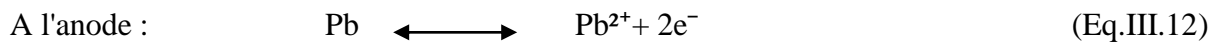


III.3.4. La corrosion dans les conduites d'eau potable

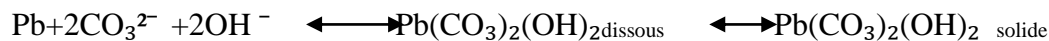
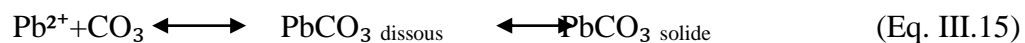
Le réseau de distribution de l'eau potable est composé de plusieurs conduites. Certaines canalisations sont faites à base de plomb. Vu sa toxicité, des mesures de prévention permettant d'éviter de nombreux problèmes de corrosion ont été étudiés.

III.3.4.1. Dissolutions du plomb

Comme tout matériau métallique, le plomb est susceptible de se corroder au contact de l'eau. Les réactions de corrosion conduisent à la consommation d'oxygène et la formation d'ion plomb au niveau des zones cathodique et anodiques, respectivement [22].

III.3.4.2. Les facteurs influencent sur la solubilité du plomb

Les ions émis dans l'eau vont s'associer à d'autres ions présents dans la solution et former ainsi des dépôts de composés peu solubles. Ces dépôts formés à la surface du matériau vont limiter le relargage du plomb dans l'eau par limitation de vitesses de corrosion [22].



(Eq. III.16)



La solubilité des carbonates de plomb et de calcium protecteurs, est conditionnée par le pH, le TAC et la température. D'autres paramètres tels que le diamètre et la longueur des conduites, conditionne le temps de contact entre l'eau et le matériau [22].

III.3.4.3. Caractéristiques de l'eau➤ Le pH

Les concentrations de plomb dans l'eau de robinet diminuent à mesure que le pH de l'eau augmente, si le pH est égale de 6 à 8, on a respectivement, les concentrations des ions CO_2 et OH^{-} au voisinage de la paroi et la formation d'un dépôt adhérent ces dernière [19].

➤ Le TAC

Les concentrations de plomb dans l'eau augmentent lorsque l'alcalinité est élevée (>15-20°F) ou faible (<5°F) ce qui constitue un facteur défavorable

Si le TAC est compris entre 5 et 10 °F la concentration du plomb est réduite [19].

➤ La minéralisation

Les ions Cl_2 , SO_4 , NO sont stimulateurs de la corrosion, il entraîne l'augmentation de la conductivité de l'eau et la diminution de la résistance à la corrosion [19].

➤ La température

L'augmentation de la température dans les canalisations entraîne une augmentation de la concentration en plomb (Figure III.2)

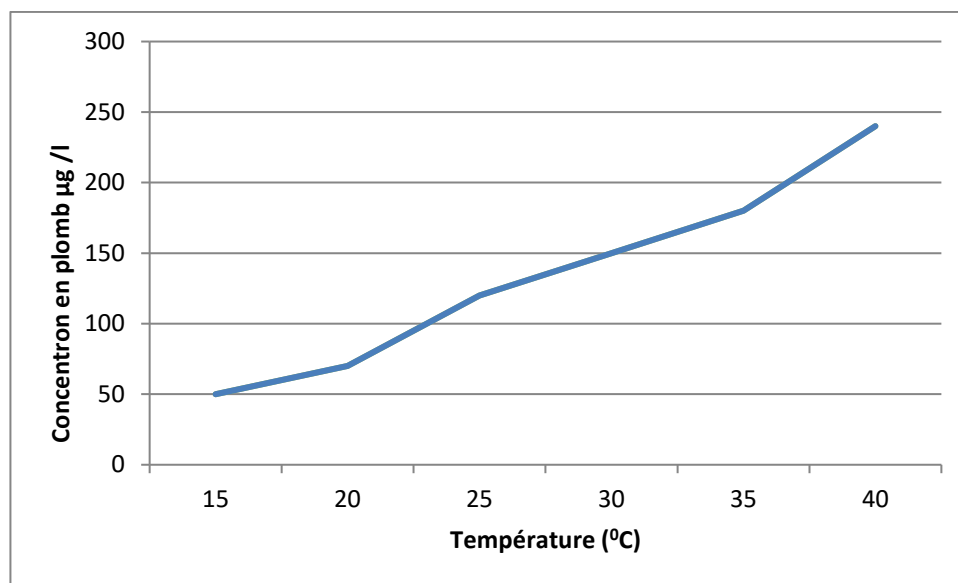


Figure III.2: Influence de la température sur la concentration en plomb dans les canalisations.

➤ Les paramètres physiques

Le temps de contact, le diamètre, la longueur de la conduite sont des paramètres physiques qui ont un effet sur la présence du plomb dans les canalisations. Ainsi si ces dernières sont longues et de faible diamètre, la concentration en plomb dissous devient plus élevée.

III.3.5. Les indices de corrosivité d'une eau

III.3.5.1. Indice de Larson

Il permet le calcul de l'indice de corrosion des métaux, selon Larson (LR ou Larson Ratio)

$$I_{lr} = (Cl^- + 2 [SO_4^{2-}]) / ([HCO_3^-]) \quad (\text{Eq. III.18})$$

Tableau III.1: l'évaluation de la tendance à la corrosion en fonction de l'indice de Larson

Ilr (mol/L)	Tendance
<0.2	Pas de tendance à la corrosion
0.2<LR<0.4	Faible tendance
0.4<LR<0.5	Légère tendance
0.5< LR< 1	Tendance moyenne
LRN =1	Nette tendance à la corrosion

III.3.5.2. Indice de Leroy

L'indice de Leroy égal au rapport du TAC sur le TH, permet de confirmer la tendance d'une eau à la corrosion. Avec des concentrations exprimées en meq.L-1, l'eau est considérée comme non corrosive si l'indice est compris entre 0,7 et 1,3. Il est à utiliser en complément de l'indice de Larson. Ces deux indices permettent de préciser les tendances d'une eau [23].

$$I_{\text{Leroy}} = \text{TAC/TH} \quad (\text{Eq.III.19})$$

PARTIE EXPÉRIMENTALE

Chapitre IV :
MATÉRIELS ET MÉTODES

IV. Introduction

D'après les travaux réalisés par la SUEZ au niveau de la SEAAL en l'an 2016-2017, la substitution du sulfate d'aluminium par le chlorure ferrique réduit les risques sanitaires dues au sulfate d'alumine.

Pour cela la SEAAL propose une étude comparative entre les deux coagulants afin de remédier aux problèmes de la corrosion et de réduire le coût, ceci a fait l'objet de notre travail.

Dans ce chapitre, nous décrirons les différents produits chimiques utilisés dans le cadre de notre travail, ainsi que l'ensemble du matériel, des procédures d'expérimentation et des méthodes de caractérisation.

IV.1. Les produits utilisés :

- ◆ l'eau brute de KEDDARA
- ◆ Sulfate d'aluminium $Al_2(SO_4)_3$ (Coagulant)
- ◆ Chlorure ferrique $FeCl_3$ (Coagulant)
- ◆ polyélectrolyte (Floculant)

IV.1.1. L'eau brute de KEDDARA

L'analyse de l'eau brute a été effectuée au niveau du laboratoire d'analyse de la station de traitement des eaux brutes de BOUDOUAOU, sur une période d'un mois, les caractéristiques de l'eau brute sont regroupées dans le tableau ci-dessous.

Tableau IV.1: Les caractéristiques de l'eau brute de KEDDARA pendant un mois.

Période	Température (°C)	pH	Turbidité (NTU)	M.Org (mg/L)	SO ₄ ²⁻ (mg/L)
Du 15/03/2019 Au 15/04/2019	13-16	7.99-8.43	8.65-10.32	0.087-0.093	192.6-204.5

IV.1.2. Sulfate d'aluminium Al₂(SO₄)₃

Le sulfate d'aluminium, de formule Al₂(SO₄)₃, est un sel formé par la combinaison de deux cations aluminium (Al³⁺) et de trois anions sulfate (SO₄²⁻). On le trouve dans le commerce sous forme de cristaux blancs, lustres ou poudre sans odeur. Il sert notamment dans le processus de coagulation-floculation pour le traitement des eaux.

Tableau IV.2: Les Propriétés Physiques et chimiques de sulfate d'aluminium.

Propriétés	Spécification
Propriétés Physiques	<ul style="list-style-type: none"> • <u>T° fusion</u> 1 040 °C • <u>Solubilité</u> dans l'eau: 880 g·l⁻¹ • <u>Masse volumique</u> 2,71 g·cm⁻¹
Propriétés chimiques	<ul style="list-style-type: none"> • <u>Formule brute</u> Al₂(SO₄)₃ • <u>Masse molaire</u> 342,151 ± 0,019 g/mol Al 15,77 %, O 56,11 %, S 28,12 %



Figure IV.1 : Des cristaux de sulfate d'aluminium.

IV.1.3. Chlorure ferrique FeCl_3

Le chlorure de fer (III), également appelé chlorure ferrique ou perchlorure de fer, est un sel de fer de formule chimique FeCl_3 cristaux noirs à bruns. C'est un composé très hygroscopique (Une substance hygroscopique est une substance qui a tendance à absorber l'humidité de l'air, par absorption ou par adsorption), qui émet des vapeurs dans l'air humide sous l'effet de l'hydrolyse. La réaction de dissolution dans l'eau est très exothermique et forme une solution acide marron. Ce liquide corrosif est utilisé pour traiter les eaux usées et les eaux potables. Il est également utilisé pour des attaques métallographiques sur des cuivreux .

Tableau IV.3: Les Propriétés Physiques et chimiques de Chlorure ferrique.

Propriétés	Spécification
Propriétés Physiques	<ul style="list-style-type: none"> • <u>T° fusion</u> 579 K (306 °C); • <u>Solubilité</u> dans l'eau : $920 \text{ g}\cdot\text{l}^{-1}$ • <u>Masse volumique</u> $2,80 \times 10^3 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$
Propriétés chimiques	<ul style="list-style-type: none"> • <u>Formule brute</u> FeCl_3 • <u>Masse molaire</u> $162,204 \pm 0,008 \text{ g/mol}$ Cl 65,57 %, Fe 34,43 %,



Figure IV.2 : Des cristaux noirs à bruns de Chlorure ferrique.

IV.1.4. Polyélectrolyte

Un polyélectrolyte est un polymère ionique comportant un grand nombre de sites ioniques et ayant une continuité des régions d'interactions ioniques. Une fois dissous dans un solvant polaire comme l'eau, le polymère se dissocie, et apparaissent des charges sur son squelette et des contre-ions en solution. La charge est dépendante des groupements chimiques présents et parfois du pH de la solution.

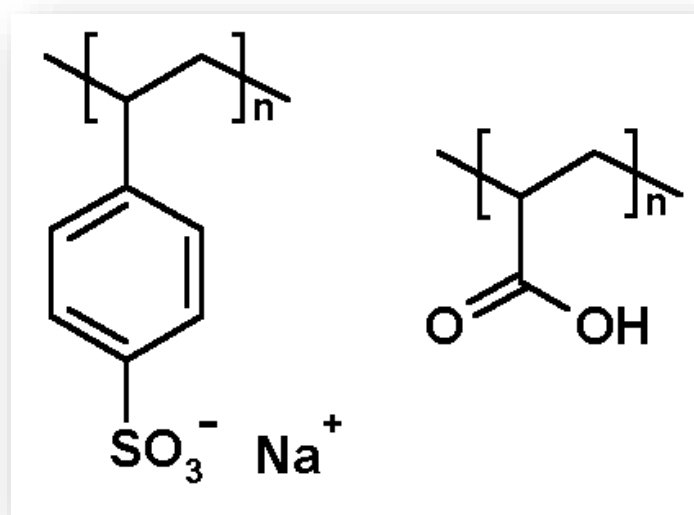


Figure IV.3: La structure chimique du polyélectrolyte.

IV.2. Mode opératoire

IV.2.1. Matériel utilisé

➤ Jar test

Il est constituée de 6 béciers de 1L remplis d'eau brute à traiter alignés sous un appareillage permettant de tous les agiter à la même vitesse. Les différents béciers ont reçu une dose différente de réactifs et à la fin de l'expérimentation, on détermine quels sont les couples quantités de réactifs / vitesse et temps d'agitation qui permettent d'obtenir l'eau la plus limpide.



Figure IV.4: Un jar test de type Lp sélecta.

IV.2.1. Préparation des solutions

◆ La solution de sulfate d'aluminium :

Elle se présente sous forme de poudre blanche, il est nécessaire de dissoudre 1g dans 100 ml d'eau distillé.

◆ La solution de chlorure ferrique :

Elle se présente sous forme de liquide jaune marron, qui est diluée de 10 ml dans 100 ml d'eau distillé.

◆ La solution polyélectrolyte :

Elle se présente sous forme de poudre blanche ,0.5 g est dissoute dans 100 ml d'eau distillé (solution mère) .Une solution fille de 1 ml /100 eau distillé est obtenue pour la floculation.

Le procédé de coagulation et floculation a été réalisé dans un jar test de type Lp sélecta (Figure IV.4) , muni de six béchers dans lequel on introduit un litre d'eau mélanger a un volume de coagulants, l'ensemble est soumis sous agitation rapide et lente, respectivement, pendant 2 et 18 min à 180 et 40 tr/min. Après chaque traitement des échantillons de 50 ml de surnageant ont été prélevées avec un Siphon (d-0.5cm).

IV.2.2. Techniques d'analyse :

IV.2.2.1. Détermination de la concentration d'aluminium :

Après le jar test, des solutions filtrées ont été récupéré dans 6 béchers chaque bécher correspond a une concentration précise, chaque bécher est analysé par un turbidimètre, la turbidité la plus faible correspond à la dose optimale, à l'aide de kit de type (HACH LANGE) on fait l'analyse par un spectrophotomètre.



Figure IV.5: spectrophotomètre dr 6000.

IV.2.2.2. Détermination de la concentration de fer :

Dans des erlenmeyers, on introduit respectivement 50 ml de solution filtrée (fer dissous) et non filtrée (fer total) d'eau traitée, 1 ml d'acide chlorhydrique à 10% et 5 ml de eroxidisulfate de potassium, l'ensemble est chauffé pendant 40 min ensuite refroidie. Après refroidissement on ajoute 1ml de chlorhydrate hydroxylamine, 2ml de solution tampon d'acétate et 2ml de solution phénantroline. Des échantillons prélevés sont analysés par spectrophotomètre pour une longueur d'onde égale à 510 nm.

IV.2.2.3. Test de marbre :

Après les essais de jar test on a obtenue des doses de coagulant (sulfate d'aluminium et chlorure ferrique) et floculant, on mets les échantillons en contacte avec 3g de la chaux(CaCO_3) dans des flacons stérile pendant 36 heures, le pH correspondant au ph_s ainsi que le TAC .



Figure IV.6: Test de marbre

IV.2.2.4. Mesure de TAC

Le titre alcalimétrique complet est déterminé par volumétrie qui consiste à titrer 50ml d'une solution d' eau par une solution d'acide sulfurique de concentration 0.04 M, en présence du méthylorange comme indicateur coloré. La couleur saumon conduit au volume d'équivalence.

Le TAC est déterminé par la formule ci-dessous, donnée par la SEAAL

$$\text{TAC} = \text{Veq} \cdot 4 \quad (\text{Eq IV.1})$$

Avec :

TAC :Titre Alcalimétrique Complet (°F)

Veq: Volume d'équilibre (ml)

IV.2.2.5. Mesure de la dureté (TH)

La mesure de la dureté est déterminée en introduisant dans un bécher contenant 50 ml d'eau à analyser, 2 ml d'une solution tampon d'ammoniaque de pH égale à 10 et une pincée de noir d'lichrome T. Le mélange est soumis à une agitation magnétique, une coloration rose est observée. Cette solution est titrée par une solution d'EDTA de concentration 0.01M. Le volume au point d'équivalence correspond à l'apparition de la couleur bleu. La dureté est calculée à partir de l'équation (Eq IV.2)

$$[\text{Dureté}] = [\text{EDTA}] \times V_{\text{eq}} \times 2 \quad (\text{Eq IV.2})$$

V_{eq} : Volume d'échantillon titré (ml)

2:Facteur de dilution

Chapitre V :
RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

V.1. Introduction

Ce chapitre expose et discute l'essentiel des résultats expérimentaux obtenus.

V.2. Optimisation de la dose du coagulant✚ Sulfate d'aluminium ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$)

Afin de déterminer la dose optimale du coagulant ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$) des essais de jar test ont été réalisés pour différentes doses du coagulant (10-90 mg/l) sans et avec acidification pour différents pH 8.07, 7.40 et 7.20. Les résultats obtenus sont portés sur les figures (Figure V.1, Figure V.2, Figure V.3)

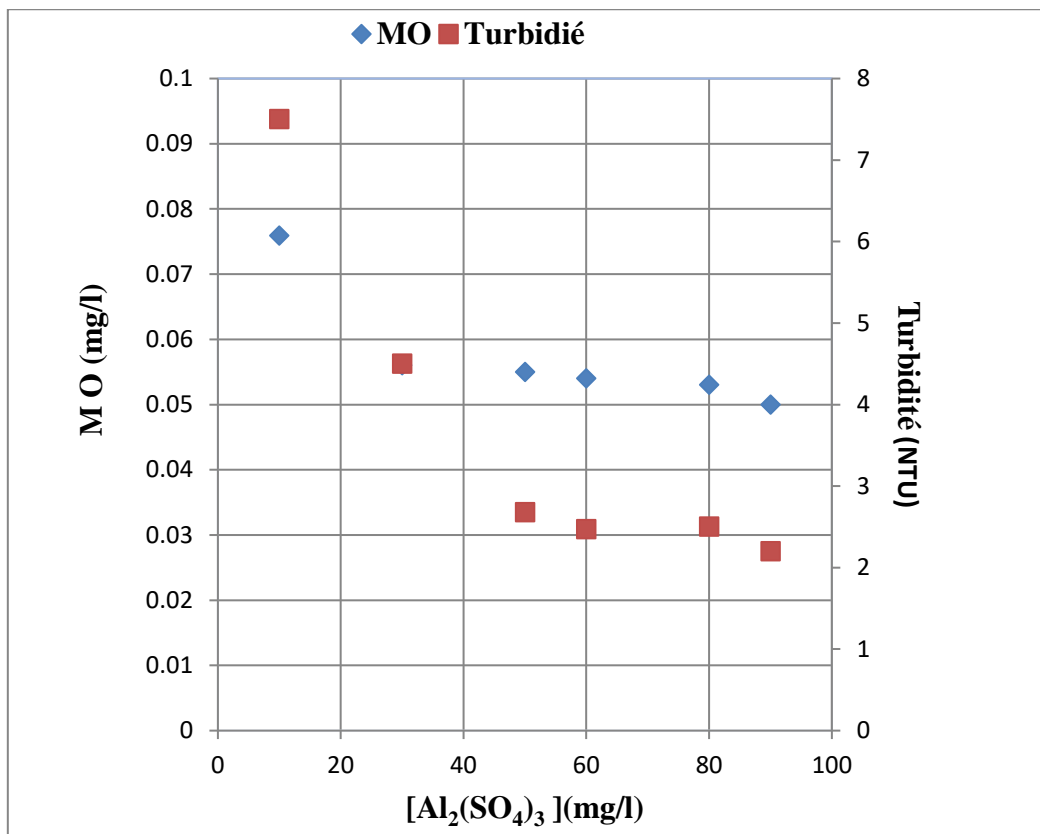


Figure V.1: Variation de la turbidité et M.O en fonction de la dose du coagulant à (pH = 8.07)

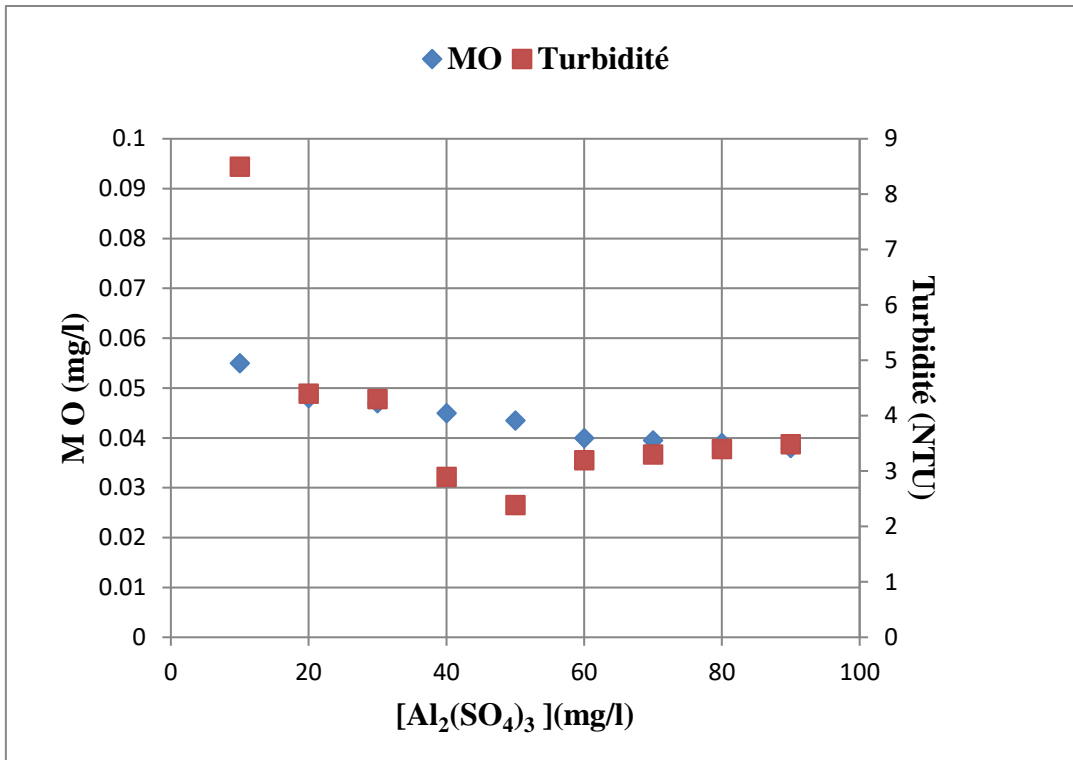


Figure V.2: Variation de la turbidité et M.O en fonction de la dose du coagulant à(pH = 7.40)

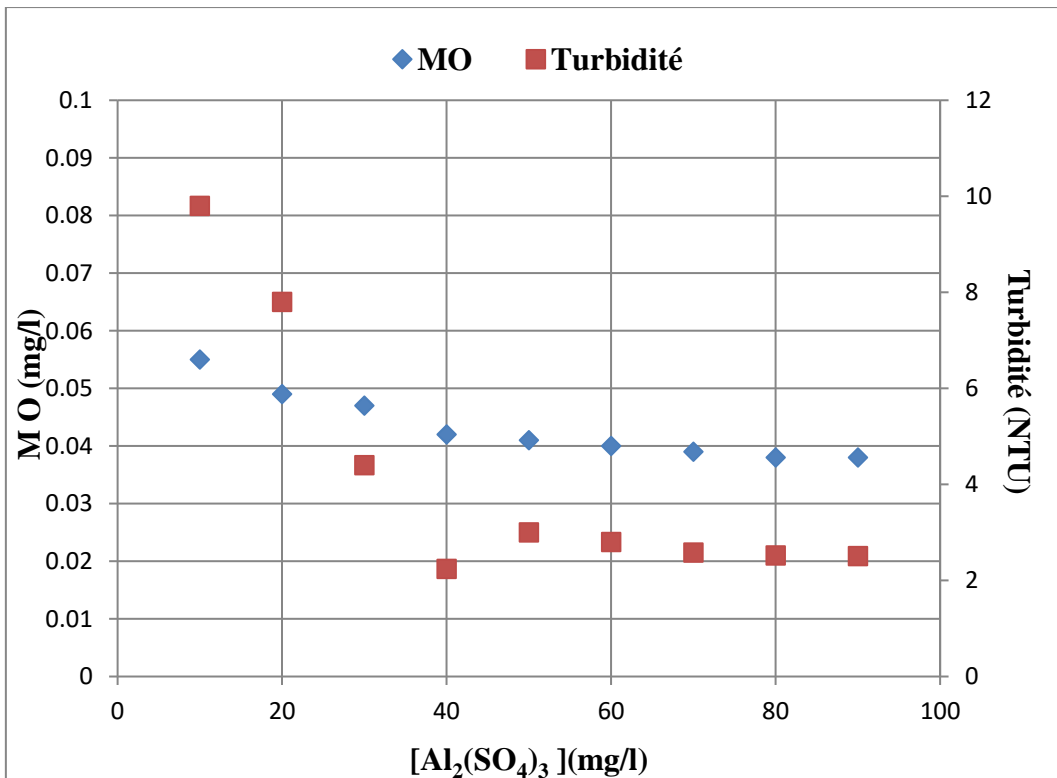


Figure V.3: Variation de la turbidité et M.O en fonction de la dose du coagulant à(pH = 7.20)

Les représentations montrent que l'augmentation de la dose du coagulant entraîne une diminution de la MO de 0.093 à (0.054, 0.0435, et 0.042) respectivement pour des pH égale à (8.07, 7.40 et 7.20)

D'après l'allure des courbes, on remarque qu'une diminution de la turbidité dû à la déstabilisation des colloïdes par le coagulant. En effet pour une dose optimale de ce dernier les espèces aluminiques tels que $Al_2(OH)^+$, chargées positivement vont agir comme des contre-ions et s'adsorbent, provoquant ainsi une neutralisation de la charge négative et donc une réduction de la double couche électrique autour de chaque particule. De plus, les particules sont piégées dans le précipité d'hydroxyde d'aluminium ($Al(OH)_3$), une augmentation de la turbidité est observé au-delà de la dose optimale qui est due à la surdose en coagulant (excès de charges positives), qui provoque la déstabilisation des particules colloïdales et génère des forces de répulsion entre les colloïdes empêchant ainsi la formation des ponts inter particulaires [23]

Tableau V.1: Résultats expérimentaux après coagulation

pH _i	pH _f	[Al ₂ (SO ₄) ₃] (mg/l)	Turbidité (NTU)	M.O (mg/l)
8.07	7.24	60	2.47	0.054
7.4	6.94	50	2.39	0.043
7.2	6.79	40	2.24	0.042

D'après les résultats regroupés dans le (Tableau V.1) , on remarque que le pH joue un rôle important dans le procédé de coagulation, les résultats révèlent que pour les différents pH_i 8.07, 7.40 et 7.20, on observe une diminution de la dose du coagulant qui passe de 60 à 40 mg/l et la turbidité de 2.47 à 2.24(NTU) et de MO 0.054 à 0.042mg/l respectivement pour des pH_i 8.07, 7.4 et 7.2

Chlorure ferrique (FeCl₃)

Des essais de jar test ont été réalisés pour déterminer la dose optimale de FeCl₃ pour différentes doses du coagulant (10 à 60 mg/l), sans acidification à pH = 7.99

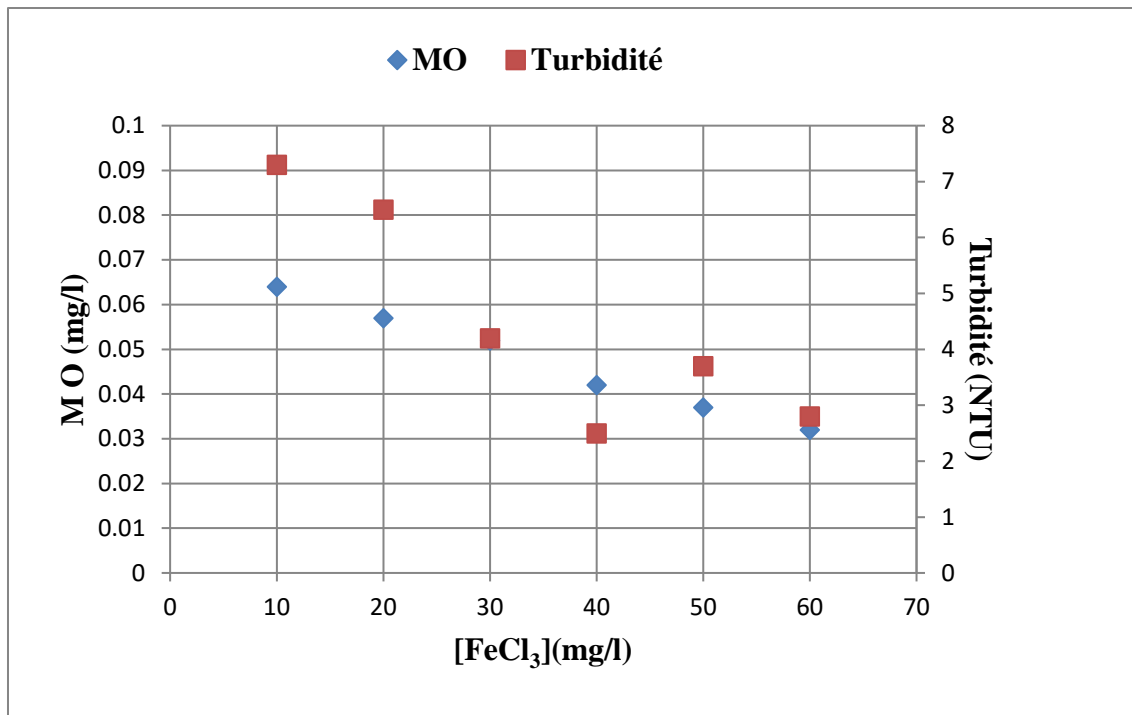


Figure V.4 : variation de la turbidité et M.O en fonction du coagulant à (pH = 7.99)

Les résultats montrent que la turbidité diminue avec l'augmentation de la dose du coagulant jusqu'à atteindre une valeur optimale de 40 (mg/l) correspondant à la plus faible turbidité 2.3NTU, au-delà de cette dose la turbidité augmente en raison du surdosage en coagulant, ainsi une diminution de la MO est remarquée et qui passe de 0.091 à 0.43mg/l.

V.3. Optimisation de la dose du floculant

Les essais de floculation ont été réalisés pour différentes doses optimales des coagulants ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$) et (FeCl_3) et différents pH, afin de déterminer la dose optimale du floculant.

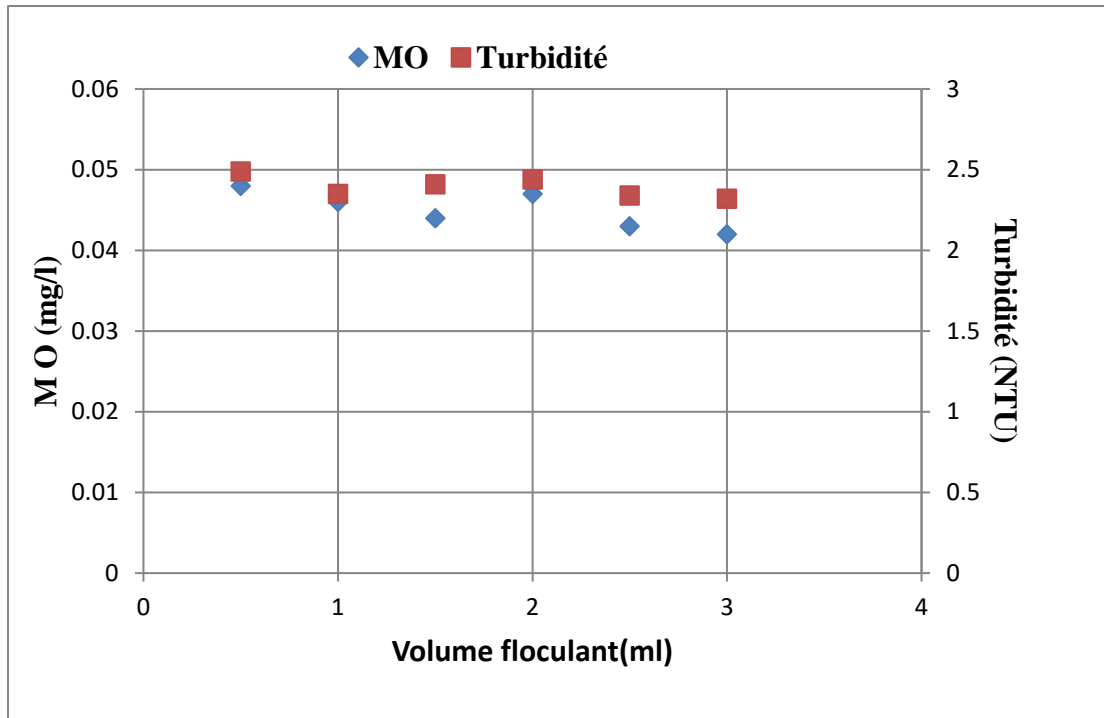


Figure V.5: Variation de la turbidité et M.O en fonction du volume du floculant

(pH = 8.07, $[Al_2(SO_4)_3] = 60 \text{ mg/l}$)

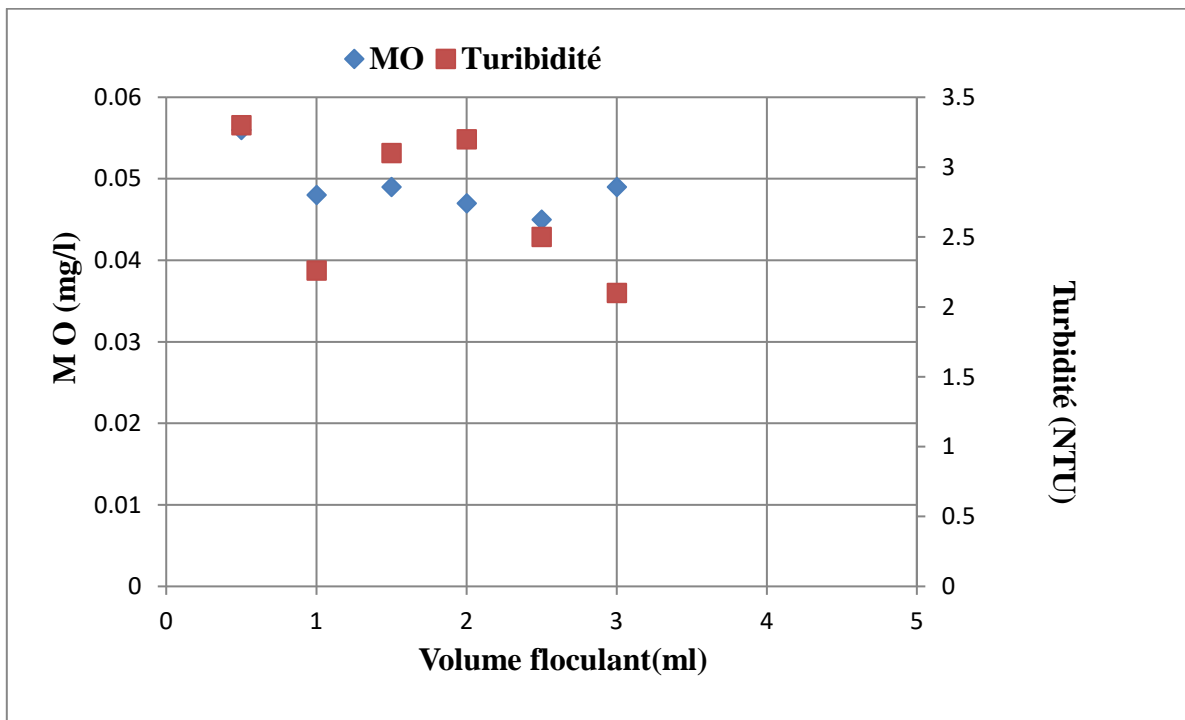


Figure V.6 : Variation de la turbidité et M.O en fonction du volume du floculant

(pH = 7.40, $[Al_2(SO_4)_3] = 50 \text{ mg/l}$)

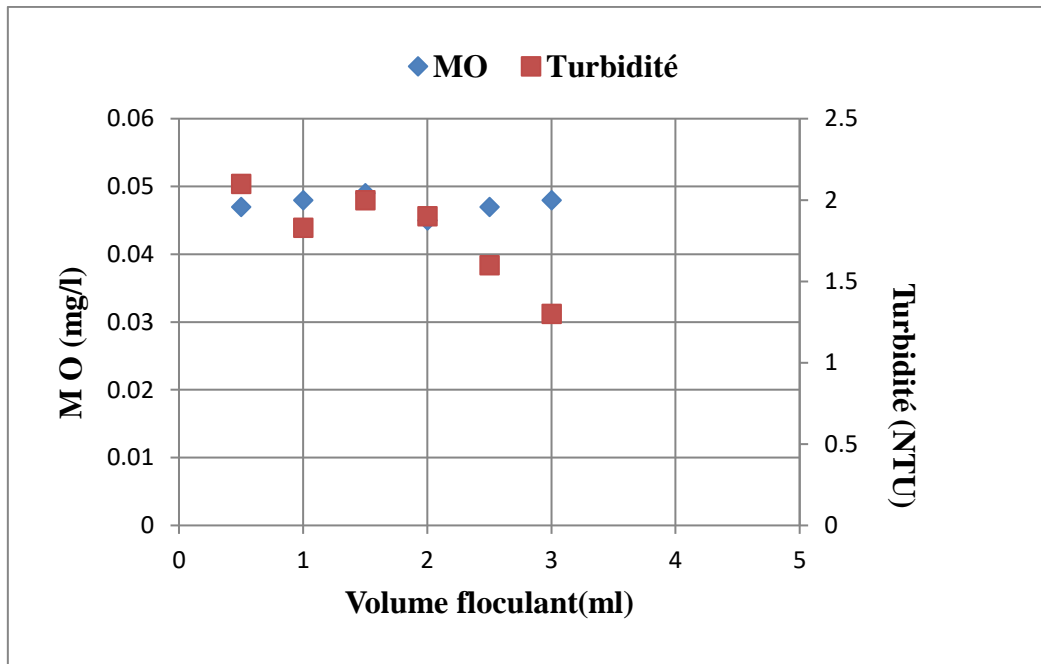


Figure V.7 : Variation de la turbidité et M.O en fonction du volume du flocculant

(pH =7.20, $[Al_2(SO_4)_3]=40mg/l$)

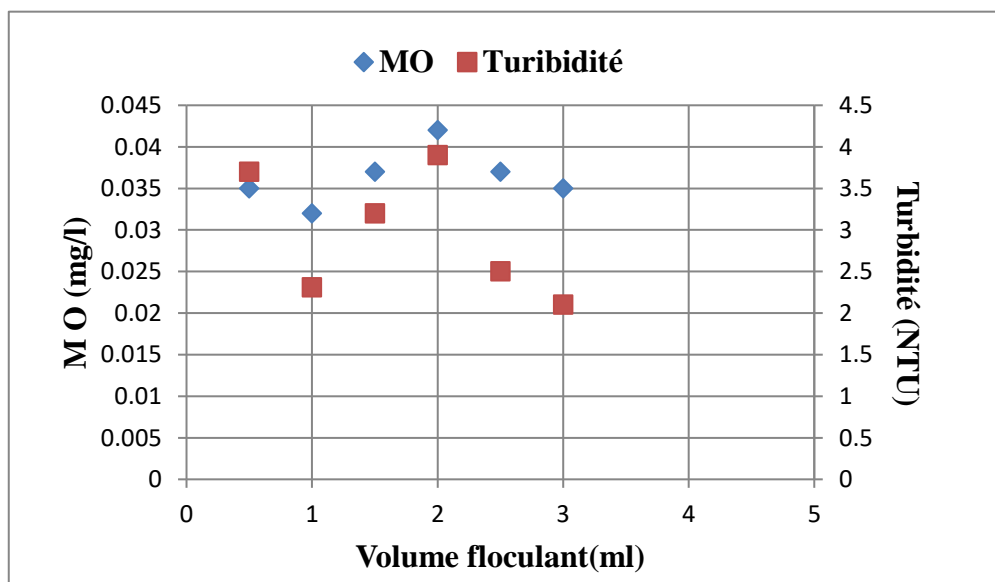


Figure V.8 : Variation de la turbidité et M.O en fonction du volume du flocculant

(pH =7.99, $[FeCl_3]=40mg/l$)

L'ajout du flocculant n'a pas d'effet significatif sur la MO, pour toutes les doses des coagulants et de pH étudiés. D'après l'allure des courbes on remarque que pour les deux types de coagulants ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ et (FeCl_3)), le meilleur résultat pour la turbidité a été obtenu pour une dose de flocculant égale à 1 ml, ceci quel que soit la dose du coagulant et le pH de la solution, ainsi une turbidité minimale est de 2.35, 2.26, et 1.83 NTU respectivement pour des pH égaux à 8.07, 7.40 et 7.20 pour $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ et de 2.31 NTU pour FeCl_3 avec un pH égal à 7.99.

La turbidité augmente, en raison d'une surdose de polymère. En effet, un excès de flocculant isole la surface des micelles susceptible de constituer des ponts de liaisons, conduisant à une inhibition de la floculation. De plus, nous remarquons qu'une dose inférieure à 20 ml s'avère trop faible pour une bonne clarification.

V.4. Efficacité du traitement

Le meilleur rendement d'élimination de MES a été obtenu pour un pH égal à 7.2 avec acidification pour le sulfate d'aluminium qui atteint 73.42%. Et de 81.7% pour le chlorure ferrique avec un pH égal à 7.99 sans acidification.

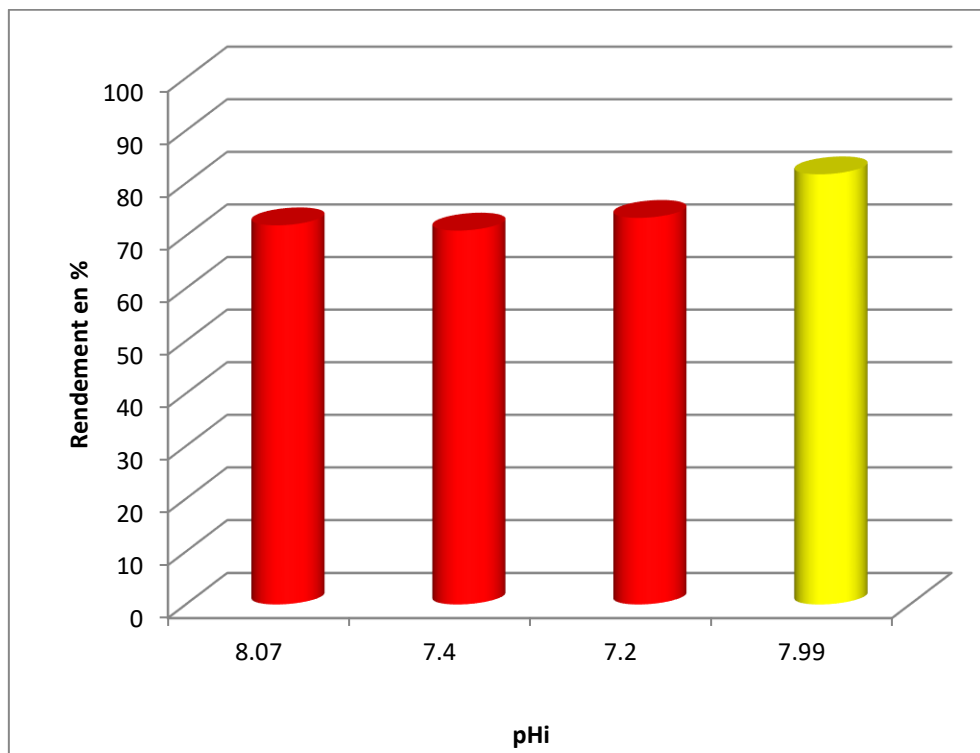


Figure V.9 : Pourcentage de rendement du sulfate d'alumine et le chlorure ferrique en fonction du pH

D'après la figure (V.9), on remarque que l'efficacité du traitement est meilleure pour le chlorure ferrique pH de 7.99 avec un rendement d'élimination de 81.7%. Suite aux résultats obtenus, notre étude se porte sur la comparaison des deux coagulants avec $(Al_2(SO_4)_3)$ et $(FeCl_3)$ sans acidification.

V.4.1. Mesure de la concentration d'aluminium et de Fer

Afin de déterminer la concentration en aluminium et en fer dissous et totale pour différents pH nous avons tracé la concentration de d'aluminium et de Fer ferrique en fonction du pH (figure V.10)

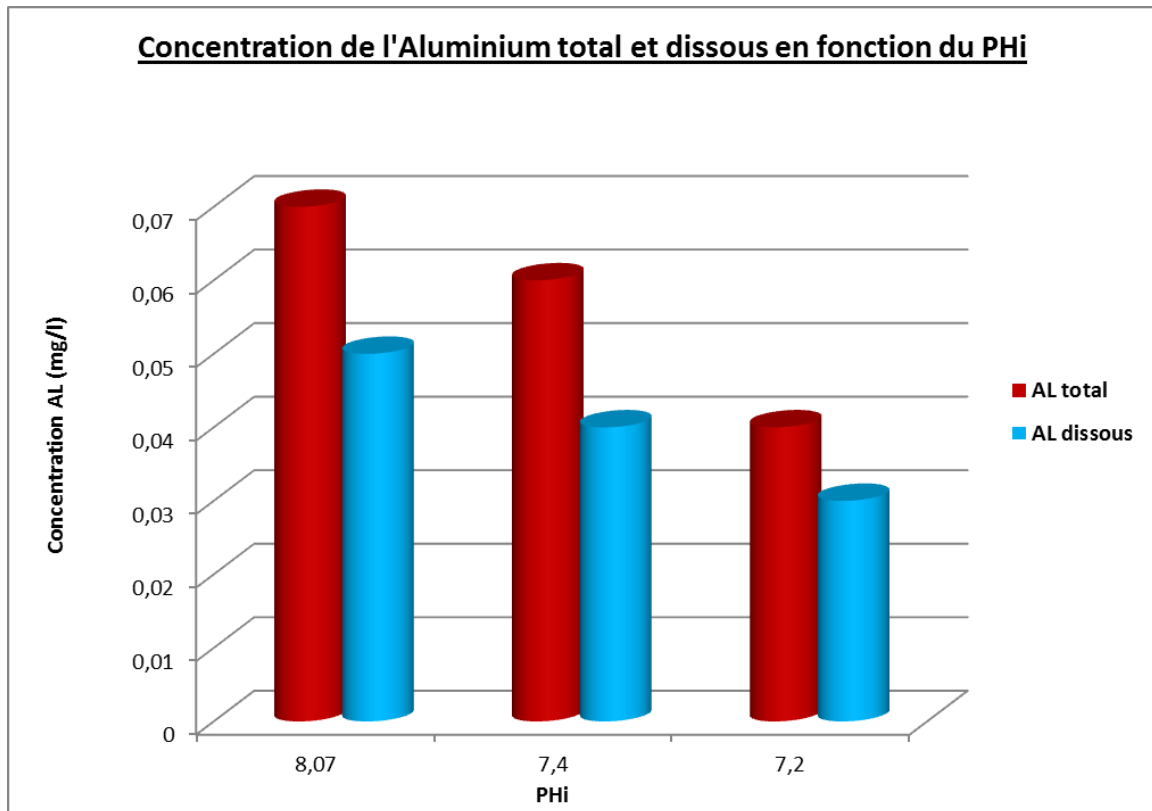


Figure V.10: Concentration de l'Aluminium total et dissous en fonction du pH

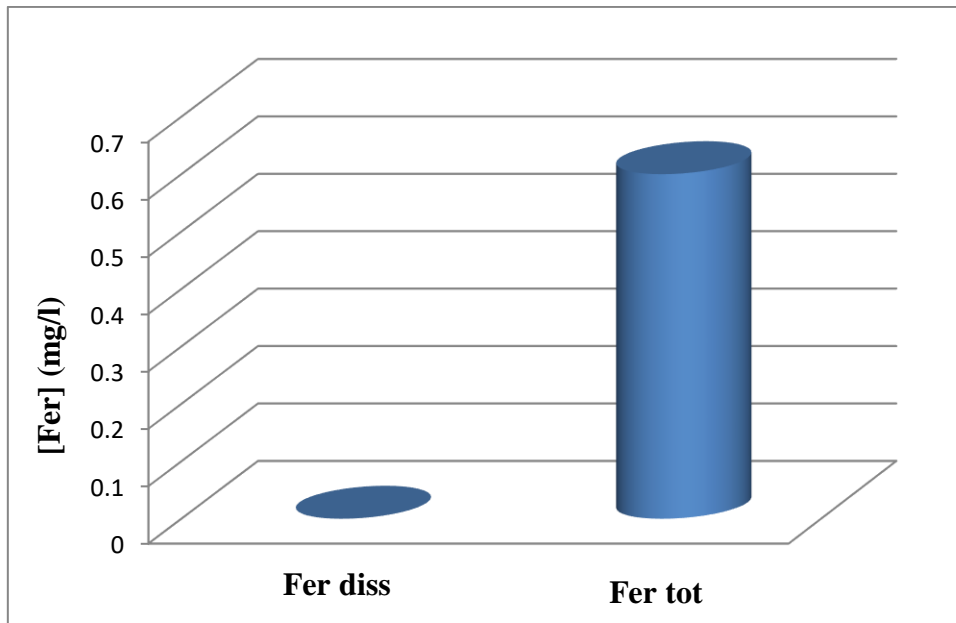


Figure V.11: Concentration du fer total et dissous en fonction du $\text{pH}=7.9$

Les travaux de [VAN BENSCHOETEN J.E et al [24] et KANG L. S. et al [25] ont montré que chaque coagulant requiert une zone de pH optimale correspondant à une solubilité minimale de coagulant et donc à une concentration minimale de métaux dissous dans l'eau décantée

- D'après les résultats portés, on constate que l'acidification joue un rôle important dans la réduction de la concentration de l'aluminium dissous dans l'eau traitée qui passe de 0.048 à 0.028 mg/l respectivement pour des pH égale à 8.07 et 7.2.

Le choix du pH optimal égale à 7.2 favorise la formation des particules d'aluminium qui s'adsorbent sur les particules colloïdales, ainsi les produits solubles d'aluminium sont pratiquement faibles (équation IV.3).



La figure Figure V.11 montre une dissolution complète du fer totale pour un $\text{pH}=7.99$ avec un rendement d'élimination 99.33%.

V.4.2. Détermination du caractère agressif de l'eau coagulée

L'agressivité de l'eau représente sa capacité à dissoudre du CaCO_3 . Une eau agressive

- ✚ est définie comme une eau dont l'indice de saturation (I_s est < 0).
- ✚ attaquera les bétons non revêtus (ouvrages et canalisations).

Dans le but de déterminer le caractère agressif (ou entartrant) de l'eau, le pH et l'indice de saturation de l'eau ont été évalués pour les deux coagulants. Les résultats obtenus sont regroupés dans le tableau (V.2).

Tableau V.2: pH et l'indice de saturation de l'eau

	Sulfate d'aluminium			Chlorure Ferrique
PHi	8.07	7.40	7.20	7.99
pHf	7.24	6.84	6.75	6.90
pHs	7.57	7.55	7.53	7.40
$I_s = \text{pHf} - \text{pHs}$	-0.41	-0.48	-0.55	-0.50

Il ressort de ces résultats que les valeurs de l'indice de saturation, sont comprises entre [-0.41, -0.55] pour le sulfate d'aluminium et de -0.5 pour le chlorure ferrique, ces valeurs sont inférieures aux valeurs permettant d'atteindre la zone d'équilibre calco-carbonique [0] et la Zone de formation d'une couche protectrice entre [0,0.2]. Les valeurs négatives de l'indice de saturation sont dues à un excès de gaz carbonique (CO_2) qui représente l'agressivité de l'eau qui dissout le calcaire et attaque les conduites

V.4.3. Etude de la corrosivité de l'eau

Les indices de Larson et Leroy ont été également évalués, pour les deux coagulants et les différents pH, afin de déterminer le caractère corrosif de l'eau.

A partir des résultats portés sur le (Tableau V.3) nous remarquons que les valeurs de l'indice de Larson dépassant largement le seuil de corrosion qui est de 1 et celles de l'indice de Leroy inférieures à 0.7, aussi bien pour le sulfate d'aluminium que pour le chlorure ferrique. Ces résultats montrent que l'eau a une nette tendance à la corrosion et peut entraîner la dégradation du réseau de distribution (canalisation).

Tableau V.3: Valeurs des paramètres étudiés pour la corrosion.

	sulfate d'aluminium			chlorure ferrique
Phi	8,08	7,4	7,2	7,99
PHs	7,57	7,55	7,53	7,4
SO4	494,75	405,25	399,35	270,9
CL	84,38	85,09	84,38	111,32
TAC	16	15,8	14,4	15,6
TH	40,8	40,6	40,9	40,4
indice de Larson	2,25	2,27	2,49	2,27
Indice de Leory	0,353	0,389	0,391	0,392

V.4.4.L. impact du changement de coagulant sur les consommations globales de réactifs

La figure V.12 présente les consommations en sulfate d'aluminium et en chlorure ferrique, ainsi que la quantité d'acide utilisé lors du traitement avec $Al_2(SO_4)_3$, Acide, Coagulant, chaux.

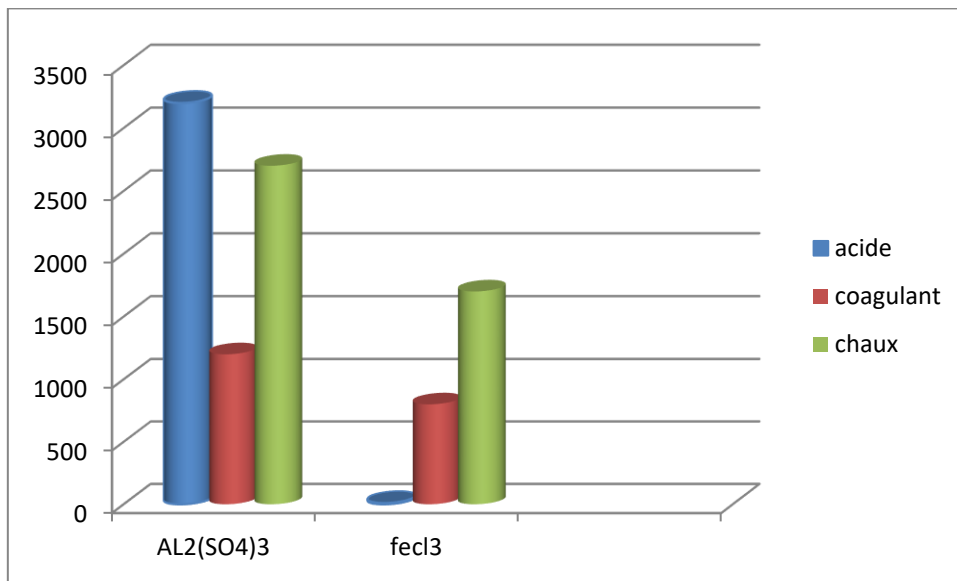


Figure V.12: Consommations en (KG/J) de coagulant, acide et en chaux pour le sulfate d'aluminium et le chlorure ferrique pour la station de BOUDOUAOU.

D'après la figure (V.12) on constate qu'à l'usine de BOUDOUAOU I 'utilisation de chlorure ferrique permettra de diminuer de 22 % la consommation en coagulant, 25% de la consommation en chaux et de 100 % la consommation en acide.

V.2.4.5. Compatibilité des ouvrages et équipements par rapport au chlorure ferrique

- Etant liquide et toxique le stockage du chlorure ferrique nécessite des cuves adéquates en résine, avec des aérations afin d'éviter le contact liquide béton.
- La corrosivité et l'agressivité accrues des eaux risquent d'attaquer les ouvrages en bétons et provoquent une corrosion au niveau des ouvrages métalliques. Pour cela une solution préventive consistant à la mise en place des revêtements en résine sur les ouvrages et remplacer les canalisations métalliques des usines.

V.2.4.6. Élimination des algues

Une étude préliminaire sur une eau synthétique affectée avec des algues, a été réalisée afin de déterminer l'efficacité du $Al_2(SO_4)_3$ et du $FeCl_3$ sur l'élimination des algues. Nous avons effectué des tests de coagulation-floculation pour différents pH (8.07, 7.4, 7.2) et différentes doses en coagulant obtenues après optimisation qui sont respectivement (60, 50, 40 mg/L) en sulfate d'aluminium et un pH égal à 7.99 avec une dose de 40 mg/L en chlorure ferrique, sur une eau affectée avec des algues pour une turbidité de 4 et 9 NTU.

Le rendement d'élimination des algues a été calculé à partir de l'équation (IV.4) ci-dessous:

$$(Alg/ml) = (nbr\ d'algue * 530) / (nbr\ de\ chambre * 0,058) * (1 / volume) \quad (Eq\ V.2)$$

$$R\% = [(Alg/ml)_{EB} - (Alg/ml)_{ET}] / (Alg/ml)_{EB} \quad (Eq\ V.3)$$

Avec :

(Alg/ml)_{EB}: Nombre d'algues par ml d'eau brute

(Alg/ml)_{ET} : Nombre d'algues par ml d'eau traitée

R: Rendement d'élimination (%)

L'étude d'élimination des algues en présence du chlorure ferrique comme coagulant, nous a permis d'obtenir un rendement de 89.9 et 85.2% respectivement pour une turbidité égale à 9 et 4 NTU à pH=7.99

Les résultats montrent aussi que le rendement d'élimination des algues atteint 89% en présence de sulfate d'aluminium (pH=7.20) avec acidification alors qu'il est de 85.2 avec le chlorure ferrique sans acidification pour une turbidité égale à 4 NTU.

La comparaison avec les deux coagulants nous permet de conclure que l'élimination des algues en présence de chlorure ferrique est meilleure que le sulfate d'aluminium avec un rendement de 90.9% sans acidification pour une turbidité de 9 NTU. Ce qui nous permet de réduire le coût (absence d'acide) lors de l'utilisation du FeCl_3 .

V.2.4.6. L'aspect économique des coagulants

D'après notre expérience les produits chimiques pour le traitement sont indispensables pour la potabilité de l'eau. Dans ce cas l'économie de la société joue un rôle important pour la gestion de ces produits. Le tableau V.4 englobe les frais de quelques produits utilisés dans la coagulation et la floculation (mois de mars 2019).

Tableau V.4: autonomie et prix des réactifs

SULFATE D'ALUMIN (KG)	POLY-ELECTROLYTE (KG)	CHLORURE FERRIQUE (KG)	LA CHAUX	ACIDE SULFURIQUE
642000	9075	192920	300000	240000
39 DA/kg	300DA/kg	30DA/kg	20DA/kg	70DA/L

CONCLUSION GÉNÉRALE

Conclusion Générale

CONCLUSION GENERALE

Le traitement de l'eau brute de la station de BOUDOUAOU par le procédé de coagulation-floculation en présence de sulfate d'aluminium pour l'élimination des matières organique engendre des risques sanitaires et entraîne des problèmes de corrosion au niveau des canalisations. La recherche d'un coagulant peu couteux et moins dangereux est indispensable .Dans ce contexte, nous avons proposé un traitement en présence du chlorure ferrique pour obtenir une eau potable conforme aux normes et moins coûteuse. Notre travail s'est intéressé à une étude comparative entre le sulfate d'aluminium et le chlorure ferrique sur le traitement de l'eau brute de la station de BOUDOUAOU.

Les résultats obtenus suite aux expériences réalisées au niveau de la SEAAL ont montré que:

- ❖ La substitution du sulfate d'aluminium par le chlorure ferrique à de faibles concentrations, réduit considérablement la matière organique et la turbidité De l'aluminium avec acidification et autre pour le chlorure ferrique sans acidification.
- ❖ Sur le plan calco-carbonique, les eaux traitées montrent une même tendance à la corrosion pour les deux coagulants, avec des indices de Larson égaux à 2.49 et 2.27 respectivement pour le sulfate d'aluminium (pH= 7.2 avec acidification) et le chlorure ferrique (pH 7.99 sans acidification), pour l'indice de Leroy les valeurs obtenus sont 0.391 pour le premier coagulant et 0.392 pour le second avec les même pH. Pour remédier aux problèmes de corrosion et éviter la détérioration ainsi que l'entraînement du plomb dans les eaux traitées, il est nécessaire de placer des revêtements en résine sur les ouvrages et de remplacer les canalisations métalliques par des conduites en PEHD.
- ❖ Les valeurs de l'indice de saturation pour le sulfate d'aluminium (-0.55) et pour le chlorure ferrique (-0.5) l'agressivité, pour cela une neutralisation par la chaux s'avère nécessaire afin d'éliminer l 'excès de CO_2 , de manière à obtenir des conditions calco-carbonique nécessaire à la formation de la couche de Tillmans .
- ❖ Réduction de la consommation en coagulant, de la chaux et de l'acide sulfurique respectivement lors de l'utilisation du chlorure ferrique.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Références Bibliographique

- [1] G.Degremont, " Mémento Technique de l'eau ", Deuxième édition Tom 1, (2005).
- [2] B.Saaoui," Adduction et dimensionnement de la Station de Traitement des Eaux de Barrage de Tichi Haff", Mémoire d'ingénieur, Université de Bejaia, (2005).
- [3] Cooperative Research Centre for Water Quality and Treatment, "Consumer's Guide to Drinking Water", Australian Drinking Water Guidelines,(2006)
- [4] HR Hernandez De Leon, " Supervision de Diagnostic des Procédés de Production d'eau Potable", Mémoire de doctorat Institut National Des Sciences Appliquées de Toulouse, (2006).
- [5] Z. Brahmi et N.Benaissa, "Influence de la Coagulation Flocculation et Décantation sur la Qualité des Eaux Epurées de la Station de Ain El Houtz" , Mémoire d'ingénieur d'état en hydraulique, Université de Tlemcen Aboubaker Belkaid, (2010).
- [6] C.Desjardins, "Simulation et Etude en Laboratoire de Flocculation Lestée (actiflo) à l'aide d'une Procédure Modifiée de Jar Test" , Mémoire de Maitrise en Sciences appliquées, Ecole Polytechnique de Montreal, (1999).
- [7] R.Desjardins,"Traitement des Eaux", 2m Edition de L'école Polytechnique de Montréal, (1997).
- [8] LBoursali, " Etude Expérimentale de la Coagulation Flocculation par le Sulfate Ferrique et le Chlorure Ferrique des Matières en Suspension", Mémoire d'ingénieur d'état en géologie, Département des Sciences de la Terre et de L'univers , Université de Tlemcen Aboubekr Belakid, (2011).
- [9] B.Lakhdari , "Effet de la Coagulation Flocculation sur la Qualité des Eaux Epurées de la STEP de Ain el Houtz", Mémoire de magister en chimie inorganique et environnement Université de Tlemcen AbouBekr Belaid, (2011).
- [10] A.Kettab, " Traitement des Eaux Potable" ,Office de Publication Universitaire Alger, (1992).
- [11] H. Zemmouri, " Utilisation des Chitosane Comme Agent Flocculant dans le Traitement des Eaux", Mémoire de magister, Ecole national polytechnique d'Alger, p. 13-19, (2008)

Références Bibliographique

- [12] M.Bach et R.Abdelli, " L'influence des Paramètres Physiques et Techniques sur la Coagulation Flocculation et Décantation", Mémoire DEUA en Hydraulique, Département d'hydraulique, Université Tlemcen Aboubaker Aelkaid, (2005).
- [13] S.Ezziane "Traitement des Eaux de Rejet de l'unité CERAMIT ", Mémoire de magister, Université de Chlef Hassiba Ben Bouali, (2007)
- [14] G.Cardot, "Les traitements de L'eau par des Procédés Physico-Chimique et Biologique", cours et problèmes résolus en génie de l'environnement, Edition Ellipse, (2005).
- [15] L. Colin et all, "Evaluation d'un Procédé de Coagulation-Flocculation au Chitosane pour T'enlèvement du Phosphore dans les Efluent Piscicoles". Université du Québec, Ecole de Technologie Supérieure, (2008).
- [16] W.Langelier, "Effet of Température on the pH of Natural Waters", American Water Works Association, p196, (1946).
- [17] J.E. Van Benschoten, J.K. Edzwald, "Chernical Aspects of Coagulation Using Aluminum Salts-1. Hydrolytic reactions of Alun and Polyaluminum Chloride", Water Reseurc 3rd edition, p526, (1990)
- [18] LBretagne, "Le Traitement des Eaux de Surface pour la Production d'eau Potable", Centre D'information Sur L'eau ,Guide technique, (1999).
- [19] D.Landolt, "Corrosion et Chimie de Surfaces des Métaux" ,Traité des matériaux, Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, vol 12, (1993).
- [20] M.Benarioua, " Inhibition de la Corrosion d'un Acier Ordinaire par les Chromates et les Molybdates", Thèse de magister, Universite de Batna, (2013).
- [21] "Corrosion et inhibition des Puits et Collectes", Edition Technip, Paris, (1984)
- [22] Agence de l'Eau Adour-Garonne," Guide de Préconisation pour la Substitution du Calcaire Marin", Toulouse, (2011).
- [23] C.Cardot, "Les traitements de L'eau par les Procédés Physicochimiques et Biologiques", Ellipses, (2010).
- [24] J.E.VanBenschoeten et al, "Effect of Enginring, Vol Temperature and pH on Residual Aluminum in Alkalin Treated Water",Journal of Environmental 120, (1994).

Références Bibliographique

[25] L.S.Kang et al, "Reponse Surface Methodological Approach to Opptimize the Coagulation-floculation Process in Drinking Water Treatment", Chemical Enginiring Research and Design, Vol 89, (2011).

ANNEXE

Préparation des solutions :

Nous avons effectué des séries d'essais de coagulation floculation tout d'abord avec le sulfate d'aluminium, puis avec le chlorure ferrique pour pouvoir faire une comparaison entre les deux

Sulfate d'aluminium:

Le sulfate d'aluminium se présente sous forme de poudre blanche, qu'il est nécessaire de diluer avant utilisation. Les solutions de sulfate d'aluminium à 1 g/L sont préparées par dissolution des cristaux dans de l'eau distillée et bien agiter. .

Le chlorure ferrique:

Le chlorure ferrique se présente sous forme de liquide jaune marron, il est nécessaire aussi de le diluer juste avant son utilisation. La Solution de poly électrolyte Une masse de 0.5 g de polymère (poly-électrolyte anionique) est dissoute dans 100 mL d'eau distillée sous agitation magnétique (solution mère) ,1 ml de la solution obtenue est diluée (solution fille) et ensuite utilisé lors de la floculation. La solution de chaux

La solution de chaux a été préparée par dissolution d'une masse d'un gramme de chaux, sous agitation magnétique, dans 100 mL d'eau distillée.

Tableau 2
Paramètres avec valeurs indicatives

GRUPE DE PARAMETRES	PARAMETRES	UNITES	VALEURS INDICATIVES
Paramètres Organoleptiques	couleur	mg/l platine	15
	Turbidité	NTU	5
	Odeur à 25 °C	Taux dilution	4
	Saveur à 25 °C	Taux dilution	4
Paramètres physico-chimiques en relation avec la structure naturelle des eaux	Alcalinité	mg/l CaCO ₃	85 pour les eaux désalées ou déminéralisées (valeur minimale)
	Calcium	mg/l	200
	Chlorure	mg/l	500
	Concentration en ions hydrogène	Unité pH	≥ 6,5 et ≤ 9
	Conductivité à 20 °C	µS/cm	2800
	Dureté (TH)	mg/l en CaCO ₃	500
	Fer total	mg/l	0,3
	Manganèse	µg/l	50
	Phosphore	mg/l	5
	Potassium	mg/l	12
	Sodium	mg/l	200
	Sulfates	mg/l	400
	Température	°C	25

Décret exécutif n° 14-97 du 2 Joumada El Oula 1435 correspondant au 4 mars 2014 portant dissolution de l'agence de gestion du système hydraulique de Beni Haroun.

Le Premier Ministre,

Sur le rapport du ministre des ressources en eau,

Vu la Constitution, notamment ses articles 85-3° et 125 (alinéa 2),

Vu le décret présidentiel n° 13-312 du 5 Dhou El Kaada 1434 correspondant au 11 septembre 2013 portant nomination des membres du Gouvernement ;

Vu le décret exécutif n° 94-294 du 19 Rabie Elhoni 1415 correspondant au 25 septembre 1994 relatif aux modalités de dissolution et de liquidation des entreprises publiques non autonomes et des établissements publics à caractère industriel et commercial ;

Vu le décret exécutif n° 07-337 du 19 Chaoual 1428 correspondant au 31 octobre 2007 portant création de l'agence de gestion du système hydraulique de Beni Haroun ;

Après approbation du Président de la République ;

Décète :

Article 1er. — L'agence de gestion du système hydraulique de Beni Haroun, créée par les dispositions du décret exécutif n° 07-337 du 19 Chaoual 1428 correspondant au 31 octobre 2007 portant création de l'agence de gestion du système hydraulique de Beni Haroun est dissoute.

Art. 2. — La dissolution de l'agence prévue à l'article 1er ci-dessus, donne lieu à l'établissement d'un inventaire quantitatif, qualitatif et estimatif dressé conformément aux lois et règlements en vigueur par une commission dont les membres sont désignés conjointement par le ministre des finances et le ministre chargé des ressources en eau.

Art. 3. — Le présent décret sera publié au *Journal Officiel de la République algérienne démocratique et populaire*.

Fait à Alger le 2 Joumada El Oula 1435 Correspondant au 4 mars 2014

Abdelmalek SELLAL.

Annexe 1

ANNEXE (suite)

GROUPE DE PARAMETRES	PARAMETRES	UNITES	VALEURS LIMITES
Paramètres chimiques (suite)	Nyènes	µg/l	500
	Styrène	µg/l	100
	Agents de surface régissant au bleu de méthylène	mg/l	0,2
	Epychloxyhydrine	µg/l	0,4
	Microcystine LR	µg/l	1
	Pesticides par substance individualisée		
	- Insecticides organochlorés persistants	µg/l	0,1
	- Insecticides organophosphorés et carbamates	µg/l	0,1
	- Herbicides	µg/l	0,1
	- Fongicides	µg/l	0,1
	- P.C.B	µg/l	0,1
	- P.C.T	µg/l	0,1
	- Aldrine	µg/l	0,03
	- Dieldrine	µg/l	0,03
	- Heptachlore	µg/l	0,03
	- Heptachloroxyde	µg/l	0,03
	Pesticides (Totaux)	µg/l	0,5
	Bromures	µg/l	10
	Chlorure	µg/l	0,07
	Tribalométhanes par substance individualisée		
	- Chloroforme	µg/l	200
	- Bromoforme	µg/l	100
	- Dibromochlorométhane	µg/l	100
	- Bromodichlorométhane	µg/l	60
	Chlorure de vinyle	µg/l	0,3
1,2-Dichloroéthane	µg/l	30	
1,2-Dichlorobenzène	µg/l	1000	
1,4-Dichlorobenzène	µg/l	300	
Trichloroéthylène	µg/l	20	
Tétrachloroéthylène	µg/l	40	
Radionucléides	Particules alpha	Ficoentriels/L	15
	Particules beta	Millirems/an	4
	Trinium	Bequerels/l	100
	Uranium	µg/l	30
	Dose totale indicative (DTI)	mSv/an	0,15
paramètres microbiologiques	Escherichia Coli	n/100ml	0
	Entérocoques	n/100ml	0
	Bactéries sulfitoréductrices y compris les spores	n/20ml	0

Annexe 1

7 Joumada El Oula 1435
9 mars 2014

JOURNAL OFFICIEL DE LA REPUBLIQUE ALGERIENNE N° 13

15

ANNEXE
Paramètres de qualité de l'eau de consommation humaine
Tableau 1 : paramètres avec valeurs limites

GROUPE DE PARAMETRES	PARAMETRES	UNITES	VALEURS LIMITES
Paramètres chimiques	Aluminium	µg/l	0,2
	Ammonium	mg/l	0,5
	Baryum	µg/l	0,7
	Bore	mg/l	- Eaux conventionnelles : 1 - Eaux dessalées ou déminéralisées : 1,3
	Fluorures	mg/l	1,5
	Nitrates	mg/l	50
	Nitrites	mg/l	0,2
	Oxydabilité	mg l O ₂	5
	Acrylamide	µg/l	0,5
	Antimoine	µg/l	20
	Argent	µg/l	100
	Arsenic	µg/l	10
	Calcium	µg/l	3
	Chrome total	µg/l	50
	Cuivre	µg/l	2
	Cyanures	µg/l	70
	Mercurie	µg/l	6
	Nickel	µg/l	70
	Plomb	µg/l	10
	Sélénium	µg/l	10
	Zinc	mg/l	5
	Hydrocarbures polycycliques aromatiques (H.P.A) totaux	µg/l	0,2
	Fluoranthène, benzo (3,4) fluoranthène, benzo (11,12) fluoranthène, benzo (3,4) pyrène, benzo (1,12) pérylène, indéno (1,2,3-cd) pyrène	µg/l	0,01
benzo (3,4) pyrène	µg/l	10	
Benzène	µg/l	700	
Toluène	µg/l	300	
Ethylbenzène	µg/l	300	

« *Art. 4* — Les données et résultats visés à l'article 2 ci-dessus, ainsi que leurs interprétations peuvent être utilisées par l'Agence nationale pour la valorisation des ressources en hydrocarbures (ALNAFT) pour la promotion du domaine minier national relatif aux hydrocarbures ».

Art. 4. — Les dispositions de l'article 6 du décret exécutif n° 07-311 du 25 Ramadhan 1428 correspondant au 7 octobre 2007, susvisé, sont modifiées, complétées et rédigées comme suit :

« *Art. 6* — Dans le cadre de la promotion du domaine minier national relatif aux hydrocarbures, l'Agence nationale pour la valorisation des ressources en hydrocarbures (ALNAFT), peut demander au titulaire de l'autorisation de prospection des hydrocarbures ou toute autre personne disposant des qualifications requises, de procéder à la commercialisation de ces données et résultats ainsi que leurs interprétations pour le compte de l'Agence nationale pour la valorisation des ressources en hydrocarbures (ALNAFT), dans le cadre d'un contrat fixant les conditions de commercialisation et notamment la répartition des produits de la commercialisation ».

Art. 5. — Le présent décret sera publié au *Journal officiel* de la République algérienne démocratique et populaire.

Fait à Alger, le 2 Jomada El Oula 1435 correspondant au 4 mars 2014.

Abdelmalek SELLAL

-----*-----

Décret exécutif n°14-96 du 2 Jomada El Oula 1435 correspondant au 4 mars 2014 modifiant et complétant le décret exécutif n° 11-125 du 17 Rabie Ethani 1432 correspondant au 22 mars 2011 relatif à la qualité de l'eau de consommation humaine.

Le Premier ministre,

Sur le rapport du ministre des ressources en eau,

Vu la constitution, notamment ses articles 85-3° et 125 (alinéa 2) ;

Vu le décret présidentiel n° 13-312 du 5 Dhou El Kaada 1434 correspondant au 11 septembre 2013 portant nomination des membres du Gouvernement ;

Vu le décret exécutif n° 11-125 du 17 Rabie Ethani 1432 correspondant au 22 mars 2011 relatif à la qualité de l'eau de consommation humaine ;

Après approbation du président de la République ;

Décrète :

Article 1er. — Le présent décret a pour objet de modifier et de compléter certaines dispositions du décret exécutif n° 11-125 du 17 Rabie Ethani 1432 correspondant au 22 mars 2011 relatif à la qualité de l'eau de consommation humaine.

Art. 2. — Les dispositions de l'annexe 2 de l'article 3 du décret exécutif n° 11-125 du 17 Rabie Ethani 1432 correspondant au 22 mars 2011, susvisé, sont modifiées comme suit :

« *Art. 3* — Au sens du présent décret, il est entendu par :

Valeurs limites :(sans changement).....

Valeurs indicatives : valeurs de référence fixées pour certains paramètres organoleptiques et physico-chimiques à des fins de contrôle du fonctionnement des installations de production, de traitement et de distribution d'eau ».

Art. 3. — Les dispositions de l'article 7 du décret exécutif n° 11-125 du 17 Rabie Ethani 1432 correspondant au 22 mars 2011, susvisé, sont modifiées comme suit :

« *Art. 7* — Lorsqu'il est constaté que l'eau de consommation humaine a cessé d'être conforme aux valeurs limites fixées par le présent décret..... (le reste sans changement)..... »

Art. 4. — Les dispositions des tableaux 1 et 2 annexés au décret exécutif n° 11-125 du 17 Rabie Ethani 1432 correspondant au 22 mars 2011, susvisé, sont modifiées conformément à l'annexe du présent décret.

Art. 5. — Les dispositions du décret exécutif n° 11-125 du 17 Rabie Ethani 1432 correspondant au 22 mars 2011, susvisé, sont complétées par un article 4 bis rédigé comme suit :

« *Art. 4 bis* — La concentration minimale du chlore résiduel libre de l'eau fournie aux usagers par le réseau de distribution est fixée à 0,1 mg/l ».

Art. 6. — Le présent décret sera publié au *Journal officiel* de la République algérienne démocratique et populaire.

Fait à Alger, le 2 Jomada El Oula 1435 correspondant au 4 mars 2014.

Abdelmalek SELLAL