



Département de Génie de l'Eau

Rapport de soutenance

En vue de l'obtention du diplôme
de Licence professionnelle en :

Hydraulique

Thème :

**Optimisation du procédé de coagulation –floculation des eaux
de surface cas de station de traitement Boudouaou- Boumerdes**

Réalisé par :

M^{lle} BENTALEB Rezkia

Encadré par :

M^{me} HAMZAOUI Sara

Maitre de Conférence Classe B

Tuteur de l'entreprise :

M^r KHERROUB Farid

Ingénieur Exploitation -Boudouaou

Corrigé par :

- M^r DAHMANI Saad

Enseignant (IT, Univ- Bouira)

- M^r OUNISSI Oussama

Enseignant (IT, Univ- Bouira)

Remerciements

Au terme de cette étude qu'elle nous permis de témoigner toute nous reconnaissance et a sincérement remerciements a:

Avant tous on remercier Dieu de tout puissant qui nous donnés la santé , la capacité et la volonté pour réaliser ce travail :

Ma Promotrice Madame Hamzaoui pous ces conseils et orientations

Je tiens à adresser mes remerciements et ma reconnaissance à Mr. KHERROUB Farid Ingénieur Exploitation -BOUDOUAOU, Mr. ILILLES Mouloud- Ingénieur Exploitation, pour leurs soutiens et sympathies qui a facilité mon intégration et d'avoir suivi de près mon travail par leurs encadrements, disponibilités et leurs orientations avec beaucoup de patience et de pédagogie.

Ce stage a nécessité, tout au long de sa période, l'aide et le soutien de plusieurs personnes des différents services, Je tiens aussi à les remercier, pour leurs soutiens, disponibilités, conseils et leurs recommandations, à savoir :

- *MECHAHED Taous*
- *SERRADJEKI Moussa*
- *OUZARA Salim*
- *BENHABI-LES Naima*
- *HADJ ARAB Mourad*

Mes remerciements sont adressés également à l'ensemble du personnel de la station de traitement des eaux potable –Boudouaou sans exception.

Enfin, à tous ceux qui m'a aidé de près ou de loin à l'aboutissement je leurs dit merci.



Dédicaces

D'Allah le clément et le miséricordieux et de fidélité,

Je dédie ce présent mémoire :

*A mes deux êtres les plus précieux et plus chers au monde : mon père & ma mère,
Sources de mes joies, secrets de ma force - que Allah les protège*

*Vous serez toujours le modèle Papa, dans ta détermination, ta force et ton honnêteté.
Maman dans ta bonté, ta patience et ton dévouement pour nous.*

*Merci pour tous vos prières et sacrifices pour que vos enfants grandissent et prospèrent.
Merci de trimer sans relâche, malgré les péripéties de la vie, et au bien être de vos
enfants. Merci d'être tout simplement mes parents. C'est grâce à vous j'ai pu affronter
les difficultés.*

C'est à vous que je dois cette réussite et je suis fier de vous l'offrir.

*A mes sœurs ; Amel, Ahlam, Lila, Samia, Mina, Kahina en témoignage de l'attachement,
de l'amour et de l'affection que je porte pour elles. Je vous dédie ce travail avec tous mes
vœux de bonheur, santé et de réussite.*

A mes frères Mazigh, Hamza qui m'ont accordé une attention que je n'oublierais jamais.

A toute ma famille et les liens.

A mes chères amis ; Sandra, Amira, Riham, Aya, Lydia.

Avec eux j'ai passé mes superbes moments.

Ainsi que tous mes amis du département de génie de l'eau et spécialement la promo 2018.

A tous ceux qui me sont chers.



قد تحتوي المياه المخصصة للاستهلاك الأدمي على مواد ملوثة، وهذا هو سبب حاجتها إلى المعالجة. يتكون هذا العمل من دراسة التحسين الأمثل لخطوة التخثر - التلبد عن طريق تحسين جرعة المادة المخثرة ، والمادة الندفية ، واستخدام المواد المساعدة ، والكلور المسبق ، ودراسة بعض المتغيرات الفيزيائية والكيميائية. لذلك ، يتم تحسين عملية التخثر والتلبد من أجل تحسين مراحل الترويق والترشيح . وبالتالي، من أجل الحصول على معدلات تخفيض أعلى من المواد المعلقة.

الكلمات المفتاحية: التخثر ، التلبد ، التحسين ، المواد المساعدة ،المواد المعلقة .

Résumé

L'eau destinée à la consommation humaine peut contenir des substances polluantes, c'est pourquoi, elle a besoin d'être traitée.

Ce travail consiste à l'étude de l'optimisation de l'étape de la coagulation – floculation par l'optimisation des dose du coagulant, floculant, l'utilisation des adjuvants, pré chloration et l'étude de quelques paramètres physico-chimiques. De ce fait, l'optimisation de la coagulation – floculation en vue d'améliorer les étapes de la décantation et de la filtration. Par la suite, afin d'obtenir des taux d'abattement en MES plus importants.

Mots clés : coagulation, floculation, optimisation, adjuvants, MES.

Abstract

Water intended for human consumption may contain polluting substances, which is why it needs to be treated.

This work consists in the study of the optimization of the coagulation stage - flocculation by the optimization of the dose of the coagulant, flocculant, the use of adjuvants, pre-chlorination and the study of some physicochemical parameters. Therefore, the optimization of coagulation - flocculation in order to improve the stages of decantation and filtration. Subsequently, in order to obtain higher suspended matter reduction rates.

Keywords: coagulation, flocculation, optimization, adjuvants, suspended matter.

Table des matières

Remerciements

Dédicaces

Résumé

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste des abréviations

Introduction générale	1
-----------------------------	---

Chapitre I : Généralités sur les eaux naturelles

Introduction	3
I.1. Ressources hydriques naturelles	3
I.1.1. Eaux souterraine	3
I.1.2. Eaux de surface	4
I.1.3. Eaux de mers et océans.....	5
I.1.4. Eaux de pluie.....	6
I.1.5. Définition de l'eau potable	6
I.2. Paramètres globaux de la qualité des eaux	6
I.2.1. Paramètre organoleptiques.....	6
I.2.2. Paramètres physique -chimique	7
I.2.3. Les Paramètres biologiques	10
I.2.4. Paramètres de Pollution organique.....	10
I.2.5. Paramètres de toxicité.....	11
I.3. Pollution des eaux	11
I.3.1. L'industrie.....	11
I.3.2. L'agriculture.....	11
I.3.3. Pollution d'origine naturelle	12
I.3.4. Pollution par les substances associées au traitement de l'eau.....	12
Conclusion	13

Chapitre II : Présentation de La station de traitement Boudouaou - SEAAL

Introduction	14
II.1. Présentation de la société SEAAL	14
II.1.1. Mission et défis de la SEAAL	15
II.2. Présentation du l'organisme d'accueil	15
II.2.1. Les principales caractéristiques du centre	16
II.2.1.1. Implantation	16
II.2.1.2. Capacité de production	16
II.2.1.3. Les réservoirs du stockage.....	16

II.2.1.4. Objectif du centre	17
II.2.1.5. Les différents services du centre	17
II.2.2. Description du système SPIK d'alimentation eau potable d'Alger	17
II.3. La station de traitement	18
II.3.1. Procédé de traitement adapté à l'usine	19
II.3.2. Principaux ouvrages de la station d'eau potable de Boudouaou.....	20
II.3.2.1. L'ouvrage d'arrivée	20
II.3.2.2. Décanteur pulsateur lamellaire.....	22
II.3.2.3. Filtre à sable 'Aquazur V'	24
II.3.2.4. Les réservoirs du stockage	25
II.4. Laboratoire de process du centre de traitement Boudouaou	25
Conclusion	26

Chapitre III : Traitement de clarification

Introduction	27
III.1. Traitement de clarification	27
III.1.1. Caractéristiques des particules à éliminer	27
III.1.1.1. Généralités	27
III.1.1.2. Structure des particules colloïdes.....	28
III.1.1.3. Stabilité des particules colloïdes	29
III.1.1.4. Déstabilisation des particules colloïdales	31
III.1.2. Coagulation –Floculation	32
III.1.2.1. Les facteurs influençant la coagulation	34
III.1.2.2. Types de coagulants-floculant utilisés	35
III.1.3. Décantation.....	36
III.1.3.1. Types de décanteur.....	36
III.1.3.2. Problème liés à la décantation	38
III.1.4. Filtration	38
III.1.4.1. Le rôle de la filtration.....	38
III.1.4.2. Critères de choix du type de filtration en fonction de la qualité de l'eau et du prétraitement	39
III.1.4.3. Les types des filtres	39
III.1.4.4. Lavage des filtres	40
Conclusion	41

Chapitre IV : Matériels et méthodes

Introduction	42
IV.1. Echantillonnage.....	42
IV.2. Matériels	42

IV.3. Méthodes d'analyses	43
IV.4. Essais de coagulation-floculation (Jar-test)	54
IV.4.1. Préparation de la solution du coagulant sulfates d'alumine.....	55
IV.4.2. Préparation de la solution du flocculant	56
IV.4.3. Préparation de la solution des adjuvants.....	57
IV.5. Méthodologie de l'optimisation de traitement de clarification (coagulation-floculation)	58
IV.5.1. Essais de la coagulation	59
IV.5.2. Essais de la floculation	59
IV.5.3. Etude de l'effet des conditions opératoires	60
IV.5.3.1. L'influence de pH	60
IV.5.3.2. L'influence de l'eau brute sur la dose optimale de coagulant	60
IV.5.3.3. Influence des adjuvants	61
IV.5.3.4. Influence de la pré-chloration sur la coagulation floculation.....	61
IV.6. Rendement des paramètres physico-chimiques après l'optimisation des doses optimales	64
Conclusion	65

Chapitre V : Résultats et discussions

Introduction	66
V.1. Présentation des résultats des essais d'optimisation de coagulation-floculation ...	66
V.1.1. Essais de la coagulation	67
V.1.1.1. Détermination de la dose optimale du coagulant.....	67
V.1.2. Essais de la floculation.....	69
V.1.2.1. Détermination de la dose optimale de flocculant poly- électrolyte	69
V.2. Effet des conditions opératoires	72
V.2.1. Effet de pH	72
V.2.2. Influence d'utilisations des adjuvants	73
V.2.2.1. Influence de la chaux sur la coagulation floculation.....	73
V.2.2.2. Influence de la dose de Charbon actif en poudre (CAP) sur la coagulation-floculation	75
V.2.3. Influence de la pré-chloration sur la coagulation floculation.....	80
V.3. Qualité physico-chimique d'eau traitée après l'optimisation aux doses optimales	83
Conclusion	83
Conclusion générale	85

Références bibliographiques

Liste des figures

Figure I. 1: Différents types des nappes souterraines	4
Figure I. 1: Différents types des nappes souterraines	4
Figure II. 1: Photo centre de traitement des eaux – Boudouaou	16
Figure II. 2: Photo réservoir du stockage.....	17
Figure II. 3: Présentation générale du système SPIK	18
Figure II. 4: Vu de Google Earth de la station de traitement - Boudouaou	19
Figure II. 5: Schéma de la filière de traitement.....	19
Figure II. 6: Photo obturateur à disque	21
Figure II. 7: Photo chambre du mélange des réactifs	21
Figure II. 8: Photo chambre répartition	22
Figure II. 9: Schéma des principaux constituants de pulsateur lamellaire.....	23
Figure II. 10: Photo d'un décanteur pulsateur de la station de Boudouaou.	23
Figure II. 11 : Photo d'un filtre Aquazur V de la station de Boudouaou.	25
Figure II. 12: Schéma des principaux constituants de l'Aquazur V	25
Figure III.1 : Distribution du potentiel électrique autour d'un colloïde chargé négativement	29
Figure III. 2: Effet de la distance entre deux particules colloïdes sur la force de répulsion électriques (E_r) la force d'attraction moléculaire (E_a) et la force résultante	30
Figure III. 3: Emprisonnement des particules dans les floccs pendant la décantation.....	32
Figure III. 4: Adsorption et pontage à l'aide de polymères.....	32
Figure III. 5: Coagulation – Flocculation	33
Figure III. 6: Schéma d'un décanteur circulator	37
Figure III. 7: Décanteur Pulsator	37
Figure III. 8 : Photo de lavage du filtre Aquazur V.	41
Figure IV. 1: Lieu de prélèvement centre de Boudouaou	42
Figure IV. 2: PH -mètre	44
Figure IV. 3: Conductimètre	45
Figure IV. 5: Spectrophotomètre UV - visible	46
Figure IV. 4: Turbidité.....	46
Figure IV. 6: Protocole de détermination de l'oxydabilité au permanganate potassium ..	49
Figure IV. 7: Les Kits LCK 301 et la solution A (LCK 301A) et réactifs B (LCK 301B)	49
Figure IV. 8: Mode opératoire.....	50
Figure IV. 9: Le tube du blanc (ZERO LCK 301) et le tube de l'échantillon.....	51
Figure IV. 10: Flocculateur de laboratoire (Jar teste).....	55
Figure IV. 11: Appareil de filtration et papier filtre de 0.45 μm	65

Figure V. 1 : La turbidité en fonction de la dose de coagulant de sulfate d'aluminium ..	68
Figure V. 2 : pH en fonction de la dose de coagulant de sulfate d'aluminium	68
Figure V. 3 :Le rendement d'élimination de la turbidité en fonction de la dose de sulfate d'aluminium.....	68
Figure V. 4 : La turbidité en fonction de la dose de poly-électrolyte	70
Figure V. 5 : pH en fonction de la dose de poly-électrolyte.....	71
Figure V. 6 : Le rendement d'élimination de la turbidité en fonction de la dose poly-électrolyte.....	71
Figure V. 7 : Courbe d'évolution de la turbidité et Al ³⁺ totale en fonction de pH.....	73
Figure V. 8 : La turbidité en fonction de la dose de la chaux.....	74
Figure V. 9 : pH en fonction de la dose de la chaux	75
Figure V. 10 : Absorbance UV en fonction de la dose de charbon actif en poudre	76
Figure V. 11 : Oxydabilité mg/l O ₂ consommé en fonction de la dose de charbon actif	77
Figure V. 12 : Evolution de rendement d'élimination de la turbidité en fonction de la dose des adjuvants, en complément de 40 mg/l de sulfate d'aluminium	78
Figure V. 13 : Evolution de rendement de l'oxydabilité au KMnO ₄ en fonction de la dose des adjuvants en complément de 40 mg/l de sulfate d'aluminium	78
Figure V. 14 : Evolution d'abattement en Absorbance UV à 254 nm en fonction de la dose des adjuvants, en complément de 40 mg/l de sulfate d'aluminium	79
Figure V. 15 : Courbe de Break -point de l'eau brute de la station de Boudouaou	80
Figure V. 16 : La turbidité en fonction de la dose d'aluminium	81

Liste des tableaux

Tableau I. 1: Principales différences entre eaux de surfaces et eaux souterraines	5
Tableau I. 2: Classification de l'eau selon la dureté totale	9
Tableau I. 3: Les normes de substances toxiques	11
Tableau III. 1: Dérivés des sels d'aluminium et de fer	35
Tableau III. 2: Types de filtration	39
Tableau IV. 1: Produits chimiques utilisés	43
Tableau IV. 2: Matériels utilisés	43
Tableau IV. 3: Techniques du coagulant	56
Tableau IV. 4: Spécification techniques de floculant	57
Tableau IV. 5: Spécifications techniques de la Chaux	57
Tableau IV. 6: Caractéristiques de Charbon actif en poudre	58
Tableau IV. 7: Les doses croissantes de chlore à injecter	63
Tableau V. 1: qualité physico-chimique de l'eau brute de la station	66
Tableau V. 2: Résultats de la détermination de la dose optimale de coagulant de Sulfate d'aluminium.....	67
Tableau V. 3: Détermination de la dose de floculant poly-électrolyte et l'influence des paramètres	70
Tableau V. 4 : L'influence de pH.....	72
Tableau V. 5: Résultat de la dose optimale de la chaux en complément de 40 mg/l de sulfate d'aluminium	74
Tableau V. 6: Résultat de la dose optimale de charbon en poudre [CAP] en complément de 40 mg/l de sulfate d'aluminium [SA]	76
Tableau V. 7: Résultats d'essai de la demande en chlore en pré-chloration	80
Tableau V. 8: Résultat d'essai de l'influence de la pré-chloration sur la dose du sulfate d'aluminium.....	81
Tableau V. 9: Résultats des essais de coagulation - floculation sans pré- chloration	82
Tableau V. 10: Evaluation de la qualité physico-chimique de l'eau traitée par le sulfate d'aluminium (dose optimale) et les deux adjuvants	83

Liste des abréviations

EB : Eau Brute.

ET : Eau Traité.

MES : Matière En Suspension.

MO : Matière Organique.

NTU : unité de turbidité Néphélométrie.

OMS : Organisation Mondiale de la santé.

ONA : Office National d'Assainissement.

PE : Poly Électrolyte.

PK 25 : Poids Kilométrage (point d'arrivée à Alger).

PK0 : Poids Kilométrage (Sortie de la station).

SA : Sulfate d'Aluminium.

SEAAL : Société des Eau et d'Assainissement d'Alger.

SPIK : Système de Production Isser Keddara.

TA : Titre alcalimétrique.

TAC : Titre Alcalimétrique Complet.

TH : Titre Hydrométrique.

UV : Ultra-Violet.

CAP : Charbon actif en poudre.

PPM : Partie par milieu.

Introduction générale

Introduction générale

Les eaux brutes qu'elles soient souterraines ou superficielles ne présentent pas toujours les critères requis en termes de qualité chimique et microbiologique, ce qui nécessite un traitement adéquat avant la consommation.

En se basant sur la qualité de l'eau brute à l'entrée, on définit les processus de traitement les mieux adaptés afin de débarrasser l'eau de toutes les matières en suspension et colloïdales qu'elles contiennent et les substances dissoutes indésirables, de garantir également une bonne protection vis-à-vis du risque parasitaire ce qui suppose un traitement de clarification et de désinfection optimisée.

Dans une filière classique de traitement de l'eau brute en eau potable, le procédé de coagulation- floculation suivie d'une clarification est de loin, le traitement le plus efficace pour la production d'eau potable mais aussi celui qui conditionne l'optimisation de la plupart des autres traitements. Cette opération réduit non seulement la teneur initiale en pollution particulaire mais aussi la concentration des composés organiques dissous et des matières en suspension, et celles dites colloïdales. Ces particules sont responsables de la turbidité et de la couleur d'une eau. En effet, l'efficacité et la fiabilité d'une filière de traitement, dépendent fortement de l'optimisation et du contrôle de l'ensemble des procédés de coagulation, floculation, décantation et filtration

A l'heure actuelle, il est apparu que l'unité de coagulation- floculation était une étape clé dans la production de l'eau potable. Elle permet d'éliminer les particules colloïdales qui sont des sources de contamination par la suite. La dose de coagulant et du floculant à injecter est la variable principale utilisée pour conduire une unité de coagulation- floculation. Actuellement, le dosage est le plus souvent déterminé par une analyse chimique effectuée en laboratoire appelée « Jar-test ». L'efficacité de ce procédé dépend du pH, du type et de la dose du coagulant et de l'adjuvant ainsi que les conditions de mise en œuvre du coagulant (conditions d'agitation du milieu, et temps de contact du coagulant....) [1].

Le but de ce travail consiste à l'optimisation de l'étape de la coagulation – floculation en vue d'améliorer les étapes de la décantation et de la filtration par la suite afin d'obtenir des taux d'abattement en MES plus importants. Les essais de jar tests ont été menés au laboratoire de la station de traitement d'eau potable Boudouaou en faisant varier quelques paramètres par

exemple la dose de coagulants qui est le sulfate d'alumine (SA), le type et la dose des réactifs complémentaires, c'est-à-dire l'ajout des adjuvants de floculation (charbon actif en poudre, chaux et un poly-électrolyte) ,ainsi l'effet des conditions opératoires tels que l'effet du pH et l'effet du pré chloration ont été également étudiés.

Des mesures des paramètres plus indicatifs tel que : l'oxydabilité au permanganate de potassium et d'absorbance UV à 254 nm, de turbidité et du pH...etc. Ainsi ont été effectuées afin de déterminer l'efficacité du procédé dans différentes conditions.

Ce mémoire est structuré en cinq chapitres après une introduction générale ; le premier chapitre porte des généralités sur les eaux naturelles le deuxième c'est une présentation de l'organisme d'accueil (la station de traitement d'eau potable Boudouaou). Le troisième chapitre décrit le traitement de clarification clairement. Notre quatrième chapitre consacré aux matériel et méthodes utilisés pour réaliser ce mémoire. Le dernier chapitre comprend les résultats, discussion et interprétations.

Enfin, une conclusion générale reprend les principaux apports scientifiques de ce présent travail.

Chapitre I

Généralités sur les eaux naturelles

I. Généralités sur les eaux naturelles

Introduction

L'eau est une substance indispensable à la vie, un catalyseur de nombreuses réactions chimiques, et un facteur majeur d'érosion et de dépôt, c'est donc un facteur déterminant dans la formation des paysages. La nature médiocre de l'eau qui nous entoure nous fait parfois oublier que ce genre de liquide que nous connaissons si bien est en fait parce que ses caractéristiques sont si particulières pour la fois. C'est le fluide le plus important dans la vie, et sa complexité est plus importante. Les ressources en eau naturelle disponibles comprennent les eaux souterraines, les eaux de surfaces et en eau de mer, etc.

Ces types d'eau constituent une source importante de satisfaction de la demande en eau potable. L'eau potable est une eau propre à la consommation humaine, celle-ci pouvant être causée par des micro-organismes, des substances toxiques, des matières organiques, etc. Ces éléments existent soit naturellement dans l'environnement, soit sont le résultat d'activités humaines, ce qui entraîne en quelque sorte une dégradation de la qualité de l'eau potable.

Au cours de ce chapitre, nous avons décrit totalement sur généralité les eaux naturelles, les différentes ressources hydriques naturelles, par la suite on a abordé les paramètres globaux de la qualité des eaux et la pollution des eaux.

I.1.1. Eaux souterraine

De point de vue hydrogéologie, les aquifères sont divisés en :

- ✚ Nappes phréatiques ou alluviales : couche en peu profonde, directement rechargée par les précipitations ou le débit d'eau au dessous.
- ✚ Nappes captives : plus profondes et séparées de la surface par une couche imperméable.

Ces aquifères sont obtenues par la pénétration de leurs bords. Il a été constaté que les propriétés du sol de ces eaux déterminent leur composition chimique, mais elles sont également appelées eaux propres car elles répondent généralement aux normes de consommation.

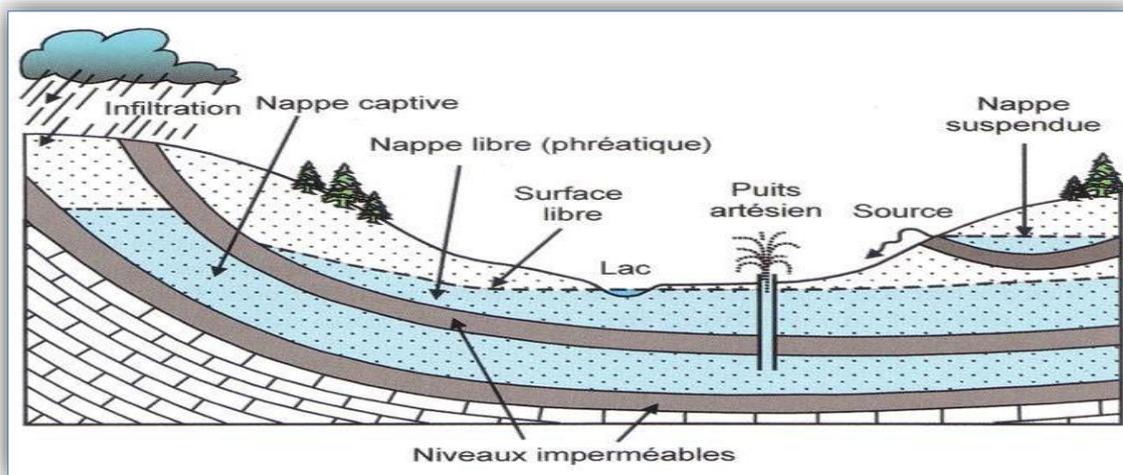


Figure I. 1: Différents types des nappes souterraines [6]

Les eaux souterraines ont généralement d'excellentes qualités physiques, chimiques et bactériennes affecté sa minéralisation. Celle-ci est plus faible dans les sols granitiques et schisteux anciens, et plus élevée dans les sols sédimentaires tels que le calcaire. Leur teneur en oxygène dissous est très faible, et ne contient pas de matière organique, sauf pollution.

I.1.2. Eaux de surface

Ce type d'eau comprend toutes les eaux circulant ou stockées à la surface du continent (rivière, lac, étang, barrage, etc.). La composition chimique des eaux de surfaces dépend de la nature des terres qu'elles traversent dans tous les bassins versants.

La composition chimique des eaux de surface dépend de la nature des terres que l'eau traverse lorsqu'elle traverse tous les bassins. Dans le processus, l'eau dissout divers éléments constitutifs de la terre, elle est donc généralement riche en gaz dissous, en matières en suspension, en matières organique et en plancton. Les eaux de surface sont très sensibles aux pollutions minérales et organiques.

Le tableau suivant donne les éléments caractéristiques des eaux de surface par rapport aux eaux souterraines.

Tableau I. 1: Principales différences entre eaux de surfaces et eaux souterraines [2]

Caractéristique	Eaux de surface	Eaux souterraines
Température	Variable suivant saisons	Relativement constante
Turbidité	Variable, parfois élevée	Faible ou nulle (sauf en terrain karstique)
couleur	Liée surtout aux MES sauf dans les eaux très douces et acides (acides humiques)	Liée surtout aux matières en solution (acides humique...)
Minéralisation globale	Variable en fonction des terrains, des précipitations, des rejets...	Sensiblement constante en général nettement plus élevée que dans les eaux de surface de la même région
Fer et Manganèse dissous	Généralement absents	Généralement présents
nitrate	Peu abondants en général	Teneur parfois élevée
Micropolluants minéraux et organiques	Présents dans les eaux de pays développés, mais susceptibles de disparaître rapidement après suppression de la source	Généralement absents mais une pollution accident elle subsiste beaucoup plus longtemps
Eléments vivants	Bactéries, virus	Ferrobactéries fréquentes

I.1.3. Eaux de mers et océans

L'océan est un immense réservoir. L'eau de mer est caractérisée par une forte salinité, également appelée (eau saumâtre), ce qui rend son utilisation difficile, d'autant plus que leurs coûts de traitement sont très élevés.

I.1.4. Eaux de pluie

L'eau de pluie est une eau de haute qualité pour la consommation humaine. Ils sont saturés d'oxygène et d'azote et ne contiennent pas de sels dissous tels que les sels de magnésium et de calcium, ils sont donc très mous.

I.1.5. Définition de l'eau potable

L'Organisation Mondiale de la Santé (OMS), définit l'eau potable comme une eau potable inoffensive pour la sante .Pour répond aux normes de consommation, l'eau doit répondre aux paramètres organoleptiques (couleur, turbidité, odeur, savon), physiques et chimiques (température, pH, etc.) micro-organismes (streptocoques fécaux, coliformes fécaux), et substances indésirables et toxiques (nitrate, nitrite, plomb...).

Ces normes établies, par l'OMS, l'Union Européenne (UE), ou divers pays précédent les limites que les paramètres susmentionnés ne doivent pas dépasser. Une eau conforme à la norme ne signifie pas qu'elle n'est pas exempte de polluantes, mais sa concentration est suffisamment faible pour ne pas mettre en danger la santé des consommateurs [10].

L'eau potable est une eau propre à la consommation humaine. Ces dernières peuvent être causées par des microorganismes, des substances toxiques, des polluants biologiques génétiques (engrais), des matières organiques, etc. Ces éléments sont soit naturellement présent dans l'environnement, soit issus des activités humaines. D'une manière ou d'une autre, la qualité de l'eau potable se dégrade alors.

I.2. Paramètres globaux de la qualité des eaux

I.2.1. Paramètre organoleptiques

Les propriétés organoleptiques sont toutes les descriptions des propriétés physiques générales de l'eau, telles que son goût, son odeur, et sa couleur.

Ces différentes caractéristiques doivent être comprises lors prélèvement, car certaines odeurs, par exemple, peuvent disparaître lors du transport, ou l'aspect de l'échantillon peut changer lors du stockage (couleur, précipitation, etc.).

A. La couleur

Lorsque la couleur de l'eau est dite varie ou réelle en raison de la seule substance dans la solution, elle dite évidente lorsque les substances en suspension ajoutent leur propre couleur.

La couleur peut être due à certaines impuretés minérales (fer), mais les plus courantes sont certaines substances organiques dissoutes (acide humique, acide fulvique). Il faut l'enlever pour rendre l'eau plus agréable à boire [6].

B. La turbidité

La turbidité d'une eau est due à la présence de particules dans la suspension, notamment de particules colloïdes : argile, boues, particules de silice, matière organique, etc. L'évaluation de l'abondance de ces particules mesure le degré de turbidité. Plus l'efficacité du traitement de l'eau est élevée, plus elle sera faible.

C. Goût et odeur

L'eau destinée à la consommation humaine doit être inodore. L'eau parfumée est synonyme de pollution ou de décomposition de matière organique, trop dangereuse pour la santé des consommateurs.

Le goût est défini comme l'ensemble de goût, de l'odorat et des sensibilités chimiques courantes qui sont perçus lorsque la nourriture ou la boisson est dans la bouche. Il n'y aucun moyen de mesurer le goût et la tolérance varie d'un consommateur à l'autre [11].

Dans le cas d'une eau potable, des changements d'apparence ou de goût et d'odeur peuvent être des signes d'activité microbienne et d'absence de traitement ou de contamination dans le réseau de distribution. En raison du chlore résiduel, le goût est plus prononcé que celui de l'eau non potable.

I.2.2. Paramètres physique -chimique

L'eau est une sorte de nourriture, et sa composition et ses caractéristiques subiront certains changements pendant le transport et le stockage. Par conséquent, certaines analyses doivent être effectuées sur place pour éviter ces changements qui peuvent fausser les résultats d'analyse.

A. Température

La température a une grande influence sur la vitesse des réactions chimiques ou biochimiques dans l'eau. La température optimale de l'eau potable se situe entre 9°C et 12°C et ne doit pas dépasser 15°C [2].

La température est très importante dans la recherche et le suivi des eaux souterraines, qu'elles soient souterraines ou en surface.

B. La conductivité

La conductivité de l'eau est la conductivité de la colonne d'eau entre deux électrodes métalliques de surface de 1cm², distance de 1cm l'une de l'autre. La conductivité est exprimée en micro siemens par centimètre ($\mu\text{s/cm}$). La conductivité signifie la minéralisation, utilisez un conductimètre pour mesurer la conductivité [12].

C. La salinité

La salinité est une mesure de la concentration de sels dissous (chlorure de sodium, chlorure de magnésium, sulfate de magnésium, etc.) dans l'eau. Il correspond à la somme des cations et anions présents exprimée par la conductivité de l'eau. Cette salinité est exprimée en pourcentage.

D. Résidu sec

Mesure le résidu sec de l'eau non filtrée, qui permet d'évaluer la teneur de substances dissoutes et en suspension, et la teneur de substances non volatiles après évaporation avec l'eau.

E. La teneur en sel dissous TDS

C'est est la somme de tous les éléments contenus dans l'eau. Elle équivaut à la concentration totale de calcium, magnésium, sodium, potassium, fer, zinc, cuivre, et aluminium à l'échelle mondiale. Le manganèse est ajouté sous forme de cation à la somme du carbonate et du bicarbonate, silicate anionique, sulfate, chlorure, nitrate, phosphate et fluorure. Par conséquent, la minéralisation totale ou TDS est exprimée en mg/l [11].

F. Potentiel hydrogène (PH)

La valeur du pH affectera la corrosion ou l'encrassement de la conduite. Il est reconnu que la valeur du pH de l'eau potable doit être comprise entre 6,5 et 8,5 [2].

Le pH est la concentration en ions hydrogène. Il mesure l'acidité ou l'alcalinité de l'eau. Le pH interfère avec d'autres paramètres de qualité dans les réactions chimiques complexes (dureté, alcalinité, turbidité, conductivité).

G. Dureté ou titre hydrotimétrique (TH)

On appelle dureté la somme des cations alcalino-terreux présents dans l'eau. En effet, seuls les cations dont la concentration est supérieure 1mg/l sont considérés, c'est le cas des ions existant dans l'eau sous forme de chlorure, de sulfate ou de bicarbonate [8]. La dureté est mesurée en mg de CaCO₃/l ou en degré français.

Tableau I. 2: Classification de l'eau selon la dureté totale [12]

TH en degré français (°F)	Spécificité de l'eau
0 à 6	Eau très douce
6 à 15	Eau douce
15 à 30	Eau moyennement dure
30 à plus	Eau très dure

H. Titre alcalimétrique (TA et TAC)

L'alcalinité de l'eau correspond à la présence de sels d'acide faible et de base. Les valeurs TA/et TAC permettent de connaître la teneur en hydroxyde, carbonates, hydrogénocarbonate dans l'eau.

Lorsque pH < 8.3, TA peut déterminer la teneur en hydroxyde, et seulement la moitié de la teneur en carbonate, TAC assure que la teneur en hydrogénocarbonates à pH = 4.4 est déterminée [11].

I.2.3. Les Paramètres biologiques

L'eau potable ne doit contenir aucun micro-organisme pathogène et ne doit contenir aucune bactérie indiquant une contamination par les excréments. Les principaux indicateurs bactériens recommandés pour le suivi de la pollution humaine incluent tous les microorganismes du coliforme. L'eau qui ne contient qu'un seul type d'*Escherichia Coli* par 100 ml est potentiellement dangereuse. Ceci est important car les normes d'eau potable sont déterminées en fonction de la présence ou de l'absence de ces bactéries témoins [4].

I.2.4. Paramètres de Pollution organique

❖ Nitrites (NO_2^-)

La présence de nitrite est due à l'oxydation bactérienne de l'ammoniac ou à la réduction du nitrate.

Le nitrite est formé par la dégradation de substances contenant de l'azote, mais sera bientôt transformé en nitrate. Dans l'eau, la quantité maximale admissible de nitrate est de 50mg/l [12].

❖ Nitrates (NO_3^-)

Le nitrate est la dernière étape de l'oxydation de l'azote et existe naturellement dans les eaux souterraines. Leur concentration naturelle ne dépasse pas 3mg/l dans les eaux de surface et quelques milligrammes par litre dans les eaux souterraines [9].

Les nitrates sont très solubles dans l'eau et constituent l'une des principales causes de dégradation à long terme de l'eau.

❖ Phosphates (PO_4^{3-})

Ces sels peuvent exister dans l'eau sous différentes formes et concentrations :

- ✚ Acide phosphorique des effluents d'usine d'engrais phosphatés avec présence de SiO_2^- ;
- ✚ Phosphates des eaux usées domestiques ;
- ✚ Phosphate des purges de chaudières ;
- ✚ Polyphosphates et hexaméta-phosphate de circuits de refroidissement.

I.2.5. Paramètres de toxicité

Pour les substances suivantes, les valeurs des concentrations doivent être inférieures ou égales aux valeurs indiquées dans le tableau ci-après

Tableau I. 3: Les normes de substances toxiques [6]

Substances	Valeur
Plomb	10 µg/l
Cadmium	5 µg/l
Mercure	1 µg/l
Chrome	50 µg/l
Cyanure	50 µg/l
Arsenic	10 µg/l
Nickel	20 µg/l

I.3. Pollution des eaux

I.3.1. L'industrie

Le degré et la nature de la pollution causée par les rejets industriels varient selon la particularité de chaque activité industrielle. Certains rejets peuvent perturber la transparence et l'oxydation de l'eau, et elles peuvent également provoquer l'accumulation de certains éléments (métaux, pesticides, éléments radioactifs, etc.) dans la chaîne alimentaire [9].

Les déchets industriels contiennent diverses formes insolubles ou solubles de produits d'origine minérale ou organique, plus ou moins biodégradables et parfois toxiques même à très faibles concentrations.

I.3.2. L'agriculture

La pollution de source agricole comprend la pollution liée aux cultures (pesticides et engrais) et au bétail (boue et engrais liquide). Le problème de la pollution agricole est un peu différent, car cette source de pollution n'atteint la station qu'indirectement. Ceci est

particulièrement vrai pour les engrais et pesticides qui traversent d'abord le milieu naturel (eau souterraines, rivières, etc.).

Il utilise des engrais chimiques azotés et phosphatés, ainsi que des produits phytosanitaires destinés à protéger les cultures, qui peuvent parfois devenir toxiques lorsqu'ils sont utilisés en excès [1].

I.3.3. Pollution d'origine naturelle

Certaines substances naturellement présentes dans l'environnement provoquent parfois des problèmes de pollution de l'eau potable. Les composés inorganiques tels que le baryum, l'arsenic, le fluorure, le sodium, le chlorure, le mercure, le cadmium et le cyanure peuvent polluer l'eau potable. Lorsque des métaux sont présents dans les structures géologiques environnantes, les eaux souterraines sont particulièrement vulnérables.

I.3.4. Pollution par les substances associées au traitement de l'eau

La chloration de l'eau pour la rendre potable est un procédé efficace bien connu et reconnu. Les experts pensent même que la chloration est l'un des mesures de santé publique les plus importantes du XXe siècle. Cependant, bien que le chlore soit efficace pour contrôler principalement les virus et les bactéries, en présence de matière organique, le chlore peut conduire la formation de plusieurs sous-produits chlorés (SPC) potentiellement cancérigènes, tels que le trihalométhane (THM) [1].

Le sulfate d'aluminium est un produit utilisé pour coaguler des substances dans l'eau. L'eau traitée de cette manière à une concentration en aluminium plus élevée que l'eau non traitée. La relation entre la toxicité de l'aluminium et la maladie d'Alzheimer affecte la mémoire et le comportement des patients.

Conclusion

Le premier chapitre est consacré totalement sur généralité sur les eaux naturelles, dans un premier temps on a parlé sur les différents ressources hydriques naturelles, Par la suite on a abordé les paramètres globaux de la qualité des eaux et la pollution des eaux.

Les eaux naturelles constituent un milieu complexe. La nature géologique du terrain a une influence déterminante sur leurs compositions, à tout instant, l'eau est en contact avec le sol dans lequel elle stagne ou circule, alors il s'établit un équilibre entre la composition du terrain et celle de l'eau, cependant leurs qualités est largement affectée par le couvert végétal, les différentes activités humaines comme les pratiques agricoles.

Chapitre II

Présentation de la station de traitement Boudouaou -SEAAL

II .Présentation de La station de traitement Boudouaou - SEAAL

Introduction

La station de traitement concernée par cette étude, est la station de traitement de l'eau potable Boudouaou –SEAAL. Au cours de ce chapitre, nous essayons de faire une présentation de l'organisme d'accueil, présentation et description le fonctionnement de la station de traitement eau potable Boudouaou et les différentes étapes de leur procès de traitement. Mon stage pratique est déroulé au niveau du centre de traitement eau potable Boudouaou, dont leur exploitation et leur gestion est à la charge de SEAAL [Société des Eaux et de l'Assainissement d'Alger].

Mon stage s'inscrit dans la progression du cursus pédagogique de l'étudiant à l'université Akli Mohand Oualhadj-Bouira-Institut de Technologie. C'est un stage en entreprise de quatre mois il permet de :

- prendre contact avec le monde de travail, de découvrir le monde et les métiers des entreprises ;
- Mise en pratique des connaissances acquises en milieu professionnel ;
- Facilité le passage du monde de l'enseignement supérieur à celui de l'entreprise ;

II.1. Présentation de la société SEAAL

SEAAL [Société des Eaux et de l'Assainissement d'Alger], a été créée en 2006, comme opérateur pilote de la modernisation du service public de l'eau sur Alger. SEAAL, est un opérateur public de droit Algérien en charge de la gestion des services de l'eau et de l'assainissement sur l'ensemble des Wilayas d'Alger et de Tipasa (soit 57 communes à Alger et 28 communes à Tipasa).Filiale de l'Algérienne Des Eaux (ADE) et de l'Office National de l'Assainissement (ONA).

- Quatre directions opérationnelles en charge de la production de l'eau de sa distribution, de la collecte, du transport, de l'épuration des eaux usées et de la gestion de la clientèle.
- Des directions supports intervenant en appui, pour améliorer l'efficacité de la gestion et harmoniser la modernisation de la société.

II.1.1. Mission et défis de la SEAAL

SEAAL est la première société par actions créée en Algérie dans le secteur de la gestion de l'eau. Entreprise publique algérienne de référence et leader national dans les services de l'eau et de l'assainissement, SEAAL a pour missions principales d'assurer, selon les standards internationaux, sur les Wilayas d'Alger et de Tipasa :

- Sécuriser la distribution d'eau de qualité 24h/24 à Alger et faire progresser les 24h/24 à Tipasa ;
- Renforcer la prise en charge et le fonctionnement des systèmes d'assainissement et contribuer à l'amélioration de la qualité des eaux de baignade du littoral (périmètres Alger et Tipasa) ;
- Gérer durablement le patrimoine technique eau et assainissement ;
- Mettre en place une gestion clientèle moderne et efficace pour améliorer la satisfaction des clients ;

Transférer le savoir -faire managérial et opérationnel de SUEZ environnement à SEAAL, par la modernisation du management et l'accès aux bases des connaissances métiers de SUEZ environnement.

II.2. Présentation du l'organisme d'accueil

La station de traitement de Boudouaou fait partie du système appelé SPIK (Système de production Isser - Keddara). Elle traite les eaux des barrages Béni-Amrane, Keddara et El Hmiz et alimenter la capitale Alger avec une population estimée à 4.000.000 d'habitants.

Le système de production Isser Keddara il est composé des structures suivantes:

- Une station de traitement des eaux potables ;
- Une station de pompage SPIK pour alimenter quelques localités de la wilaya de Boumerdes ;
- Station de pompage Béni Amrane qui refouler les eaux brutes vers le barrage Keddara ;
- Laboratoire pour surveiller et contrôle la qualité des eaux traitée de Boudouaou ;
- Un réseau d'adduction PK0 (sortie de la station) à PK25.

II.2.1. Les principales caractéristiques du centre

II.2.1.1. Implantation

Le centre de traitement se situe à 7 Km du barrage Keddara, entre la ville de Boudouaou et Oued Moussa elle occupe une superficie de 17 hectares.

II.2.1.2. Capacité de production

La station de traitement a été dimensionnée pour traiter un débit maximal d'eau du barrage de Keddara de 540 000 m³/j.



Figure II. 1: Photo centre de traitement des eaux – Boudouaou [4]

II.2.1.3. Les réservoirs du stockage

La station dispose de quatre réservoirs semi-enterrés :

- Deux réservoirs avec une capacité de 50.000 m³ chaque un est destiné à stocker l'eau traité de Boudouaou ;
- Deux autres réservoirs de 25.000 m³ chaque un accueille les eaux de Taksebt traitées au niveau de la station d'eau potable de Tizi-Ouzou.



Figure II. 2: Photo réservoir du stockage

II.2.1.4. Objectif du centre

- Assure et surveiller le traitement de l'eau potable ;
- Produire et garantir la fourniture d'eau de qualité et en quantité, à un coût acceptable en toutes circonstances, pour alimenter le grand Alger et Boumerdes en eau potable répondant aux normes de potabilité Algérienne ;
- Améliorer la méthode de gestion et rétablir et entretenir les installations de la station en bon fonctionnement.

II.2.1.5. Les différents services du centre

- Service exploitation ;
- Service maintenance ;
- Service laboratoire et qualité ;
- Service réseau d'adduction eaux brutes et eaux traitées ;
- Service hygiène et sécurité (HSE) ;
- Service logistique et parcs.

II.2.2. Description du système SPIK d'alimentation eau potable d'Alger

Le contexte de l'alimentation en eau potable en Algérie a beaucoup évolué au cours des 15 dernières années. Pour satisfaire la demande en eau croissante en eau potable des différentes Wilayas et notamment celle d'Alger. L'alimentation en eau potable de la Wilaya d'Alger est assurée pour 56 % des besoins par des eaux superficielles, Les barrages de Keddarra (142mm³) et Taksebt (181mm³) représentent l'essentiel de la ressource en eau

superficielle et alimentent respectivement l'usine de Boudouaou de capacité nominale de 540 000 m³/jour et de Taksebt de capacité nominale de 610 000 m³/jour.

Le système appelé SPIK (système de production Isser Keddara) se compose des ouvrages principaux suivants :

- 1) Deux ressources principaux en eau de surface barrage de Keddara et barrage de Béni-Amrane ;
- 2) Station de pompage de Béni-Amrane d'eau brute qui refoule au barrage Keddara ;
- 3) Une station de traitement des eaux ;
- 4) Un réseau d'adduction PK0 (sortie de la station) à PK25.

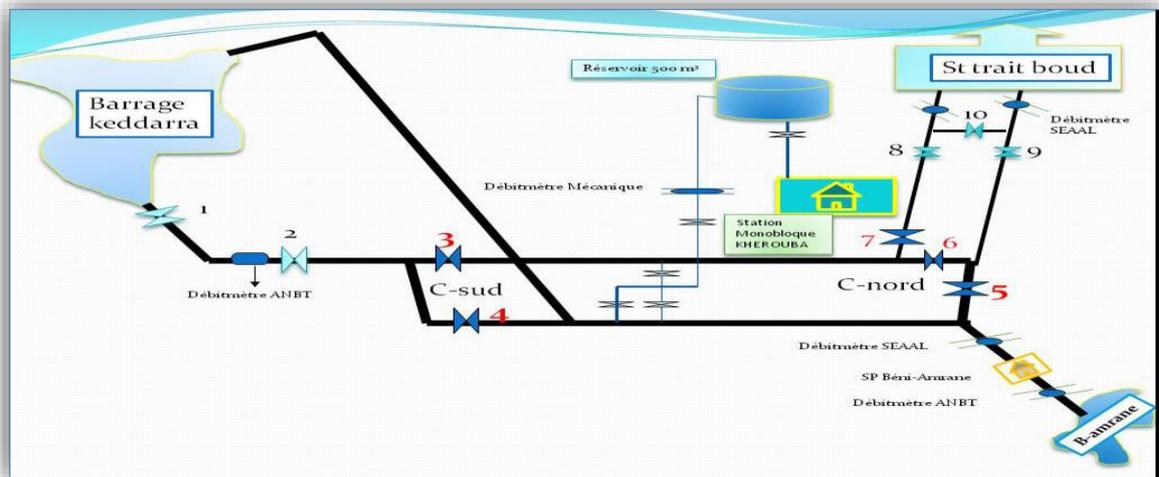


Figure II. 3: Présentation générale du système SPIK [4]

II.3. La station de traitement

La station de traitement du centre-Boudouaou, possède une capacité nominale de production de 540 000 m³/j. Elle est implantée sur un terrain de 17 hectares qui accueille outre l'usine et ses dépendances, les réservoirs d'eau traitée de Boudouaou (2 x 50 000 m³) et les réservoirs d'eau traitée en provenance de Taksebt (2 x 25 000 m³).



Figure II. 4: Vu de Google Earth de la station de traitement - Boudouaou

II.3.1. Procédé de traitement adapté à l'usine

La station, dont une représentation schématique est présentée ci-après, se compose de deux filières de traitement identiques. Chaque filière comporte trois décanteurs lamellaires type Pulsator et 08 filtres à sable Aquazur V. Sa filière de traitement date de 1987 et consiste en une clarification conventionnelle pour un débit nominal de 540000 m³/jour. En deux files identiques de 270 000 m³/jour.

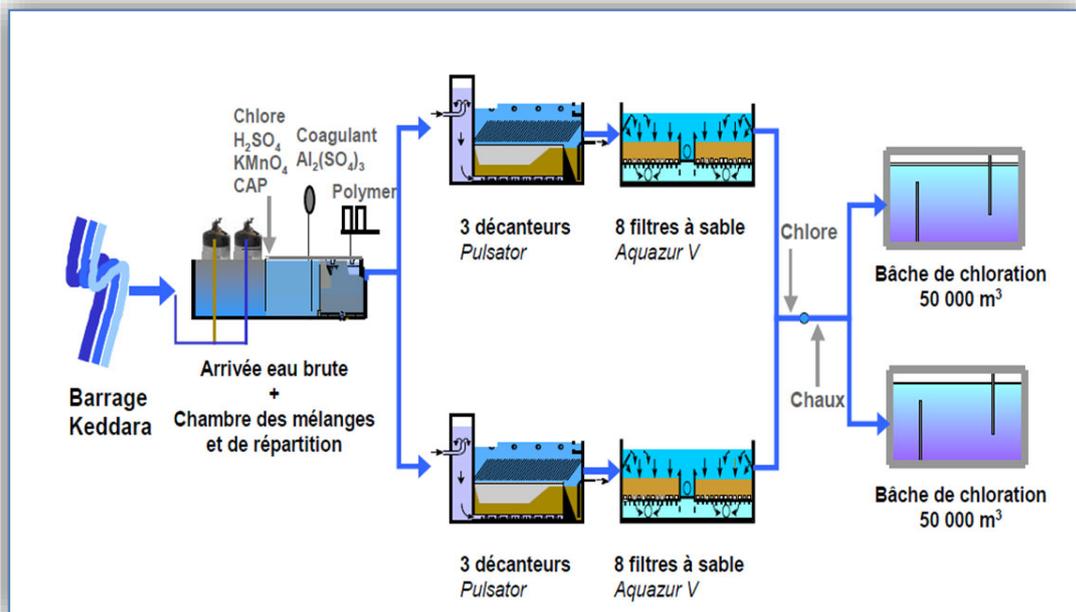


Figure II. 5: Schéma de la filière de traitement [4]

Le procédé de traitement est un procédé classique de potabilisation d'eau de surface. Les différentes étapes de traitement sont :

1. Une pré-aération ;
2. Pré oxydation au chlore (pré-chloration soit : au chlore gaz, hypochlorite de calcium ou sodium) et au permanganate KMnO_4^- ;
3. Correction du pH avec l'acide sulfurique H_2SO_4^- ;
4. Adsorption sur charbon actif en poudre ;
5. Coagulation au sulfate d'alumine ;
6. Flocculation à l'aide d'un polymère anionique ;
7. Décantation lamellaire avec lit de boue (décanteur pulsateur) ;
8. Filtration sur sable (filtre Aquazur V) ;
9. Désinfection finale au chlore gaz, hypochlorite de calcium ou sodium ;
10. Remise à l'équilibre calco -carbonique (lait de chaux) avant le stockage des eaux traitées ;

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 départ vers Alger et du niveau de ces deux réservoirs. L'eau produite est ensuite mélangée avec celle provenant de l'usine de Taksebt avant d'être livrée par gravité vers le réseau d'adduction pour la distribution.

II.3.2. Principaux ouvrages de la station d'eau potable de Boudouaou

Les principaux ouvrages de la station d'eau potable de Boudouaou, sont divisés en quatre grandes parties.

II.3.2.1. L'ouvrage d'arrivée

L'ouvrage d'arrivée est constitué de l'amont vers l'aval de trois chambres à savoir

A. Chambre des obturateurs

L'eau brute s'écoule par gravité via les deux conduites de diamètre 2000 mm au départ du barrage et 1200 mm à l'arrivée de l'usine, puis au diamètre 1000 mm sur la chambre des obturateurs. L'eau est admise dans un ouvrage avec une pression d'entrée de 5-6 bars qui est fonction du niveau des eaux du barrage ainsi que des débits prélevés. L'ouvrage comporte quatre obturateurs à disque NEYRTEC qui ont pour rôle :

- De dissiper l'énergie acquise par les eaux ;
- De réguler manuellement les débits ;

- D'oxygéner et aérées les eaux ;



Figure II. 6: Photo obturateur à disque

B. Chambre de mélange

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, dans le travers de l'ouvrage.

- Pré chloration au chlore gaz, hypochlorite de calcium ou sodium ;
- Pré-oxydation au permanganate de potassium, ce dernier permet l'oxydation du Manganèse, ce traitement est saisonnier ;
- Adsorption au charbon actif, ce traitement est mis en place lors de la dégradation des goûts qui sont générés par les métabolites d'algues (saisonnier) ;
- Correction du PH avec de l'acide sulfurique pour ramener le PH vers un PH de Coagulation ;
- Coagulation au sulfate d'alumine pour la clarification ;



Figure II. 7: Photo chambre du mélange des réactifs

C. Chambre de répartition

La chambre de répartition est prévue pour distribuer l'eau mélangée avec les réactifs de traitement vers les deux filières de traitement (vers les six décanteurs). Elle est équipée de six lames déversantes fixes, le débit d'eau se répartit en deux filières par des six vannes murales 1100 x 1100 pour l'isolement des décanteurs, où se fait l'injection du polymère pour la floculation.



Figure II. 8: Photo chambre répartition

II.3.2.2. Décanteur pulsateur lamellaire

La décantation est assurée par un ouvrage appelé décanteur pulsateur ce dernier permet, l'abattement de la turbidité peut atteindre une valeur de 98% dans les conditions idéales. Le pulsateur est un décanteur lamellaire à lit de boue pulsé qui permet de réaliser les opérations de coagulation, floculation et décantation dans un seul et même ouvrage. Sa conception particulière permet de garantir une qualité parfaite de l'eau décantée, grâce à l'installation de modules lamellaires, quelles que soient les variations de qualité et de débit d'eau brute. Les boues formées par la floculation constituent une masse en expansion. Cette masse est un lit de boue, dont l'homogénéité est maintenue par des cycles pulsatoires, mis en œuvre grâce à une cloche à vide. L'eau préalablement coagulée circule de bas en haut de manière régulière et uniforme au travers de ce lit de boue, et ressort clarifiée à la surface du décanteur.



Figure II. 9: Schéma des principaux constituants de pulsateur lamellaire [4]

La station de Boudouaou est équipée de six décanteurs, non couverts, trois par file de traitement. Chaque décanteur est équipé :

1. Cloche (abritant un ventilateur de mise sous vide et de vannes automatiques assurant les pulsations (mise sous vide puis cassage du vide) ;
2. Concentrateur (collecteur de boue) ;
3. Conduite ramificatrices (clarinettes) sortie d'eau brute mélangée avec les réactifs sur le décanteur ;
4. Tranquillisateurs (pour éviter les mouvements brusques de l'eau) ;
5. Conduites d'extractions des boues (pour l'évacuation des boues) ;
6. Modules lamellaires (des packs lamellaires en partie supérieure de l'ouvrage) ;
7. D'un réseau de collecte (caniveaux béton) de l'eau décantée ;
8. Des vannes de vidange.



Figure II. 10: Photo d'un décanteur pulsateur de la station de Boudouaou.

II.3.2.3. Filtre à sable ‘Aquazur V’

Dédié aux usines de production d'eau potable et au traitement tertiaire des eaux résiduaires, l'Aquazur V® est un filtre ouvert à sable à courant descendant. Comme tout filtre, c'est un séparateur solide-liquide. Il est destiné à retenir les matières en suspension (MES) présentes dans l'eau à traiter grâce à une épaisse couche de sable. L'homogénéité du sable augmente la durée des cycles de filtration, l'épaisseur permet de filtrer à grande vitesse et la grande hauteur d'eau (1,20 m) évite les dégazages. Généralement, l'eau à filtrer est l'effluent provenant d'un procédé de clarification, c'est-à-dire d'un décanteur. L'eau est généralement distribuée au-dessus du sable par le déversoir d'entrée. Elle traverse le sable où les matières en suspension sont retenues.

L'eau filtrée est ensuite orientée vers les étapes ultérieures du traitement. Lorsque l'accumulation des impuretés conduit à une valeur préétablie de perte de charge dans le lit filtrant, le filtre doit être lavé.

L'usine est équipée de huit filtres à sable de type Aquazur V sur chaque filière de traitement. Ces derniers sont équipés de :

1. Cuve en béton séparée en deux ; dont le planché contient 8820 Buselures ;
2. Distribution d'air de lavage ;
3. Diaphragme et déversoir à partir de la goulotte d'eau à filtrer ;
4. Goulotte en 'V' avec nombreux orifices ;
5. Vannes à vessie (point de passage de l'eau a filtrée) ;
6. Vanne de vidange ;
7. Capteur de colmatage ;
8. Capteur de niveau ;
9. Vanne d'air (purge) ;
10. Vanne de régulation à double effets ;



Figure II. 11 : Photo d'un filtre Aquazur V de la station de Boudouaou.

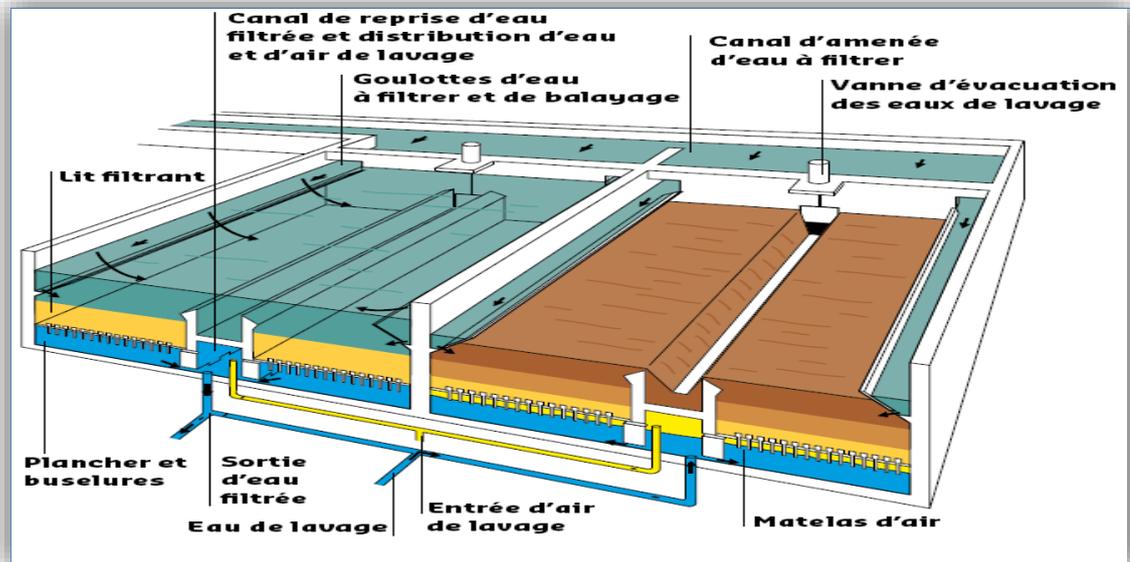


Figure II. 12: Schéma des principaux constituants de l'Aquazur V [4]

II.3.2.4. Les réservoirs du stockage

La station dispose de quatre réservoirs semi-enterrés dont deux avec une capacité de 50.000 m³ chacune qui sont destinés à stocker l'eau traitée 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.

II.4. Laboratoire de process du centre de traitement Boudouaou

Le laboratoire de process au centre de traitement est subdivisé en deux laboratoires, un réservé à l'étude physico-chimique et l'autre réservé à l'étude bactériologique, l'étude analytique de l'eau est réalisée dans le cadre d'études et de recherches d'ordre physique,

chimique et bactériologique. Il est à noter que le laboratoire est composé également d'une salle de pesage et de deux bureaux un pour le chef de service et l'autre pour l'équipe des chimistes.

Conclusion

Le deuxième chapitre est consacré totalement à la présentation de la société des eaux et de l'assainissement d'Alger.

Dans un premier temps on a présenté la société des eaux et de l'assainissement d'Alger (SEAAL) à savoir des différents services, mission et défis. Par la suite on a abordé la description du système SPIK d'alimentation eau potable d'Alger et ces multiples ouvrages et en conclusion on a parlé sur de la station de traitement et les procédés de traitement adaptés au niveau de SEAAL (ouvrages, laboratoires ...)

La station de traitement a été dimensionnée pour traiter un débit maximal d'eau du barrage de Keddara de $540\,000\text{ m}^3/\text{j}$, et aussi traité les eaux des barrages Béni-Amrane et El Hamiz. Le centre de traitement alimenter la capitale Alger avec une population estimée 4.000.000 d'habitants et quelques localités de la Wilaya de Boumerdes.

Chapitre III

Traitement de clarification

III .Traitement de clarification

Introduction

Dans ce contexte, l'objectif de notre travail est de faire une synthèse bibliographique sur les procédés de clarification en particulier la coagulation floculation, décantation et filtration. Pour aboutir à notre objectif, notre chapitre sera structuré par des généralités sur le traitement de clarification, tout en défini, les différents paramètres jouant un rôle primordial dans les procédés de clarifications tels que les différents mécanismes et théories ainsi que les facteurs qui influent sur ce phénomène.

III.1. Traitement de clarification

La clarification représente une étape très importante du traitement de l'eau, elle se définit par toutes les opérations qui permettent l'élimination des matières en suspension (minéraux et organiques) et des matières organiques dissoutes de l'eau brute, en fonction de la concentration de l'un et de l'autre en différents polluants. Des opérations plus complexes sont nécessaires, de la simple filtration avec ou sans réactifs à la coagulation-floculation-décantation ou flottation.

La clarification = Coagulation - Floculation - Décantation - Filtration

III.1.1. Caractéristiques des particules à éliminer

III.1.1.1. Généralités

Les particules en suspensions dans les eaux de surface proviennent de l'érosion des sols, de la dissolution des minéraux et de la décomposition des matériaux. De manière générale, la turbidité de l'eau est causée par des particules inorganiques (argile), tandis que sa couleur est causée par des particules organiques.

Les substances présentes dans l'eau apparaîtront dans les trois états suivant :

- Etat en suspension contenant les plus grosses particules ;
- Etats colloïdal ;
- Etat dissous des sels minéraux et des molécules organiques.

Les matières en suspension

Les matières en suspension rencontrées dans l'eau (principalement les eaux de surface) sont de nature et de taille très diverses, elles sont composées de quartz, d'argile, de sels minéraux insolubles, de particules organiques composées de micro-organismes, et de produits de dégradation d'animaux ou de plantes.

Les particules colloïdales

Le diamètre des particules colloïdales est compris entre 1 μ m et 1nm .Ils ont deux autres caractéristiques très importantes. Leur rapport surface/volume leur confère la caractéristiques d'absorber les ions présents dans l'eau. Ce phénomène explique la présence de charges électriques à sa surface. Ces charges sont généralement des charges négatives, qui produisent des forces de répulsion entre les colloïdes. Ceci permet d'expliquer la grande stabilité de ces particules lorsqu'elles sont mises en solution [17].

La densité relative des matériaux colloïdaux d'origine minérale est d'environ 2.65, tandis que la densité relative des matériaux colloïdaux d'origine organique est beaucoup plus faible, soit environ 1.1.

III.1.1.2. Structure des particules colloïdes

La surface des particules colloïdales est chargée négativement, attirant des ions positifs dans la solution aqueuse pour former une couche de liaison ou couche STERN(potentiel thermodynamique), puis attirant des anions accompagnés d'une petite quantité de cations ,qui est une couche de diffusion ou GOUY , formant ainsi un ion double couche , qui s'accompagne de ces mouvements .Pour les particules ,un autre mouvement indépendant peut avoir un certain retard [7].

On en déduit que l'élimination des particules colloïdales est obtenue par l'élimination de la force répulsive. Par conséquent, des produits chimiques de coagulation (comme le chlorure ferrique) sont ajoutés pour détruire la stabilité des particules et favoriser leur agglomération.

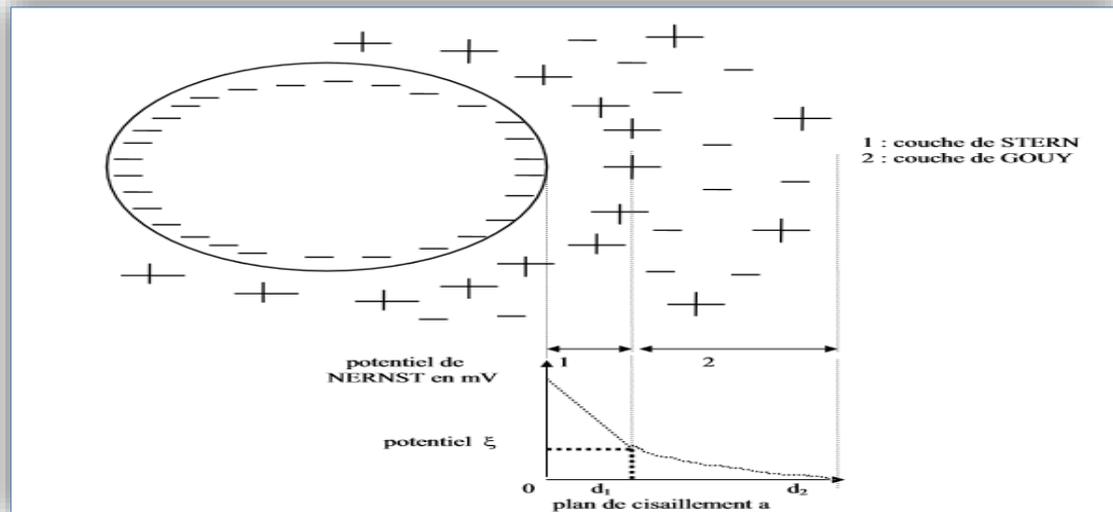


Figure III. 1: Distribution du potentiel électrique autour d'un colloïde chargé négativement [7]

III.1.1.3. Stabilité des particules colloïdes

Les particules colloïdales dans l'eau portent une charge généralement négative. Comme ils ont tous la même charge, ils se repoussent et ne forment pas d'agrégats plus gros, ils sont donc plus faciles à éliminer. Ils restent donc stables.

Force d'attraction-répulsion

Le colloïde est soumis à deux forces de sens opposés :

- ✚ Force d'attraction gravitationnelle de VAN DER VAALS (FA), est liée à la surface spécifique à la masse du colloïde et aux propriétés du milieu.
- ✚ La répulsion électrostatique (FR), est liée à la charge de surface des colloïdes et donc à leur potentiel zêta (ζ) [6].
- Si $FA > FR$, l'agrégation se produit.
- Si $FR > FA$, il y a principalement de la force de répulsion entre particules colloïdales, l'énergie totale d'interaction (E) entre particules colloïdales est la somme de l'énergie de répulsion (E_r) et de l'énergie d'attraction (E_a) provoquée par le potentiel électrique.

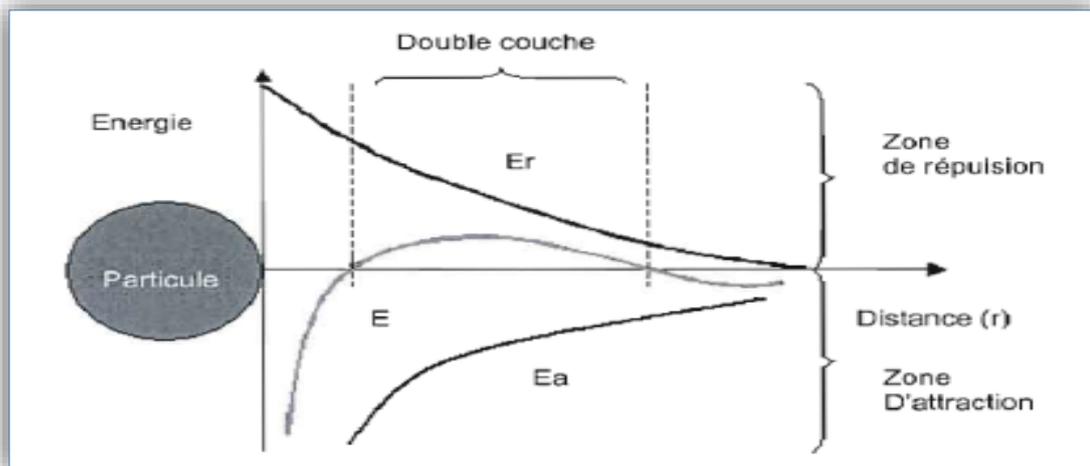


Figure III. 2: Effet de la distance entre deux particules colloïdes sur la force de répulsion électrique (E_r) la force d'attraction moléculaire (E_a) et la force résultante [6]

Théorie double couche

Afin d'expliquer la grande stabilité des colloïdes, nous utiliserons la théorie de la double couche électrique. Diverses théories expliquent ce phénomène :

- A. Théorie de Helmholtz :** une couche d'ions positifs recouvre entièrement la surface du colloïde et assure la neutralité de l'ensemble (couche fixe).
- B. Théorie de Gouy-Chapman :** la couche d'ions positifs est inégalement répartie autour du colloïde, la neutralité est obtenue à la plus grande distance (couche diffuse).
- C. Théorie de Stern :** combinant les deux théories précédentes et considèrent la formation de doubles couches, la première est formée d'ions liquides mais adhère au colloïde, et la seconde diffuse dans le liquide environnant [19]. Le colloïde a deux énergies potentielles :

- Potentiel thermodynamique ou potentiel STERN

C'est la frontière entre la partie de la solution qui se déplace avec les particules et la partie de la solution qui se déplace indépendamment des particules.

- Potentiel électrocinétique Zêta

Le potentiel électrostatique mesuré sur le plan de cisaillement est appelé potentiel Zêta. En fait, elle est négative, plus la charge de la particule est forte (négative). Par conséquent, lorsque la valeur absolue diminue, les particules peuvent se rapprocher, augmentant ainsi la probabilité de collision [6].

L'élimination du potentiel Zêta est l'objectif de la coagulation. Cela aide à déstabiliser les particules et favorisent leur agglomération.

III.1.1.4. Déstabilisation des particules colloïdales

Quatre mécanismes sont proposés pour expliquer l'instabilité et l'agglomération des particules :

- ✚ Compression de la double couche ;
- ✚ Adsorption et neutralisation des charges ;
- ✚ Retenir les particules dans le sédiment ;
- ✚ Adsorption et pontage entre les particules ;

Ces quatre mécanismes sont brièvement décrits :

Compression de la double couche

L'augmentation de la force ionique de l'eau réduit le volume et l'épaisseur de la couche diffusion. La force répulsive est fortement réduite et l'attraction de Van der Waals n'est pas affectée.

Adsorption et neutralisation des charges

Ce mécanisme repose sur l'ajout de suffisamment de cations pour neutraliser la charge négative des particules stabilisées par les cations adsorbés à la surface des particules stabilisées. D'autre part, une utilisation excessive du coagulant comme source de cations provoquera une adsorption excessive des cations et inversera la charge des particules, puis deviendrait chargées positivement. Par conséquent, les particules seront à nouveau stabilisées [20].

Emprisonnement des particules dans un précipité

Lorsqu'une quantité suffisante de coagulant tel que $Al_2(SO_4)_3$ ou $FeCl_3$ est ajoutée, ils formeront un précipité qui est généralement chargé positivement. Le pH de l'eau doit être dans la plage où le sel a le moins de solubilité. Les floccs formés, qui entrent en contact avec des particules chargées négativement et les capturent. Les particules sont ensuite entraînées lors du processus de décantation [6].

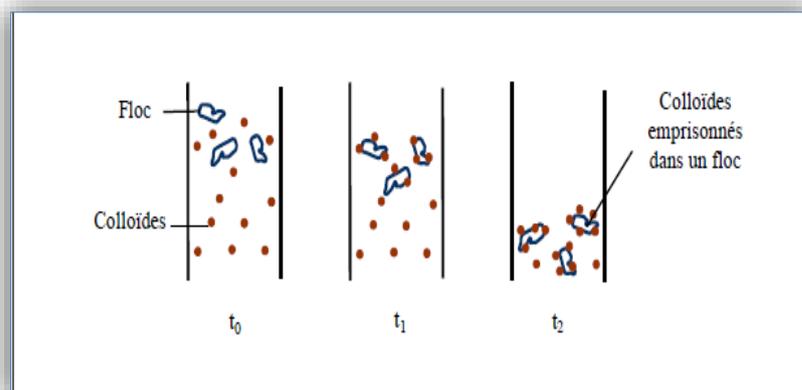


Figure III. 3:Emprisonnement des particules dans les floccs pendant la décantation [6]

Adsorption et pontage entre les particules

Ce mécanisme implique l'utilisation de polymères cationiques, nonanioniques ou anioniques de poids moléculaire élevé et de structure longitudinale. Le polymère colloïdal utilise l'un de ces groupes fonctionnels pour l'absorber à l'une de ses extrémités. L'autre extrémité reste libre et peut absorber un autre colloïde.

Ce mécanisme permet aux particules d'être agglomérées par le « pontage » du polymère. En revanche, une concentration trop élevée en polymère stabilisera à nouveau le colloïde. Ensuite, les polymères verront que chaque extrémité d'entre eux est absorbée par les mêmes particules, entraînant une restabilisation.

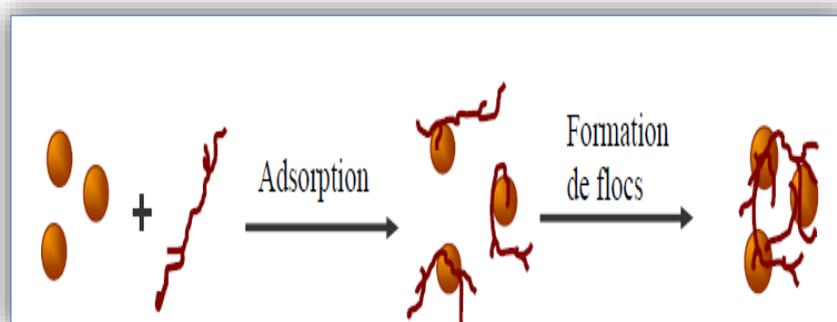


Figure III. 4: Adsorption et pontage à l'aide de polymères [6]

III.1.2. Coagulation –Floculation

L'opération de coagulation-floculation a donc pour but de faire croître les particules en suspension, puis de former des flocons par adsorption et agrégation. Les flocons ainsi formés seront ensuite décantés et filtrés. Les particules colloïdales dans la solution sont

« naturellement » chargées négativement. Par conséquent, ils ont tendance à se repousser et restent donc suspendus. On dit que les particules dans la solution sont stables.

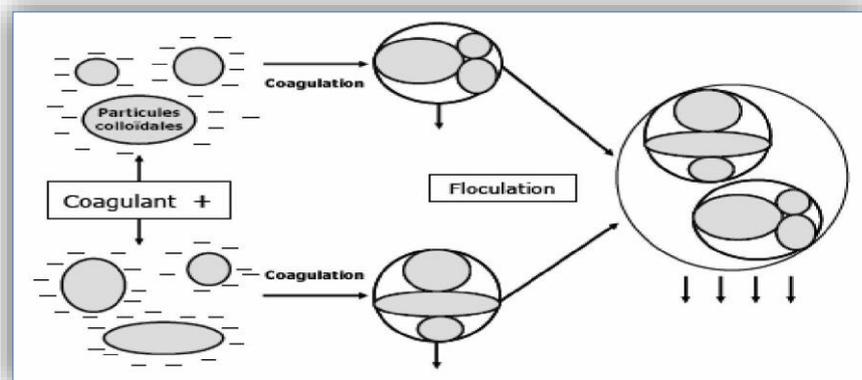


Figure III. 5: Coagulation – Flocculation [4]

✚ *Coagulation*

Le mot « **coagulation** » vient du latin « **coagulare** » qui signifie « **agglomérer** ». Afin d’assembler les fines particules dispersées en agrégats plus gros, l’ajoute de réactifs chimiques à la dispersion aqueuse provoquera une coagulation [14].

Le but principal de la coagulation est rendre instable les particules de la suspension en neutralisant leur charge négative, c’est-à-dire de favoriser leur agglomération. La particularité de cette opération est l’injection de réactifs chimiques appelés coagulants. Ce processus nécessite beaucoup d’agitation. Les particules colloïdales sont de très petites particules et ne peuvent pas se réunir naturellement.

✚ *Flocculation*

La flocculation est l’utilisation de flocculants ou adjuvants de flocculation pour former des flocons de plus grande taille. Ce phénomène nécessite une agitation.

Après déstabilisation, les particules colloïdales ont tendance à s’agglomérer au contact les unes des autres. Le taux d’agglomération des particules dépend de la probabilité de contact et de l’efficacité de ces derniers. Du fait de l’agitation du fluide, la flocculation a pour but d’augmenter la possibilité de rencontres entre particules. Cela permet aux particules de se rassembler et de former des amas de plus en plus gros.

III.1.2.1. Les facteurs influençant la coagulation

Afin d'optimiser la coagulation, plusieurs variables doivent être considérés : pH, sel dissous, température de l'eau, coagulant utilisé, conditions de mélange, turbidité et couleurs. Ces interrelations complexes rendent impossible la prédiction de la concentration optimale de coagulant [21].

❖ *Influence du pH*

Le pH est considéré comme l'un des facteurs les plus importants à prendre en compte lors de la réalisation d'opérations de coagulation-floculation.

❖ *Influence de la température de l'eau*

Il existe peu d'information sur l'effet de la température de l'eau sur la coagulation. Cependant, l'expérience a montré qu'en hiver, lorsque la température de l'eau avoisine les 0°C, les floc sont plus difficiles à déposer et ont tendance à pénétrer plus profondément dans le filtre.

Une diminution de la température de l'eau entraîne une augmentation de sa viscosité, ce qui explique pourquoi les flocs sont difficiles à décanter. On observe en outre que la plage de pH optimale se rétrécit. Il existe de nombreuses façons de surmonter les difficultés causées par la baisse de la température de l'eau :

1. Coaguler dans la plage de pH optimale pour cette eau à cette température ;
2. L'augmentation de la quantité de coagulant a pour effet d'augmenter la probabilité de collision entre les particules et d'élargir la plage de pH optimale ;
3. Augmente la turbidité de l'eau pour alourdir les flocs, ou ajouter un coagulant pour alourdir et renforcer les flocs [23].

❖ *Influence de la turbidité*

La turbidité des eaux de surface est principalement due à la présence de particules d'argile dont le diamètre varie de 0.2 à 5 µm. Ce sont donc de grosses particules colloïdales qui peuvent se déposer naturellement. Lorsque la valeur du pH est maintenue dans sa plage optimale, la coagulation de ces particules peut être facilement réalisée.

❖ *Influence des sels dissous*

La teneur en sel de l'eau a les effets suivants sur la coagulation et floculation :

- Ajuster la plage du pH optimale ;
- Modification du temps nécessaire à la floculation ;
- Ajuster la quantité de coagulant nécessaire ;
- Modifier la quantité résiduelle de coagulant dans l'effluent.

❖ **Influence du coagulant**

Le choix du coagulant affectera les caractéristiques de la coagulation. On ne peut pas choisir un coagulant et déterminer la meilleure concentration pour une eau donnée qu'après des tests en laboratoire.

III.1.2.2. Types de coagulants-floculant utilisés

Les coagulants

Le choix du coagulant dépend de son efficacité à réduire la couleur de l'eau, la turbidité et la matière organique.

Les principaux coagulants utilisés pour déstabiliser les particules et pour produire des floes sont présentés dans le tableau suivant.

Tableau III. 1: Dérivés des sels d'aluminium et de fer [6]

Réactifs utilisés		Formule chimique
Sels d'aluminium	Sulfate d'aluminium	$Al_2 (SO_4)_3$
	Chlorure d'aluminium	$AlCl_3$
	Aluminate de sodium	$NaAlO_2$
Sels de fer	Sulfate ferrique	$Fe_2 (SO_4)_3$
	Chlorure ferrique	$Fe_2 Cl_3$
	Sulfate ferreux	$FeSO_4$

Les adjuvants de floculation

Les flocculants ou adjuvants de floculation sont pour la plupart des polymères à très haut poids moléculaire.

Ces polymères piègent la matière colloïdale agglomérée pour former de gros flocons qui se déposent par gravité. Ils sont ajoutés après coagulation pour augmenter encore la taille et la cohésion des flocons, il peut s'agir de minéraux, de matières organiques naturelles ou de matières organiques synthétiques [22].

III.1.3. Décantation

La décantation est la méthode la plus couramment utilisée pour séparer les matières en suspension et les colloïdes (collectés sous forme de flocons après l'étape de floculation). Comme nous le savons tous, les particules en suspension vont décanter en fonction de la taille, donc afin d'obtenir un bon effet de décantation, le diamètre des particules doit être augmenté, donc l'effet écrasant de la coagulation et de la floculation.

III.1.3.1. Types de décanteur

Il existe trois types de décanteur

Décanteur simple

La caractéristique des décanteurs traditionnels est que la superficie de décantation est égale à la superficie de base. Le décanteur le plus simple est constitué d'un bassin parallélépipédique avec une zone d'entrée et deux zones de sortie (une pour le trop-plein et l'autre pour les boues).

Décanteur lamellaire

Le décanteur dit lamellaire est généralement constitué d'une succession d'éclats qui, par rapport au décanteur traditionnel à écoulement horizontal, permet d'augmenter la surface utile de décantation tout en réduisant la surface au sol.

Pour que le décanteur lamellaire soit efficace, les particules à précipiter doivent changer leur morphologie dans la structure lamellaire par agglomération, de sorte qu'une fois qu'elles quittent la structure lamellaire, elles ne seront plus entraînées par le flux liquide, mais pourront s'écouler au fond, cuve de sédimentation [24].

Décanteurs à circulation de boues

Ils favorisent un bon contact entre l'eau et les boues en récupérant totalement ou partiellement les boues dans la tour centrale réaction. De plus, la cueillette des flocons permet de permettre des sédimentations plus rapides.

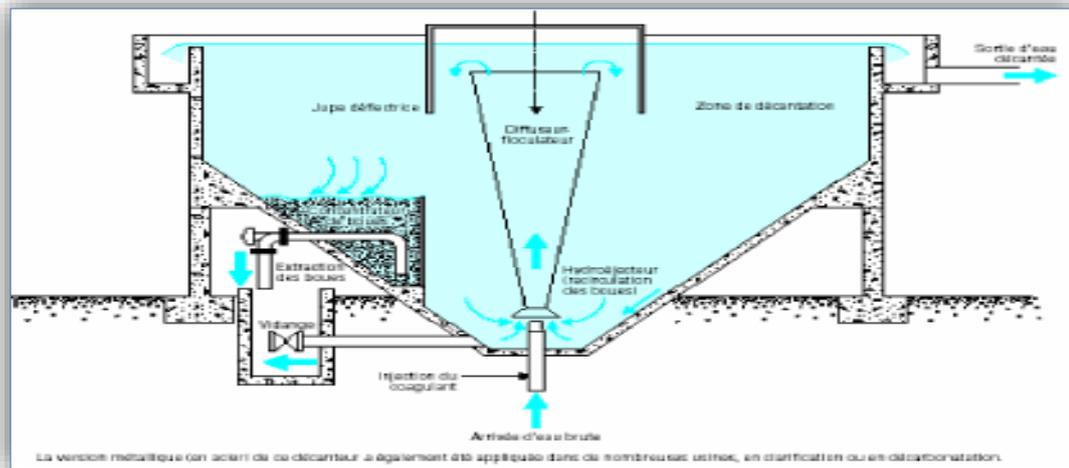


Figure III. 6: Schéma d'un décanteur circulator [3]

Décanteurs à lit de boues

Ce type d'équipement est principalement représenté par un pulseur, dans lequel l'eau à clarifier passe verticalement à travers le lit de boues comme un filtre fluidisé très efficace. La pulsation garantit une bonne floculation et l'homogénéité du lit de boues avec la même surface de décantation, et la vitesse autorisée est également 2 à 3 fois supérieure à celles des équipements statiques.

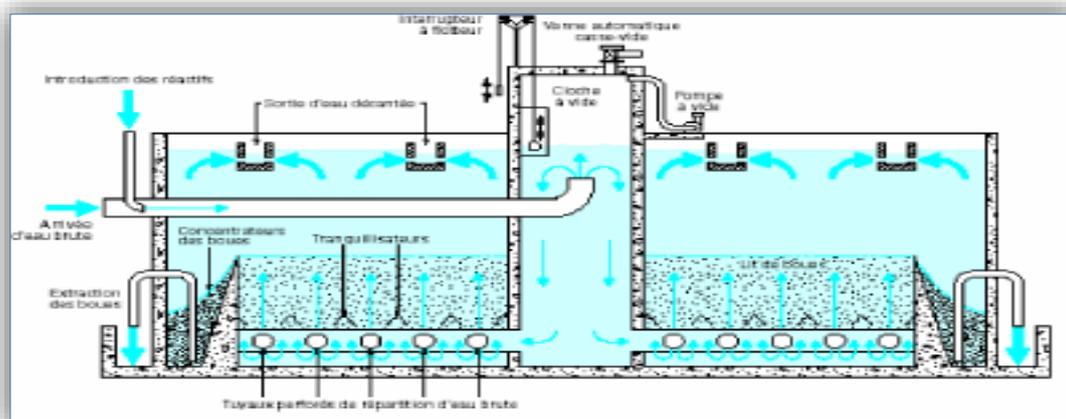


Figure III. 7: Décanteur Pulsator [3]

III.1.3.2. Problème liés à la décantation

Les problèmes les plus courants peuvent provenir de plusieurs sources, à savoir :

- **Présence de sable** : un dessablage initial empêchera le décanteur d'accumuler dans les matières en suspension.
- **Fortes pointes de matières en suspension** : selon la situation, le dispositif de raclage statique est préféré à la décantation accélérée, ou le débourbeur (cuve de pré-décantation spécialement conçue) est en contact avec les boues, cette effet est injecté ou non en amont du dispositif d'accélération.
- **Changements brusque de températures** : en raison de la convection qu'ils produisent, si l'eau n'est pas parfaitement répartir dans l'équipement, un changement brusque de température provoquera le démarrage des boues.
- **Abondance d'algues** : les bulles d'air qu'elles libèrent font monter les boues. Habituellement, la pré-chloration et la pré-ozonation sont utilisées pour le prétraitement. L'utilisation de charbon actif en poudre pour le traitement en même temps peut entraver ces phénomènes.

III.1.4. Filtration

La filtration est un procédé de séparation solide/ liquide qui retient les particules en suspension dans l'eau brute ou l'eau prétraitée à travers un milieu poreux (le plus souvent du sable). Lorsque les particules solides atteignent la couche filtrante, elles se déposent et absorbent toute matières minérales ou organique qui arrive par la suite. Cela peut conduire à la formation de biofilm. Au fil du temps, la taille des pores du filtre va diminuer et on dit qu'il est bouché.

III.1.4.1. Le rôle de la filtration

Ainsi, dans la plupart des cas, la chaîne de traitement se termine par un filtre ou plus précisément une batterie composée de plusieurs filtre, de sorte que le fonctionnement de l'équipement peut être maintenu lorsque l'un des filtre est arrêté en raison anomalie. Les particules à éliminer peuvent exister naturellement dans la ressource sous forme d'argile, de limons, de sable, de plancton, de bactéries, de parasites et de virus.

III.1.4.2. Critères de choix du type de filtration en fonction de la qualité de l'eau et du prétraitement

Le tableau présenté ci-après indique les domaines possibles d'application des différents types de filtration (filtration rapide conventionnelle, directe ou en ligne, filtration lente) en fonction de certaines caractéristiques de l'eau brute.

Tableau III. 2: Types de filtration [7]

Prétraitement avant filtration	Type de filtration	Qualité de l'eau Brute			
		Turbidité (NTU)	Couleur (CU)	Algues (unités/ml)	Coliformes Totaux (100 ml)
Coagulation Floculation Séparation	Filtration rapide mono ou bicouche	Pas de restriction	<75	Pas de restriction	<5000
Coagulation floculation	Filtration rapide mono ou bicouche	< 15	<40	< 1 000	<500
Coagulation contact	Filtration rapide mono ou bicouche	<15	<20	< 1 000	<500
Coagulation Directe	Filtration rapide mono ou bicouche	<15	<20	< 1 000	<500
Microtamisage	Filtration lente	< 10	<5	<200	<800

III.1.4.3. Les types des filtres

❖ Les filtres à sable rapides

Les plus couramment utilisés pour l'eau potable à des vitesses de 5 à 10 m/h, ils conviennent aux eaux probablement traitées. La filtration rapide sur sable est un processus physique pour éliminer les solides en suspension dans l'eau. Cette filtration rapide est plus courante car le filtre à sable rapide a un débit relativement élevé et nécessite un petit espace de fonctionnement. Pendant le processus de filtration, la vitesse de l'eau peut atteindre 20 mètres par heures. Le filtre est généralement nettoyé deux fois par jour.

❖ Les filtres à sable lents

Du fait du développement d'une grande quantité de biomasse, la filtration lente (0.08 à 0.4 m/h) constitue en elle-même un traitement quasi complet de l'eau brute. La filtration lente sur sable est un processus biologique car elle utilise des bactéries pour traiter l'eau. Les bactéries forment une couche au-dessus du sable et nettoient l'eau qui traverse, digérant les polluants dans l'eau. La couche bactérienne est appelée biofilm. Le système de filtre à sable lent est utilisé depuis de nombreuses années [7].

III.1.4.4. Lavage des filtres

Peut déclencher le nettoyage du filtre à sable :

- ❖ Lorsque le point de consigne de perte de charge maximale est atteint ;
- ❖ Si la qualité de l'eau filtrée baisse ;
- ❖ Passez le signal.

Les différents **programmes** de lavage courants peuvent être subdivisés comme suite :

- ✓ **1^{ère} étape:** rétrolavage, Injection d'air à contre courant, dans le but est de démanteler le lit de matière progressivement compacté et filtré ;
- ✓ **2^{ème} étape :** lavage, en avant avec l'air et de l'eau filtré à contre-courant. A ce stade , la combinaison de la force de cisaillement appliquée aux sédiments et du frottement entre les particules peut séparer les particules qui adhèrent aux particules lors du cycle de filtration ;
- ✓ **3^{ème} étape:** rinçage, seule injection d'eau, la vitesse est supérieure à l'étape de lavage. L'étape de rinçage pour but d'évacuer les matières en suspension libérées lors de l'étape air + lavage du matériau filtrant l'eau.

Le nettoyage du filtre à sable selon cette technologie (air + eau) nécessite un volume total d'eau de nettoyage d'environ 4 mm de surface du filtre. Dans ces conditions, à raison de lavage du filtre toutes les 24 heures, la perte de d'eau provoquée par le lavage atteindra environ 3% du débit [3].

Les séquences cas de lavage du filtre Aquazur V

- Réduire le plan d'eau au niveau du réservoir ;

- L'eau filtrée revient à une vitesse de 7-15 m/h, qui liée à l'air de lavage de 50-60 m/h et au lavage de l'eau filtrée de 7 m/h. Les buselures assure l'air et l'eau la réparation uniforme de l'eau ;
- Rinçage par retour d'eau filtrée à 13-15 m/h avec un débit de balayage d'environ 7m/h ;
- Temps de total de lavage : 15 à 30 minutes ;
- Volume d'eau de lavage : 4 à 5 m³/m² de surface filtrante, dont 2 à 2,5 seulement d'eau filtrée [4].



Figure III. 8 : Photo de lavage du filtre Aquazur V.

Conclusion

Donc ce chapitre , nous avons décrit les différentes étapes de la clarification dans une chaine de traitement d'eau potable qui est une étape la plus importante et la plus courante pour l'élimination des matières en suspension, des matières colloïdales et des macromolécules susceptibles pouvant augmenter la turbidité et provoquer aussi des couleurs indésirables. Nous avons détaillé, plus particulièrement, les procédés de coagulation, floculation, décantation et de filtration, sur lesquels porte spécifiquement notre travail.

Cependant, il s'avère nécessaire de s'intéresser également aux étapes de traitement en amont (pré-oxydation) et en aval (désinfection) de la coagulation- floculation car celles-ci peuvent conditionner l'efficacité de la clarification et donc l'optimisation du traitement d'une eau de surface.

Chapitre IV

Matériels et méthodes

IV. Matériels et méthodes

Introduction

Dans ce chapitre, nous allons présenter les réactifs, produits chimiques et matériel qui ont été utilisés dans notre étude, et de la méthodologie expérimentale adoptée pour réaliser ce travail. On détaillera les modes et protocoles opératoires de préparation des solutions, les techniques et méthodes de mesure et d'analyse suivie pour la préparation, caractérisation et l'évaluation de la qualité physico-chimique des eaux avant et après le traitement.

L'effet de prétraitement et les conditions opératoires tels que le : la concentration initiale des matériaux (coagulant, floculant adjuvants), du pH,...etc. Ont été également étudiés.

Et on conclusion on décrit les essais de jars test qui ont été réalisés pour l'étude de l'Optimisation du traitement de clarification.

IV.1. Echantillonnage

Ce travail a été réalisé au laboratoire de procès du centre de traitement d'eau de Boudouaou, à laquelle des échantillons des différentes phases de traitement, sont arrivés au laboratoire par billet des pompes d'échantillonnage qui fonctionnent en continue 24H/24 .



Figure IV. 1: Lieu de prélèvement centre de Boudouaou

IV.2. Matériels

Pour réaliser cette étude d'optimisation de traitement de clarification par optimisation de processus de coagulation -floculation, on a utilisé des produits chimique (sulfate d'alumine, poly-électrolyte, charbon actif en poudre, hypochlorite de sodium, acide chlorhydrique (HCl),

acide sulfurique...etc.). Ainsi que des matériels d'un laboratoire (verreries, équipements et accessoires de laboratoire, appareils,...etc.) ;

Le matériels et produits chimiques utilisés sont illustrés dans les tableaux suivants :

Tableau IV. 1: Produits chimiques utilisés

Produits chimiques	Utilisation
Acide Sulfurique	Correction de pH
Chaux	Traitement de neutralisation, Augmentation de pH
Charbon actif en poudre	Adjuvant, traitement d'adsorption
Sulfate d'alumine	Coagulant
Hypochlorite de sodium	Traitement de chloration

Tableau IV. 2: Matériels utilisés

Matériels	Marque	Utilisation
pH-mètre	METTLER TOLEDO	Mesure de pH
Turbidimètre	HACH 2100N	Mesure de Turbidité
Conductimètre	HACH sension 7	Mesure de la conductivité
Spectrophotomètre UV/Visible	HACH DR-5000	Méthodes d'Analyse et dosage
Floculateur de laboratoire	FLOCUMATIC SELECTA	Essais de jars teste

IV.3. Méthodes d'analyses

Plusieurs méthodes d'analyses ont été utilisées pour l'analyse de différents paramètres.

Les principaux paramètres physico-chimiques et bactériologiques caractéristiques de ces eaux sont déterminés par les méthodes standards d'analyse décrites sur les modes opératoires utilisés à cet effet au niveau de laboratoire procès de centre de traitement Boudouaou, pour optimisés les essais de coagulation-floculation, plusieurs méthodes d'analyse sont été utilisées pour l'analyse de différents paramètres.

➤ Température

Il est important de connaître la température de l'échantillon d'eau à traiter avec une bonne précision. En effet celle-ci joue un rôle dans la solubilité des gaz, la dissolution des sels et dans la détermination du pH. Elle se fait à l'aide d'une sonde de température qui est connectée au pH-mètre.

➤ Potentiel d'hydrogène (pH)

La mesure de pH permet de déterminer l'acidité ou alcalinité d'une solution, souvent qu'il se trouve dans la bande 0 à 7 ou 7 à 14 constitue la neutralité du milieu. Le pH d'un échantillon dépend également de la température en raison de l'équilibre de dissociation.

Mode opératoire

- ✓ Etalonner l'appareil avant la mesure, avec des solutions tampons à pH=7, pH = 4 et après avoir rincé l'électrode en verre avec de l'eau distillée.
- ✓ Prendre environ 100 ml d'eau à analyser dans un bécher, tremper l'électrode dans le Bécher. Laisser stabiliser un moment avec une faible vitesse d'agitation et noter le pH.



Figure IV. 2: PH -mètre

➤ Conductivité

La détermination de la valeur de la conductivité est basée sur la mesure du courant électrique conduit par les ions présents dans l'eau, et dépend :

- De la concentration et de la nature des ions.
- De la température et de la viscosité de l'échantillon.

Le conductimètre est le Mettler Toledo SevenEasy équipé d'une électrode de mesure, d'une sonde de température et d'un convertisseur fourni par le fabricant.



Figure IV. 3: Conductimètre

Mode opératoire

- ✓ On remplit un bécher avec une quantité d'eau.
- ✓ On rincer l'électrode avec de l'eau distillée avant et après chaque utilisation et bien l'égoutter.
- ✓ On met l'électrode dans le bécher, puis on appui sur la touche READ.
- ✓ la valeur de la Conductivité s'affiche sur l'écran de l'appareil avec une unité de micro siemens par Centimètre ($\mu\text{s} / \text{cm}$). (les mêmes étapes pour la mesure de la température).

➤ Turbidité

La mesure de la turbidité permet de préciser les informations visuelles sur l'eau, elle traduit la présence des particules en suspension dans l'eau (organismes microscopique, argile). Cette mesure se fait avant et après chaque phase de traitement (Jar test, décantation, filtration...etc.) par un turbidimètre. Son principe repose sur la Comparaison de la lumière diffusée et la lumière transmise par échantillon d'eau et par une gamme étalon constituée de solution formazine.

Mode opératoire

- ✓ Rincer la cellule de mesure avec l'échantillon à analyser (avant mesure) ;
- ✓ Remplir la cuve sans faire de bulle, visser le bouchon et sécher la cuve ;

- ✓ Insérer la cuve dans le puits de mesure en plaçant la flèche de la cuve face au repère ;
- ✓ Fermer le capot de l'appareil, appuyer sur (**ENTER**) et lire la valeur.



Figure IV. 4: Turbidité

➤ **Absorbance UV à 254 nm**

La spectrophotométrie UV-visible est une méthode d'analyse quantitative fondée sur la quantité d'énergie absorbée par les molécules traversées par un faisceau de lumière monochromatique. L'énergie absorbée correspond à une transition électronique d'un niveau fondamental à un niveau excité. L'intensité de cette absorption est en fonction de la concentration de l'espèce absorbante, elle est exprimée par la loi de Beer-Lambert.



Figure IV. 5: Spectrophotomètre UV - visible

La détermination des absorbances de l'eau brute de Keddara peut nous renseigner sur:

- sur le contenu organique d'une eau, notamment la fraction aromatique « indice caractéristique des substances possédant une ou plusieurs doubles liaisons (carboxyliques, benzéniques...) ».
- sur la teneur en substances humiques d'une eau naturelle (eau de surface).

➤ **Analyse et dosage des matières organiques**

A. L'oxydabilité au permanganate de potassium (KMnO₄)

Cette mesure renseigne sur la concentration en matières organiques présentes dans une eau peu chargée. On utilise un oxydant, le permanganate de potassium (KMnO₄), qui, dans des conditions opératoires précises, va oxyder des molécules présentes dans l'eau. Ces molécules sont essentiellement des molécules organiques mais les molécules minérales peuvent être également oxydées. Le KMnO₄ n'attaque pas toutes les molécules organiques mais il est très utilisé pour suivre l'évolution de la matière organique dans une station de traitement. L'oxydation des matières organiques et des substances oxydables est effectuée par le permanganate de potassium à chaud ou à froid. La méthode à chaud est la plus utilisée à cause de sa rapidité.

C'est la concentration en masse d'oxygène en relation avec les ions permanganates consommées par l'échantillon d'eau dans des conditions définies exprimée en mg/L d'oxygène.

Principe

Mesure en milieu acide la quantité d'oxygène utilisée pour la réduction du KMnO₄ par les matières oxydables organiques contenues dans l'eau (l'échantillon).

Chauffage d'un échantillon en présence d'une quantité connue de permanganate de potassium et d'acide sulfurique pendant une période donnée (10 min).

Réduction d'une partie du permanganate par les matières oxydables présentes dans l'échantillon.

Détermination de l'excès de permanganate par addition d'une solution d'oxalate, suivi par un titrage de l'oxalate en excès par le permanganate.

Matériel utilisé

- Matériel courant de laboratoire : pissette d'eau distillée, verreries (fioles, pipettes, béchers, etc.)
- Plaque chauffante.
- Burette graduée.

Mode opératoire

- ✓ Tout d'abord, on transfère à l'aide d'une pipette 100 ml d'échantillon dans un bécher de 250 ml.
- ✓ On ajoute 20 ml d'acide sulfurique 2 mol/l et on mélange en agitant doucement.
- ✓ Après, on place le bécher sur une plaque chauffante et porter à ébullition.
- ✓ On ajoute 20 ml de la solution file de KMnO_4 2 mmol/L.
- ✓ On démarre le chronomètre et maintenir à ébullition pendant 10 minutes.
- ✓ Après 10 minutes, on ajoute 20 ml de la solution file de l'oxalate (0.01 N) et on attend que la solution se décolore.
- ✓ On retire alors le bécher de la plaque.
- ✓ On titre pendant que la solution est encore chaude avec la solution KMnO_4 (0.01 N) jusqu'à couleur rose pâle. Noter V_{1eq} .
- ✓ On effectue parallèlement un essai à blanc avec le même mode opératoire mais en remplaçant la prise d'essai par 100 ml d'eau distillée. On note V_{0eq} .
- ✓ On conserve le blanc titré pour la vérification de KMnO_4 .
 - Au blanc titré on ajoute 20 ml d'oxalate à 0.01 N.
 - On réchauffe la solution là 2 minutes.
 - On retitre avec le KMnO_4 0.01 N jusqu'à coloration rose pâle.
 - On note V_{2eq} au KMnO_4 ; doit être entre 19 et 20 ml si ce n'est pas le cas, on refait la solution mère de KMnO_4 .

Les résultats exprimés en milligramme par litre d'oxygène et donnée par la formule suivante :

$$IP = \frac{V_{1eq} - V_{0eq}}{V_{2eq}} \text{ (mg O}_2\text{/l)}$$



Figure IV. 6: Protocole de détermination de l'oxydabilité au permanganate potassium

➤ **Dosage de l'aluminium Al^{3+} par kit LCK 301**

Principe

Le Chromazuorl S forme avec aluminium en milieu tampon acétate légèrement acide une laque de coloration verte.

Matériel utilisé

- Matériel courant de laboratoire : verrerie (bicher et pipettes).
- Agitateur magnétique.
- Les kits LCK 301.
- Spectrophotomètre HACH DR-6000.



Figure IV. 7: Les Kits LCK 301 et la solution A (LCK 301A) et réactifs B (LCK 301B)

Mode opératoire

- ✓ Tout d'abord, on ajoute un peu d'acide nitrique (HNO_3) à l'échantillon afin d'ajuster le pH a la valeur limite autorisée [2.5-3.5]
- ✓ Ensuite on prend 2 ml de la solution A (LCK301 A), on les introduit dans le tube à LCK301.
- ✓ Après, on prend 3 ml de l'échantillon, on les introduit dans le tube à LCK301.
- ✓ On introduit dans le tube à LCK 301, une cuillère rase du réactif B (LCK301 B).
- ✓ Enfin, on fermer la cuve et on mélange le contenu jusqu'à dissolution du lyophilisat.
- ✓ On attend 25min, après on introduit le tube du blanc (ZERO LCK 301) dans la porte cuvette adéquat au tube de LCK301.
- ✓ On attend quelque seconde jusqu'à ce que le spectrophotomètre affiche L1
- ✓ Bien nettoyer l'extérieur de tube de l'échantillon et on effectue la mesure au spectromètre.
- ✓ la concentration des Al^{3+} est affichée sur l'écran en mg/L

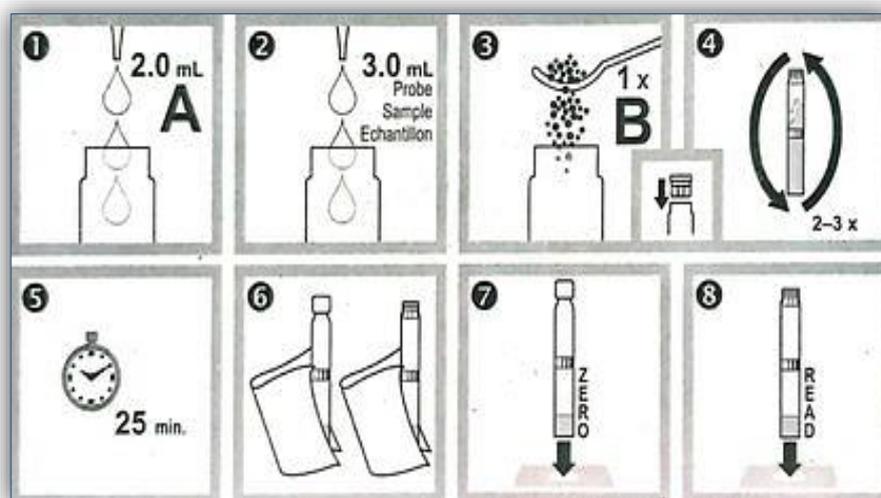


Figure IV. 8: Mode opératoire



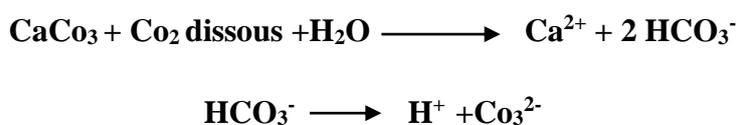
Figure IV. 9: Le tube du blanc (ZERO LCK 301) et le tube de l'échantillon

➤ **Equilibre Calco –Carbonique**

Cette méthode a pour objet de déterminer l'équilibre Calco –Carbonique par calcul en utilisant l'indice de Langelier.

Les eaux naturelles contiennent divers composés chimiques qui se trouvent sous leur forme dissoute. L'un d'eux est le carbonate de calcium, dont l'équilibre dans l'eau est soumis à des interactions avec le dioxyde de carbone.

L'équilibre chimique du carbonate de calcium, dit équilibre calco-carbonique, peut se déplacer sous l'action du CO_2 ; c'est ainsi qu'il peut y avoir des réactions de dissolution du carbonate de calcium (l'eau est dite agressive), ou de précipitation du carbonate de calcium (l'eau est dite incrustante, entartant) si en manifeste aucune de ces propriétés, elle est dite en équilibre.



Principe

La détermination de l'indice d'agressivité se fait par la méthode dite « IAWA », sur elle basé l'utilisation de la formule de Langelier. Elle repose sur la connaissance de la température, du pH en saturation (pH d'équilibre), du TDS, du TAC et du TH calcique.

Mode opératoire

- ✓ On prend une solution de l'eau traitée, on fait la mesure de pH_I , TAC_I et TH_I (la mesure de pH_i à l'aide de PH mètre $pH_i = 7.79$)
- ✓ Après, on pèse 3 g de Calcium Carbonate, on fait dissoudre 3g de Calcium Carbonate dans Flacon.
- ✓ Ensuite, on ajoute avec l'eau traitée jusqu'à la remplir. On fait une agitation.
- ✓ Laisser l'échantillon pendant 24 heures (l'expérience fait le 01/06/2021 à 13:28h)
Après 24 heures, on fait les mesures de PH d'équilibre ($pH_E = 7.9$ le 02/06/2021 à 13 :28h) et TAC_F et TH_F .

Pour l'application de la formule de Langelier il faut déterminer : PH, TAC, TH, TDS, T

$$pH_E = 9.3 + A + B - (C + D)$$

Ou :

A = Facteur TDS

B = Facteur Température

C = Facteur de la Dureté du calcium exprimé en F°

D = Facteur d'alcalinité Totale TAC exprimer en F°

$$I_L = pH_I - pH_E$$

I_L : Indice de Langelier

Si $L_I < 0$ eau agressive

Si $L_I =$ eau interne

Si $L_I > 0$ eau incrustante (entartant)

➤ Détermination de l'alcalinité TAC

Principe

Le titre alcalimétrique complet TAC est à concentration de l'ensemble des anions alcalins faibles, à savoir les hydroxydes OH^- , carbonates CO_3^{2-} , et hydrogencarbonates HCO_3^- ; par mesure de la quantité de l'acide chlorhydrique HCl ou acide sulfurique H_2SO_4 nécessaire pour amener le pH de l'eau à analyser à $\text{pH} = 8.3$ pour le TA et $\text{pH} = 4.4$ pour le TAC. Le changement du pH est détecté par l'emploi d'un indicateur colorée méthyle orange.

Matériel utilisé

- Matériel courant de laboratoire : verrerie (bicher et pipettes).
- Burette graduée.

Mode opératoire

- ✓ En premier, on prend 50 ml de l'échantillon à analyser
- ✓ Ensuite, on ajoute 3 gouttes de méthyl orange.
- ✓ Après, on remplit la burette avec H_2SO_4 , (0.02N).
- ✓ Puis on ouvre la burette goutte à goutte jusqu'au changement de couleur du jaune vers le jaune orangé.
- ✓ On note V_{eq} .

Le titre alcalimétrique complet TAC présent en solution dans l'eau à analyser est exprimé en degré Français °F et donnée par la formule suivante :

$$\text{TAC} = V_{\text{eq}} \times 4 \text{ °F}$$

➤ Détermination de la dureté TH

Principe

Pour déterminer la concentration en ions calcium (Ca^{2+}) et en ions magnésium (Mg^{2+}) dans une eau on utilise une réaction de complexations. Le dosage s'effectue avec une solution du sel di-sodique de l'acide éthylène-diamine tétra-acétique (EDTA) symbolisé par $\text{C}_{10}\text{H}_{14}\text{N}_2\text{Na}_2\text{O}_8 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, en milieu tamponné à pH_{10} (auquel on observe de bons résultats expérimentaux).

Matériel utilisé

- Matériel courant de laboratoire : pissette d'eau distillée, verrerie (bicher et pipettes).
- Burette graduée.

Mode opératoire

- ✓ On prendre 50 ml de l'échantillon puis ajouter dans l'ordre :
 - 1 ml de solution tampon
 - Une pincé de Noir Eriochrome et agiter pour le développement de la couleur violet foncée.
- ✓ On effectue un titrage avec la solution EDTA (0.05N) jusqu'au virage de la couleur bleu et noter le V_{eq} .

La dureté TH exprimé en mg/l, et donnée par la formule :

$$\text{La dureté TH} = V_{eq} \times 2$$

IV.4. Essais de coagulation-floculation (Jar-test)

Les essais de Jar Test sont effectués dans un flocculateur de laboratoire, type FLOCUMATIC SELECTA, appareil qui permet d'agiter simultanément le liquide contenu dans une série de 06 béchers contenant 1 litre d'échantillon à une vitesse bien déterminée. Les béchers contiennent des doses croissantes soit de coagulant, flocculant, adjuvant...etc. L'essai de floculation comporte trois phases :

- phase d'agitation rapide à la vitesse rapide de 180 tours/minute pendant deux minutes;
- phase d'agitation lente à la vitesse lente de 40 tours/minute pendant 18 minutes ;
- phase de décantation durant 45 minutes.

Techniques d'analyse

Pour évaluer analytiquement l'efficacité et la performance du traitement une certaine quantité d'eau est prélevée par siphonage. Après décantation, nous avons prélevé une certaine quantité d'eau surnageant par siphonage, tout en évitant une éventuelle remise en suspension du floc ainsi formé, et nous avons déterminé les divers paramètres les plus indicatifs de cette étape (turbidité, conductivité, pH, UV...etc.).

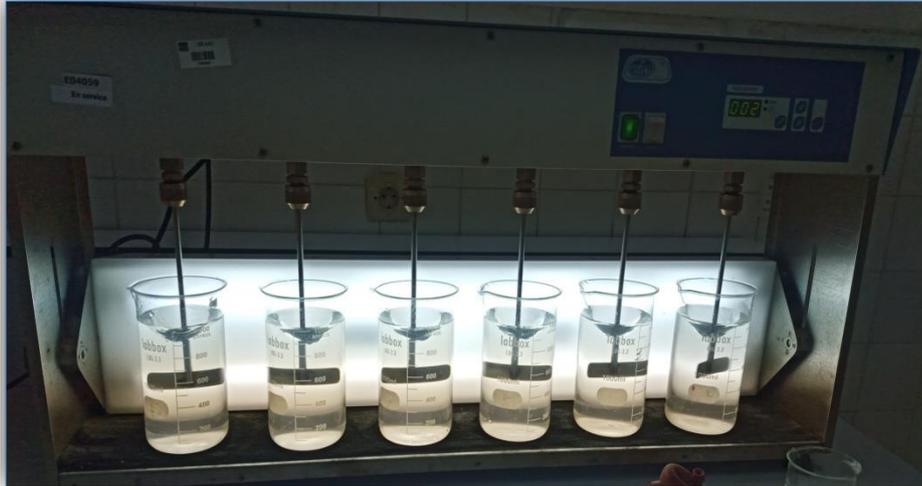


Figure IV. 10: Floculateur de laboratoire (Jar teste)

IV.4.1. Préparation de la solution du coagulant sulfates d'alumine

Une solution mère de 1g par 100 ml est préparée périodiquement par dissolution du sulfate d'alumine [$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, 18% H_2O / 17% Al, 18% O_2] dans de l'eau distillée.

- ✓ On pèse 1g de sulfate d'alumine.
- ✓ On prend une fiole de 100 ml, la remplit d'eau distillée, puis la transvase dans un bécher.
- ✓ On fait dissoudre les 1 g de sulfate d'alumine dans l'eau distillée à l'aide d'un agitateur magnétique.
- ✓ Après dissolution du sulfate d'alumine, on injecte des doses croissantes (10 mg/l ; 20mg/l ; 30 mg/l ; 40mg/l ; 50 mg/l ; 60 mg/l) de la solution obtenue dans les 6 béchers prédisposés pour le Jar-test.

Les principales caractéristiques de coagulant utilisé sont présentées dans le tableau suivant :

Tableau IV. 3: Techniques du coagulant

Nom du produit	Sulfate d'alumine
Forme chimique	$Al_2(SO_4)_3, 18H_2O$
Aspect	Granulé blanc
Granulométrie	$3.15 < Q < 6.3mm$
Masse molaire	666g/mol
Stabilité	2 ans au minimum à partir de la date de livraison

IV.4.2. Préparation de la solution du flocculant

Le réactif flocculant utilisé est le poly-électrolyte pour lequel une solution mère de 0.5 g par 100 ml est préparée périodiquement dans l'eau distillée. Réaliser une dilution de 1/100 : 1 ml de la solution mère dans une fiole de 100 ml et remplir d'eau distillée jusqu'au trait de jauge.

- ✓ On pèse 0,5 g de polymère.
- ✓ On prendre une fiole de 100 ml, la remplir d'eau distillée, puis la transvaser dans un bécher.
- ✓ On fait dissoudre les 0,5 g de polymère dans l'eau distillée à l'aide d'un agitateur magnétique.
- ✓ On prélever 1 ml de cette solution à l'aide d'une pipette graduée et l'injecter dans une fiole de 100 ml, puis compléter avec de l'eau distillée jusqu'au trait de jauge.
- ✓ Ensuite on injecte des doses croissantes (0.025 mg/l; 0.05mg/l; 0.075mg/l; 0.1mg/l; 0,125 mg/l; 0.15mg/l) de la nouvelle solution obtenue dans les 6 béchers prédisposés pour le Jar-test.

Les principales caractéristiques de flocculant utilisé sont présentées dans le tableau suivant :

Tableau IV. 4: Spécification techniques de flocculant

Nom du produit	Polyélectrolyte
Ionicité	anionique moyen
Aspect	poudre Granulé blanc
Poids spécifique apparent	de 0,89 à 0.91 gr/ml
Granulométrie	10 mesh - 100mesh
Poids moléculaire	Haut
Stabilité	2 ans au minimum à partir de la date de livraison

IV.4.3. Préparation de la solution des adjuvants

Des solutions mères de 1g/l sont préparées par dissolution de chaque adjuvant dans de l'eau distillée, les adjuvants utilisés sont :

- ❖ Charbon actif en poudre.
- ❖ Chaux.

Les principales caractéristiques de la Chaux utilisé sont présentées dans le tableau suivant :

Tableau IV. 5: Spécifications techniques de la Chaux

Nom du produit	Chaux hydraté
Aspect	Fine poudre blanche
Formule chimique	Ca(OH) ₂
pH (solution saturée à 20 °C)	12,4

Les principales caractéristiques de charbon actif en poudre sont présentées dans le tableau suivant :

Tableau IV. 6: Caractéristiques de Charbon actif en poudre

Nom du produit	Charbon actif en poudre
Aspect	
Apparence	Poudre
Couleur	Noir
Odeur	Sans
Autres propriétés Physiques et Chimiques	
pH	7 à 11
Taux d'humidité en %	6 à 9 % au max par rapport au poids
Indice d'iode	Supérieur ou égal à 900 mg/g
Abattement de l'UV après traitement	Le taux d'abattement doit être supérieur à 35% au minimum
Surface spécifique total	Supérieur à 980 m ² /g
Diamètres moyen des particules	30 µm
Densité apparentes	environ 400 kg/m ³
Granulométrie	20 µm
L'emballage	Big bag de 500 kg

IV.5. Méthodologie de l'optimisation de traitement de clarification (coagulation-floculation)

L'étude est axée plus particulièrement sur la détermination des conditions optimales d'application de la coagulation-floculation au sulfate d'aluminium.

La présente étude se propose d'optimiser le traitement de clarification, par l'optimisation des essais de coagulation-floculation ; on participera à une amélioration de ce processus par la mise au point d'une méthodologie expérimentale basée sur l'optimisation des facteurs influençant le procédé de coagulation-floculation. Qui peut être influencé par plusieurs facteurs, on s'intéresse à l'optimisation des effets des paramètres opératoires tel que : effets

du pH, effets de la dose de coagulant, effets de la dose de floculant, effets des adjuvants, effets de traitement de pré-chloration.

Ce travail porte sur l'étude, à l'échelle pilote l'optimisation de traitement de clarification et de l'efficacité de potabilisation de l'eau par l'optimisation de la dose du coagulant chimique (sulfate d'aluminium), et de la dose des floculant, pH optimale et enfin par l'utilisation de quelques traitements combinés.

Le processus de coagulation-floculation est complexe et peut être influencé par plusieurs facteurs, dans notre étude on s'intéresse à l'optimisation des effets des paramètres opératoires tel que : effet du pH, effet de la dose de coagulant, effet de la dose de floculant, effet des adjuvants, effets de traitement de pré-chloration.

Le Jar Test est la technique standard utilisée pour optimiser l'addition de coagulants et de floculants dans le domaine du traitement de l'eau.

IV.5.1. Essais de la coagulation

Cet essai permet la détermination de la dose optimale de coagulant sulfate d'aluminium Les essais de Jar-Test ont été effectués sur des échantillons d'eau brute qui sont coagulés :

Essai N°01 : avec des doses croissantes en sulfate d'aluminium (10 à 60 mg/l),

Pour des conditions opérationnelles des essais de Jar Test décrite précédemment, et nous avons déterminé les divers paramètres les plus indicatifs de cette étape (turbidité, conductivité, pH, UV...etc.).

IV.5.2. Essais de la floculation

Ces essais de la détermination de la dose optimale de floculant poly- électrolyte

Au cours ces essais, l'échantillon d'eau brute contenant une concentration constante de la dose optimale de sulfate d'aluminium : 40 mg/l, sont floculé avec des doses croissantes en floculant (0.025 à 0.15 mg/l), pour des conditions d'agitation des essais de Jar Test décrite précédemment, et nous avons déterminé les divers paramètres les plus indicatifs de cette étape (turbidité, pH, UV....etc.).

IV.5.3. Etude de l'effet des conditions opératoires

Afin d'optimiser la coagulation, il faut tenir compte de plusieurs variables en interrelations, l'étude de l'effet de quelques paramètres et condition opératoires sur l'optimisation de traitement de coagulation-floculation, implique de toute évidence la détermination de l'influence de quelques paramètres. Afin d'évaluer leurs l'effet sur le rapport solide/ liquide et sur l'efficacité de traitement de clarification tel que : l'effet du pH, L'influence de l'eau brute, influence des traitements parallèles à la coagulation-floculation.

La démarche utilisée pour mettre en évidence l'effet des conditions opératoires et traitement en parallèle sur l'optimisation repose sur l'analyse des solutions issues des essais des jars test décrites précédemment.

IV.5.3.1. L'influence de pH

Le pH est un paramètre qui affecte fortement la coagulation-floculation. Son contrôle est donc indispensable au cours de la mise en œuvre du procédé de coagulation-floculation. Selon les caractéristiques d'une eau, il existe un pH optimal permettant le meilleur rendement de la coagulation.

- **Protocole expérimentale de l'essai**

La détermination du pH optimal du coagulant est effectuée à l'aide des essais expérimental de Jar-test décrite précédemment. L'eau à traiter est mise dans chaque bécher. Au temps zéro, on ajoute la dose de 40 mg/L de sulfate d'alumine qui correspond à la dose optimale. La valeur de pH de chaque bécher est ajustée selon des valeurs de pH fixée (24.5 mg/l ; 49 mg/l ; 73.5 mg/l ; 98 mg/l ; 122.5 mg/l ; 147 mg/l). Après décantation pendant 45 minutes, on prélève une quantité de surnageant pour l'analyser tout en évitant une éventuelle remise en suspension des floes formés. Le pH a été ajusté à l'aide de solutions d'acide sulfurique à 0,1N.

IV.5.3.2. L'influence de l'eau brute sur la dose optimale de coagulant

La variation de la qualité de l'eau brute est un paramètre à prendre en compte. Une dose de coagulant excessive entraîne une augmentation du coût d'exploitation, tandis qu'un dosage insuffisant conduit à une mauvaise qualité de l'eau traitée. La difficulté principale réside dans la détermination de la quantité optimale de réactif à injecter en fonction des caractéristiques de l'eau brute. La variation de la dose optimum de sulfate d'alumine est en fonction la qualité

de l'eau brute du point de vue turbidité, matières organiques...etc. La turbidité est, elle aussi, un paramètre influant sur le bon fonctionnement du procédé de coagulation. Dans une certaine plage de turbidité, l'augmentation de la concentration en particules doit être suivie d'une augmentation de la dose de coagulant.

Les essais « Jar-Test » ont été réalisés sur des prélèvements d'eau brute de déférente caractéristiques physico-chimiques.

IV.5.3.3. Influence des adjuvants

L'utilisation d'un seul coagulant ne permet pas, dans tous les cas, d'obtenir une bonne coagulation floculation. L'utilisation d'un aide-coagulant (les adjuvants) en conjonction avec un coagulant pour accroître l'efficacité de la formation du floc. De ce fait l'amélioration des performances du procédé de coagulation floculation. Nous avons testé au cours de notre étude trois types d'adjuvants selon le rôle que peut accomplir chacun d'eux. Il s'agit de la chaux, le charbon actif en poudre.

▪ Protocole expérimental

Nos essais ont été effectués selon le protocole du Jar-test à dose constante de coagulant (sulfate d'alumine) et à dose variables d'adjuvant. Pour étudier l'effet des adjuvants sur l'amélioration de la qualité des eaux de surface par coagulation-floculation, nous avons coagulé à la dose optimale de coagulant déterminée au préalable, soit 40 mg/l.

IV.5.3.4. Influence de la pré-chloration sur la coagulation floculation

Dans la plupart des stations de potabilisation, la coagulation-floculation est précédée par une pré-chloration, dont le rôle est de détruire l'ammoniaque NH_4^+ de l'eau, prévenir la formation des algues dans les ouvrages et effectuer une première désinfection. La dose de chlore à utiliser est déterminée par l'évaluation du break- point de l'eau brute. Nous nous sommes donc intéressé à tester l'influence de la pré-chloration sur l'élimination de la turbidité et la matière organique par coagulation-floculation.

▪ Protocole expérimental

Avant d'entamer le procédé à l'essai de coagulation-floculation des eaux brutes pré-chlorées, il faut d'abord déterminer la dose de chlore à introduire. La demande en chlore est déterminée selon le protocole appliqué au niveau de laboratoire procès de la station de Boudouaou, en fixant le temps de contact. Le chlore consommé est alors déduit de la

différence chlore introduit et chlore résiduel. Le dosage du chlore résiduel étant suivi par la méthode de comparaison avec des éprouvettes, disques colorés, comparateur en lumière du jour et des réactifs présentés en comprimés DPD (diéthyl-p-phénylènediamine) permettant de doser sur la même eau le chlore sous ses différentes formes (total, libre, combiné).

▪ **Protocole expérimentale de la demande en chlore pour le traitement de Pré-chloration**

Principe

On réalise une expérience avec du temps de contact de 2 heures à 10 flacons de l'eau a analysé, on ajoute des doses croissantes de chlore. Après écoulement du temps de contact, on mesure le chlore résiduel avec un comparateur DPD. On trace alors la courbe (chlore résiduel)=f (chlore introduit).

Matériel utilisé

- Dix flacons en verre brun à col rodé de 1 litre, lavés et rincés avec l'eau à étudier.
- Un chronomètre.
- Un comparateur de chlore libre.
- Comprimé DPD N°1.
- Matériel courant de laboratoire : verrerie (fioles, bicher, pipettes...).

Mode opératoire

1^{ère} étape :

- Tout d'abord, on prépare la solution chlorée, en mettant 2 ml de la javel dans une fiole de 100 ml puis, on complète avec de l'eau distillée jusqu'au trait de jauge.
- On prend 100 ml de l'eau distillée puis on ajoute dans l'ordre :
 - 5 ml d'acide acétique.
 - 1 g de iodide de potassium.
 - 10 ml de la solution chlorée.
- On titre immédiatement par thiosulfate de sodium 0.1N en versant lentement tout en agitant constamment jusqu'au virage jaune clair.

- Une fois la couleur jaune claire apparaisse, on ajoute une pincée de thioudène, on observe la couleur bleu.
- On continue le titrage jusqu'à la disparition de la couleur bleu.
- On note V_{eq} .
- Puis, on détermine la concentration de chlore actif (eau de javel) par la loi suivante :

$$c = \frac{35.5 \times 0.1 \times 10 \times V_{eq}}{100} \times F$$

Avec :

- 35.5 : la masse molaire du chlore.
- : la normalité de thiosulfate de sodium.
- 10 : le volume de la solution chlorée.
- V_{eq} : volume d'équilibre de thiosulfate de sodium.
- 100 : volume d'eau distillée
- F : facteur de dilution.

2^{ème} étape :

- ✓ Dans chacun de flacon de 1 litre numéroté de 1 à 10, on introduit 1 litre d'eau à analyser.
- ✓ Ensuite, on ajoute des doses croissantes de chlore de concentration 1g/l.

Tableau IV. 7: Les doses croissantes de chlore à injecter

N° Flacon	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Dose de chlore à injecter (mg/l)	1.00	1.20	1.40	1.60	1.90	2.00	2.20	2.40	2.50	2.80

- ✓ On met les flacons à l'abri de la lumière et travailler à température ambiante.
- ✓ Après 2 heures on fait le dosage de chlore libre :
 - On transpose 10 ml de l'échantillon à analyser dans un tube à essai préalablement rincé avec l'échantillon lui-même.
 - On introduit un comprimé du DPD N°1 et on mélange jusqu'à dissolution du DPD.

Ensuite, on mesure l'intensité de la couleur par comparaison visuelle à l'aide d'une échelle (disque) ou moyen d'un comparateur.

IV.6. Rendement des paramètres physico-chimiques après l'optimisation des doses optimales

Plusieurs méthodes d'analyses ont été utilisées pour caractériser cette eau après le traitement d'optimisation dans les conditions optimales qui sont déjà décrites précédemment.

La démarche utilisée pour caractériser ces eaux, repose sur l'analyse des solutions traitées aux doses optimales qui sont issues des essais des jars test qui sont déjà décrite précédemment.

Une certaine quantité d'eau traitée est prélevée après décantation, puis après filtration sur papiers filtre de 0,45µm, Pour évaluer analytiquement l'efficacité du traitement, Les protocoles opératoires et les techniques d'analyses adoptées au niveau de laboratoire Boudouaou pour l'exploitation des résultats sont décrits précédemment.

L'évolution du rendement d'élimination « % d'élimination » est suivie par le paramètre :

$$R\% = (1 - C_e / C_o) \times 100$$

Avec

C_o : la concentration initiale (mg/l) exemple des MO ou la turbidité NTU, UV...etc. (sans traitement).

C_e : la concentration finale (mg/l) exemple des MO ou la turbidité NTU, UV...etc. (après le traitement).

Remarque : après l'étape de décantation on fait la filtration sur papiers filtre de 0,45µm.

- Filtration sur papiers filtre de 0,45µm

On met le filtre à papier dans l'appareil de filtration, en suite on verse la solution de l'eau décanter dans le filtre, on allume l'appareil on attend quelques minutes, on observe que la solution traverse le filtre goutte à goutte jusqu'à la solution de l'eau décanter se filtre.

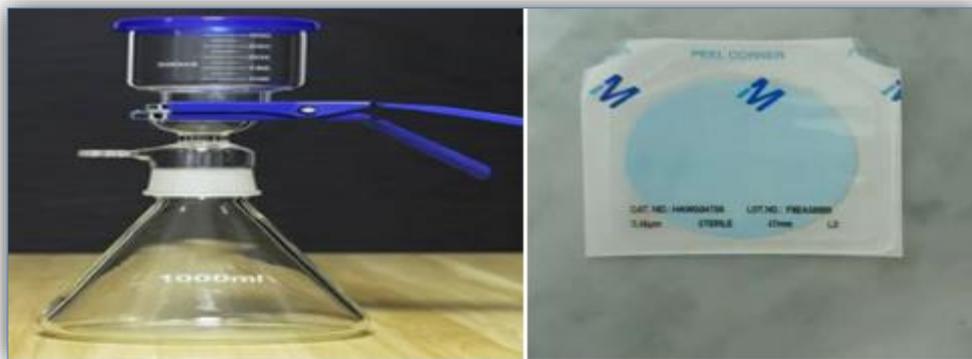


Figure IV. 11: Appareil de filtration et papier filtre de 0.45 μm

Conclusion

Ce chapitre nous a permis de faire la lumière sur la mode expérimental concernant notre étude ainsi que les appareils et les réactifs utilisés. Nous avons décrit la technique de jar teste et préparation des solutions nécessaires à nos essais qui ont été réalisés pour l'étude de l'optimisation du traitement de clarification.

Chapitre V

Résultats et discussions

V. Résultats et discussions

Introduction

Le dernier chapitre résultats et discussions est consacré d'abord aux résultats obtenus de l'étude de la clarification par optimisation de coagulation-floculation également nous allons présenter et interpréter les résultats de la caractérisation physico-chimique des eaux de la station de traitement en amont et en aval (eaux brutes et traitées).

Les résultats des essais de jar-test, de différents protocoles expérimentaux obtenus pour optimiser le traitement de coagulation - floculation, ainsi que l'étude paramétrique des conditions opératoires appliqués et leurs effet sont présentés et discutés. Autres paramètres influents la rentabilité et l'efficacité de l'optimisation de traitement de clarification sont illustrés.

V.1. Présentation des résultats des essais d'optimisation de coagulation-floculation

Les principaux paramètres physico-chimiques de ces eaux sont déterminés dans le chapitre numéro quatre (méthodes et matériels) au niveau de laboratoire procès de centre de traitement Boudouaou.

A cet effet, des échantillons des eaux brutes sont prélevés, les principaux paramètres physico-chimiques de ces eaux sont déterminés. Les résultats obtenus, sont regroupés dans le tableau suivant:

Tableau V. 1: qualité physico-chimique de l'eau brute de la station

pH	Conductivité (µs/cm)	TDS (mg/l)	UV abs/254 (nm)	Température (°C)	Turbidité (NTU)	Oxydabilité mg/IO ₂ Consommé
8.30	1466	727	0.125	22	10	2.46

Au cours de ce chapitre nous allons présenter dans les tableaux tous les résultats de nous essais effectué au niveau de laboratoire d'analyse de la station de traitement de Boudouaou ; pour les graphes nous allons tracer généralement que les paramètres qui influent notre thème (turbidité et pH).

V.1.1. Essais de la coagulation

V.1.1.1. Détermination de la dose optimale du coagulant

Les résultats des essais de jar-test de coagulation, obtenus après ajout de chaque dose, sont regroupés dans les tableaux suivants.

Tableau V. 2: Résultats de la détermination de la dose optimale de coagulant de Sulfate d'aluminium

Numéro de bécher	01	02	03	04	05	06
Dose de sulfate d'aluminium (mg/l)	10	20	30	40	50	60
Turbidité (NTU)	6.02	4.10	2.68	1.94	1.89	2.00
Conductivité (µs/cm)	1464	1470	1470	1469	1464	1471
TDS (mg/l)	731	732	731	731	728	733
Absorbance UV 254 (nm)	0.10	0.90	0.77	0.079	0.072	0.074
pH	8.23	8.12	7.96	7.87	7.81	7.77
Al ³⁺ total (mg/L)	/	/	/	0.35	/	/
Oxydabilité mg/l O ₂ Consommé	1.56	1.47	1.43	1.41	1.32	1.30
% d'élimination de MO O ₂ mg/l Consommé	30.58	40.24	41.86	42.68	46.34	47.15
Rendement élimination de la turbidité (%)	39.8	59	73.2	80.6	81.1	80

Remarque : Au niveau de laboratoire on injecte les doses des produits chimiques en (ml) par contre sur site l'injection se fait en (mg/l) ou bien PPM (partie par milieu).

Exemple de calcul

Pour convertir les doses des produits chimiques (ml) vers (mg/l) ou bien l'inverse.

Suivi les étapes suivantes :

Une solution mère de (1g/100 ml ou bien 10 g/l) de sulfate d'aluminium.

10 000 mg —→ 1000 ml

10 mg —→ X

$$X = \frac{10 \times 1000}{10\,000} = 1 \text{ ml}$$

En applique cette méthode de transfère pour tous les autres doses.

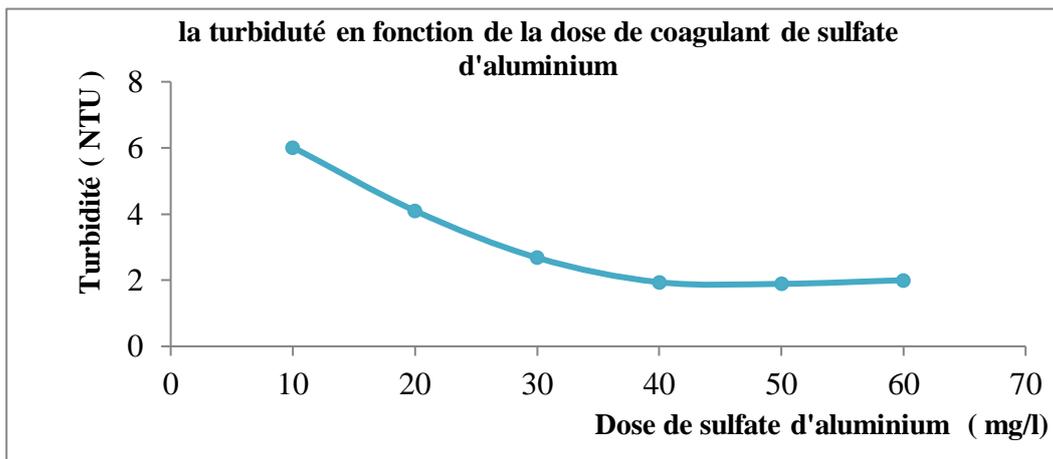


Figure V. 1 : La turbidité en fonction de la dose de coagulant de sulfate d'aluminium

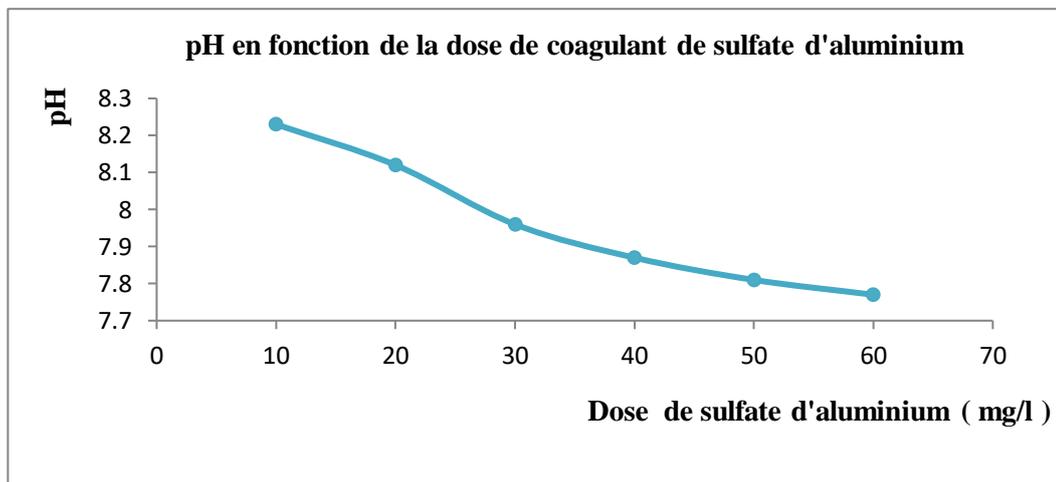


Figure V. 2 : pH en fonction de la dose de coagulant de sulfate d'aluminium

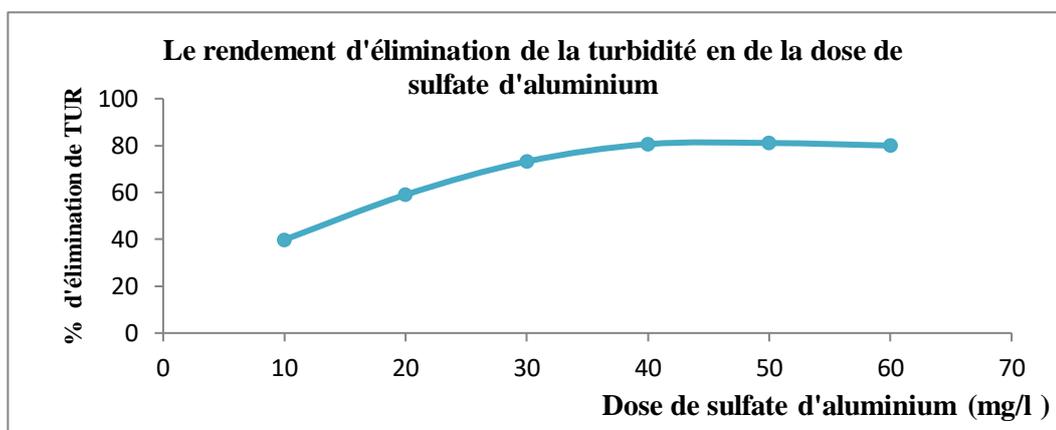


Figure V. 3 :Le rendement d'élimination de la turbidité en fonction de la dose de sulfate d'aluminium

D'après les résultats obtenus, nous remarquons que :

- On a choisit une dose de 40 mg/l de sulfate d'alumine, qui obtenu un rendement d'élimination de la turbidité de 80.6%, malgré on a obtenu dans le bécher 5 un meilleur rendement d'élimination de la turbidité de 81.1%, qui correspond à une dose de sulfate d'alumine 50 mg/l c'est pour des raisons économiques (d'après légère différence entre les deux rendements).
- Pour une dose de 40 mg/l de sulfate d'alumine, nous obtenons un rendement d'élimination de la turbidité de 80.6 %, et un rendement d'élimination de matière organique de 42.68%.
- La dose optimale de coagulant à ajouter est de 40 mg/l, pour avoir une meilleure turbidité qui de 1.94 NTU, avec un meilleur abattement de la matière organiques de 2.46 mg/l à 1.41 mg/l. On peut interpréter ces résultats par le fait que cette dose de coagulant est dispersée sur tout le bécher et toute la matière en suspension a été piégé (attraction de la charge positive de coagulant avec la charge négative des matières en suspension MES) ce qui favorise la formation des flocs par la suite.
- D'après les courbes on constate également que la turbidité et pH diminuent avec l'augmentation du la dose de sulfate d'alumine jusqu'à la dose optimale (40mg/l). Après cette dose la turbidité augmente cela confirme nous résultats de la dose optimale de coagulant (40mg/l). Par contre le pH continue de diminue avec l'augmentation de la dose de sulfate d'alumine.
- La dose optimale de coagulant à ajouter est de 40mg/l, permettant ainsi d'améliorer la qualité des eaux de surface de Keddara au point de vue élimination de la turbidité et matières organique et l'abattement de UV.
- Pour une dose optimale 40 mg/l de sulfate d'alumine, on a obtenue une valeur de 0.35 de Al^{3+} , pour les valeurs de Al^{3+} dans l'eau traité ne se fait par dépassé la valeur de 0.2.

V.1.2. Essais de la floculation

V.1.2.1. Détermination de la dose optimale de flocculant poly- électrolyte

Les résultats des essais de jar-test de floculation, obtenus après ajout de chaque dose, sont regroupés dans le tableau V.3.

- **Illustration du tableau**

Au cours de cet essai d'abord on a injecté dans six béchers contient de l'eau brute une dose de sulfate d'alumine 40 mg/l après on a effectué une agitation, par la suite on a injecté des dose croissantes de poly-électrolytes (voir le mode opératoire de jar teste dans le chapitreV) après la décantation on a mesuré des paramètres représenter dans le tableau suivant, concernant l' Al^{3+} on a fait les mesures après filtration sur papiers filtre de 0,45 μ m.

Tableau V. 3: Détermination de la dose de flocculant poly-électrolyte et l'influence des paramètres

Numéro de bécber	01	02	03	04	05	06
Dose de sulfate d'aluminium (mg/l)	40					
Dose de Poly- électrolyte [P.E] (mg/l)	0.025	0.05	0.075	0.1	0.125	0.15
Turbidité (NTU)	2.15	2.09	1.88	1.93	2.05	2.10
Conductivité (μ s/cm)	1468	1472	1471	1469	1467	1467
TDS (mg/l)	728	729	729	728	727	727
Absorbance UV 254 (nm)	0.065	0.064	0.07	0.067	0.064	0.072
pH	7.93	7.91	7.89	7.92	7.93	7.94
Al^{3+} total (mg/L)	/	/	0.080	/	/	/
Oxydabilité mg/l O_2 Consommé	1.81	1.58	1.53	1.55	1.55	1.55
% d'élimination de MO O_2 mg/l Consommé	26.42	35.77	37.80	36.58	36.99	36.99
Rendement élimination de la turbidité (%)	78.5	79.1	81.2	80.7	79.5	79

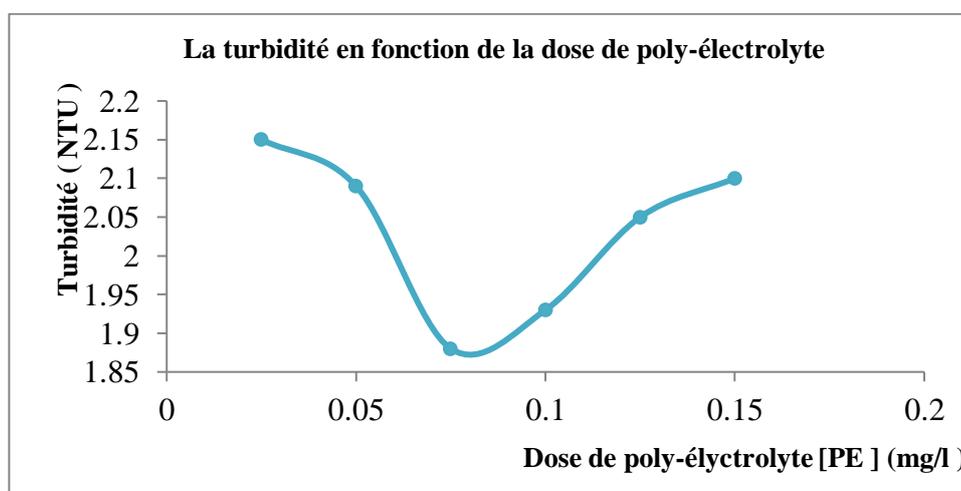


Figure V. 4 : La turbidité en fonction de la dose de poly-électrolyte

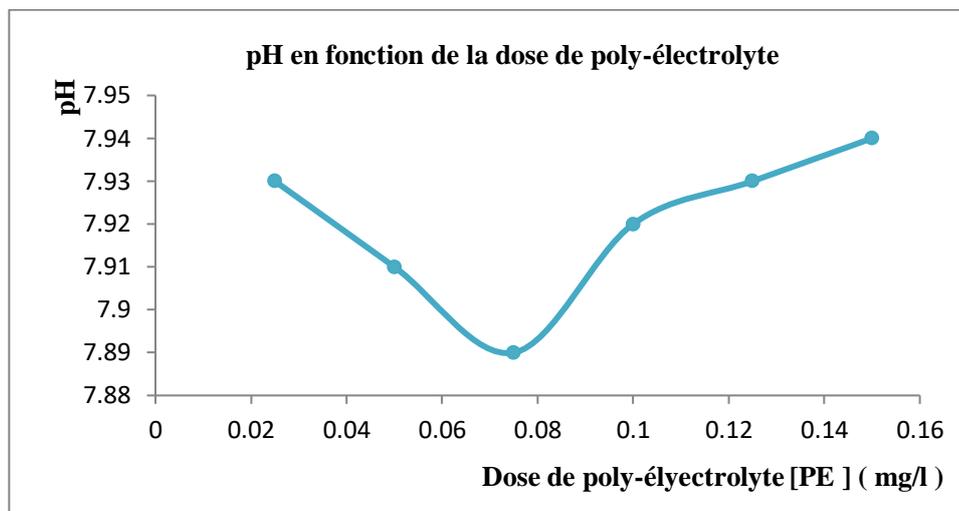


Figure V. 5 : pH en fonction de la dose de poly-électrolyte

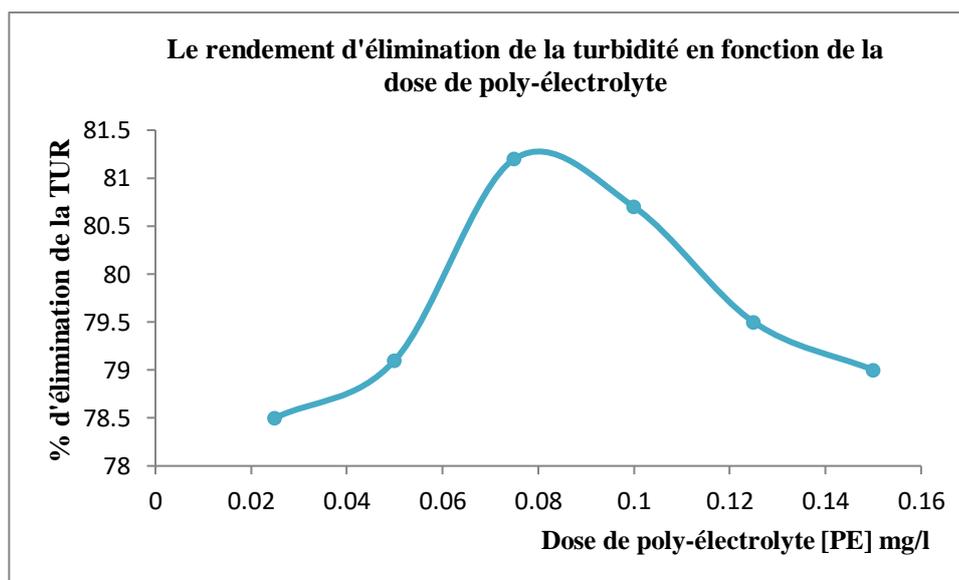


Figure V. 6 : Le rendement d'élimination de la turbidité en fonction de la dose poly-électrolyte

D'après les résultats obtenus, nous remarquons que :

- Pour une dose de 0.075 mg/l de poly-électrolyte, nous obtenons un rendement d'élimination de la turbidité de 81.2 %, et un rendement d'élimination de matière organique de 37.80%.
- la dose optimale de flocculant à ajouter est de l'ordre de 0.075 mg/l, pour avoir une meilleure turbidité qui de l'ordre de 1.88 NTU, avec un meilleur abattement de la

matière organiques 2.46 mg/l à 1.53 mg/l pour une valeur optimale de flocculant poly-électrolyte.

- D'après les courbes on constate également que la turbidité et le pH diminuent avec l'augmentation de la dose de poly-électrolyte jusqu'à la dose optimale (0.075mg/ l). Après cette dose la turbidité et le pH augmente avec l'augmentation de la dose de poly-électrolyte.

V.2. Effet des conditions opératoires

V.2.1. Effet de pH

Les paramètres représentés dans le tableau suivant ont été mesurés après la décantation et la mesure de Al^{3+} a été effectuée après filtration sur papier filtre de 0,45 μ m (voir le protocole expérimental dans le chapitre V). Les résultats obtenus, sont regroupés dans le tableau suivant.

Tableau V. 4 : L'influence de pH

Numéro de bécher	01	02	03	04	05	06
Dose de sulfate d'aluminium (mg/l)	40					
Dose de l'acide sulfurique (mg/l)	24.5	49	73.5	98	122.5	147
pH	7.85	7.60	7.50	7.30	7.20	7.00
Turbidité (NTU)	1.88	1.70	1.39	1.35	1.38	1.45
Conductivité (μ s/cm)	1442	1448	1452	1454	1458	1463
TDS (mg/l)	719	719	721	720	723	725
Absorbance UV 254 (nm)	0.057	0.054	0.057	0.056	0.060	0.057
Al^{3+} total (mg/L)	0.38	0.396	0.145	0.089	0.054	0.023
Rendement élimination de la turbidité (%)	81.2	83	86.1	86.5	86.2	85.5

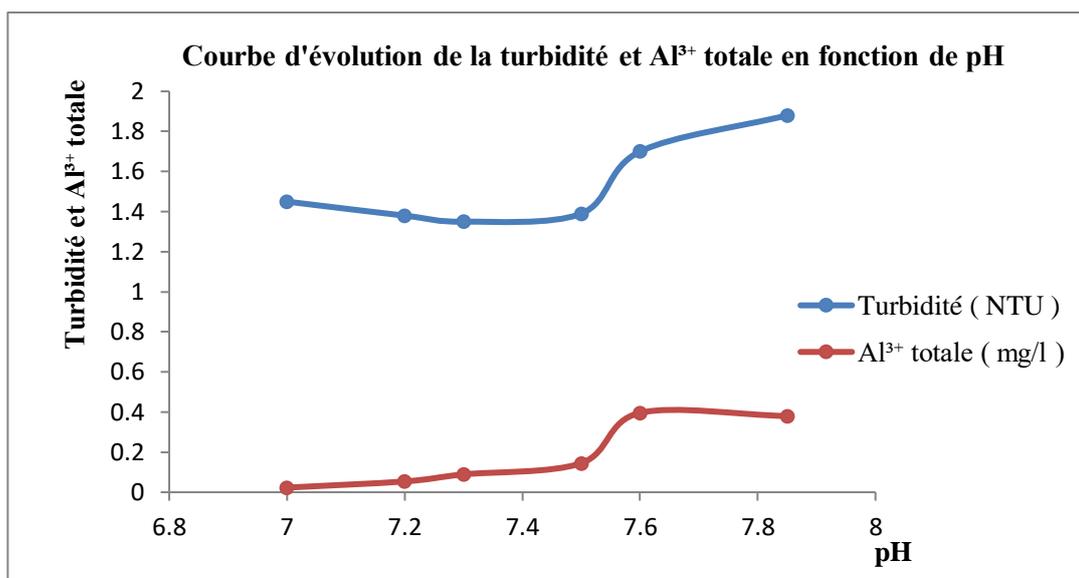


Figure V. 7 : Courbe d'évolution de la turbidité et Al³⁺ totale en fonction de pH

D'après les résultats obtenus, nous remarquons que :

- Pour une dose de 98 mg/l d'Acide sulfurique, nous obtenons un rendement d'élimination de la turbidité de 86.5%.
- Pour une dose de 98 mg/l de l'acide sulfurique, on a obtenu une meilleure turbidité qui de l'ordre de 1.35 NTU, avec un Al³⁺ totale 0.089 avec un e pH 7.30 ; ces résultats permettant le meilleur rendement de la coagulation.
- Pour la valeur de pH 7.30 on a obtenue une bonne coagulation avec un meilleur rendement de la turbidité ; alors on peut dire que le Ph neutre favorise les meilleurs rendements.

V.2.2. Influence d'utilisations des adjuvants

On a testé au cours de l'étude de ce paramètre deux types d'adjuvants selon le rôle que peut accomplir chacun d'eux. Il s'agit de la chaux et le charbon actif en poudre. Nos essais ont été effectués selon le protocole du Jar-test avec une dose constante de coagulant (dose optimale) et une dose variables d'adjuvant.

V.2.2.1. Influence de la chaux sur la coagulation floculation

Les résultats obtenus, sont regroupés dans le tableau ci-après.

Tableau V. 5: Résultat de la dose optimale de la chaux en complément de 40 mg/l de sulfate d'aluminium

Numéro de bécher	01	02	03	04	05	06
Dose de sulfate d'aluminium (mg/l)	40					
Dose de la chaux (mg/l)	5	<u>10</u>	15	20	25	30
Turbidité (NTU)	2.93	2.44	2.50	3.00	4.50	5.00
Conductivité (μ s/cm)	1373	1370	1377	1382	1387	1398
TDS (mg/l)	680	678	681	683	686	691
Absorbance UV 254 (nm)	0.072	0.063	0.055	0.05	0.051	0.044
pH	8.37	8.29	8.28	8.27	8.25	8.48
Oxydabilité mg/l O ₂ Consommé	1,44	1,06	1,06	1,20	1,25	1,30
Rendement élimination de la turbidité (%)	70.7	75.6	75	70	55	50
% d'élimination de MO O ₂ mg/l Consommé	41.46	56.91	56.91	51.21	49.18	47.15
Abattement absorbance UV à 254nm	42.4	49.6	56	60	59.2	64.8

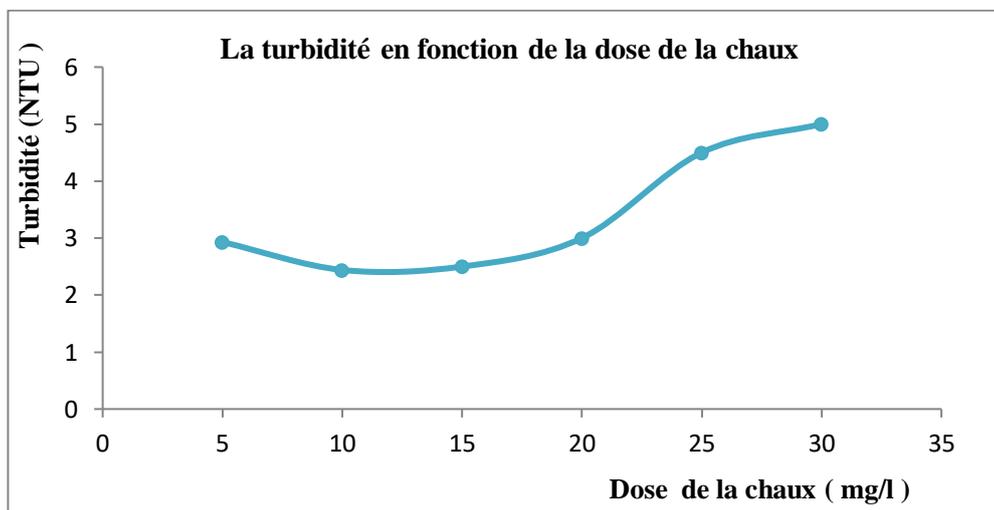


Figure V. 8 : La turbidité en fonction de la dose de la chaux

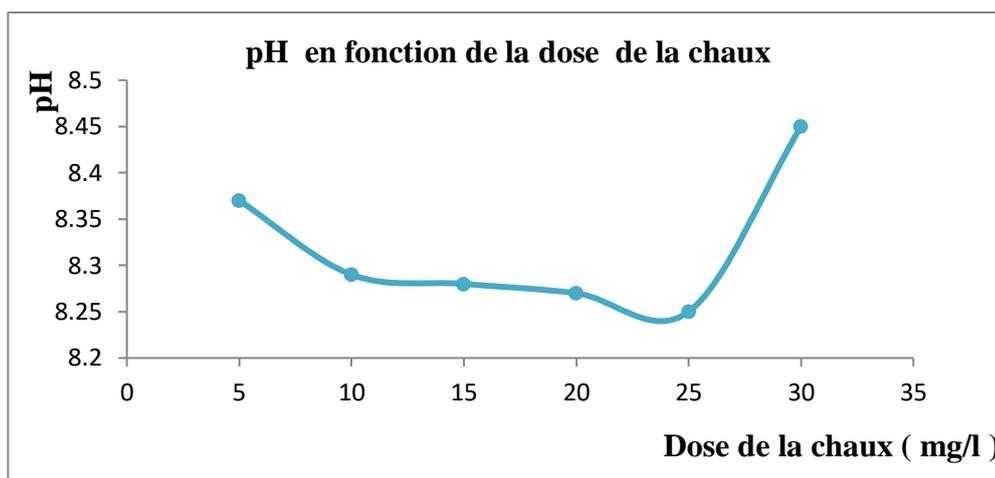


Figure V. 9 : pH en fonction de la dose de la chaux

D'après les résultats obtenus, nous remarquons que les rendements d'élimination on augmenter jusqu'a une dose de 10 mg/l de la chaux. Après les rendements de l'élimination diminues avec l'augmentation de la dose de la chaux (pour le rendement d'élimination de matières organique on a obtenue même résultat pour les deux dose 10 et 15 mg/l de la chaux) .Les floes formés sont importants et décantent rapidement contrairement à l'utilisation du sulfate d'alumine seul. La concentration optimale de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ et de l'ordre de 10 mg/l, permettant ainsi d'améliorer les rendements d'élimination de la turbidité et de la matière organique. La diminution du pourcentage d'élimination au-delà de 10 mg/l peut être attribuée à des doses de chaux induisant l'augmentation du pH.

- On a obtenu diminution de pH de 8.37 jusqu'a 8.25 après un moment donné on a obtenue une augmentation de pH de 8.48 dans le bécchers 6 on a interpréter ca de l'ajoute d'une base (la chaux) qui augmente le pH.

V.2.2.2. Influence de la dose de Charbon actif en poudre (CAP) sur la coagulation-floculation

Les résultats de l'influence de la dose de charbon actif en poudre sur la coagulation – floculation obtenus, sont regroupés dans le tableau ci-après.

Tableau V. 6: Résultat de la dose optimale de charbon en poudre [CAP] en complément de 40 mg/l de sulfate d'aluminium [SA]

Numéro de bécher	01	02	03	04	05	06
Dose de S.A (mg/l)	40					
Dose de la CAP (mg/l)	5	10	15	20	25	30
Turbidité (NTU)	2.71	2.47	1.83	1.53	1.63	1.70
Conductivité (µs/cm)	1458	1462	1463	1458	1462	1457
TDS (mg/l)	723	725	725	723	726	722
Absorbance UV 254 (nm)	0.074	0.072	0.066	0.065	0.059	0.057
pH	7.82	7.77	7.70	7.67	7.56	7.48
Oxydabilité mg/l O ₂ Consommé	1.77	1.60	1.07	0.90	0.89	0.7
Rendement élimination de la turbidité (%)	72.9	75.3	81.7	84.7	83.7	83
% d'élimination de MO O ₂ mg/l Consommé	28.05	34.95	56.50	63.41	63.82	71.54
Abattement absorbance UV à 254nm	40.8	42.4	47.2	48	52.8	54.4

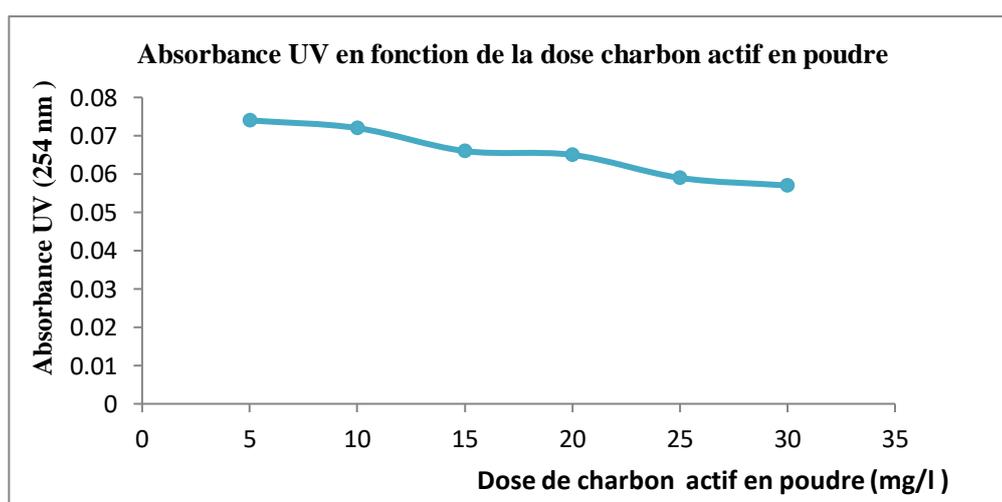


Figure V. 10 : Absorbance UV en fonction de la dose de charbon actif en poudre

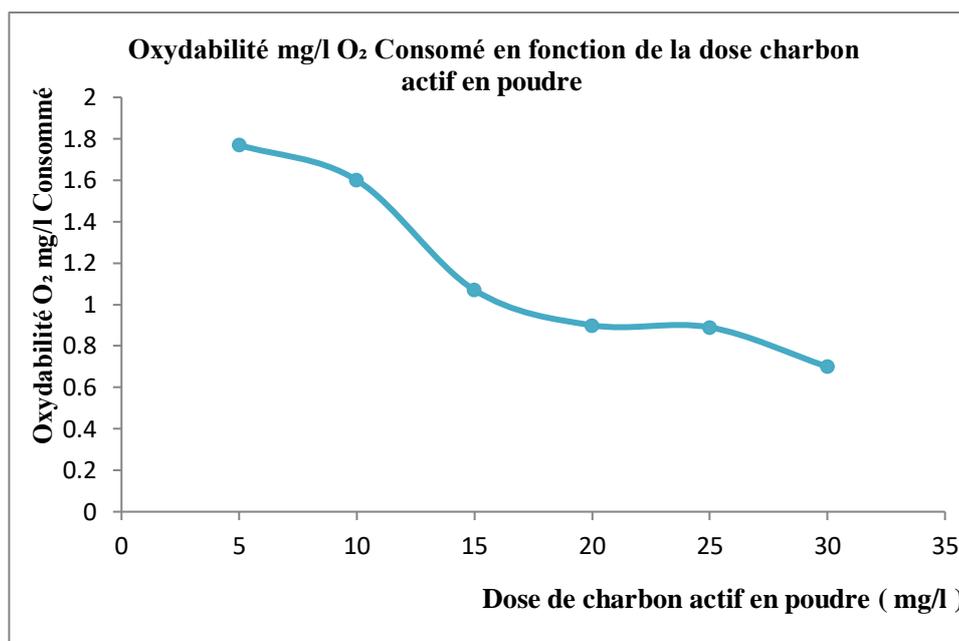


Figure V. 11 : Oxydabilité mg/l O₂ consommé en fonction de la dose de charbon actif

Nous constatons que l'utilisation de charbon actif en poudre améliore clairement le rendement d'élimination de la matière organique, de l'Absorbance UV (254nm) et de la turbidité.

Les meilleurs rendements ont été obtenus pour une dose de 20 mg/l de la turbidité et pour une dose 30 mg/l des matières organiques et Absorbance UV.

D'après les résultats obtenus, on a remarqué que la quantité de charbon actif en poudre qui permet l'abattement de la turbidité et de la matière organique et Absorbance UV est de l'ordre de 20 mg/ l, au-delà de cette valeur une désorption se produit. Pour cette dose, les rendements d'élimination de l'Absorbance et de la matière organique sont très importants.

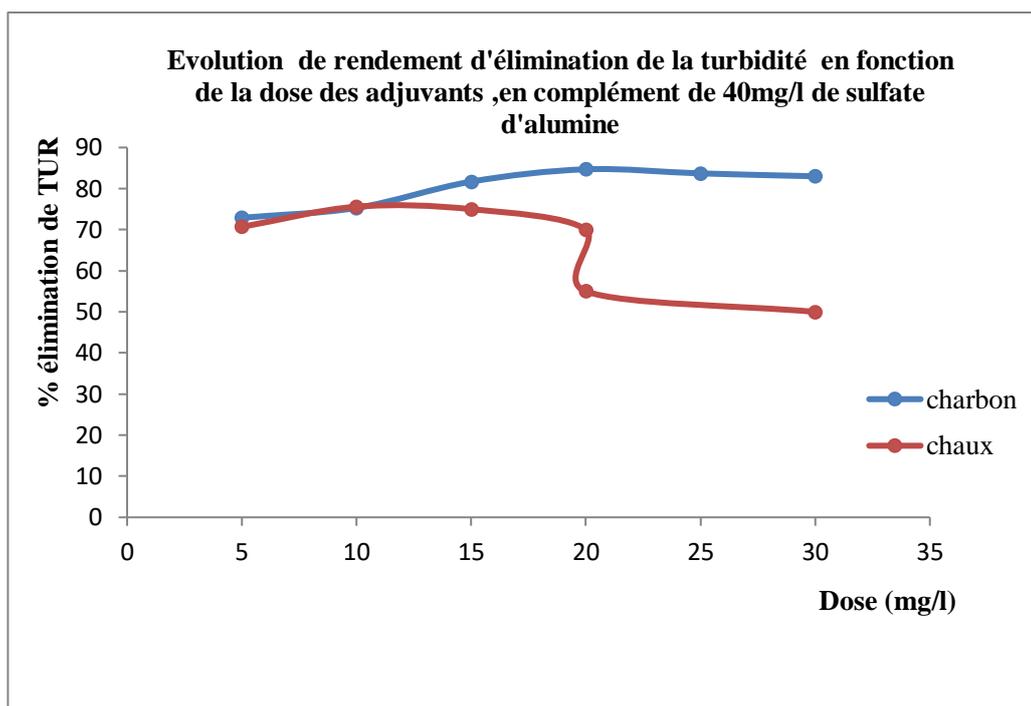


Figure V. 12 : Evolution de rendement d'élimination de la turbidité en fonction de la dose des adjuvants, en complément de 40 mg/l de sulfate d'aluminium

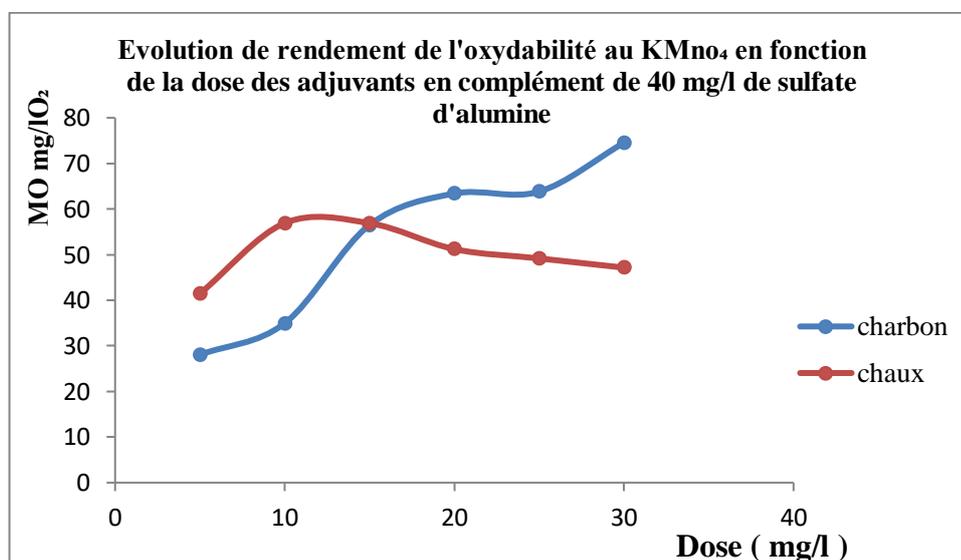


Figure V. 13 : Evolution de rendement de l'oxydabilité au KMnO4 en fonction de la dose des adjuvants en complément de 40 mg/l de sulfate d'aluminium

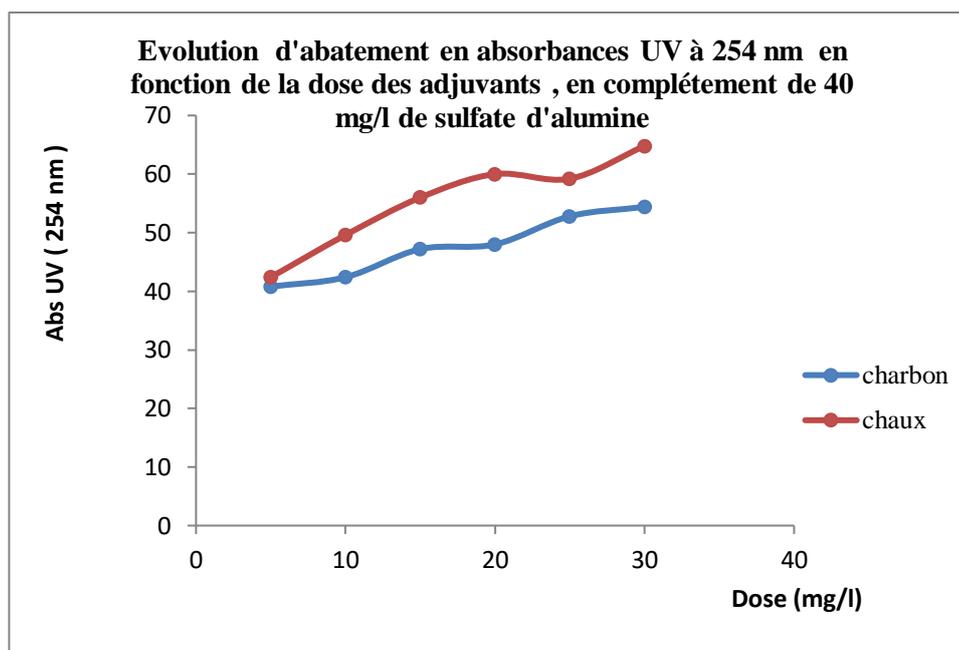


Figure V. 14 : Evolution d'abattement en Absorbance UV à 254 nm en fonction de la dose des adjuvants, en complément de 40 mg/l de sulfate d'aluminium

D'après les résultats obtenus, nous remarquons que l'évolution d'absorbances UV avec les différents adjuvants (chaux, CAP permet d'augmenter de façon importante le taux d'abattement UV.

On note ainsi que la comparaison des deux adjuvants montre que le charbon actif est le plus efficace, car il conduit à une réduction de 74.54% de la MO pour 30 mg/l de charbon. Mais la chaux améliore le rendement d'élimination de la matière organique jusqu'à 47.15% seulement pour une dose de 30 mg/ l, et on a obtenu un pH inférieur à la norme de potabilisation.

On constate aussi que le rendement d'élimination de la matière organique augmente avec l'augmentation de la dose de charbon actif en poudre et la chaux. Pour le rendement de l'élimination de la turbidité on a obtenue une augmentation de 75% pour une dose 15 mg/l de la chaux après cette dose on a remarqué une diminution de rendement jusqu'a 50%, par contre pour le charbon on a obtenu une augmentation de 84.7 % pour une dose 20 mg/l, après cette dose on a remarqué une diminution de rendement jusqu'a 83 %.

V.2.3. Influence de la pré-chloration sur la coagulation floculation

Avant d'entamer l'essai de coagulation-floculation des eaux brutes, il faut d'abord déterminer la dose de chlore à introduire par un protocole expérimentale de la demande en chlore.

➤ Résultats de détermination de la dose de chlore à introduire en Pré-chloration

Les résultats de la détermination de la dose de chlore à introduire en Pré-chloration sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau V. 7: Résultats d'essai de la demande en chlore en pré-chloration

Echantillons	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10
Cl ₂ introduit (mg/l)	1,00	1,20	1,40	1,60	1,90	2,00	2,20	2,40	2,50	2,80
Cl ₂ libre (mg/l)	< 0,1	< 0,1	0,10	0,20	0,3	0,5	0,7	0,95	1,15	1,3

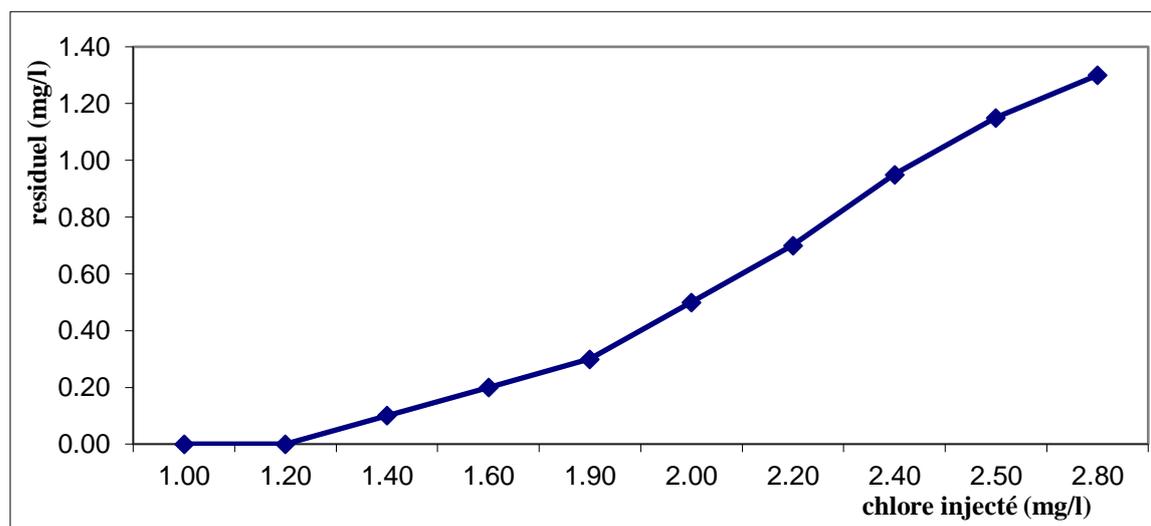
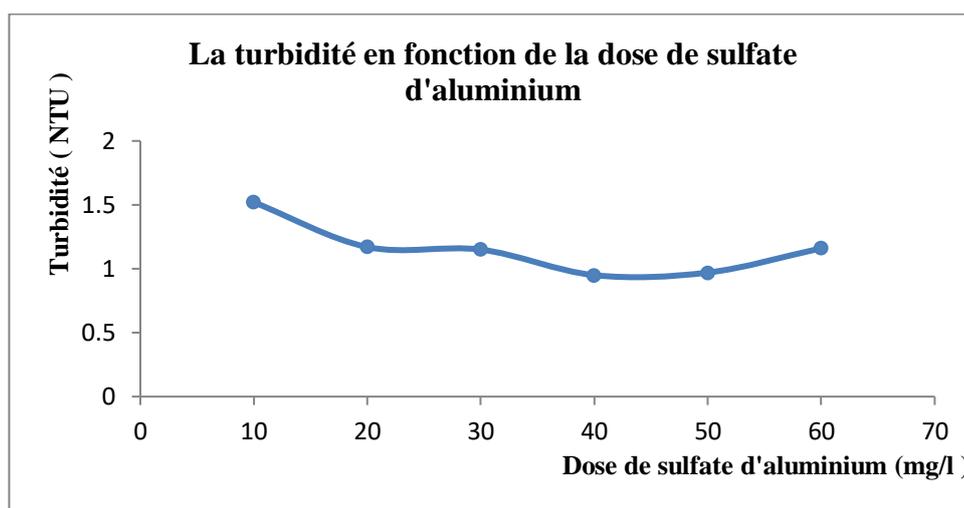


Figure V. 15 : Courbe de Break -point de l'eau brute de la station de Boudouaou

D'après les résultats obtenus, nous remarquons que : la demande en chlore après deux heures, pour obtenir un résiduel de chlore libre de 0,3 mg/l est 1,9 mg/l.

Tableau V. 8:Résultat d'essai de l'influence de la pré-chloration sur la dose du sulfate d'aluminium

Numéro de bécher	01	02	03	04	05	06
Dose optimale de chlore (mg/l)	<u>2</u>					
Dose de S.A (mg/l)	10	20	30	40	50	60
Turbidité (NTU)	1.52	1.17	1.15	0.95	0.97	1.16
Conductivité (µs/cm)	1450	1451	1445	1450	1449	1443
TDS (mg/l)	719	720	719	718	718	713
Absorbance UV 254 (nm)	0.067	0.065	0.063	0.06	0.059	0.057
pH	8.26	8.16	8.02	7.97	7.91	7.92
Oxydabilité mg/l O ₂ Consommé	1.56	1.47	1.43	1.38	1.32	1.29
% d'élimination de MO O ₂ mg/l Consommé	36.58	40.24	41.86	43.90	46.34	47.56
Rendement élimination de la turbidité (%)	84.8	88.3	88.5	90.5	90.3	88.4

**Figure V. 16** : La turbidité en fonction de la dose d'aluminium

D'après les résultats obtenus, nous remarquons que :

- Pour une dose de 2 mg/l de chlore, on a obtenu une meilleure élimination de la turbidité (0.95 à la dose optimale de sulfate d'alumine 40 mg/l. On a obtenue une diminution de ph et la matière organique avec augmentation de la dose de sulfate d'alumine, pour la matière organique on a obtenue 1.29 dans le béchers 6.
- D'après la courbe on constate également que la turbidité et le pH diminuent avec l'augmentation du la dose de sulfate d'alumine jusqu'à la dose optimale (40mg/ l). Après cette dose la turbidité augmente avec l'augmentation de la dose de sulfate d'alumine.

Tableau V. 9: Résultats des essais de coagulation - floculation sans pré- chloration

Numéro de bécher	01	02	03	04	05	06
Dose de sulfate d'aluminium (mg/l)	10	20	30	40	50	60
Turbidité (NTU)	6.02	4.10	2.68	1.94	1.89	2.00
Conductivité (µs/cm)	1464	1470	1470	1469	1464	1471
TDS (mg/l)	731	732	731	731	728	733
Absorbance UV 254 (nm)	0.10	0.90	0.77	0.079	0.072	0.074
pH	8.23	8.12	7.96	7.87	7.81	7.77
Al ³⁺ total (mg/L)	/	/	/	0.35	/	/
Oxydabilité mg/l O ₂ Consommé	1.56	1.47	1.43	1.41	1.32	1.30
% d'élimination de MO O ₂ mg/l Consommé	30.58	40.24	41.86	42.68	46.34	47.15
Rendement élimination de la turbidité (%)	39.8	59	73.2	80.6	81.1	80

La comparaison des résultats des essais avec et sans pré chloration (tableaux V.7et V.8) montre que la pré chloration favorise une meilleure élimination de la turbidité mais elle peut limiter l'abattement de la matière organique à cause de la formation de composés organochlorés difficilement éliminés par la coagulation floculation, le rendement

d'élimination de la turbidité s'améliore puisqu'une fraction des colloïdes correspondant aux bactéries est déstabilisée par inactivation de ces microorganismes [4].

V.3. Qualité physico-chimique d'eau traitée après l'optimisation aux doses optimales

Les résultats de la qualité physico-chimique d'eau traitée après l'optimisation aux doses optimales obtenus, sont regroupés dans le tableau ci-après :

Tableau V. 10: Evaluation de la qualité physico-chimique de l'eau traitée par le sulfate d'aluminium (dose optimale) et les deux adjuvants

Paramètre	Turbidité (NTU)	PH	Absorbance UV254 (nm)	TDS (mg/l)	Conductivité (µs/cm)	Mo mg/l O2	AL ³⁺ mg/l
Eau Brute	10	8.30	0.125	727	1466	2.46	/
Eau Traitée après décantation	1.17	7.48	0.060	738	1470	1.49	0.39
Eau Traitée après filtration	0.60	7.43	0.065	738	1460	1.43	0.010

Les résultats obtenus de l'évaluation de la qualité physico-chimique de l'eau traitée par sulfate d'aluminium (dose optimale) et les deux adjuvants ont montrés que il ya une très grande amélioration de la qualité des eaux de la station de traitement de Boudouaou pour tout les paramètres commençant par la turbidité ; elle est diminué de 10 a 0,60 pour l'eau traitée après filtration ; jusqu'au la matière organique (de 2,46 pour l'eau brute a 1,43mg/l).

Conclusion

Compte tenu des résultats et discussions présentés dans ce chapitre.

Les résultats des essais de coagulation –floculation selon le protocole de Jar teste avec les mêmes conditions effectuées en station apportés au cours de cette étape ont ressortir les conclusions suivantes :

- ✓ On a choisir une dose de 40 mg/l de sulfate d'alumine, qui obtenu un rendement d'élimination de la turbidité de 80.6%, malgré on a obtenu dans le bécher 5 un meilleur rendement d'élimination de la turbidité de 81.1%, qui correspond à une dose de sulfate d'alumine 50 mg/l c'est pour des raisons économiques (d'après légère différence entre les deux rendements).
- ✓ La dose optimale de coagulant à ajouter est de 40 mg/l, pour avoir une meilleure turbidité qui de 1.94 NTU, avec un meilleur abattement de la matière organiques de 2.46 mg/l à 1.41 mg/l.
- ✓ La coagulation-floculation avec une dose optimale du sulfate d'alumine comme coagulant conduit à une élimination de la turbidité 80.6% et la matière organique 42.68%.
- ✓ La dose optimale de coagulant varie selon la qualité de l'eau brute et la dose augmente avec l'augmentation de la turbidité.
- ✓ Pour une dose optimale 40 mg/l de sulfate d'alumine, on a obtenue une valeur de 0.35 de Al^{3+} , pour les valeurs de Al^{3+} dans l'eau traité ne se fait par dépassé la valeur de 0.2.
- ✓ D'après les résultats obtenus dans le (tableau 10) il ya une très grande amélioration de la qualité des eaux de la station de traitement de Boudouaou pour tout les paramètres commençant par la turbidité ; elle est diminué de 10 a 0,60 pour l'eau traitée après filtration ; jusqu'au la matière organique (de 2,46 pour l'eau brute a 1,43mg/l) et de l'aluminium (de 0.39 pour l'eau brute a 0.01mg/l).

Suite aux différents points soulevés et discutés au cours de ce chapitre, il ressort que les résultats que l'étude de l'influence des traitements parallèles à la coagulation floculation s'avère très importante pour juger de l'efficacité de l'abattement de la turbidité et la matière organique et l'Absorbance UV.

L'injection d'adjuvants avec le sulfate d'alumine est nécessaire pour le traitement des eaux .Par ailleurs, l'étape de la pré chloration souvent mise en ouvre dans les stations de potabilisation devient systématiquement condamnable, lorsqu'il s'agit de la coagulation d'une eau très chargée en matières organique à cause de la formation de composés organohalogénés difficilement éliminés par coagulation-floculation vu leur poids moléculaire relativement faible.

Conclusion générale

Conclusion générale

L'élimination des matières en suspension 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 ; elle constitue une étape primordiale pour clarifier et éliminer les matières colloïdales présentes sous forme minérale ou organique, vu qu'elles sont caractérisées par leur grande stabilité et leur faible taille.

Notre travail a pour objectif d'améliorer la qualité des eaux naturelles destinées à la consommation humaine au niveau de la station de traitement Boudouaou-SEAAL par une phase d'optimisation de la clarification. Dans ce travail nous avons étudié plus particulièrement l'élimination de la turbidité qui représente un problème principal de la station.

La première partie du mémoire a donc consisté en un état des connaissances les généralités sur les eaux naturelles, présentation de l'organisme d'accueil et les différentes étapes de leur procès de traitement et l'étape de la clarification.

La seconde partie de notre travail a été consacrée à la présentation des résultats d'essais expérimentaux que nous avons réalisés dans le cadre de cette étude. Structurés en plusieurs chapitres, cette étude expérimentale a permis la description détaillée des réactifs utilisés ainsi que des protocoles expérimentaux suivis en cours des essais qui ont été réalisés sur différents prélèvements de l'eau au niveau de la station Boudouaou.

Dans un premier temps, nous nous sommes intéressés à déterminer les caractéristiques physico- chimiques des eaux d'appoint de la station de traitement des eaux Boudouaou. Les résultats des essais de coagulation –floculation selon le protocole de Jar teste avec les mêmes conditions effectuées en station apportés au cours de cette étape ont ressortir les conclusions suivantes :

- ✓ On a choisir une dose de 40 mg/l de sulfate d'alumine, qui obtenu un rendement d'élimination de la turbidité de 80.6%, malgré on a obtenu dans le bécher 5 un meilleur rendement d'élimination de la turbidité de 81.1%, qui correspond à une dose de sulfate d'alumine 50 mg/l c'est pour des raisons économiques (d'après légère différence entre les deux rendements).

- ✓ La coagulation- floculation avec une dose optimale du sulfate d'alumine (40 mg/l) comme coagulant conduit à une élimination de la turbidité 80.6% et la matière organique 42.68%.
- ✓ La dose optimale de coagulant varie selon la qualité de l'eau brute et la dose augmente avec l'augmentation de la turbidité.
- ✓ Le pH diminue avec l'augmentation de la dose du sulfate d'alumine.
- ✓ La coagulation- floculation avec le sulfate d'alumine seul reste une solution insuffisante pour la diminution du rendement de la matière organique.

Dans un second temps, nous avons utilisé certains adjuvants et étudié l'influence de la pré chloration sur le traitement. Les conclusions suivantes peuvent être tirées :

- ✓ L'influence des adjuvants (chaux, charbon actif en poudre) sur la coagulation floculation s'avère très importante pour juger l'efficacité de l'abattement de la turbidité et la matière organique.
- ✓ L'injection d'adjuvants avec le sulfate d'alumine est nécessaire pour le traitement des eaux très chargées en matière organique ; le rendement d'élimination de la matière organique est de 42.68% pour le sulfate d'alumine seul, mais l'utilisation d'adjuvants en parallèle avec le coagulant améliore le rendement d'élimination de la matière organique et elles atteignent 63.41% avec une dose optimale 20 mg/l pour le charbon actif en poudre, 56.91% avec une dose optimale de 10 mg/l pour la chaux.
- ✓ Le charbon actif en poudre donne des meilleurs rendements par rapport à la chaux
- ✓ La pré chloration entraîne une augmentation de l'élimination de turbidité.

En conclusion on peut dire que pour l'amélioration de l'efficacité de la clarification et l'optimisation du traitement d'une eau de surface, avec le procédé de coagulation-floculation, il est indispensable de s'intéresser aux étapes de traitement en amont et en aval de ce procédé car celles-ci peuvent conditionner l'efficacité de la clarification et donc l'optimisation du traitement d'une eau de surface. Par ailleurs, l'étude d'autres paramètres est intéressante pour l'amélioration de ce traitement.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

- [1] : **LOUNNAS .A, 2009** : « Amélioration des procédés de clarification des eaux de la station HAMADI-KROMA de SKIKDA». Mémoire de Magister, Département des sciences Fondamentales, Faculté des sciences, Université 20 Aout 1995 SKIKDA.
- [2] :**BOUCHEMAL.M ET HAMMOUDIA, 2016** : « Analyse de la qualité des eaux de la station de traitement de Hammam Debegh ». Mémoire de Master en hydraulique, Département d'hydraulique, Faculté des sciences Appliquées, Université Larbi Ben M'hidi – Oum El Boughi.
- [3] : **KOUIDRI NEE BELALA .Z,2006** : « Etude et traitement de l'eau de barrage DJORF –ELTORBA de la wilaya de Bechar par filtration sur sable» .Mémoire de Magister, Département de Génie des procédés, Faculté des sciences et des sciences de l'ingénieur, Université HASSIBA BENBOUALI DE CHLEF.
- [4] : Document propres à la station de Boudouaou concernant les méthodes de traitement et les ouvrages, fournir par le service exploitation.
- [5] : **DEGREMONT**. Mémento technique de l'eau, Technique et documentation, tome 1, 1989, P : 5, 24,25.
- [6] : **MOULAI HADJ.H, 2015** : « Etude de L'influence des particules argileuses sur le traitement des eaux». Mémoire Master en hydraulique, Département d'hydraulique, Faculté de Technologie, Université ABOU BEKR BELKAID.
- [7] : **BOUMAAZA Messaouda (MCB) ,2020** : « Traitement et épuration des eaux ». Département Génie civil et hydraulique, Faculté des sciences et de la technologie, Université 08 Mai 1945 Guelma.
- [8] : **SI ABDERARAHMANE .O, 2016** : « Contribution à L'évaluation du système management qualité et des paramètres physico-chimiques, bactériologiques et organoleptiques des eaux des stations de traitement TAKSEBT et BOUDOUAOU » . Mémoire de Master, Département des sciences Agronomiques, des sciences Biologique, Université MOULOUD MAMMERI de TIZI –OUZOU.
- [9] : **AOUADI .I, 2017** : « Elimination de la matière organique dans les eaux de surface ; cas de l'eau de Barrage de Tilesdit (Région de BOUIRA)». Mémoire de Master, Département de Biologie, Faculté des sciences de la nature et de la vie et des sciences de la terre, Université AKLI MOHAND OULHADJ –BOUIRA.

- [10] : **BELKKOUCHE .H ,2017** : « Evaluation physico-chimique des eaux traitées des stations de prétraitement et de traitement de la TAFNA (OUEST Algérien)» .Mémoire de Master Professionnel , Département des sciences de la terre et de l'univers ,Faculté des sciences de la nature et de la vie et science de la terre et de l'univers , Université ABOU BEKER BELKAID –TLEMCEM.
- [11] : **HARMOUNE.L ,2019** : « Etude physico-chimique des eaux souterraines de sous bassin de SIDI ZIANE (Wilaya de BOUIRA)». Mémoire de Licence Professionnelle, Département de Génie de L'eau, Université AKLI MOHAND OULHADJ –BOUIRA.
- [12] : **BOURAHLA .KH ,2020** : « Contrôle de la qualité physico-chimique des eaux brute et traitée de l'unité de production de KOUDIAT ACERDOUNE (U.P.K.A), DJabahia – BOUIRA» .Mémoire de Licence Professionnelle en hydraulique, Département de Génie de l'eau, Université AKLI MOHAND OULHADJ –Bouira.
- [14] : **ELAGGOUNE .A ET GRINI .A, 2016** : « Optimisation de la filtration sur sable : cas de la station de traitement de l'eau potable de Hammam Debegeh Guelma » .Mémoire de Master, Département Génie civil et hydraulique , Faculté des sciences et de la technologie , Université 08 Mai 1945 de Guelma .
- [15] : **MARCEL Dore**. Chimie des oxydants et traitement des eaux. L'université de Poitiers (E.S.I.P), p : 2,3.
- [16] : **DESJARDINS.R., 1997** : « Le traitement des eaux » 2ème édition, édition l'école Polytechnique de Montréal.
- [17] : **CARDOT.C, 2005** : « Les traitements de l'eau : procédés physico-chimiques et biologiques ».Ellipses, Paris.
- [18] : **ZONGO.I, 2009**: « Etude expérimentale et théorique du procédé d'électrocoagulation : application de traitement de deux effluents textiles et un effluent simulé de tannerie ». Thèse de Doctorat en Génie Des Procédés et De Produits, Institut national polytechnique, Lorraine.
- [19] : **LAKHDARI.B, 2011** : «Effet de la coagulation-floculation sur la qualité des eaux épurées de la STEP de Ain El Houtz ». Mémoire de Magister, Spécialité : Chimie, Option : Chimie inorganique et environnement. Faculté des Sciences, Département de chimie, Université Abou Bekr Belkaid, Tlemcen
- [20] : **DESJARDINS.C, 1999**: « Simulation et étude au laboratoire de la floculation lestée(ACTFILO) à l'aide d'une procédure modifiée de Jar test ». Mémoire pour l'obtention de diplôme de maîtrise des sciences appliquées, Département des Génies Civil, Géologiques et des Mines, Université de Montréal.

[21] : AGUENTIK .K ET BOUDJENOUN KHADIDJA .S, 2017 : « Etude comparative de coagulation utilisés pour la clarification de l'eau du Barrage de Keddara par la station SEAAL DE Boudouaou –Boumerdes ». Mémoires de Master en génie des procédés, Département de génie de l'environnement, Université M'Hamed Bougara Boumerdes.

[22] : SELKA MUSTAFA .K , 2013 : « Influence des particules argileuses sur la coagulation –floculation ».Mémoire de Master en hydraulique , Département d'hydraulique , Faculté de technologie , université Abou Bker Belkaid .

[23] : HARRAT.N, 2013: « Elimination de la matière organique naturelle dans une filière conventionnelle de potabilisation d'eaux de surface ». Thèse de Doctorat en sciences, Spécialité : Hydraulique, Département : Génie Civil et Hydraulique, Faculté des Sciences et de la technologie, Université Mohamed Khider – Biskra.

[24] : BESSEDIK.M., 2014 : « support du cours : Traitement de l'eau ». Option : Licence Technologies de Traitement des eaux, Université de Abou Bekr Belkaid, Tlemcen. (http://fsi.univ-tlemcen.dz/dept_hyd.html).