REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

UNIVERSITE YAHIA FARES DE MEDEA

Faculté des Sciences et de la Technologie

Département de Génie des Procédés et Génie de l'Environnement

MEMOIRE DE MASTER

EN GENIE DES PROCEDES

Option : POLLUTION CHIMIQUE ET GESTION ENVIRONNEMENTALE

Coagulation/adoucissement avec la chaux en vue de la substitution du sulfate d'aluminium comme coagulant de l'eau de Barrage Ghrib

Par

SI MOUSSA Abderrahmane
et
BENMOULOUD Mokhtar

Devant le jury composé de :

S. HANINI	Professeur, U.Y.F. Médéa	Président
M.W. NACEUR	Professeur, U.S.D. Blida	Examinateur
S.MEGATELI	Maître de Conférences B, U.S.D. Blida	Examinateur
D. GHERNAOUT	Maître de Conférences A, U.S.D. Blida	Promoteur
O. BENKORTEBI	Maître de Conférences A, U.Y.F. Médéa	Co-Promoteur

19/09/2013

Remerciements

Je remercie avant tout Notre Dieu Allah, Le Seigneur de l'univers, le Tout Miséricordieux, le Très Miséricordieux, Que je Lui dois tout absolument tout, pour tous en particulier pour m'avoir mis sur le bon chemin.

C'est pour nous un plaisir qu'un devoir d'exprimer notre gratitude et reconnaissance à toutes les personnes qui ont contribué de loin ou de près à la réalisation de cet ouvrage.

Nos remerciements s'adressent aux membres de jurys qui ont accepté d'évaluer ce travail.

Nos remerciements sont adressés au Monsieur le Directeur de l'Unité de Médéa de l'ADE, et également à l'ensemble du personnel du laboratoire central de l'ADE, pour leurs contributions, et leurs orientations.

N'oublions pas les encouragements et l'aide de tous nos amis et collègues,

Mahfoud, Mokhtar, Younes, Abdessalem, Abderrazek et Farouk.

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à

Mes parents,

Mes frères,

Abdeldjalil, Chérif et Kamel

Mes sœurs,

Ma femme,

Ma fille,

Niama

Et à toute la famille SI MOUSSA

Sans oublie

Ami Zoubir et sa famille BENSALEM

Ayoub, Madjid et Amine

Abderrahmane

Dédicaces

JE DÉDIE CE MODESTE TRAVAIL

À

MES PARENTS,

MES FRÈRES, MES SŒURS,

MA FEMME, MES ENFANTS

ET À TOUTE LA FAMILLE BENMOULOUD

Mokhtar

ملخص

إن مياه سد غريب تتميز بقساوتها العالية، إذ أنها تتراوح بين 75 و90 درجة فرنسية، أي تعتبر مياه جد عسرة، غير لائقة للاستهلاك المنزلي أو الصناعي.

تستند المعالجة للمياه في محطة غريب على مادة كبريتات الألومنيوم [$Al_2(SO_4)_3.18H_2O$]أو السلفات الألومنيوم كمخثر وحيد، إذ يستعمل أثناء المعالجة الكيميائية. إن لهذا المخثر المنتقد بآثاره السامة على الصحة، فعالية ضئيلة لوحظت وسجلت خلال فترة طويلة على عسرة مياه سد غريب.

من خلال هذا المشكل ولهذا السبب فإن فكرة استبدال هذا المخثر بالجير والصودا في معالجة المياه لمحطة غريب هي موضوع هذه الأطروحة.

وفي خضم هذه الدراسة أجرينا تجارب عديدة للتخثير بالمواد الثلاث (السلفات، الجير والصودا) وتحاليل على نتائجها، مع المقارنة واستنتاج الجرعات الأفضل، فتوصلنا إلى الحكم بإمكانية الاستبدال الجزئي، أو الاستغناء الكلي عن كبريتات الألومنيوم، مع التقييم لفاعليته ومردوديته في تخفيض العسرة إلى النصف % 50 مع زيادة نسبية في مادة الصوديوم.

الكلمات الدالة :سد غريب، العسرة (القساوة)، التخثير، المخثر، السلفات، الجير والصودا

Résumé

Les eaux du Barrage Ghrib sont caractérisées par une dureté élevée, allant de 75 à 90°F. Ceci fait que cette eau est très dure et désagréable à la consommation domestique ou industrielle. Le traitement au niveau de la Station de Ghrib (SG) est basé sur le sulfate d'alumine [$Al_2(SO_4)_3.18H_2O$], alun, comme coagulant unique et est utilisé lors du traitement chimique. Ce coagulant, dont les effets toxiques sur la santé sont critiqués, a un effet minimal remarqué sur la dureté totale, et ceci est enregistré depuis une période assez longue. Pour cette raison, l'idée d'étudier le remplacement de ce coagulant par la chaux et la soude dans le traitement des eaux, au niveau de la SG, est examinée dans ce travail. Pour cela, plusieurs essais de coagulation (jar test) pour les trois réactifs (alun, chaux et soude) ont été faits et des analyses physicochimiques ont été menées pour juger de la possibilité du remplacement partiel ou total. Des doses optimales ont été trouvées, pour la valorisation de la chaux dans la réduction jusqu'à la moitié 50%de la dureté totale de l'eau traitée avec, cependant, une augmentation relative du sodium.

***Mots clés* :** Barrage Ghrib**,** Dureté, Sulfate d'alumine, Coagulation, Coagulant, Chaux, Soude.

Abstrat

Dam waters Ghrib are characterized by high hardness ranging from 75 to 90 ° F. This makes the water is very hard and unpleasant domestic or industrial consumption. Treatment at the Ghrib (SG) resort is based on the alum [$Al_2 (SO_4)_3.18H_2O$] alum as the sole coagulant and is used in the chemical treatment. This coagulant, whose toxic effects on health are criticized, has a minimal effect observed on the total hardness, and this is recorded for a long period. For this reason, the idea of studying the replacement of the coagulant by lime and soda in water treatment at the SG, is examined in this work. For this, several coagulation tests (jar test) for the three reagents (alum, lime and soda) were made and physicochemical analyzes were conducted to assess the possibility of partial or total replacement. Optimal doses have been found to increase the value of lime in reducing to half the total hardness of treated water, however, a relative increase in sodium.

Keywords: Dam Ghrib, hardness, Coagulation, Coagulant, sulfate of alumina, lime, soda.

Liste des abréviations

AT : Acidité Totale

CMA : Concentration Maximale Admissible

C : Conductivité

CMA : Concentration maximale admissible

DBO : Demande biochimique en Oxygène

DCO : Demande chimique en oxygène

DPD : Diméthyle-P-phényle diamine.

EDTA : Ethyle Diamine Tétra Acétique

ERU : eaux résiduelles urbaines

Méq/l : milli équivalent par litre

M E S : Matières en suspension

M.O : matières organiques

N : Normalité

NTU: Nephelometric Turbidity Unit

OI: Osmoses Inverse

OMS : Organisation Mondiale de la Santé

PE : Prise d'Essai

pH : Potentiel d'Hydrogène

STEP : Station d'épuration.

TAF : Taux d'Acides Forts

T°C : Température en degré Celsius.

TA : Titre Alcalimétrique

TAC : Titre Alcalimétrique Complet

TH : Titre Hydrométrique

TH (Ca^{2+}) : Dureté Calcique

TH (Mg^{2+}) : Dureté Magnésienne

UV : Ultra violet

°F : Degrés français.

µs /cm : Micro siemens par centimètre

ppm : Partie par million

NG : nouveau guide

SOMMAIRE

Dédicaces
Remerciements
Résumé
Liste des abréviations
Sommaire
Introduction générale 01
Partie Théorique

Chapitre 1 : Eaux de surface et leur traitement conventionnel

1.1- Introduction 03
1.2- Origine 03
1.3- Caractéristiques générales 03
1.4- Caractéristiques de barrages 04
1.5- Potabilité des Eaux De Barrage 05
1.6- Qualité de l'eau potable 06
1.6.1- Qualités organoleptiques 06
1.6.2- Qualités physicochimiques 06
a- Paramètres physicochimiques 07
- Température 06
- pH 07
- Conductivité et sels dissous totaux 07
- Salinité 08
-Turbidité 08
- Oxygène dissous 08
b- Paramètres en relation avec la structure de l'eau (minéralisation globale) 09
- Calcium et magnésium (Ca^{2+} et Mg^{2+}) 09
- Sodium et potassium (Na^{+}et K^{+}) 10
- Chlorures (Cl^{-}) 10
- Sulfates (SO_4^{2-}) 10
- Résidu sec 10
- Dureté totale (TH), titre alcalimétrique (TA) et titre alcalimétrique Complet (TAC) 11

c- Paramètres indésirables 12
- Aluminium 12
- Fer 12
- Manganèse 13
d- Paramètres de pollutions 13
- Matière Organique (MO) 13
- Ammonium (NH_4^+) 14
- Nitrates et nitrites (NO_3^- et NO_2^-) 14
- Phosphates (PO_4^{3-}) 14
e- Paramètres toxiques 15
1.6.3- Qualité bactériologique 14
1.7- Normes de la qualité d'eau potable 15
1.8- Procédés de traitement des eaux de consommation 17
1.8.1- Prétraitement 18
1.8.2- Pré-oxydation 19
1.8.3- Clarification 19
a- Coagulation-floculation 20
b- Décantation-flottation 20
c- Filtration 20
d- Oxydation-désinfection 21
e- Affinage 21
1.9 Description du Barrage Ghrib (BG) et la station de traitement 21
1.9.1- Présentation du Barrage Ghrib (BG) 21
1.9.2- Présentation de la station de traitement des eaux potables du BG 22
1.9.3- Evolution de la qualité des eaux de BG 23
1.10 - Adoucissement 24
1.10.1- Domaine d'application 24
1.10.2- Méthodes d'adoucissement de l'eau 24
a- Méthodes thermiques d’adoucissement 24
b-Méthodes chimiques d’adoucissement de l’eau 25
- Méthode calcosodique 25
- Méthode phosphatée 26
c- Procédés d'adoucissement par précipitation 26

1.10.3- Précipitation des sels 26
a- Elimination du calcium et du magnésium 26
- Décarbonatation à la chaux 26
- Emploi du carbonate de sodium 27
- Précipitation par la soude caustique 28
b- Elimination des sulfates 28
Partie expérimentale
Chapitre 2 : Techniques Expérimentales (Matériels et méthodes)
2.1- Réactifs et dosages 29
2.2- Appareil de jar test 29
2.3- Echantillonnage 30
2.4- Matériel de prélèvement 30
2.5- Matériels utilisés pour les analyses physicochimiques 30
2.5.1- Matériels pour analyse 30
2.5.2- Appareillage et verrerie 31
2.6- Principaux renseignements à fournir pour une analyse d'eau 31
Chapitre 3 : Résultats et interprétations
3.1-Introduction 32
3.2- Résultats obtenus 33
3.2.1-Variation de la dose injectée en sulfate d'alumine seul 33
3.2.2- Variation de la dose injectée de la chaux seule 34
3.2.3- Variation de la dose injectée de la soude seule 35
3.2.4- Variation des doses de la chaux et de la soude en fixant la dose de sulfate en 40mg/L 37
3.2.5-Variation des doses de la chaux et de la soude en fixant la dose de sulfate en 20mg/L 39
3.2.6- Variation des doses de la chaux et de la soude en fixant la dose de sulfate en 15 mg/L 41
3.2.7-Comparaison entre les trois meilleures performances achevées jusqu'à présent 44
3.3. Interprétation des résultats 46
3.3.1-Eficacité du traitement 46
3.3.2-Exploitation des résultats du Jar test 48
3.3.3-Tableau récapitulatif des cas où le traitement se fait par un ou 48

deux réactifs seulement
3.3.4-Classement des 20 premiers rendements obtenus et leurs doses correspondent
3.3.5-Avantages de la coagulation par la chaux et la soude 49
3.3.6-Conclusion 50
Conclusion générale 52
Annexe 1
Annexe 2
Liste des figures et des tableaux
Références bibliographiques

INTRODUCTION

En général, une eau est classée suivant sa dureté, sous quatre catégories, soit *douce*, *modérée*, *dure*, ou *très dure*. Bien que la dureté puisse avoir sur l'eau des effets d'ordre esthétique ou organoleptique, elle sert traditionnellement à mesurer le pouvoir de réaction de l'eau avec le savon, où l'eau dure à besoin d'une quantité considérable de savon pour produire de la mousse ; par ailleurs, elle provoque également l'entartrage des canalisations d'eau chaude, des chaudières et des appareils ménagers. On n'a pas fixé de concentration maximale acceptable car la tolérance du public à l'égard de la dureté peut varier considérablement selon les conditions locales. Une eau dont la dureté est supérieure à 200 mg/L $CaCO_3$ est considérée comme *"médiocre"* même si elle est tolérée par les consommateurs ; les eaux dont la dureté est supérieure à 500 mg/L sont inacceptables pour la plupart des usages domestiques [1]. La dureté de l'eau est due aux ions métalliques polyvalents dissous. Dans l'eau douce, les principaux ions responsables de la dureté sont les ions calcium et magnésium ; les ions strontium, fer, baryum et manganèse y contribuent également. La dureté peut être mesurée par la réaction des ions métalliques polyvalents d'un échantillon d'eau avec un chélateur comme l'acide éthylènediaminetétraacétique (EDTA) et est exprimée en concentration équivalente de carbonate de calcium ($CaCO_3$). On peut également évaluer la dureté de l'eau en déterminant séparément la concentration de chaque élément de la dureté et en exprimant leur somme en quantité équivalente de $CaCO_3$. Le degré de dureté de l'eau potable peut être classé comme

suit, en fonction de la concentration de $CaCO_3$: eau *douce*, de 0 à 60 mg/L ; eau *modérément dure*, de 60 à 120 mg/L ; eau *dure*, de 120 à 180 mg/L ; eau *très dure*, 180 mg/L et plus.

Même si la dureté est causée par des cations, on parle souvent de dureté carbonatée (temporaire) et de dureté non carbonatée (permanente). La dureté carbonatée concerne la quantité de carbonates et de bicarbonates qui peut être éliminée ou précipitée par ébullition. Ce type de dureté est responsable de l'entartrage des canalisations d'eau chaude et des bouilloires. La dureté non carbonatée est due à l'association des cations responsables de la dureté avec les sulfates, les chlorures et les nitrates. On l'appelle également *"dureté permanente"*, car elle ne peut être éliminée par ébullition. L'alcalinité, indice du pouvoir tampon de l'eau, est étroitement liée à la dureté. L'alcalinité est produite en majeure partie par des anions ou des espèces moléculaires d'acides faibles, principalement l'hydroxyde, le bicarbonate et le carbonate ; d'autres espèces, comme les borates, les phosphates, les silicates et les acides organiques, peuvent également y contribuer dans une certaine mesure. Bien que de nombreuses espèces de solutés puissent contribuer à l'alcalinité de l'eau, l'alcalinité est exprimée en quantité équivalente de $CaCO_3$ [2].

C'est dans ce contexte que s'inscrit cette présente étude dont l'objectif principal est de remplacer le réactif, le sulfate d'aluminium (alun), de la coagulation utilisé en traitement des eaux à la Station Ghrib par d'autres réactifs qui peuvent jouer simultanément deux rôles : la *coagulation* et l'*adoucissement*. La coagulation est un processus qui vise l'augmentation de la tendance des petites colloïdales dans une suspension pour s'attacher les unes aux autres et à se fixer sur des surfaces solides telles que les grains dans un lit filtrant. La coagulation est également utilisée pour effectuer la suppression de certaines matières solubles par adsorption et précipitation. D'autre part, l'adoucissement de l'eau vise essentiellement à éliminer partiellement les sels de calcium et de magnésium (responsables de la dureté de l'eau) [3].

Des essais de jar test, avec plusieurs doses des réactifs préparés au laboratoire, sont faits pour les eaux brutes du Barrage Ghrib pendant les mois de mars et avril de cette année. Sur les échantillons examinés au jar test, des analyses physicochimiques sont également effectuées.

Chapitre 1
Eaux de surface et leur traitement conventionnel

1.1 Introduction

Le terme *"eaux de surface"* englobe toutes les eaux circulantes ou stockées à la surface du continent. Elles sont exposées à toute sorte de pollution que nous pouvons imaginer. Elles sont donc des eaux polluées. Elles contiennent des matières en suspension (MES), des microorganismes provenant du sol, des déchets domestiques et industriels.

1.2 Origine

Elles ont pour origine, (1) soit des nappes profondes dont l'émergence constitue une source de ruisseau, de rivière, (2) soit les eaux de ruissellement. Ces eaux se rassemblent en cours d'eau qui sont caractérisés par une surface de contact eau-atmosphère toujours en mouvement et une vitesse de circulation appréciable. Elles peuvent se trouver stockées en réserves, naturelles (lacs) ou artificielles (retenues, barrages), caractérisées par une surface d'échange eau-atmosphère quasiment immobile, une profondeur qui peut être importante, et un temps de séjour appréciable [4].

1.3 Caractéristiques générales

La composition chimique des eaux de surface dépend de la nature des terrains traversés par l'eau durant son parcours dans l'ensemble des bassins versants. Au cours de son cheminement, l'eau dissout les différents éléments constitutifs des terrains. Par échange à la surface eau-atmosphère, ces eaux se chargent en gaz dissous (O_2, N_2, CO_2). Il faut noter :

– une concentration importante en MES, tout au moins pour les eaux courantes. Ces MES sont très diverses, allant des particules colloïdales aux éléments constitutifs entraînés par les rivières en cas d'augmentation du débit. Dans le cas des eaux de barrages, le temps de

séjour provoque une décantation naturelle des éléments les plus grossiers : la turbidité résiduelle est alors colloïdale,

- la présence de matières organiques (MO) d'origine naturelle provenant de la décomposition des organismes végétaux et animaux vivant à la surface du bassin versant ou dans la rivière et qui se décomposent après leur mort (végétaux ou animaux),
- la présence de plancton : les eaux de surface sont le siège d'un développement important de phytoplancton (algues) et de zooplancton. Dans certaines conditions, une vie aquatique intense peut se développer : développement de végétaux saprophytes.
- les variations journalières (différence de température, d'ensoleillement) ou saisonnières : variations climatiques (température, fonte des neiges), de végétation (chute des feuilles). Elles peuvent être aléatoires : pluies soudaines, orages, pollutions accidentelles. Dans les retenues d'eau de surface, la qualité de l'eau varie de la surface de l'eau jusqu'au fond de la retenue (O_2, Fe, Mn, oxydabilité, plancton). Le profil de chacun de ces paramètres varie lui-même en fonction des périodes de l'année,
- la pollution organique conduisant souvent à l'eutrophisation des eaux [4].

Le Tableau 1.1 donne les caractéristiques des eaux de surface.

1.4 Caractéristiques des barrages

Un barrage est un étendue d'eau plus ou moins profonde, dont la rétention des eaux est due à l'existence d'une contre-pente qui peut se remplir par ruissellement (ou par des apports d'eaux de sources), et qui ne subit pas l'influence des mers et océans du globe. La composition des eaux tient à la nature géologique des terrains du bassin versant et à celle du fond de la retenue. Elle subie des variations grâce : (1) au régime des vents qui modifie la concentration en CO_2 (par agitation de l'eau); (2) aux pluies qui amènent surtout des MES; (3) à la température qui règle les cycles de recirculation de la masse d'eau : la surface des barrages est en contact avec l'atmosphère et possède une température sensiblement identique; (4) les parties les plus profondes sont occupées par de l'eau à une densité supérieure à celle de surface, cette densité peut atteindre le maximum au fond, pour une température de 4°C.

Tableau 1.1 Caractéristiques des eaux de surface [4].

Caractéristique	**Eaux de surface**
Température	Variable suivant les saisons
Turbidité, MES (vraie ou colloïdale)	Variables, parfois élevées
Couleur	Liée surtout aux MES (argile, algue) sauf dans les eaux très douces ou acides (acide humique)
Minéralisation globale	Variable en fonction des terrains, des rejets, des précipitations
Fe et Mn divalents à l'état dissous	Généralement absents sauf en profondeur des pièces d'eau en état d'eutrophisation
CO_2 agressif	Généralement absent
O_2 dissous	Le plus souvent au voisinage de la saturation. Absent dans le cas d'eaux très polluées
H_2S	Généralement absent
NH_4^+	Présent dans les eaux très polluées
Nitrates	Peu abondants en général
Micropolluants minéraux et organiques	Présents dans les eaux de pays développés, mais susceptibles de disparaître rapidement après suppression de la source
Éléments vivants	Bactéries (dont certaines pathogènes), virus, plancton (animal et végétal)
Solvants chlorés	Rarement présents
Caractère eutrophe	Fréquent, accentué par les températures élevées

1.5 Potabilité des eaux de barrage

Les eaux de barrages sont rarement potables sans aucun traitement. Outre les éléments constitutifs, les eaux de barrage sont généralement polluées bactériologiquement. De plus, elles peuvent présenter plusieurs pollutions :

- d'origine urbaine : eaux usées provenant des latrines et des fosses septiques.
- d'origine industrielle : polluants et micro-polluants organiques (hydrocarbures, solvants, produits de synthèse, phénols) ou inorganiques (métaux lourds, ammoniaque, produits toxiques),
- d'origine agricole : engrais et produits pesticides ou herbicides entraînés par les eaux de pluies et le ruissellement. Egalement rejets organiques dus à la présence d'élevages importants [4].

1.6 Qualité de l'eau potable

L'adjectif *"potable"* signifie *« qui peut être bu »*. Cet adjectif vient du latin *« potare »* signifiant *"boire"*. Cet adjectif a aujourd'hui une définition première plus précise, à savoir *« qui peut être bu sans danger pour la santé »* [2]. Comme les eaux potables sont d'origines diverses, leur contamination est, elle aussi, variée. C'est pourquoi pour qu'une eau soit potable et consommable, il faut qu'elle réponde à certaines caractéristiques satisfaisantes des points de vue organoleptiques, physicochimiques, et bactériologiques.

1.6.1 Qualités organoleptiques

Les qualités organoleptiques (terme qualifiant les substances qui peuvent impressionner les organes sensoriels) attendues d'une eau de consommation sont la limpidité, l'absence de couleur et d'odeur, l'absence de saveur désagréable et enfin la fraîcheur.

1.6.2 Qualités physicochimiques

La qualité physico-chimique des eaux est déterminée à partir de mesures ponctuelles et non continues. Il est donc possible que les prélèvements soient réalisés lors de conditions exceptionnelles (aussi bien favorables que défavorables), peu représentatives du véritable état du milieu. On distingue les paramètres suivants :

a) Paramètres physicochimiques

Les paramètres physicochimiques sont des paramètres simples à mesurer. On les mesure généralement sur le terrain. S'attachent davantage à déterminer la composition naturelle des impuretés de l'eau et à étudier ses équilibres [9].

- *Température*

La température de l'eau est un paramètre de confort pour les usagers. Elle permet également de corriger les paramètres d'analyse dont les valeurs sont liées à la température (conductivité notamment). De plus, en mettant en évidence des contrastes de température de l'eau sur un milieu, il est possible d'obtenir des indications sur l'origine et l'écoulement de l'eau. La température doit être mesurée *in situ* [1].

- *pH*

Le pH (potentiel hydrogène) mesure la concentration en ions H^+ de l'eau. Il traduit ainsi la balance entre acide et base sur une échelle de 0 à 14, 7 étant le pH de neutralité. Ce paramètre caractérise un grand nombre d'équilibres physicochimiques et dépend de facteurs multiples, dont l'origine de l'eau (Tableau 1.2). Le pH doit être impérativement mesuré sur le terrain à l'aide d'un pH-mètre ou par colorimétrie [1].

Tableau 1.2 Classification des eaux d'après leur pH [1].

pH < 5	Acidité forte, donc présence d'acides minéraux ou organiques dans les eaux naturelles
pH = 7	pH neutre
7 < pH < 8	Neutralité approchée, pour la majorité des eaux de surface
5,5 < pH < 8	Majorité des eaux souterraines
pH = 8	Alcalinité forte, évaporation intense

- *Conductivité et sels dissous totaux*

La conductivité mesure la capacité de l'eau à conduire le courant entre deux électrodes. La plupart des matières dissoutes dans l'eau se trouvent sous forme d'ions chargés électriquement. La mesure de la conductivité permet donc d'apprécier la quantité de sels dissous totaux (en Anglais, *Total Dissolved Salts*, d'où l'abréviation *TDS*) dans l'eau (Tableau 1.3). La conductivité est également fonction de la température de l'eau : elle est plus importante lorsque la température augmente. Les résultats de mesure doivent donc être présentés en termes de conductivité équivalente à 20 ou 25°C. Les appareils de mesure utilisés sur le terrain effectuent en général automatiquement cette conversion. La conductivité électrique est exprimée en milliSiemens/centimètre (mS/cm) ou microSiemens/centimètre (µS/cm) et le TDS en mg/L. La conductivité est également l'un des moyens de valider les analyses physicochimiques de l'eau [3].

Tableau 1.3 Classes des eaux de boisson en fonction de leur conductivité (µS/cm) [17].

Conductivité (µS/cm)	**Minéralisation**	**Qualité de l'eau**
C < 100	Très faible	Excellente
100 < C < 200	Faible	Excellente
200 < C <400	Peu accentuée	Excellente
400 < C < 600	Moyenne	Bonne
600 < C < 1000	Importante	Utilisable
C > 1000	Excessive	Peu utilisable

- *Salinité*

Les principaux sels responsables de la salinité de l'eau sont les sels de calcium (Ca^{2+}), de magnésium (Mg^{2+}), de sodium (Na^{+}), les chlorures (Cl^{-}), les sulfates (SO_4^{2-}) et les bicarbonates (HCO^{3-}). Une valeur élevée de la salinité signifie une grande quantité d'ions en solution, ce qui rend plus difficile l'absorption de l'eau et des éléments minéraux par la plante. La salinité peut se mesurer de deux façons, (1) soit par les matières dissoutes totales, (2) ou, plus couramment, par la conductivité électrique [1].

- *Turbidité*

La mesure de la turbidité permet de préciser les informations visuelles sur l'eau (Tableau 1.4). La turbidité traduit la présence de particules en suspension dans l'eau (débris organiques, argiles, organismes microscopiques). Les désagréments causés par une turbidité auprès des usagers sont relatifs car certaines populations sont habituées à consommer une eau plus ou moins trouble et n'apprécient pas les qualités d'une eau très claire. Cependant une turbidité forte peut permettre à des microorganismes de se fixer sur des particules en suspension. La turbidité se mesure sur le terrain à l'aide d'un turbidimètre [1].

Tableau 1.4 Classes de turbidité usuelles (NTU, *nephelometric turbidity unit*).

NTU < 5	Eau claire
5 < NTU < 30	Eau légèrement trouble
NTU > 50	Eau trouble

- *Oxygène dissous*

L'eau absorbe autant d'oxygène que nécessaire pour que les pressions partielles d'oxygène dans le liquide et dans l'air soient en équilibre. La solubilité de l'oxygène dans l'eau est fonction de la pression atmosphérique (donc de l'altitude), de la température et de la minéralisation de l'eau : la saturation en O_2 diminue lorsque la température et l'altitude augmentent. C'est un paramètre utilisé essentiellement pour les eaux de surface. Une eau très aérée est généralement sursaturée en oxygène (torrent), alors qu'une eau chargée en MO dégradables par des microorganismes est sous-saturée. En effet, la forte présence de MO, dans un plan d'eau par exemple, permet aux microorganismes de se développer tout en

consommant de l'oxygène. L'oxygène dissous est donc un paramètre utile dans le diagnostic biologique du milieu eau. La mesure se fait à l'aide d'une petite cellule (oxymètre) [1].

b)Paramètres en relation avec la structure de l'eau (minéralisation globale)

Ce sont eux qui font l'identité de base de l'eau. Ils sont essentiellement représentés par les sels minéraux (calcium, sodium, potassium, magnésium, sulfates, bicarbonates, dureté totale, silices, résidu sec à 180°C) ou par des indicateurs plus globaux comme la conductivité électrique, qui permet d'avoir une idée de la salinité de l'eau, et le titre alcalimétrique, qui permet d'apprécier la concentration de tous les carbonates et bicarbonates dans l'eau, et la dureté totale [4].

- *Calcium et magnésium (Ca^{2+} et Mg^{2+})*

Ce sont des métaux alcalino-terreux extrêmement répandus dans la nature et en particulier dans les roches calcaires (2,1% de l'écorce terrestre), sous forme de carbonates. Ces sels se rencontrent dans presque toutes les eaux naturelles. La plupart des eaux naturelles présentent des teneurs en calcium comprises entre 1 et 150 mg/L et la teneur en magnésium dans l'eau qui peut varier de 5 à 50 mg/L. Ces concentrations sont en relation directe avec la nature géologique des terrains. Les sels de calcium sont obtenus en majorité lors de l'attaque de roches calcaires par l'anhydride carbonique dissous (CO_2). Il constitue l'élément cationique dominant des eaux superficielles. Le magnésium dans l'eau provient de l'attaque par l'acide carbonique des roches magnésiennes et de la mise en solution de magnésium sous forme de carbonates ($MgCO_3$) et de bicarbonates [$Mg(HCO_3)_2$]. Le calcium et le magnésium sont des éléments principaux de la dureté de l'eau [4].

- *Sodium et potassium (Na^{+}et K^{+})*

Le sodium et le potassium sont des éléments dont la concentration dans l'eau varie d'une région à une autre. Il n'existe pas de danger dans l'absorption des quantités relativement importantes de potassium et sodium sauf pour les malades hypertendus. Pour les doses admissibles de sodium dans l'eau il n'y a pas de valeur limite standard ; cependant, les

eaux trop chargées en sodium deviennent saumâtres et la teneur en potassium dans les eaux naturelles est de l'ordre de 10 à 15 mg/L.

- *Chlorures (Cl^-)*

Les chlorures sont très répandus dans la nature, généralement sous forme de sels de sodium (NaCl), de potassium (KCl) et de calcium ($CaCl_2$). Les ions chlorures (Cl^-), dont la plus grande partie se trouve dans les océans, constituent environ 0,05% de la lithosphère (partie solide de la sphère terrestre). De façon générale, l'ion chlorure est présent dans toutes les eaux, à des concentrations variables. Dans les eaux de surface, il est présent en faible concentration [04].

- *Sulfates (SO_4^{2-})*

Composés naturels des eaux, les ions sulfates ($S0_4^{2-}$) sont liés aux ions majeurs. La plupart des sulfates sont solubles dans l'eau. Ils peuvent, néanmoins, être réduits en sulfure, volatilisés dans l'air en sulfure d'hydrogène (H_2S), précipités en sel insoluble ou assimilés par des organismes vivants. La concentration en sulfates dans les eaux naturelles est très variable [04].

- *Résidu sec*

Le résidu sec constitue une mesure globale de la minéralisation. Cette dernière peut être également approchée par la mesure de la conductivité ou de son inverse, la résistivité [1].

- *Dureté totale (TH), titre alcalimétrique (TA) et titre alcalimétrique Complet (TAC)*

Titre hydrotimétrique (TH) : Le TH caractérise la dureté (concentration en ions alcalinoterreux dans l'eau). Elle est directement liée à la nature géologique des terrains traversés. Ainsi, un sol calcaire ou crayeux donnera une eau *"dure"* ou *"calcaire"* (donc fortement minéralisée en calcium et magnésium), alors qu'une eau traversant un sol cristallin

(granitique), comme le sable, sera *"douce"*. L'eau souterraine est généralement plus dure que l'eau de surface. En effet, plus riche en acide carbonique et en oxygène dissous, elle possède un haut pouvoir solubilisant vis-à-vis des sols et des roches. Les eaux agressives sont des eaux présentant une faible minéralisation, donc douces associées à un pH acide.

La présence d'hydrogénocarbonate (HCO_3^-) peut conduire à la formation d'un précipité de carbonate de calcium ou de magnésium lors, notamment, d'une élévation de la température. L'équation de la réaction pour le calcium est la suivante :

$$Ca(HCO_3)_2 \rightarrow CaCO_3 + H_2O \quad (1.1)$$

Ce phénomène est à l'origine de l'entartrage des circuits d'eau domestique. On distingue le TH total, teneur en Ca^{2+} et Mg^{2+}, du TH calcique, teneur en Ca^{2+}.

Dureté carbonatée et non carbonatée : La dureté carbonatée (dureté temporaire) correspond à la partie de la dureté totale chimiquement équivalente à la quantité des carbonates (CO_3^{2-}) et des bicarbonates (HCO_3^-). La dureté non carbonatée (duré permanente) correspond à la somme des ions calcium et magnésium liés aux sulfates, aux chlorures et aux nitrates.

Titre alcalimétrique (TA) : Il détermine la teneur en hydroxydes (OH^-) et la moitié de celle en carbonates.

Titre alcalimétrique complet (TAC) : Il détermine la teneur en carbonates, bicarbonates et hydroxydes.

L'ensemble de ces paramètres s'exprime en degré Français (°F), en milliéquivalent par litre (meq/L) ou en mg $CaCO_3$/L, avec les correspondances suivantes [6] :

$$1°F = 10 \text{ mg } CaCO_3/L = 0,2 \text{ meq/L} \quad (1.2)$$

c) Paramètres indésirables

Sont dites indésirables certaines substances qui peuvent créer un désagrément pour le consommateur [12]. Il s'agit d'un choix un peu arbitraire : certaines de ces substances pouvant être bénéfiques à très petites doses (oligo-éléments tels que Fer, Manganèse, Aluminium, Cuivre, Zinc, Fluor) [1].

- *Aluminium*

L'origine de l'aluminium est surtout naturelle (environ 8% de la croûte terrestre), on le trouve sous forme d'oxydes, mais plus souvent en composés alumino-silicatés. C'est la solubilisation des minéraux qui est la cause initiale de la présence de cet élément. L'aluminium est extrait principalement de la bauxite et des latérites (*des roches rouges*). Sous forme de métal pur, il se prête à certaines applications ; cependant, en raison de sa faible résistance mécanique, on utilise ses alliages. L'aluminium est devenu le métal le plus utilisé après le fer et l'acier.

La question de l'aluminium se pose essentiellement après traitement de l'eau avec un composé d'aluminium. Même si aucun risque sanitaire n'a pu être prouvé, on évoque le rôle aggravant de cet élément dans la maladie d'Alzheimer. Selon l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS), la présence d'aluminium à des concentrations supérieures à 0,2 mg/L provoque souvent des plaintes de la part des consommateurs [1].

- *Fer*

Le fer est un des métaux les plus abondants de la croûte terrestre. Il est présent dans l'eau sous trois formes : le fer ferreux (Fe^{2+}), le fer ferrique (Fe^{3+}) et le fer complexé à des MO (acides humiques, fulviques, tanniques, etc.) et minérales (silicates, phosphates, etc.). Dans les eaux bien aérées, le fer ferreux est oxydé en fer ferrique qui précipite sous forme d'hydroxyde : $Fe(OH)_{3(s)}$.

La présence du fer dans l'eau provient principalement : du lessivage des sols, avec dissolution des roches et minerais, des rejets industriels, de la corrosion des canalisations métalliques, et de l'utilisation de sels ferriques comme coagulants [3].

- *Manganèse*

Le manganèse est présent, en quantité moindre que le fer, dans les roches et dans l'eau sous trois formes principales : ion manganeux (Mn^{2+}) à l'état naturel (sans influence notable sur la couleur à l'état dissous); ion manganique (Mn^{4+}) au cours de traitement (généralement

insoluble et précipité sous forme de MnO_2 (brun-noir)); ion permanganique (Mn^{7+}) à l'état dissous (permanganate, de couleur rose à violette). Le manganèse peut se trouver complexé à des substances organiques ou lié à des bactéries. Son origine dans l'eau provient essentiellement de la dissolution des roches, et d'éventuels rejets industriels [3].

d) Paramètres de pollutions

Ce sont les pollutions récentes, d'origine industrielle ou humaine. On classe dans cette rubrique : la MO, le carbone organique total, les dérivés azotés (nitrates, nitrites, ammonium), le phosphore, et l'hydrogène sulfuré [1].

- Matière Organique (MO)

La matière organique naturelle (MON) est principalement issue de la décomposition des végétaux, des animaux et des microorganismes. Il est donc difficile d'en donner une description précise ou une composition moyenne. Elle participe à beaucoup de paramètres de qualité de l'eau : couleur, sous-produits de désinfection (SPD), odeurs, saveurs, etc. Il est, cependant, possible de donner des valeurs moyennes de concentrations de MON rencontrées dans les eaux utilisées pour la production d'eau potable : pour une eau de surface, la concentration varie de 2 à 10 mg/L pour le carbone organique total [1].

- Ammonium (NH_4^+)

L'ion ammonium, NH_4^+, est la forme réduite de l'azote organique. Il provient principalement de la décomposition des protéines naturelles contenues dans le phytoplancton et les microorganismes. Il peut être aussi issu de l'apport d'effluents urbains épurés, de rejets industriels ou agricoles. Il se trouve dans les eaux naturelles à des concentrations qui peuvent varier de 0,1 à plus de 10 mg/L [1].

- Nitrates et nitrites (NO_3^- et NO_2^-)

Les nitrates proviennent de l'oxydation complète de l'azote organique et les nitrites de l'oxydation incomplète. Les principales sources de pollution sont l'utilisation des engrais, la fabrication d'explosifs, l'industrie chimique et alimentaire. La teneur en nitrates de l'eau est généralement plus élevée que celle des nitrites. Une forte concentration en nitrites indique une pollution bactériologique par suite de l'oxydation de l'ammoniac. Aucun traitement classique de l'eau ne modifie considérablement la teneur en nitrates [15].

L'exposition à de fortes teneurs en nitrate augmente la concentration des nitrites salivaires. La réduction des nitrates en nitrites est optimale à pH > 4,6. Cette plage s'obtient chez les enfants et les malnutris. Les nitrites jouent un rôle très important dans le cycle de l'azote. Sous l'action de bactéries de type nitrobacter (autotrophes et strictement aérobies), les nitrites sont rapidement oxydés en nitrates. Ces derniers sont donc le produit final de l'oxydation des dérivés azotés [16].

- *Phosphates (PO_4^{3-})*

La présence du phosphore dans les cours d'eau et les lacs n'est pas rare. Il peut s'agir d'infiltration d'eaux résiduaires industrielles ou d'eaux de puits ayant traversé des terres cultivées renfermant des engrains phosphatés. Les phosphates sont des anions qui s'attachent très facilement aux minéraux du sol. Dans certaines régions, et en particulier, dans les zones phosphatiques, la plupart des eaux renferment des traces dues aux terrains. Le phosphore est responsable de l'eutrophisation des cours d'eau, provoquant la prolifération anarchique d'algues et une surconsommation de l'oxygène dissous dans l'eau. Celui-ci est alors moins disponible pour les autres espèces vivantes, et notamment pour les poissons. Il est, donc, nécessaire de limiter l'apport du phosphore dans les eaux [15].

e) Paramètres toxiques

Une pollution industrielle, due au captage ou une dégradation des réseaux de distribution, peut entraîner la présence d'éléments toxiques dans l'eau, dangereux pour la santé en cas de consommation régulière. Ils sont, essentiellement, représentés par les métaux lourds

(plomb, nickel, mercure, chrome, cadmium, arsenic, etc.), les pesticides et les produits apparentés, et les hydrocarbures polycycliques aromatiques totaux [1].

1.6.3 Qualité bactériologique

C'est certainement la présence d'organismes pathogènes dans une eau qui fait courir le plus grand risque pour la santé [1]. L'eau ne doit contenir ni microbes, ni bactéries pathogènes, ni virus qui pourraient entraîner une contamination biologique et être la cause d'une épidémie.

1.7 Normes de la qualité d'eau potable

L'eau après traitement doit répondre aux normes de qualité établies selon différents paramètres, notamment microbiologiques. Des analyses sont effectuées pour vérifier le respect de ces normes. Ces normes de qualité s'appuient sur les travaux médicaux de l'OMS qui diffusent des recommandations sur les doses maximales admissibles à respecter, c'est-à-dire la quantité qu'un individu peut absorber sans danger, quotidiennement et tout au long de sa vie. Ces recommandations sont adaptées dans chaque pays en fonction de son état sanitaire, sa situation économique et selon la réglementation en vigueur, comme le montre le Tableau 1.5 et 6 [17].

Tableau 1.5 Comparaison entre les déférentes normes de l'eau potable [17].

Paramètres physico-chimiques	Unité	Normes OMS	Normes CEE		Normes canadiennes		Normes algériennes		Normes marocaines		Normes USA	
/	/	-	NG	CMA	NG	CMA	NG	CMA	NG	CMA	NG	CMA
pH	Unité pH	7-8.5	6.5-8.5	9.5	6.5-8.5	-	6.5-8.5	-	6.5-8.5	9.5	-	6-8.5
Température	°C	-	-	-	<15	-	<25	-	-	-	-	-
Oxygène dissous	mg/l	5	-	-	-	-	-	-	5-8	-	saturation	4
Conductivité	µS/cm à20 °C	-	-	-	-	-	-	2800	1300	2700	-	-
Résidu sec à105°	mg/l	-	-	-	-	-	500	2000	1000	2000	-	-
Turbidité	NTU	-	-	-	<1	5	-	-	1	5	*	-
Couleur		-	-	-	<15	15	-	25	5	20	-	75
Matières dissoutes	mg/l	500	-	-	-	500	-	-	-	-	200	500
Minéralisation Globale												
Dureté totale	mg/l_{CaO3}	100	-	-	-	-	100	500	600	-	-	-
Ca^{2+}	mg/l	75	100	-	-	-	75	200	-	-	-	-
Mg^{2+}	mg/l	30-125	30	50	-	-	50	150	100	-	-	-
SO_4^{2-}	mg/l	250	25	250	150	500	200	400	200	-	50	250
Cl^-	mg/l	200-600	25	200-600	250	250	200	500	300	750	<25	250
K^+	mg/l	10	-	-	-	-	-	20	-	-	-	-
Na^+	mg/l	-	-	-	-	-	-	200	-	-	-	-

Paramètres Indésirables toxiques	unité	Normes OMS	Normes CEE		Normes canadiennes		Normes algériennes		Normes marocaines		Normes USA	
/	/	-	NG	CMA	NG	CMA	NG	CMA	NG	CMA	NG	CMA
Al^{3+}	mg/l	-	0.05	0.2	-	-	-	0.2	0.05	-	-	-
Fe^{3+}	mg/l	0.1	0.05	0.2	0.05	0.3	-	0.3	-	0.3	*	0.3
Mn^{2+}	mg/l	0.05	0.02	0.01	0.01	0.05	-	0.5	-	0.1	*	0.05
Cu^{2+}	mg/l	0.05	0.01	-	1	1	0.05	1.5	-	1	*	1
F^{-}	mg/l	0.6-1.7	-	1.5	1	1.5	0.3	2	0.7	1.5	-	-
Zn^{2+}	mg/l	5	0.1	-	5	5	-	5	-	5	*	5
Ag^{2+}	mg/l	-	-	0.01	0.005	0.05	-	0.05	-	-	-	0.05
Pb^{2+}	mg/l	0.01	-	0.05	0.001	0.05	-	0.05	-	0.05	*	0.05
CN^{-}	mg/l	0.05	-	0.05	0.002	0.2	-	0.05	-	0.1	*	0.2
As	mg/l	0.05	-	50	0.005	0.05	-	0.05	-	0.05	*	0.05
Cd^{2+}	mg/l	0.01	-	0.005	0.001	0.005	-	0.01	-	0.005	-	0.01
Cr^{6-}	mg/l	0.05	-	0.05	0.0002	0.05	-	0.05	-	0.05	*	0.05
Paramètres de pollution												
NH_4^+ (en N)	mg/l	0	0.05	0.5	-	-	0.05	0.5	0.05	0.5	<0.01	0.5
NO_3^- (en N)	mg/l	50-100	25	50	0.0001	10	-	50	-	50	*	10
NO_2^- (en N)	mg/l	-	-	0.3	-	-	-	0.1				
PO_4^{3-}	mg/l	-	-	-	-	-	-	0.5	-	-	-	-
H_2S	mg/l	0.05	0									
Composés phénolés	mg/l	0.001	-	0.0005	0.002	0.002	-	0.002	-	-	*	0.001

1.8 Procédés de traitement des eaux de consommation

Les eaux brutes destinées à la consommation humaine sont prélevées dans un cours d'eau ou une nappe souterraine. Elles sont, ensuite, acheminées vers une usine de production d'eau potable où elles subissent divers traitements physiques, chimiques et biologiques. Rendues potables, elles sont distribuées aux consommateurs. Après usage, elles sont recueillies pour

être conduites vers les usines de dépollution des eaux usées, avant d'être enfin rendues à la nature.

Le traitement d'une eau brute dépend de sa qualité, laquelle est fonction de son origine et peut varier dans le temps. L'eau à traiter doit donc être en permanence analysée car il est primordial d'ajuster le traitement d'une eau à sa composition et, si nécessaire, de le moduler dans le temps en fonction de la variation observée de ses divers composants. Il peut arriver, cependant, qu'une pollution subite ou trop importante oblige l'usine à s'arrêter momentanément [9].

La transformation d'une eau de surface en une eau potable nécessite de faire appel à un ensemble de procédés de traitement extrêmement divers. Nous présentons, à la Figure 1.1, la filière la plus complète et la plus courante du traitement des eaux de surface. On peut admettre que la chaîne habituelle complète comporte cinq (5) grandes étapes (Figure 1.1) :

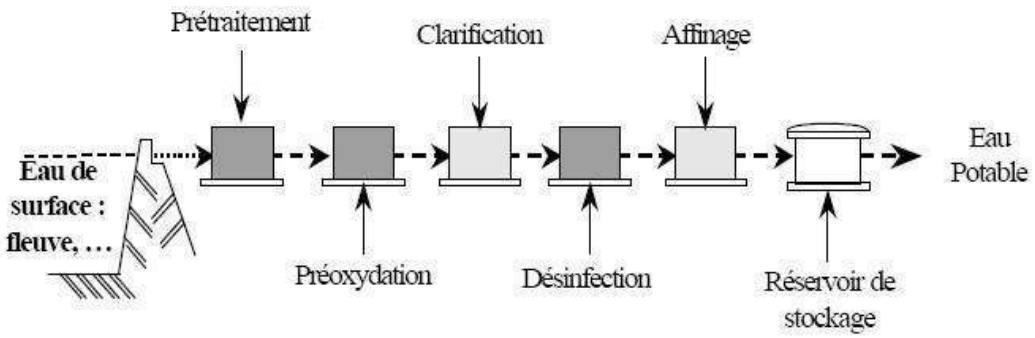


Figure 1.1 Chaîne de traitement des eaux de surface [2].

1.8.1 Prétraitement

Les prétraitements des eaux de surface consistent à éliminer une grande quantité d'éléments dont la nature et la dimension constitueraient une gêne pour les traitements ultérieurs [2]. Pour une eau potable, le dégrillage et le tamisage sont les deux principaux prétraitements :

- Le dégrillage, premier poste de traitement, permet de protéger les ouvrages avals de l'arrivée de gros objets (morceaux de bois, etc.) susceptibles de provoquer des bouchages dans les différentes unités de traitement.

- Le tamisage, quant à lui, permet d'éliminer des objets plus fins que ceux éliminés par le dégrillage. Il s'agit de feuilles ou de morceaux de plastique, par exemple.

1.8.2 Pré-oxydation

A l'issue du prétraitement, on a une eau relativement propre mais qui contient encore des particules colloïdales en suspension qui s'oxydent spontanément en présence d'air. Celles-ci peuvent être détruites par une pré-oxydation. Cette dernière peut être faite en ajoutant du chlore (pré-chloration), du dioxyde de chlore ou de l'ozone (pré-ozonation) [2].

Le chlore est le réactif le plus économique. Cependant, il forme avec certains micropolluants des composés organochlorés (type chloroforme) ou des composés complexes avec les phénols (type chlorophénol), dont le goût et l'odeur sont désagréables.

On préfère utiliser le dioxyde de chlore qui est un pré-oxydant plus puissant que le chlore. Il représente une alternative intéressante à l'utilisation du chlore lorsque celui-ci entraîne des problèmes de qualité d'eau. Cependant, l'utilisation du dioxyde de chlore présente des inconvénients comme sa décomposition à la lumière, ce qui entraîne une augmentation du taux de traitement à appliquer en période d'ensoleillement [2].

L'ozone est un pré-oxydant ayant l'avantage de détruire les MO en cassant les chaînes moléculaires existantes. C'est un virulicide très intéressant, utilisé généralement en désinfection finale. Un autre avantage est la diminution du taux de traitement (taux de coagulant) dans le procédé de clarification. Néanmoins, ce procédé ne résout pas tous les problèmes, car certaines algues résistent à l'ozone. De plus, son coût reste beaucoup plus élevé que celui du chlore.

1.8.3 Clarification

La clarification est l'ensemble des opérations permettant d'éliminer les MES et les colloïdes d'une eau brute. La clarification comprend la coagulation-floculation, la décantation-flottation et la filtration [4].

a) Coagulation-floculation

La coagulation-floculation est la plus importante étape dans le traitement des eaux de surface. Ce procédé a une grande influence sur les opérations de décantation et de filtration ultérieures. Le contrôle de ce procédé est donc essentiel pour la maîtrise de la qualité de l'eau traitée en sortie (diminution de la turbidité), le contrôle du coagulant résiduel en sortie (réglementation de plus en plus stricte de la présence de coagulant résiduel dans l'eau traitée) ainsi que pour la diminution des contraintes et des coûts de fonctionnement (coûts des réactifs et des interventions humaines) [4].

b) Décantation-flottation

Ces procédés sont des méthodes de séparation des MES et des colloïdes rassemblés en flocs, après l'étape de coagulation-floculation. Si la densité de ces flocs est supérieure à celle de l'eau, il y a *décantation*; ces flocs sont soumis à la force de pesanteur. Dans le cas contraire, le procédé de *flottation* doit être appliqué. Il s'agit d'un procédé de séparation liquide-solide basé sur la formation d'un ensemble appelé *attelage*, formé de particules plus légères que l'eau ; des bulles d'air et des réactifs, etc. [5]. L'efficacité de la flottation et de la décantation peut être évaluée par le pourcentage de boues retenues, la quantité de MO éliminées, et par la mesure de la turbidité.

c) Filtration

La filtration est un procédé destiné à clarifier un liquide qui contient des MES en le faisant passer à travers un milieu poreux constitué d'un matériau granulaire. Elle permet une élimination correcte des bactéries, de la couleur et de la turbidité. En effet, il subsiste de très petites particules présentes à l'origine dans l'eau brute ou issues de la floculation qui sont éliminées par cette opération. La rétention de ces particules se déroule à la surface des grains grâce à des forces physiques. La plus ou moins grande facilité de fixation dépend étroitement des conditions d'exploitation du filtre et du type de matériau utilisé. L'espace inter-granulaire définit la capacité de rétention du filtre. Au fur et à mesure du passage de l'eau, cet espace se réduit, le filtre se colmate. Les pertes de charge augmentent fortement. Il faut alors déclencher le rétro-lavage [4].

d) Oxydation-désinfection

La désinfection est l'étape ultime du traitement de l'eau de consommation avant distribution. Elle permet d'éliminer tous les microorganismes pathogènes présents dans l'eau [5]. Son principe est de mettre en contact un désinfectant à une certaine concentration pendant un certain temps avec une eau supposée contaminée. Cette définition fait apparaître trois notions importantes : les désinfectants, le temps de contact, et la concentration résiduelle en désinfectant. Une bonne désinfection, via les réactifs oxydants, demande la combinaison d'une concentration (C) avec un temps de contact (t) ; c'est le facteur $C \times t$ (mg.min/L). Cette valeur varie avec les microorganismes concernés, le type de désinfectant, et la température.

Les quatre principaux désinfectants utilisés en production d'eau potable sont : le chlore, le dioxyde de chlore, l'ozone et/ou le rayonnement UV.

e) Affinage

L'affinage a pour objectif d'aboutir à l'équilibre calco-carbonique de l'eau. Il y a typiquement deux problèmes distincts : correction d'une eau *agressive* (très chargée en CO_2 dissous), et correction d'une eau *incrustante* (chargée en calcium Ca^{2+} et en ions bicarbonates HCO_3^-). La correction d'une eau agressive peut s'effectuer de plusieurs façons. On peut éliminer le CO_2 :

- soit par aération, de ce fait, le pH augmente et se rapproche du pH d'équilibre,

- soit par ajout d'une base à l'eau ce qui permet d'augmenter le pH jusqu'à atteindre le pH d'équilibre.

La correction d'une eau incrustante peut se faire soit par traitement direct qui correspond à un ajout d'acide, soit en réduisant le potentiel d'entartrage par décarbonatation [4].

1.9 Description du Barrage Ghrib (BG) et la station de traitement

1.9.1 Présentation du Barrage BG

Situé à l'aval d'Oued Chlef, le Barrage Ghrib (BG) se trouve dans la wilaya d'Ain-Defla. Il est distant de 155 Km d'Alger et est situé à 500 m d'altitude. Administré par l'Agence Nationale des Barrages et Transferts (ANBT) afin de permettre d'alimenter la ville

d'Alger et celle de Médéa en eau potable et d'autre part d'irriguer les plaines du haut et du bas Chélif (ANONYME 2007). Ce barrage se trouve dans la wilaya d'Aïn Defla à l'aval de l'un des plus longs Oueds Algériens, l'Oued Chélif qui prend sa source dans l'Atlas Saharien près d'Aflou, dans les monts du Djbel Amour et qui traverse du Sud au Nord les hauts plateaux algérois.

Le climat de l'aire d'étude est généralement méditerranéen et le régime de précipitation est fortement saisonnier (Larbi, 2004).

Les formations géologiques de la région sont constituées essentiellement de marnes de grès et d'argiles. La partie marneuse constitue un sol relativement instable. On note aussi qu'à la sortie du site de BG, on a des affleurements calcaires, grès, et argiles jaunâtres et en direction de Médéa on constate des marnes bleues.

1.9.2 Présentation de la station de traitement des eaux potables du BG

La station de traitement est alimentée à partir du BG. L'aménagement de la station comprend, en premier lieu, une prise d'eau brute flottante dans la retenue du BG, qui alimente un bassin de régulation d'une capacité de 1100 m^3. En second lieu, la chaîne de traitement est constituée de deux filières de traitement qui fonctionnent en parallèle. Les deux filières de traitement comprennent une étape de pré-oxydation, une étape de coagulation-floculation suivie d'une étape de décantation, et une étape de filtration sur sable et enfin une désinfection. Ces deux filières de traitement se caractérisent par un processus de traitement identique, la seule différence réside au niveau de leur capacité :

- Une filière de traitement qui alimente la ville de Médéa (nommé Etape III) dont la capacité nominale est de 24000 m^3,
- alors que la filière de traitement qui alimente la ville de Berrouaghia (nommé Etape II) a une capacité nominale de 12000 m^3.

L'eau est prélevée dans la retenue au moyen de quatre électropompes. Ces groupes refoulent l'eau brute dans un bassin de régulation, où elle est directement admise par gravité sur l'installation de traitement proprement dite. Celle-ci comporte, d'abord, un bassin de mélange pourvu d'un agitateur, pour disperser les réactifs, où l'on injecte de l'hypochlorite de sodium pour la pré-oxydation et ainsi le dosage du coagulant. Ce bassin est relié directement à un autre bassin pourvu d'une agitation rapide, pour déstabiliser correctement les particules colloïdales. Après cette étape, la floculation s'effectue dans trois basins, disposés en série, dont deux sont pourvus d'une agitation moyenne et l'autre d'une agitation lente. Les flocs

formés sont séparés, en suite, par une décantation dans deux décanteurs circulaires, le reste étant éliminé par filtration sur sable (batterie de quatre filtres). En dernier lieu, il est procédé à la désinfection par l'hypochlorite de sodium de cette eau filtrée après l'admission dans le réservoir de stockage de l'eau traitée. C'est à partir de ce réservoir que l'eau est reprise et refoulée vers la ville de Médéa par l'intermédiaire d'une conduite d'adduction.

1.9.3 Evolution de la qualité des eaux de BG

Le Tableau 1.6 présente l'évolution de la qualité de l'eau de BG durant la dernière décennie. La Figure 1.2 montre l'évolution de la qualité de l'eau de BG en termes de dureté pour l'eau brute et l'eau traitée à la station de BG. Selon la pluviométrie et le climat de la région, les différents paramètres contrôlés connaissent des hauts et des bas autour d'une certaine moyenne qui reste pratiquement constante au fil des années.

Tableau 1.6 Evolution de la qualité de l'eau durant dix ans.

Paramètres			2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
pH	Maximum		**8,19**	**8,11**	**7,84**	**7,66**	**8,16**	**8,21**	**7,74**	**8,10**	**8,07**	**7,78**
	Minimum		**6,73**	**7,27**	**7,45**	**7,19**	**7,27**	**7,10**	**6,88**	**7,01**	**7,32**	**7,15**
Conductivité		µS/cm	**2428,00**	**2975,00**	**2980,0**	**2810,00**	**2821,67**	**2328,33**	**2330,00**	**2340,00**	**2325,00**	**2370,**
Minéralisation		mg/L	**1478,00**	**2146,00**	**2139,00**	**2160,00**	**2065,00**	**1615,17**	**1952,00**	**2100,00**	**2105,00**	**2000,**
Turbidité		NTU	**8,33**	**5,03**	**6,13**	**8,55**	**5,85**	**3,89**	**2,81**	**4,12**	**0,95**	**0,45**
TH		°F	**70,01**	**97,50**	**78,00**	**91,25**	**75,50**	**77,25**	**79,50**	**78,20**	**71,50**	**70,00**
TAC		°F	**11,49**	**10,00**	**10,80**	**10,58**	**11,20**	**9,60**	**10,70**	**11,10**	**12,30**	**11,10**
Calcium		mg/L	**206,20**	**224,00**	**183,00**	**230,52**	**200,00**	**202,83**	**192,00**	**189,00**	**182,00**	**178,0**
Magnésium		mg/L	**184,40**	**200,40**	**195,40**	**216,00**	**181,00**	**185,40**	**206,40**	**187,68**	**171,60**	**178,0**
Chlorures		mg/L	**380,60**	**518,50**	**486,40**	**543,15**	**501,60**	**370,64**	**390,50**	**412,50**	**390,00**	**391,0**
Sulfates		mg/L	**504,00**	**596,00**	**883,00**	**811,00**	**947,00**	**880,00**	**808,00**	**932,00**	**940,00**	**869,0**
Matières oxydables		mg/L	**5,41**	**4,50**	**6,15**	**5,50**	**4,53**	**5,30**	**3,70**	**3,50**	**4,40**	**2,70**

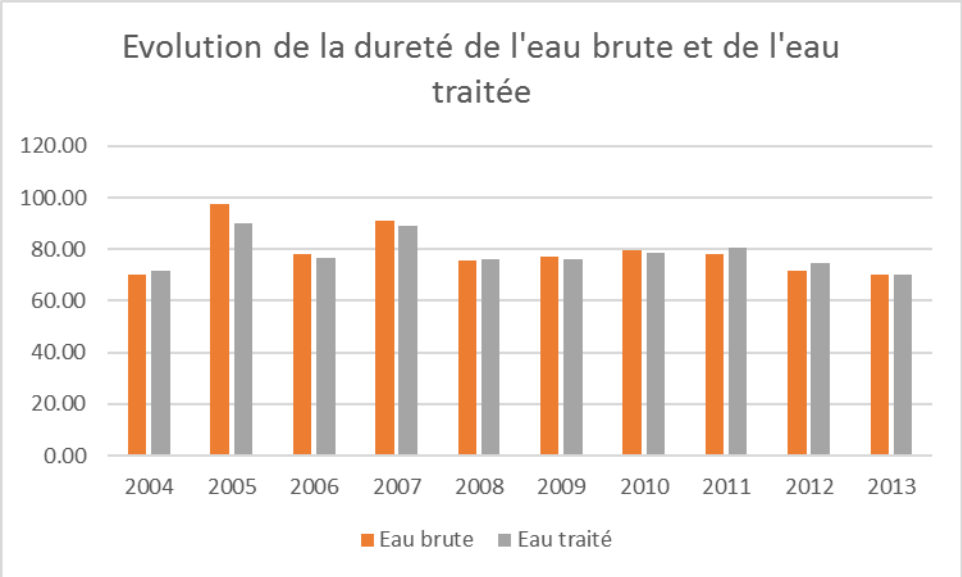


Figure 1.2 Evolution de la duréte depuis 2004 jusqu'à 2013 de l'eau brute et l'eau traitée.

1.10 Adoucissement

1.10.1 Domaine d'application

Cette technique s'emploie pour éliminer la dureté des eaux potables et industrielles lorsque leurs utilisations conduisent à un entartrage ou à des dépôts gênants : lavage de linge et vaisselles pour les emplois ménagers : opérations diverses et alimentation de chaudière à performances moyennes dans l'industrie.

1.10.2 Méthodes d'adoucissement de l'eau

- Méthodes physiques : Méthodes thermiques ou traitement dans le champ d'un électro-aimant.
- Méthodes chimiques : Méthodes calcosodiques, phosphatées, traitements par les sels de baryum.

a) Méthodes thermiques d'adoucissement

La méthode thermique d'adoucissement de l'eau est basée sur le chauffage jusqu'à 100°C presque. Dans ces conditions, se déroule la décomposition des bicarbonates de calcium selon la réaction qui suit :

$$Ca(HCO_3)_2 \rightarrow CaCO_3 + CO\uparrow_2 + H_2O \qquad (1.3)$$

En présence de bicarbonate de magnésium dans l'eau, la décomposition se déroule de la façon suivante :

$$Mg(HCO_3)_2 \rightarrow MgCO_3 + CO\uparrow_2 + H_2O \quad (1.4)$$

Notons que le sel MgCO3 est soluble dans l'eau [G_{MgCO3} = 260 mg/L], mais il s'hydrolyse en formant un précipité de sel peu soluble de carbonate basique de magnésium [G_{MgCO3} = 40 mg/L] avec la formule de sel carbonate basique $Mg(OH)_2MgCO_3$.

$$2MgCO_3 + H_2O \Leftrightarrow Mg(OH)_2(MgCO_3 + CO_2) \quad (1.5)$$

La réaction totale de décomposition des bicarbonates de magnésium est:

$$2Mg(HCO_3)_2 \rightarrow Mg(OH)_2 + MgCO_3 + 3CO_2 + H_2O \quad (1.6)$$

Remarque :

L'élimination complète de calcium dans les premiers cas est impossible car $CaCO_3$ est un peu soluble dans l'eau [G_{CaCO3} = 13 mg/L, à 10 C°]. Ainsi l'augmentation de la température de l'eau jusqu'à l'ébullition presque diminue la dureté de l'eau et ceci grâce à la décomposition de $Mg(HCO_3)_2$ et $Ca(HCO_3)_2$ et à cause de la diminution de la solubilité de $CaSO_4$, ce dernier est présent dans la solution.

b) Méthodes chimiques d'adoucissement de l'eau

- Méthode calcosodique

Cette méthode consiste à précipiter les ions Ca^{2+} et Mg^{2+} sous forme de $CaCO_3$, $MgCO_3$ et $Mg(OH)_2$ suivant les réactions :

$$Ca(HCO_3)_2 + Ca(OH)_2 \rightarrow 2CaCO_3 + 2H_2O \quad (1.7)$$

$$Mg(HCO_3)_2 + Ca(OH)_2 \rightarrow CaCO_3 + Mg(OH)_2 + H_2O + CO_2 \quad (1.8)$$

$$MgCO_3 + Ca(OH)_2 \rightarrow CaCO_3 + Mg(OH)_2 \quad (1.9)$$

$$MgCl_2 + Ca(OH)_2 \rightarrow Mg(OH)_2 + CaCl_2 \quad (1.10)$$

$$Ca^{+2} + Na_2CO_3 \rightarrow CaCO_3 + 2Na^+ \quad (1.11)$$

$$Mg^{+2} + Na_2CO_3 \rightarrow MgCO_3 + 2Na^+ \quad (1.11)$$

- *Méthode phosphatée*

Cette méthode consiste à faire précipiter les ions Ca^{+2} et Mg^{+2} sous forme de $Ca_3(PO_4)_2$ et $Mg_3(PO_4)_2$ par Na_3PO_4 suivant les réactions :

$$3Ca^{+2} + 2Na_3PO_4 \rightarrow Ca_3(PO_4)_2 + 6Na^+ \quad (1.12)$$

$$3Mg^{+2} + 2Na_3PO_4 \rightarrow Mg_3(PO_4)_2 + 6Na^+ \quad (1.13)$$

c) Procédés d'adoucissement par précipitation

Les principaux procédés d'adoucissement par précipitation sont les suivants :

- Procédé par addition de chaux seulement (présence de Ca^{2+} ; absence de Mg^{2+} ; dureté carbonatée élevée) ;

- Procédé par addition de chaux et de soude (présence de Ca^{2+}; absence Mg^{2+} ; duretés carbonatée et non carbonatée);

- Procédé par addition d'un excès de chaux (présence de Ca^{2+} et de Mg^{2+} ; dureté carbonatée élevée) ;

- Procédé par addition d'un excès de chaux et de soude (présence de Ca^{2+} et de Mg^{2+}) [ ].

1.10.3 Précipitation des sels

a) Elimination du calcium et du magnésium

- *Décarbonatation à la chaux*

La décarbonatation à la chaux est le procédé de précipitation le plus largement utilisé. Son but est d'éliminer la dureté bicarbonatée (ou temporaire) liée au calcium et au magnésium, c'est-à-dire la présence dans l'eau d'hydrogénocarbonates et carbonates de Ca et de Mg, en ajoutant de la chaux hydratée à l'eau qui précipite $CaCO_3$, $Mg(OH)_2$ ou les deux à la fois. Les réactions chimiques de base sont les suivantes :

$Ca(OH)_2 + Ca(HCO_3)_2 ==> 2CaCO_3 + 2H_2O$ (1.14)

$Ca(OH)_2 + Mg(HCO_3)_2 ==> MgCO_3 + CaCO_3 + 2H_2O$ (1.15)

Or, le carbonate de magnésium est relativement soluble (de l'ordre de 70 mg/L). Un excès de chaux conduira donc à la réaction :

$Ca(OH)_2 + MgCO_3 ==> CaCO_3 + Mg(OH)_2$ (1.16)

La réaction de la chaux sur une eau brute est très lente en l'absence de germes de cristallisation (de l'ordre de plusieurs heures). En revanche, dès que l'eau et la chaux sont mises en contact avec une masse suffisante de cristaux de $CaCO_3$ déjà précipités (germes de précipitation), la réaction atteint son point d'équilibre en quelques minutes. En effet, du fait que la précipitation s'effectue sur les cristaux, ceux-ci ont tendance à augmenter de masse et les vitesses de sédimentation sont alors accrues. Pourtant, ceci n'est valable que si les surfaces des cristaux de $CaCO_3$ restent suffisamment propres. Aussi, la présence de colloïdes organiques étant susceptibles de gêner la cristallisation, est-il fréquent d'ajouter aux eaux brutes à décarbonater des réactifs coagulants pour co-précipiter les colloïdes. On peut enfin noter que les vitesses de décantation de $CaCO_3$ et de $Mg(OH)_2$ sont très différentes. Lorsque $CaCO_3$ est seul, il a tendance à former des agglomérats de cristaux denses décantant à forte vitesse, alors que la magnésie, si elle est seule, se présente sous forme de flocons légers. Quand on a les deux précipités, avec $Mg(OH)_2$ en proportion notable, ce dernier assure un effet coagulant, mais la vitesse de décantation admissible reste beaucoup plus faible qu'avec le seul $CaCO_3$.

- *Emploi du carbonate de sodium*

Le but ici est d'éliminer la dureté non carbonatée ou permanente, c'est-à-dire la présence de Ca et Mg correspondant à des anions forts. Pour ce faire, on utilise du carbonate de sodium (Na_2CO_3) à froid. Cette élimination peut être associée avec la précipitation des bicarbonates de calcium et de magnésium par la chaux (décarbonatation à la chaux). Elle se fait suivant les réactions :

$CaSO_4 + Na_2CO_3 ==> Na_2SO_4 + CaCO_3$ (1.17)

$CaCl_2 + Na_2CO_3 ==> 2NaCl + CaCO_3$ (1.18)

- Précipitation par la soude caustique

Ce traitement permet d'éliminer les deux types de dureté (temporaire et permanente). La première réaction (réaction de base) consiste en un ajout de soude pour réagir avec les hydrogénocarbonates de calcium :

$$Ca(HCO_3)_2 + 2NaOH \Longrightarrow CaCO_3 + Na_2CO_3 + 2H_2O \quad (1.19)$$

La précipitation du carbonate de calcium s'accompagne de la formation de carbonate de sodium qui réagira sur la dureté permanente suivant les réactions du paragraphe précédent.

b) Elimination des sulfates

La précipitation des sulfates peut être imposée avant rejet en égout car ils altèrent le béton. Ils doivent aussi être souvent éliminés de saumures ou d'eaux avant distillation. Le procédé le plus fréquent et qui concerne de fortes teneurs en SO_4^{2-} consiste en la précipitation du gypse $CaSO_4.2H_2O$, à froid, par l'addition de Ca^{2+} sous forme de chaux (pour les eaux acides) ou de $CaCl_2$ (pour les saumures) :

$$SO_4^{2-} + Ca^{2+} + 2H_2O \Longrightarrow CaSO_4.2H_2O \quad (1.20)$$

Cette précipitation sous forme de cristaux hétérogènes est très lente. Pour éviter les sursaturations et les post-précipitations dangereuses, la réaction doit s'effectuer en présence d'une très forte concentration en germes. Les concentrations en SO_4^{2-} obtenues dépendent de la salinité, de l'activité du milieu et de l'apport de Ca^{2+} (limité dans le cas de la chaux par l'acidité à neutraliser). On obtient par exemple les teneurs résiduelles en SO_4^{2-} :

- 2 à 3 g/L, pour une saumure avec $CaCl_2$,
- 1,5 à 2 g/L, pour une eau acide avec de la chaux.

Chapitre 2
Matériels et méthodes

2.1 Réactifs et dosages

Le Tableau 2.1 présente les réactifs utilisés et leurs propriétés.

Tableau 2.1 Réactifs de la coagulation et leurs propriétés.

Réactifs	Formule chimique	Masse molaire (g/mole)	Solubilité à 20 °C (g/L)	Concentrations préparées (g/L)	Concentration par 1 mL de réactif (mg/mL)
Sulfate d'alumine	– $Al_2(SO_4)_3$ – $Al_2(SO_4)_3.18H_2O$	– 342,15 – 666,42	364	10	10
Chaux	$Ca(OH)_2$	74	1,73	1,5	1,5
Soude	NaOH	40	1090	4	4

2.2 Appareil de jar test

Lors de nos expériences, un jar test de marque **G. VITTADINI** à six postes d'essais est l'outil nécessaire pour tous les essais de la coagulation miss en œuvre (Figure 2.1).



Figure 2.1 Appareillage de jar test.

2.3 Echantillonnage

Le programme d'échantillonnage a été réalisé. Le nombre des échantillons destinés pour les analyses était de dix (10) litres d'eau brute pour chaque fois, à raison d'un prélèvement chaque semaine, et cela durant une période de dix (10) semaines.

Le prélèvement d'un échantillon d'eau est une opération délicate à laquelle le plus grand soin doit être apporté. L'échantillon doit être homogène, représentatif et obtenu sans modifier les caractéristiques physicochimiques de l'eau. Il convient que le préleveur ait une connaissance précise sur les conditions de prélèvement et de son importance pour la qualité des résultats analytiques.

Les résultats d'analyses ne seront exploitables que si le prélèvement a un caractère représentatif.

2.4 Matériel de prélèvement

Le matériel de prélèvement doit faire l'objet d'une attention particulière. Dans ce cas, il faut utiliser de préférence des flacons en verre d'un large col et d'un bouchon en verre rodé, à vis en métal ou en plastique ; mais il y a une possibilité d'utiliser des flacons en plastique (usage unique).

Si le prélèvement est réalisé à l'aide d'un flacon en plastique (usage unique), généralement destinée à l'analyse physicochimique, il est nécessaire de rincer deux à trois fois avec l'eau prélevée avant de le remplir. Il est parfois utile d'employer un flacon spécial « flacon de Miquel » pour les prélèvements en profondeur [21].

2.5 Matériels utilisés pour les analyses physicochimiques

2.5.1 Matériels pour analyse

→ Conductimètre

→ Balance

→ Plaque chauffante

→ Bain-marie

→ Thermomètre

→ pH-mètre

→ Multi paramètres.

2.5.2 Appareillage et verrerie

- Fioles
- Erlenmeyer
- Pipette
- Eprouvette
- Béchers
- Burette

2.6 Principaux renseignements à fournir pour une analyse d'eau

Après le prélèvement, le ou les flacons contenant l'échantillon doivent être soigneusement rebouchés. Ils doivent être étiquetés pour faciliter le travail de l'analyste et l'exploitation des résultats tout en évitant les erreurs ; donc, chaque flacon doit être accompagné d'une fiche signalétique permettant de rassembler les renseignements utiles au laboratoire :

1) Identité du préleveur

2) Date et lieu de prélèvement

3) Motifs de la demande d'analyse

4) Usage de l'eau (boisson, lavage, industrie, etc.)

5) Nom du point d'eau et localisation précise du point d'échantillonnage.

6) Ville ou établissement que l'eau alimente

7) Origine de l'eau (source, forage, lac, barrage, etc.).

8) Débit approximatif à la minute ou à la seconde.

9) Nature géologique des terrains traversés, aspect du milieu naturel.

10) Conditions météorologiques : température à l'émergence et celle de l'atmosphère au moment où l'échantillon est prélevé.

11) Caractéristiques organoleptiques et certaines analyses physicochimiques (acidité, alcalinité, le TA, le TAC, le pH, le TH, la turbidité, etc.). En principe, la température de l'eau ne doit pas être modifiée jusqu'à son traitement au laboratoire ; si le transport dépasse une heure, il faut utiliser une boite isolante ; si la température extérieure est très élevée, il peut être nécessaire de procéder à une réfrigération modérée de l'ensemble à l'aide de glace : la température est dans ce cas de +4°C à +6°C pendant le transport, il importe de vérifier soigneusement la fermeture correcte des flacons [16].

Pour les autres techniques d'analyses on repère à la référence : L'analyse de l'eau. J.RODIER ; [23].

Chapitre 3
Résultats et interprétations

3.1 Introduction

Afin que les conditions de notre travail soient proches de la réalité expérimentale, les eaux brutes sont prélevées directement du Barrage Ghrib (BG). Les analyses physicochimiques et les essais de jar test sont effectués immédiatement tout en respectant les conditions du transport et de la conservation jusqu'au laboratoire. Les essais expérimentaux sur jar test ont été menés dans la perspective de l'évaluation de l'efficacité de l'utilisation, ou bien, l'association de la chaux et la soude dans la coagulation et l'adoucissement dans le traitement de l'eau de BG.

L'exploitation des résultats obtenus lors des analyses effectués sur les différents prélèvements de l'eau brute du BG est réalisée par étape : selon un classement par ordre de concentration de réactif injecté. On a pu évaluer les différents résultats obtenus par un simple calcul, en se basant nos objectifs à la réduction de la dureté totale (adoucissement), à savoir un taux d'élimination de la dureté, noté par (TH(%)). Le TH(%) est, ainsi donc, considéré comme un indicateur de l'efficacité du traitement de coagulation/adoucissement :

$$TH(\%) = (TH_{initial} - TH_{final})/TH_{initial} \times 100\% \quad (3.1)$$

Où $TH_{initial}$ et TH_{final} désignent la dureté initiale et finale, respectivement.

A noter que d'autres paramètres peuvent nous indiquer sur l'efficacité du traitement. Citons la turbidité, le calcium, le magnésium, la conductivité.

L'élévation dans la teneur de l'élément de sodium était aussi considérée comme indicatrice pour bien confirmer la totalité de l'efficacité proprement dite.

La notation des doses réactifs est conventionné par : (sulfate, chaux, soude) en mg/L ; *Exemple : Pour (15-100-100), on lira 15, 100, et 100 mg/L pour le sulfate, la chaux, et la soude.*

3.2 Résultats obtenus

3.2.1 Variation de la dose injectée en alun seul

L'injection du coagulant (sulfate d'aluminium ou alun) à des doses différentes, dans les différents béchers nommés E1, E2, etc., est indiquée sur le Tableau 3.1.

Tableau 3.1 Différentes doses d'alun pour différents béchers.

N° Bécher	E1	E2	E3	E4	E5
Dose (mg/L)	20	40	60	80	100

L'essai du jar test se fait suivant l'ordre suivant :

- mélange intense à une vitesse d'agitation rapide (180 trs/min) pendant 3 min suivi,
- d'un mélange doux à une vitesse lente (40 trs/min) pendant 17 min suivi,
- d'une décantation d'une durée moyenne de 30 à 60 min.

La Figure 3.1 présente la dureté totale après le jar test à différentes dose du coagulant, alun, ainsi que les taux de réduction de la dureté obtenus.

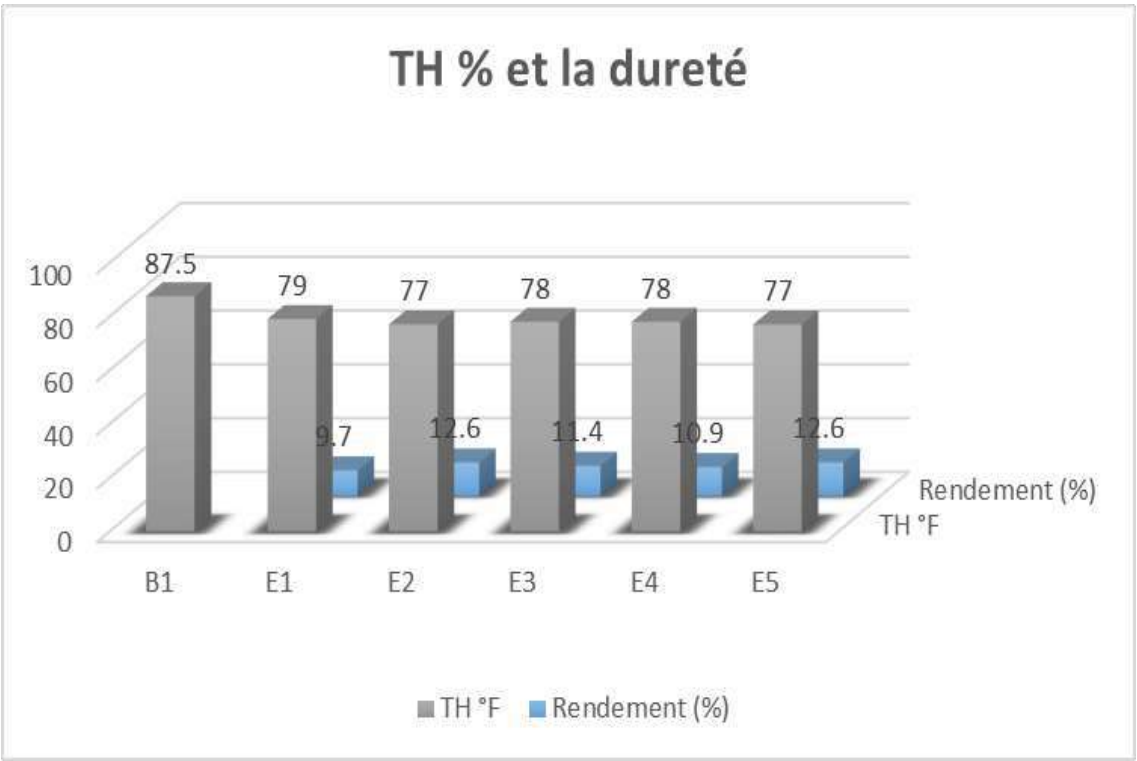


Figure 3.1 Réduction de la dureté totale après coagulation avec l'alun seul.

Comme montré dans la Figure 3.1, une légère diminution de la dureté totale est atteinte à un taux de réduction allant de 9,7 à 12,6% avec un pH optimal égale à 6,79, une dose optimale du sulfate de l'ordre de 40 mg/L. Pour cette dose optimale, c'est-à-dire, 40 mg/L, la Figure 3.2 montre les autres paramètres analysés. Les résultats détaillés sont rassemblés en Annexes 2 et 3.

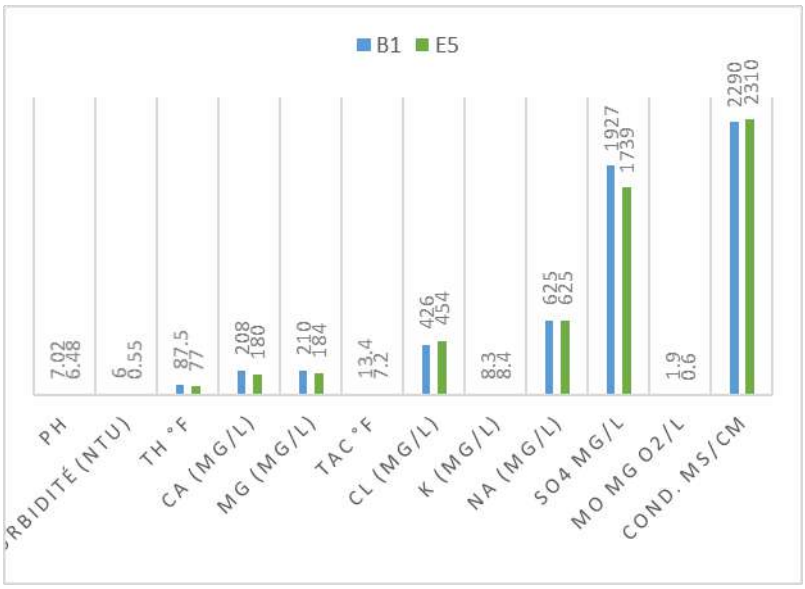


Figure 3.2 Analyses avant et après le traitement avec l'alun pour une dose optimale de 40 mg/L.

3.2.2 Variation de la dose injectée de la chaux seule

L'injection de la chaux seule à des doses différentes est réalisée suivant le Tableau 3.2.

Tableau 3.2 Différentes doses de la chaux pour différents béchers.

N° Bécher	D1	D2	D3	D4	D5
Dose (mg/L)	10	20	30	40	50

La Figure 3.3 montre la dureté totale et l'alcalinité après la coagulation avec la chaux ainsi que le taux d'élimination de la dureté.

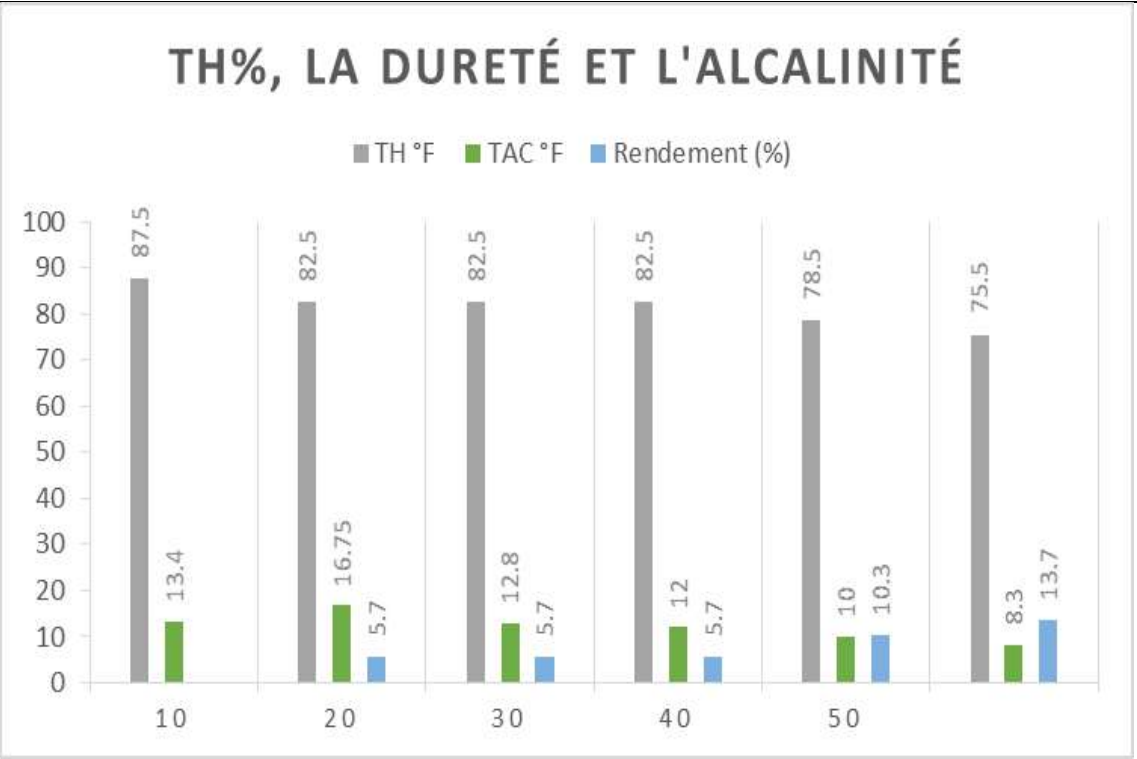
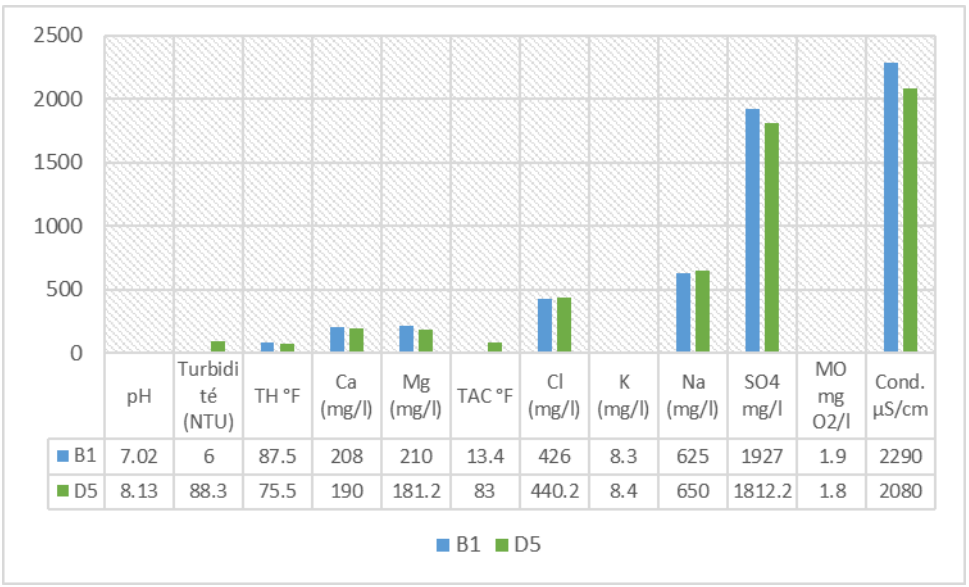


Figure 3.3 Dureté totale et l'alcalinité après le traitement par la chaux seule et le taux d'élimination de la dureté.

Une légère diminution de la dureté totale correspond à un taux d'élimination entre 5,7 et 13,7% avec un pH optimal égal à 8,13, où la dose optimale de la chaux est de l'ordre de 50 mg/L. Les autres paramètres analysés sont indiqués sur la Figure 3.4.



	pH	Turbidité (NTU)	TH °F	Ca (mg/l)	Mg (mg/l)	TAC °F	Cl (mg/l)	K (mg/l)	Na (mg/l)	SO4 mg/l	MO mg O2/l	Cond. µS/cm
B1	7.02	6	87.5	208	210	13.4	426	8.3	625	1927	1.9	2290
D5	8.13	88.3	75.5	190	181.2	83	440.2	8.4	650	1812.2	1.8	2080

Figure 3.4 Comparaison entre la qualité d'eau brute et celle obtenue par la dose optimale de la chaux seule (50 mg/L).

3.2.3 Variation de la dose injectée de la soude seule

L'injection de la soude à des doses différentes se fait suivant le Tableau 3.3.

Tableau 3.3 Doses de la soude injectée aux différents béchers.

N° Bécher	F1	F2	F3	F4	F5
Dose (mg/L)	8	16	24	32	40

Les résultats des analyses physicochimiques avant et après le jar test sont illustrés dans la Figure 3.5. Les résultats détaillés sont rassemblés en Annexes 2 et 3.

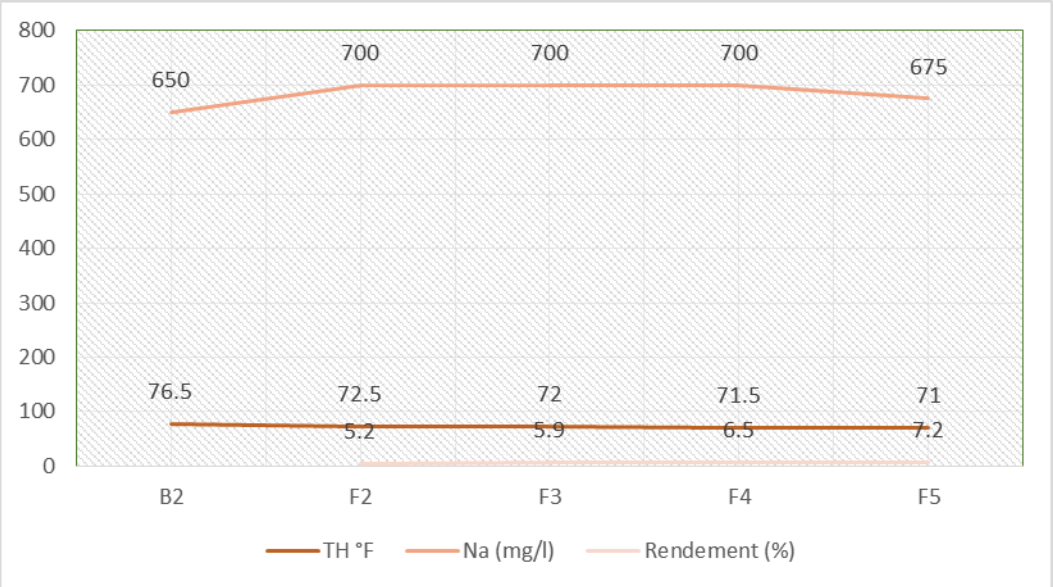


Figure 3.5 Dureté totale, Na, avant et après le traitement par la soude seule, et leurs rendements correspondants.

Une légère diminution de la dureté, allant de 5,2 à 7,2% avec un pH optimal 8,79, une dose optimale de la soude de 40 mg/L. Des augmentations légères pour le sodium et autres paramètres analysés sont indiquées sur la Figure 3.6.

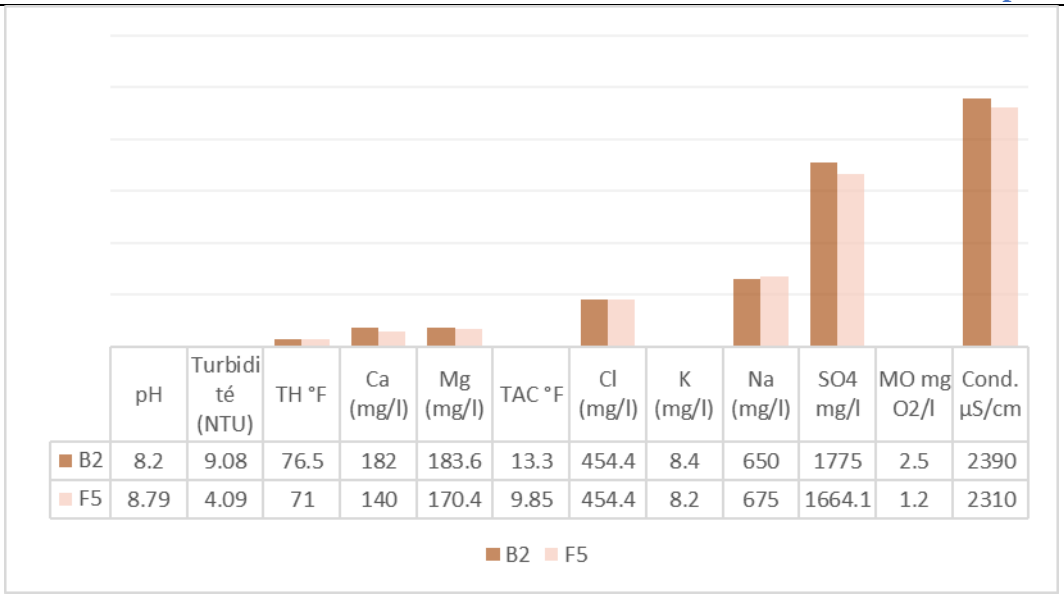


Figure 3.6 Comparaison entre la qualité d'eau brute et celle obtenue par la dose optimale de la soude (40 mg/L).

3.2.4 Variation des doses de la chaux et de la soude en fixant la dose de sulfate à 40 mg/L

Une autre série de jar test a était effectuée en fixant la dose de sulfate d'alumine à 40 mg/L. Par contre, les doses de la chaux et la soude varient suivant le Tableau 3.4.

Tableau 3.4 Doses injectées des réactifs aux différents béchers en fixant le sulfate à 40 mg/L.

N° Bécher	Sulfate (mg/L)	Chaux (mg/L)	Soude (mg/L)
J4	40	15	20
K2	40	30	24
K3	40	30	36
K4	40	30	48
K5	40	30	60
L4	40	37,5	48
L5	40	37,5	60
M5	40	45	60

Les résultats des analyses après le jar test sont illustrés aux Figures 3.7 et 8.

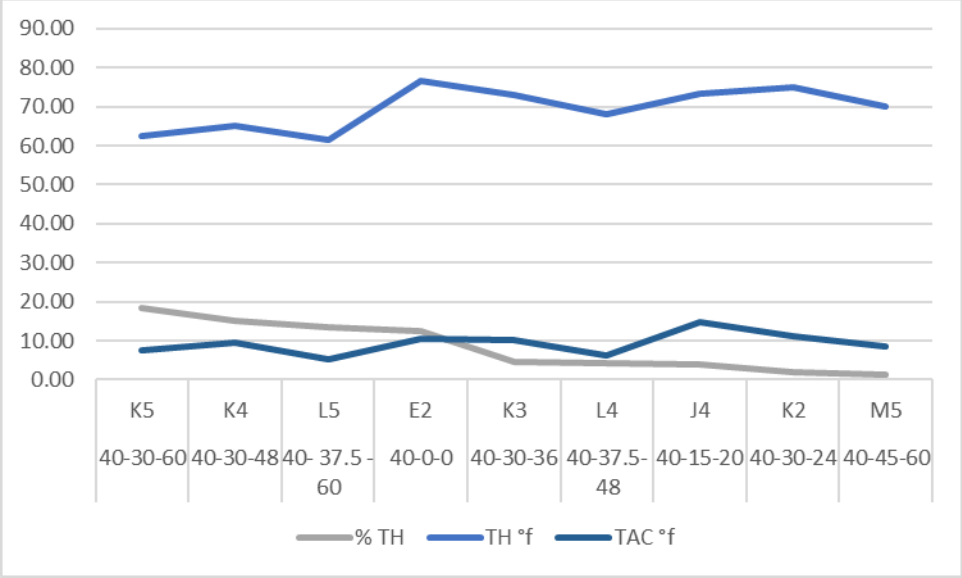


Figure 3.7 Variation du TH%, TH, TAC après le jar test par les doses indiquées en fixant le sulfate d'alumine à 40 mg/L.

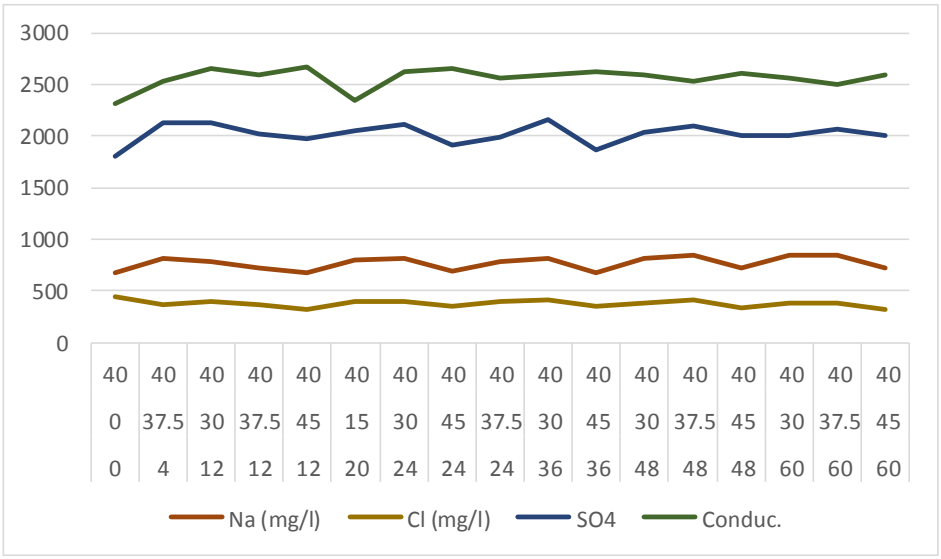


Figure 3.8 Variation de Na, Cl, SO_4, et la conductivité après traitement par les doses indiquées en fixant le sulfate à 40 mg/L.

D'après les Figures 3.7 et 8, on constate un rendement optimal d'élimination de la dureté totale de 18,3% correspondant à l'échantillant (K5) d'une dose (40-30-60) avec une legère augmentation du sodium (24,4%) et du sulfate (7,5%).

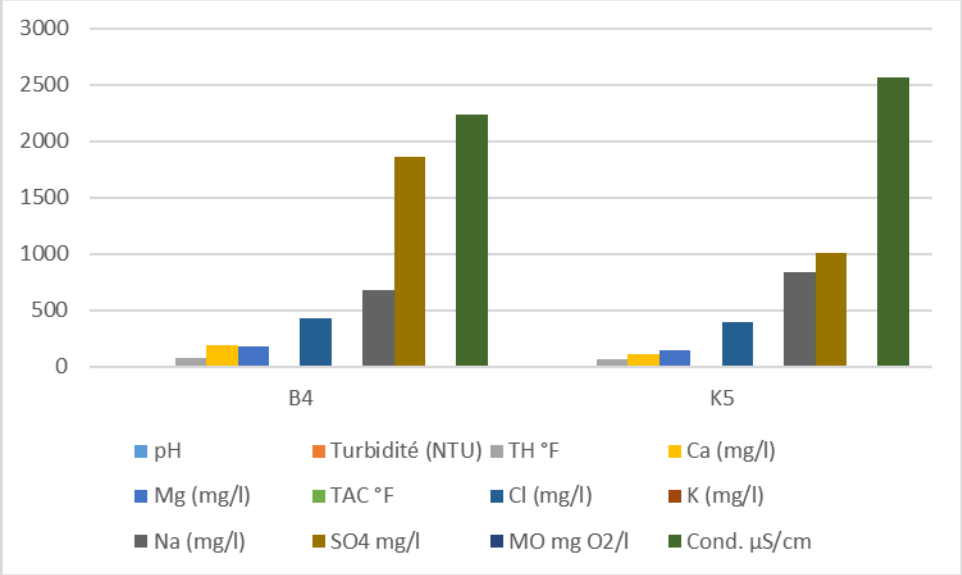


Figure 3.9 Différents paramètres à l'état initial et l'état final du prélèvement K5 (40-30-60).

3.2.5 Variation des doses de la chaux et de la soude en fixant la dose de sulfate à 20 mg/L

Cette fois-ci la dose du sulfate est fixée à 20 mg/L, celles de la chaux et la soude sont variées en suivant le Tableau 3.5.

Tableau 3.5 Doses injectées aux différents béchers lors des essais de jar test en fixant le sulfate à 20 mg/L.

N° Bécher	Sulfate (mg/L)	Chaux (mg/L)	Soude (mg/L)
T3	20	110	130
T1	20	100	100
T2	20	100	120
P1	20	90	20
P2	20	90	40
P3	20	90	60
P4	20	90	80
P5	20	90	100

O1	20	60	20
O2	20	60	40
O3	20	60	60
O4	20	60	80
O5	20	60	100
N3	20	45	60
N4	20	45	80
N5	20	45	100

Les résultats des analyses après le jar test sont illustrés dans les Figures 3.10 à 12. Les résultats détaillés sont collectés en Annexes 2 et 3.

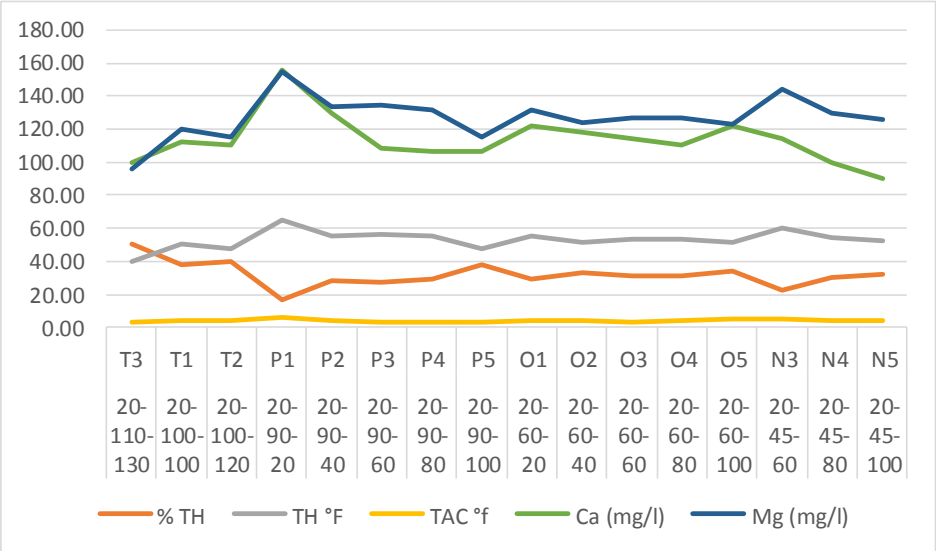


Figure 3.10 Variation du TH, TAC, Ca et Mg lors de la coagulation en fixant le sulfate à 20 mg/L et en variant les doses de la chaux et le soude.

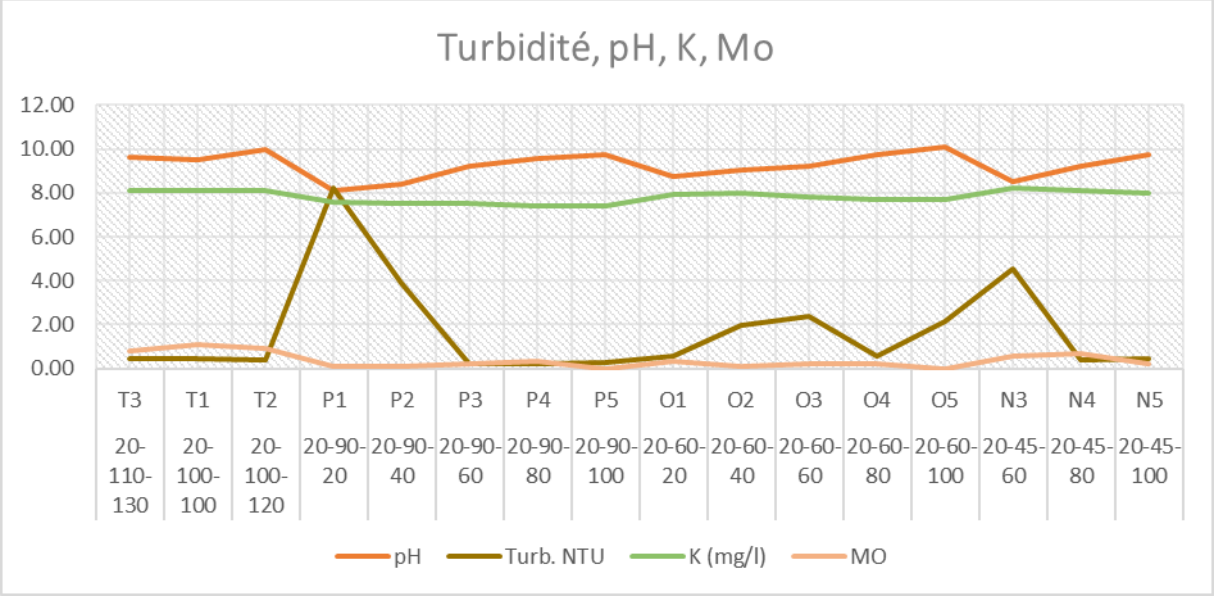


Figure 3.11 Variation du pH, Turbidité, K et MO après le traitement par 20 mg/L de sulfate en variant les doses de la soude et de la chaux.

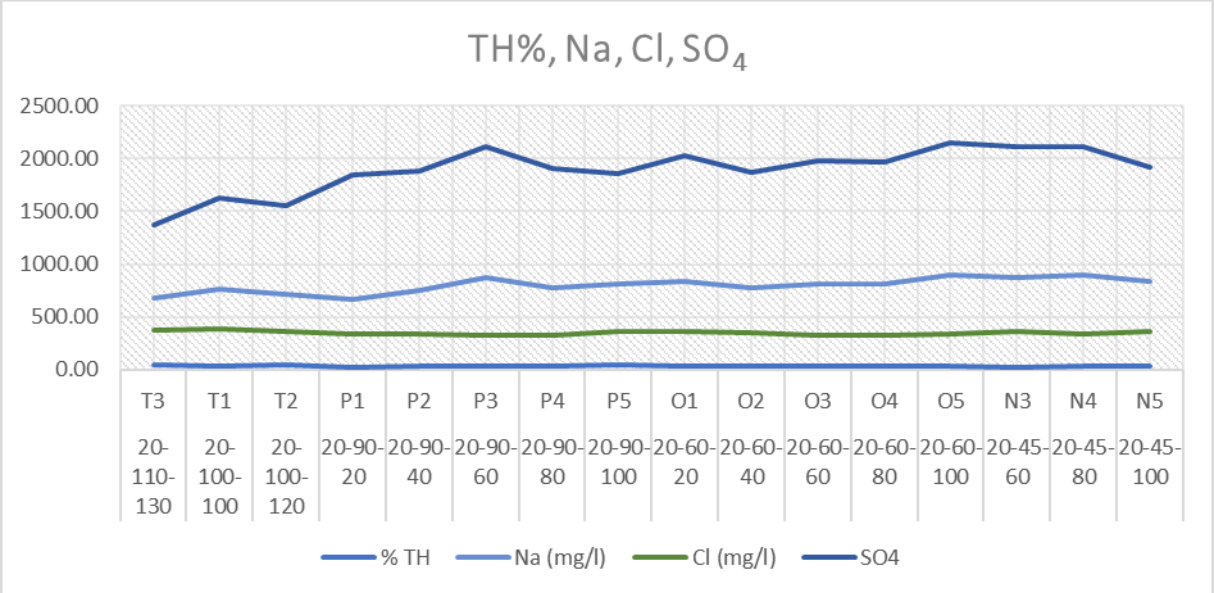


Figure 3.12 Variation du TH%, Na, Cl, SO_4 après le traitement par 20 mg/L de sulfate en variant les doses de la soude et de la chaux.

D'après les Figures 3.10-12, on constate un rendement optimal d'élimination de la dureté totale de l'ordre de 50% correspondant à l'échantillant (T3) d'une dose (20-110-130) avec une legère augmentation au sodium (25,9%). En plus, on a constaté un rendement de 50% pour une dureté minimale aquise à un pH de 9,60 en appliquant les doses (20-100-130).

3.2.6 Variation des doses de la chaux et de la soude en fixant la dose de sulfate à 15 mg/L

La même procédure que précédemment est répétée cette fois-ci pour 15 mg/L d'alun en suivant le Tableau 3.6

Tableau 3.6 Doses injectées aux différents béchers en fixant l'alun à 15 mg/L.

N° Bécher	Sulfate (mg/L)	Chaux (mg/L)	Soude (mg/L)
Q4	15	90	0
R1	15	120	25
R2	15	110	130
R3	15	135	100
S1	15	120	50
S2	15	105	100
T4	15	90	100
S3	15	75	100
R4	15	120	75
S5	15	120	100
T5	15	120	125
R5	15	100	100
U4	15	100	120

Les variations des différents paramètres analysés après le jar test sont illustrés dans les Figures 3.13-15. Les donnés détaillées sont rassemblées en Annexe 2 et 3.

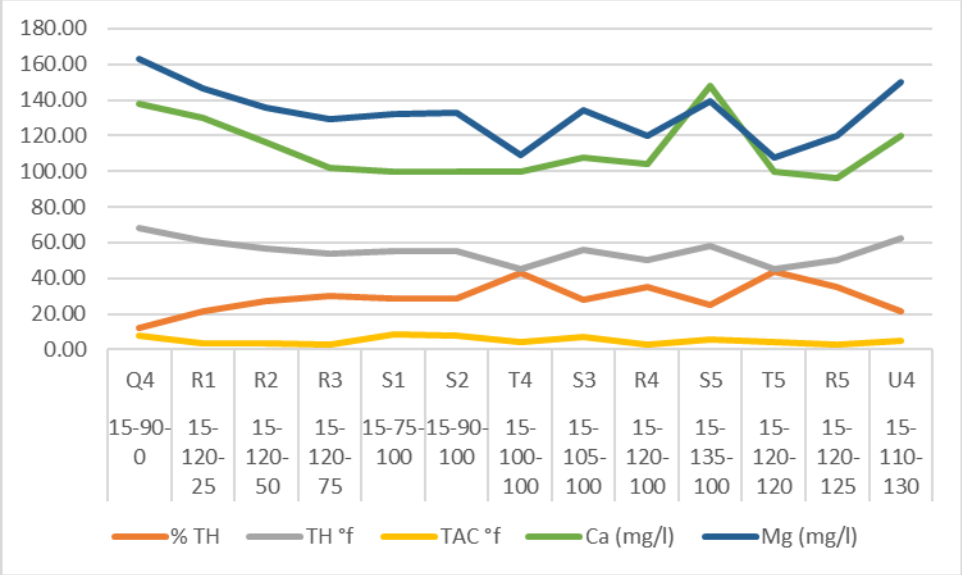


Figure 3.13 Variation de TH (%), TH, TAC, Ca et Mg après le traitement à la dose de 15 mg/L en alun en variant les doses de la soude et de la chaux.

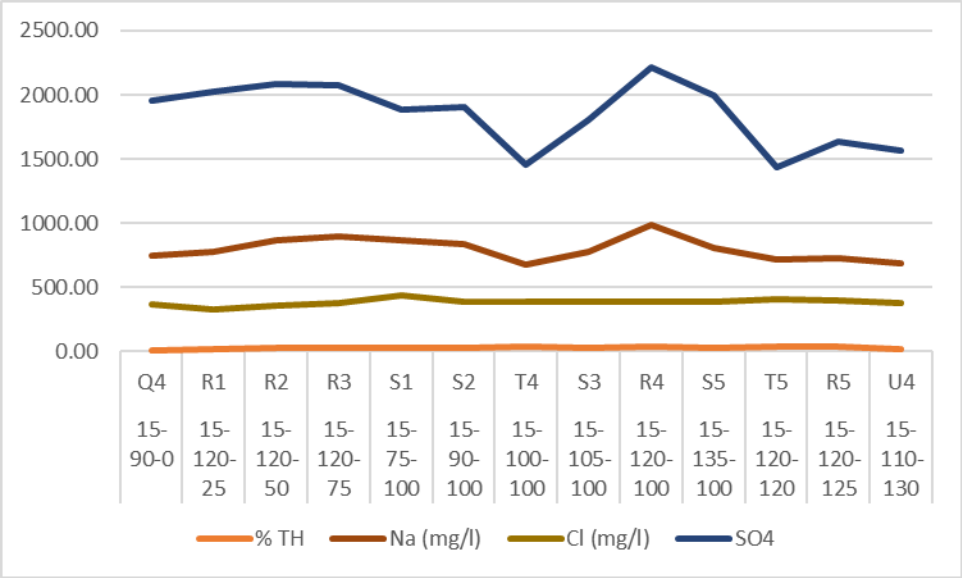


Figure 3.14 Variation Résultats d'analyses après traitement à la dose 15 mg/L en variant les autres doses.

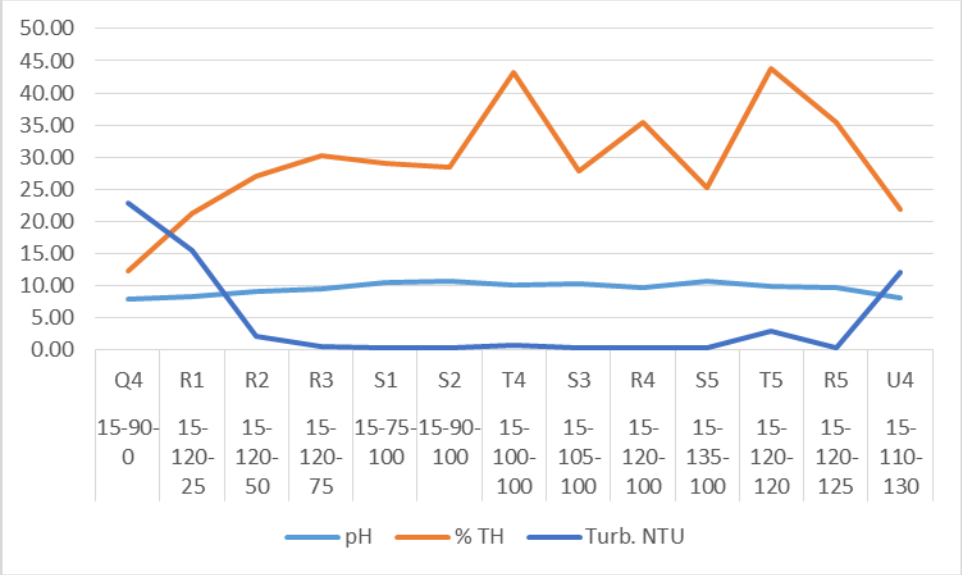


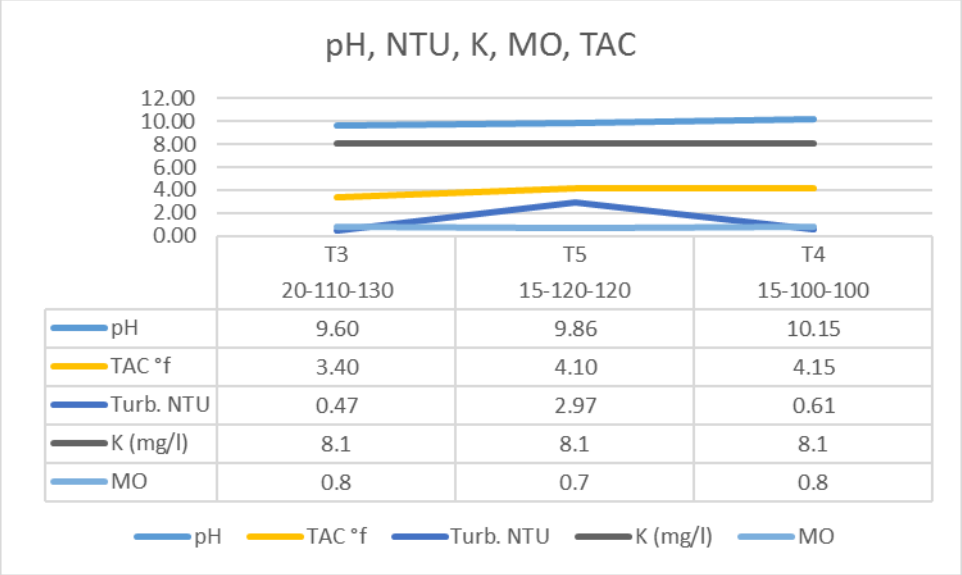
Figure 3.15 Rendement (%), pH, et la turbidité après traitement à la dose 15 mg/L en variant les autres doses.

D'après les Figures 3.13-15, on constate un rendement relativement proche à ceux obtenus précédemment : 43.75% avec un pH de 10,15 et une turbidité de 0,61 NTU. On peut classer ce résultat en deuxième place parmi les meilleurs résultats obtenus jusqu'à ce stade de cette étude. Les doses correspondantes à ce résultat sont (15-120-120) mg/L.

3.2.7 Comparaison entre les trois meilleures performances achevées jusqu'à présent

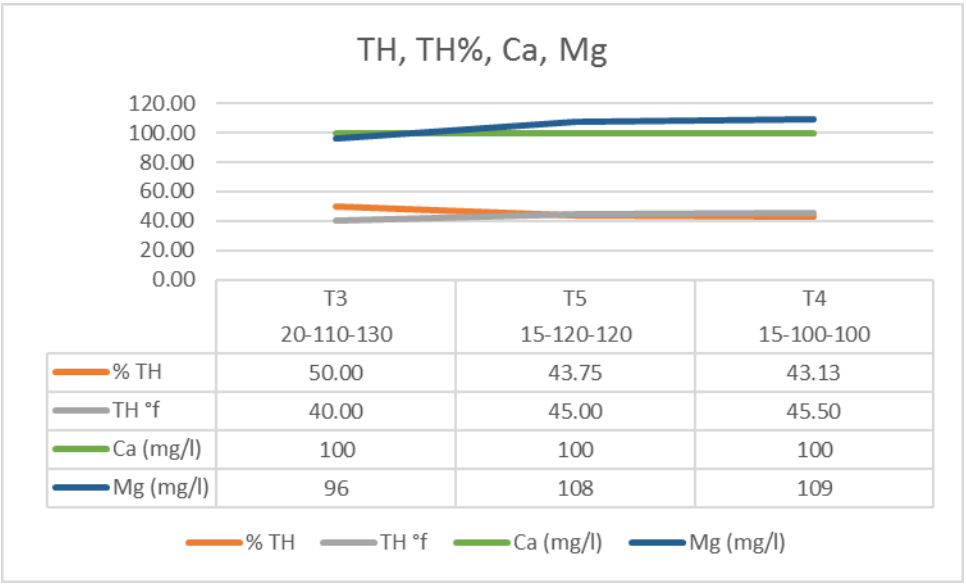
Dans ce qui suit, on fait une comparaison entre les trois premiers résultats obtenus jusqu'à présent. Les Figures 3.16-18 montrent les différences entre les différents paramètres pour les trois meilleurs résultats.

Il est à noter que ces résultats sont obtenus lors du traitement de la même eau (le même échantillon), c'est-à-dire, le même état initial et les mêmes conditions de coagulation au jar test.



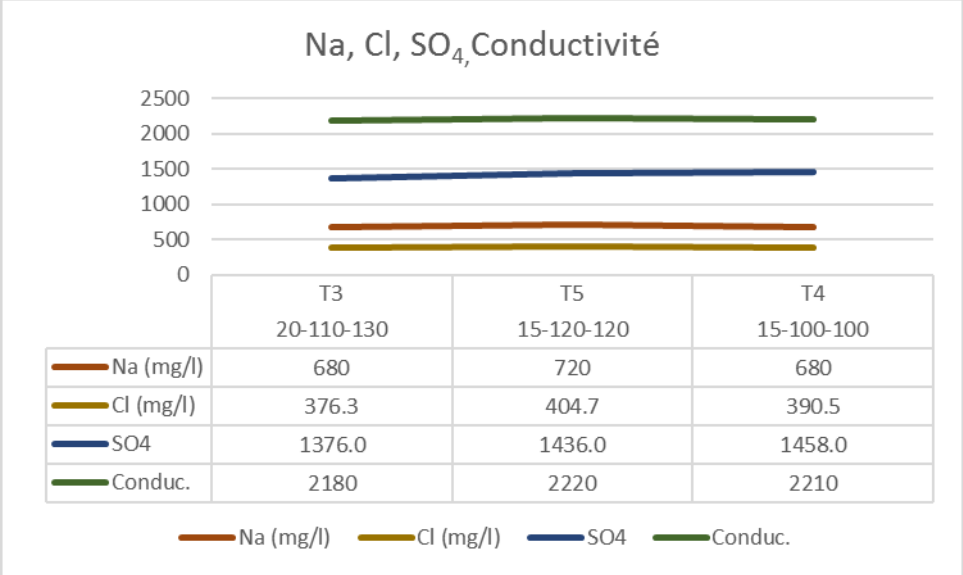
	T3 20-110-130	T5 15-120-120	T4 15-100-100
pH	9.60	9.86	10.15
TAC °f	3.40	4.10	4.15
Turb. NTU	0.47	2.97	0.61
K (mg/l)	8.1	8.1	8.1
MO	0.8	0.7	0.8

Figure 3.16 Comparaison entre les différents paramètres (pH, TAC, turbidité, K et MO) mesurés pour les trois meilleures performances du traitement obtenues par les différentes doses de réactifs.



	T3 20-110-130	T5 15-120-120	T4 15-100-100
% TH	50.00	43.75	43.13
TH °f	40.00	45.00	45.50
Ca (mg/l)	100	100	100
Mg (mg/l)	96	108	109

Figure 3.17 Comparaison entre les différents paramètres (TH (%), TH, Ca, et Mg) mesurés pour les trois meilleures performances du traitement obtenues par les différentes doses de réactifs.



	T3 20-110-130	T5 15-120-120	T4 15-100-100
Na (mg/l)	680	720	680
Cl (mg/l)	376.3	404.7	390.5
SO4	1376.0	1436.0	1458.0
Conduc.	2180	2220	2210

Figure 3.18 Comparaison entre les différents paramètres (Na, Cl, SO_4, et la conductivité) mesurés pour les trois meilleures performances du traitement obtenues par les différentes doses de réactifs.

3.3 Interprétation des résultats

3.3.1 Efficacité du traitement

Les conditions d'un adoucissement efficace avec une bonne précipitation de $CaCO_3$ et de $Mg(OH)_2$ sont réunies si :

- Le pH est proche de 10.
- La concentration de la chaux, $Ca(OH)_2$, et celle de NaOH sont égales ou équivalentes aux concentrations de la dureté carbonatée et la dureté non carbonatée, respectivement. En d'autres termes, pour une dose optimale de la chaux, comprise entre 100 et 120 mg/L, elle est égale à celle de l'alcalinité. Du même pour la soude à une dose optimale située entre 100 et 130 mg/L, elle est égale à la dureté non carbonatée. Il faut rappeler que les concentrations doivent être exprimées en mg $CaCO_3$/L pour parler de l'équivalence entre la chaux et l'alcalinité d'une part, et la soude et la dureté non carbonatée d'autre part.

Du point de vue notre objectif, à savoir la substitution ou la réduction de l'utilisation du sulfate d'alumine (alun), comme produit toxique de traitement, et à cause de la dureté excessive des eaux traitées à la station du BG, il est nécessaire de réduire cette dureté. Par conséquent, nous adoptons les doses des réactifs : alun, chaux, et soude à (15-100-100) mg/L. A cet effet nous considérons que celles-ci sont une dose optimale, où le rendement obtenu était considéré comme majeur. A ce stade d'étude, on est arrivé à réduire les paramètres suivants : TAC, Ca, Mg, Cl, turbidité, K, et MO comme montrés dans les Figures 3.19 et 20.

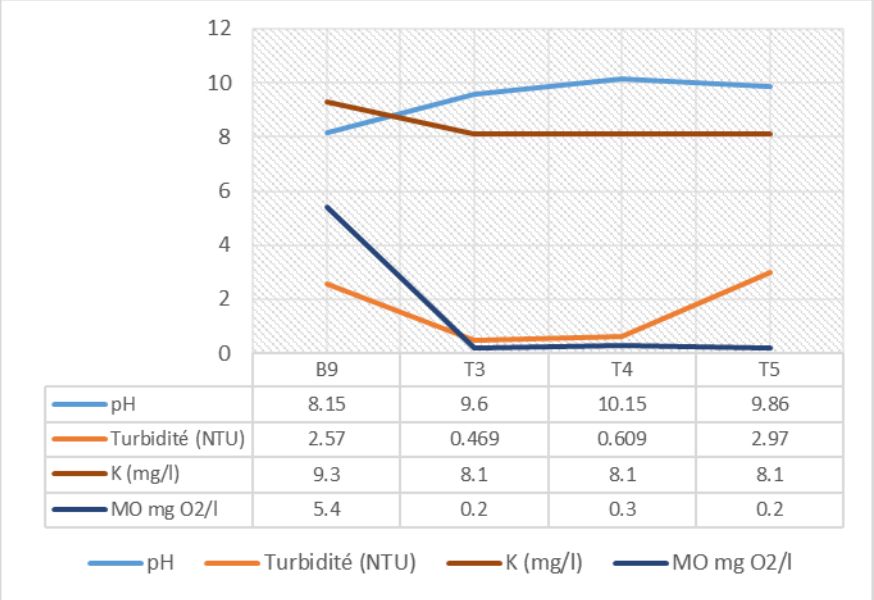


Figure 3.19 Paramètres réduits (TAC, K, MO et la turbidité) par les meilleures combinaisons des doses des réactifs utilisés.

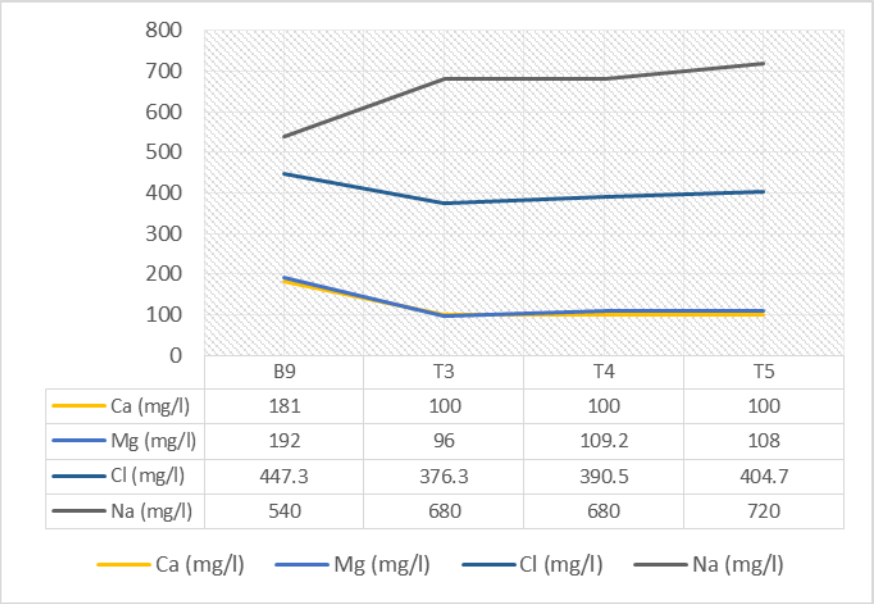


Figure 3.20 Paramètres réduits (Ca, Mg, Na, et Cl) par les meilleures combinaisons des doses des réactifs utilisés.

La réduction de la plupart des paramètres étudiés est bien évidente à l'exception du sodium (Figure 3.20) qui a enregistré une hausse très claire. Cette élévation est due au remplacement des ions Ca^{2+} et Mg^{2+} par les ions se Na^{+} comme c'est bien connu au sujet de l'adoucissement. Les réactions chimiques décrivant ces phénomènes sont regroupées de la façon suivante :

1- La neutralisation de l'acide carbonique :

$$CO_2 + Ca(OH)_2 \rightarrow CaCO_{3(s)} + H_2O \qquad (3.2)$$

2- Précipitation de la dureté carbonatée :

$Ca^{2+} + 2HCO_3^- + Ca(OH)_2 \rightarrow 2CaCO_{3(s)} + 2H_2O$ (3.3)

$Mg^{2+} + 2HCO_3^- + Ca(OH)_2 \rightarrow MgCO_3 + CaCO_3 + 2H_2O$ (3.4)

$MgCO_3 + Ca(OH)_2 \rightarrow Mg(OH)_{2(s)} + CaCO_{3(s)}$ (3.5)

3- Précipitation de la dureté non carbonatée due au calcium :

$2NaOH + Ca(OH)_2 \rightarrow CaCO_{3(s)} + Na_2CO_3$ (3.6)

$Ca^{2+} + Na_2CO_3 \rightarrow CaCO_{3(s)} + 2Na^+$ (3.7)

4- Précipitation de la dureté non carbonatée due au magnésium :

$Mg^{2+} + Ca(OH)_2 \rightarrow Mg(OH)_{2(s)} + Ca^{2+}$ (3.8)

$Ca^{2+} + Na_2CO_3 \rightarrow CaCO_{3(s)} + 2Na^+$ (3.9)

Suivant la réaction (3.9), 2 moles de Na^+ sont libérés alors qu'une mole de Ca^{2+} précipite. D'où l'augmentation remarquable du sodium.

L'alcalinité (TAC) a diminué dans les trois cas de traitement précédents de 10 à 11°F, cette diminution est de type d'une dureté carbonatée. D'où on peut écrire :

Dureté totale - alcalinité = dureté non carbonatée (3.10)

Ou bien

Dureté totale = dureté carbonatée + dureté non carbonatée (3.11)

La dureté non carbonatée est liée aux ions de sulfates, chlorures, et nitrates. Donc, le reste comme dureté est majoritairement une dureté non carbonatée.

En se basant sur la dissolution des sels minéraux restants comme dureté, on peut déduire la nature de ces sels composés d'une façon équilibrée et imaginable. Ces sels sont : $CaCl_2$, $CaSO_4$, $MgCl_2$, $MgSO_4$, etc.

3.3.2 Exploitation des résultats du jar test

En vue d'exploiter les résultats obtenus de façon rentable, la coagulation/adoucissement par la chaux des eaux de BG peut devenir facilement exploitable si nous arrivons bien à maitriser les méthodes et les techniques de l'application de ce traitement (ordre d'ajout des réactifs, intensité et durée des mélanges des réactifs). En effet, il est souhaitable d'exploiter toutes les informations recueillies de cette étude sous forme récapitulée et accessible à l'utilisation en cas de besoin.

3.3.3 Tableau récapitulatif des cas où le traitement se ferait avec un ou deux réactifs seulement

Le Tableau 3.7 rassemble les cas du traitement réduit à un ou deux réactifs. D'après le Tableau 3.7, on peut remarquer l'importance d'ajouter du sulfate d'alumine en quantité minimale, qui reste à mieux optimiser, au traitement par la chaux ou la soude seule, en vue de

faciliter l'adoucissement et contribuer à la coagulation des fins germes résultants des réaction d'adoucissement.

Tableau 3.7 Récapulatif des cas du traitement réduit à un ou deux réactifs.

Réactifs utilisés	Rendement optimal (%)	Dose du Réactif #1 (mg/L)	Dose du réactif #2 (mg/L)
Alun-chaux	12,9	20	90
Alun-soude	9,45	60	40
Chaux-soude	21,88	110	130
Alun	12,7	40	0
Chaux	13,7	50	0
Soude	7,2	40	0

Il pourrait paraître illogique d'utiliser du sulfate d'alumine à un pH aussi élevé (~10), mais il s'agit d'obtenir de l'aluminate de magnésium (et non de l'hydroxyde d'aluminium) afin de mieux précipiter le magnésium. La coagulation proprement dite peut s'imposer soit pour traiter des eaux troubles, soit pour favoriser la précipitation de la MO dissoute [22].

3.3.4 Classement des 20 premiers rendements obtenus avec leurs doses correspondantes

On a pu faire une comparaison entre la majorité des résultats concernant les rendements de l'elimination de la dureté totale, obtenus lors de cette étude, parmi les mielleurs qui sont schématisés sur le graphe de la Figure 3.21.

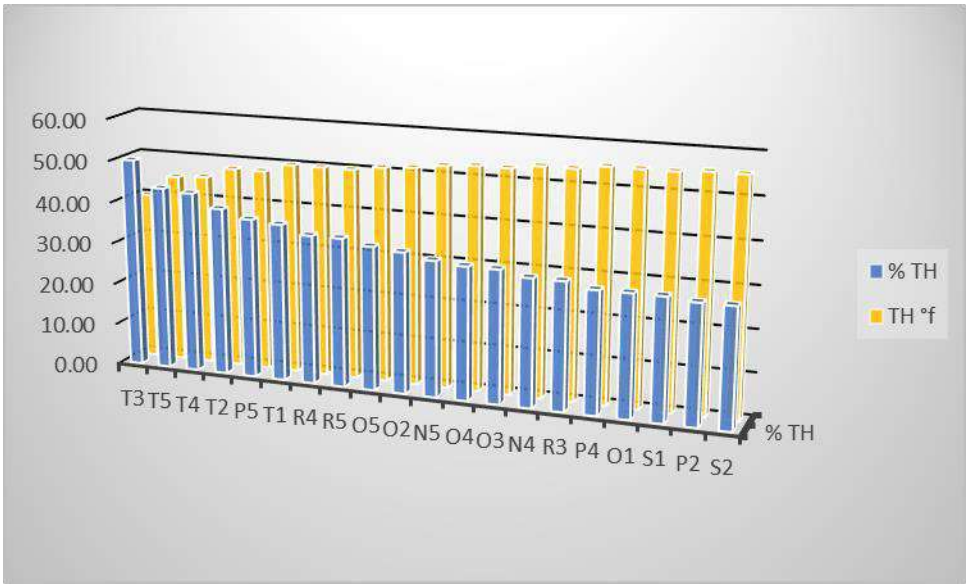


Figure 3.21 Classement des 20 premiers rendements obtenus selon un ordre décroissant d'efficacité.

3.3.5 Avantages de la coagulation par la chaux et la soude

- La précipitation du carbonate de calcium reduit généralement de 10 à 30 pour cent de la couleur, le COT, et les précurseurs des sous-produits de désinfection.
- La précipitation de l'hydroxyde de magnésium élimine généralement de 30 à 60 pour cent du COT et des précurseurs des sous-produits de désinfection, et de 50 à 80 pourcent de la couleur.
- Une bonne désinfection se présente lorsque le pH est de l'ordre de 11 ou plus (dans le cas où la chaux est en excès).
- Une précipitation des phosphates se produit, losque le pH est de l'ordre de 11.
- Une précipitation des métaux lourds peut avoir lieu : Fe, Pb, Zn, Co, Ni, et Hg.

Les rôles distribués entre la chaux et la soude sont mentionnés dans le Tableau 3.8.

Tableau 3.8 Rôles de la chaux et de la soude lors de leur addition.

Etape de l'addition	Type de réactif	Action dans le traitement
Cas de la dureté carbonatée		
1	Chaux=CO_2	Neutralisation de H_2CO_3
2	Chaux=CO_3^-	Elever le pH et convertir HCO_3^- en CO_3^{2-}
3	Chaux=Mg^{2+} à eliminer	Elever le pH ; précipiter $Mg(OH)_2$
4	Chaux en excès	Pousser la réation
Cas de la dureté non carbonatée		
1	Soude pour l'élimination de la dureté non carbonatée	Produire du CO_3^{2-}

Tableau 3.-7 Roles de la chaux et de la soude lors de leur addition.

3.3.6 Conclusion

L'obtention des taux d'élimination variables de la dureté au cours de ses tests effectués nous a permis de conclure que :

- Les valeurs des doses trouvées expriment réellement la technique de traitement d'adoucissement conventionnelle. En effet, les paramètres étudiés sont influencés par les doses trouvées d'une manière propotionnelle, comme montré dans la Figure 3.22, de tel sorte

qu'il y'ait une relation visuellement claire entre la quantité de calcium eliminée et le taux d'adoucissement.

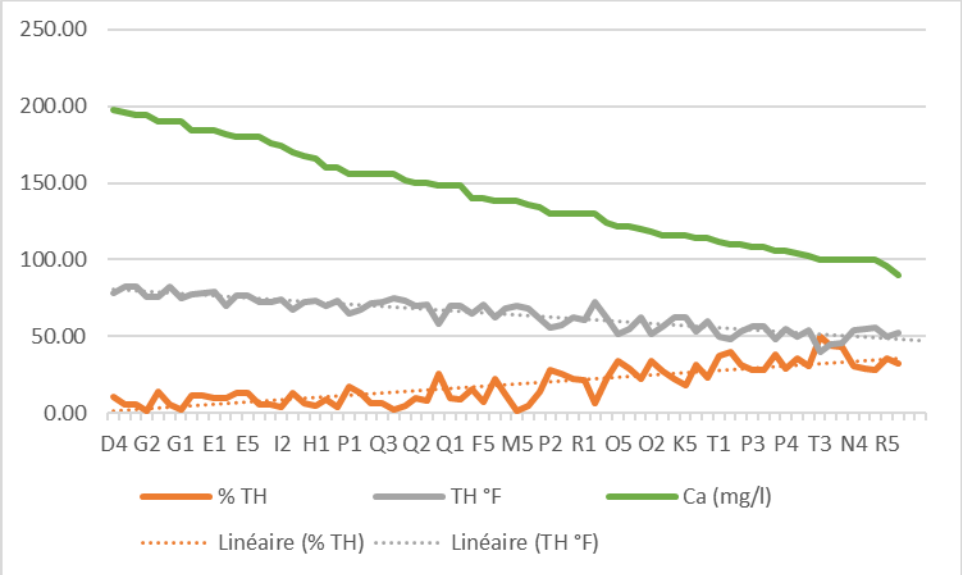


Figure 3.22 Proportionnalité entre le taux d'élimination de la dureté totale et le calcium résiduels dans l'eau traitée.

Conclusion

Au terme de ce travail qui porte sur l'étude de la coagulation et l'adoucissement (qui est induit lors de la coagulation) de l'eau de BG par la chaux ainsi que son utilisation en combinaison avec la soude afin de réduire la dureté totale à un niveau plus ou moins acceptable pour les consommateurs. Les expériences et les analyses physicochimiques, effectuées au niveau du Laboratoire Central de l'ADE, Unité de Médéa, nous ont permis d'aboutir à un certains nombre de conclusions :

1. La substitution du sulfate d'aluminium avec la chaux et la soude combinées au sulfate d'aluminium dans la coagulation de l'eau de BG est fort possible. En effet, un meilleur abattement de la dureté totale de l'ordre de 50% a été obtenu pour cette combinaison : alun = 15, chaux = 100, soude 100 mg/L.

2. Les mauvais rendements, compris entre 0 et 5%, sont écartés. Ceci peut être expliqué par le mauvais choix des doses des réactifs.

3. Les moyens rendements, qui varient de 5 à 15%, peuvent être expliqués par le manque de l'un des réactifs puisque ce sont les cas où nous avons injecté seulement un ou deux réactifs.

4. Les rendements situés dans la gamme de 15 à 30% sont considérés comme des essais peu réussis pour lesquels les conditions opératoires sont défavorables.

5. Les résultats restants, 31 à 40%, sont considérés comme étant de bons rendements puisque l'adoucissement est relativement bien appliqué.

6. Les plus efficaces et meilleurs rendements vont de 43 à 50%.

7. La substitution totale de l'alun par la chaux et la soude, comme produits de coagulation seules, n'est pas totalement applicable à moins que la réalisation de la méthode d'adoucissement, en tant que telle, ne soit bien maitrisée afin d'exploiter tous les bénéfices de l'adoucissement en tant que procédé proprement dit.

8. Il reste à dire que la substitution de l'alun n'est que partiellement applicable, où on peut utiliser le sulfate à des doses réduites afin de favoriser la précipitation de

carbonate de calcium et d'hydroxyde de magnésium qui sont des produits responsables de l'adoucissement.

9. En perspective, il est très utile de faire une étude économique bien précise, et un dimensionnement sur site concernant la station de traitement de l'eau de BG, afin de réaliser une étape de traitement complémentaire consacrée à l'adoucissement pour obtenir une eau plus agréable à la consommation.

Annexe 1

Tableau n° 09

Résultats finaux des analyses de l'eau de Barrage GHRIB traitée par les produits réactifs de coagulation

(Sulfate d'Alumine, la Chaux, la Soude)

Soude (mg/L)	Chaux (mg/L)	Sulfate (mg/L)	N° Bécher	TH (°F)	% TH	Turbidité (NTU)	pH	Ca^{2+} (mg/L)	Mg^{2+} (mg/L)	TAC (°F)	Cl^{-} (mg/L)	K^{+} (mg/L)	Na^{+} (mg/L)	Conductivité (µS/cm)	SO_4^{2-} (mg/L)	MO (mg/L)
0	10	0	D1	82,5	5,7	9,23	8,97	196	198	16,75	461,5	8,5	650	2140	1765,3	1,6
0	20	0	D2	82,5	5,7	24,7	8,12	190	198	12,8	447,3	8,4	675	2130	1868	1,7
0	30	0	D3	82,5	5,7	52,8	8,18	194	198	12,0	447,3	8,5	675	2110	1887	1,3
0	40	0	D4	78,5	10,3	76,4	8,12	198	188,4	10,0	433,1	8,5	650	2080	1849,7	1,2
0	50	0	D5	75,5	13,7	88,3	8,13	190	181,2	8,3	440,2	8,4	650	2080	1812,2	1,8
0	0	20	E1	79	9,7	0,557	6,81	184	189,6	11,0	461,5	8,3	650	2330	1770	0,9
0	0	40	E2	76,5	12,6	0,38	6,79	180	183,6	10,5	447,3	8,4	675	2320	1814	1,2
0	0	60	E3	77,5	11,4	0,362	6,7	184	186	10,0	440,2	8,6	625	2340	1745	0,1
0	0	80	E4	78	10,9	0,413	6,59	184	187,2	9,1	440,2	8,4	650	2330	1812	1,1
0	0	100	E5	76,5	12,6	0,554	6,48	180	183,6	7,2	454,4	8,3	625	2310	1739,12	0,6
8	0	0	F1	78,5	-2,6	4,64	8,88	184	188,4	14,5	454,4	8,3	700	2370	1838,6	1,4
16	0	0	F2	72,5	5,2	3,42	8,99	180	174	12,25	426	8,3	700	2320	1836,9	1,5
24	0	0	F3	72	5,9	4,67	8,83	168	172,8	11	440,2	8,3	700	2340	1798	1,5
32	0	0	F4	71,5	6,5	4,94	8,77	156	171,6	10	454,4	8,2	700	2300	1757,6	1,6
40	0	0	F5	71	7,2	4,09	8,79	140	170,4	9,85	454,4	8,2	675	2310	1664,11	1,2
0	6	60	G1	75	2,0	0,39	6,72	190	180	11,8	397,6	8,4	600	2370	1719,7	1,5

0	12	60	G2	75,5	1,3	0,86	6,99	194	181,2	12,05	397,6	8,4	625	2340	1783,3	1,2
0	18	60	G3	76,5	0,0	0,71	7,31	192	183,6	12,15	340,8	8,4	700	2320	2020,14	1,4
0	20	60	G4	77,5	-1,3	0,7	7,65	180	186	12,7	355	8,3	700	2330	1975,06	1,3
0	30	60	G5	80,5	-5,2	0,64	7,95	172	193,2	13,25	355	8,3	675	2320	1925,6	1,8
8	15	0	H1	73,5	4,2	11,5	8,3	166	176,4	11,5	454,4	8,4	870	2200	2138,69	1,9
16	15	0	H2	77,5	-1,0	12,9	7,85	164	186	9,65	468,6	8,4	900	2190	2236,3	0,9
24	15	0	H3	70	8,8	14,3	7,86	160	168	9,2	411,8	8,4	870	2180	2175	1,5
32	15	0	H4	70	8,8	15,4	7,81	148	168	8,1	461,5	8,4	840	2160	2029	1,3
40	15	0	H5	70,5	8,1	17,9	7,81	150	169,2	7,45	468,6	8,4	840	2150	2036	1,2
8	0	60	I1	80	-4,2	0,4	7,1	196	192	11,9	426	8,2	650	2330	1846,06	2,1
16	0	60	I2	74	3,6	0,38	7,4	174	177,6	13,05	426	8,2	650	2340	1722,9	1,9
24	0	60	I3	72,5	5,5	0,35	8,1	176	174	14,6	411,8	8,2	675	2370	1766,7	1,6
30	0	60	I4	76	1,0	0,34	8,4	178	182,4	14,9	411,8	8,1	650	2320	1748,8	1,5
40	0	60	I5	69,5	9,4	0,28	8,67	182	166,8	16	411,8	8,1	650	2340	1683,9	1,3
20	15	10	J1	77,5	-1,3	2,8	8,22	176	186	13,5	383,4	8,6	775	2320	2127	2,3
20	15	20	J2	77,5	-1,3	2,15	7,97	166	186	13,7	397,6	8,7	800	2330	2133	2,3
20	15	30	J3	77,5	-1,3	2,8	8,25	172	186	13,7	418,9	8,8	840	2340	2203	2,4
20	15	40	J4	73,5	3,9	3,29	8,12	160	176,4	14,8	404,7	8,7	800	2350	2061	2
20	15	50	J5	82,5	-7,8	2,95	8,22	176	198	14,85	369,2	8,7	800	2360	2234	1,9
12	30	40	K1	78	-2,0	0,309	7,85	184	187,2	14,3	397,6	8,4	780	2650	2133	2,2
24	30	40	K2	75	2,0	0,581	8,13	156	180	11	404,7	8,5	810	2620	2118	2,1
36	30	40	K3	73	4,6	0,69	8,19	152	175,2	10	411,8	8,4	810	2600	2165	1,5

48	30	40	K4	65	15,0	2,96	8,36	140	156	9,5	376,3	8,4	810	2590	2035	1,4
60	30	40	K5	62,5	18,3	3,27	8,39	116	150	7,55	390,5	8,4	840	2570	2012	1,3
12	37,5	40	L1	75	-5,6	0,425	7,56	162	180	10,2	362,1	7,9	725	2600	2018	1,2
24	37,5	40	L2	75	-5,6	0,501	7,64	150	180	9,1	404,7	7,9	780	2570	1985	1,1
4	37,5	40	L3	72	-1,4	0,39	7,74	136	172,8	6,5	369,2	7,8	810	2540	2125	1
48	37,5	40	L4	68	4,2	0,315	7,86	136	163,2	6,1	411,8	7,7	840	2540	2093	0,9
60	37,5	40	L5	61,5	13,4	0,502	8,2	134,2	147,6	5,1	390,5	7,7	840	2510	2065	0,8
12	45	40	M1	75	-5,6	4,17	8,4	180	180	12,75	326,6	8,1	675	2670	1984	2
24	45	40	M2	71,5	-0,7	4,84	8,37	156	171,6	12,05	355	8,1	700	2650	1915	1,7
36	45	40	M3	73	-2,8	4,83	8,35	144	175,2	9,8	355	8,1	675	2620	1864	1,8
48	45	40	M4	73,5	-3,5	6,97	8,63	144	176,4	9	333,7	8,1	725	2610	2004	1,9
60	45	40	M5	70	1,4	7,58	8,33	138	168	8,5	326,6	8,1	725	2600	2003	1
20	45	20	N1	67,5	12,9	5,81	8,16	156	162	11,0	319,5	8,4	720	2650	2002	0,4
40	45	20	N2	72,5	6,5	5,06	8,13	130	174	7	355	8,3	810	2620	2130	0,35
60	45	20	N3	60	22,6	4,52	8,53	114	144	4,85	355	8,2	870	2570	2115	0,55
80	45	20	N4	54	30,3	0,408	9,22	100	129,6	3,65	340,8	8,1	900	2560	2117	0,7
100	45	20	N5	52,5	32,3	0,43	9,72	90	126	4,1	360	8	840	2560	1918	0,2
20	60	20	O1	55	29,0	0,57	8,75	122	132	4,2	355	7,9	840	2560	2029	0,3
40	60	20	O2	51,5	33,5	1,98	9,02	118	123,6	3,75	347,9	8	780	2560	1876	0,1
60	60	20	O3	53	31,6	2,37	9,22	114	127,2	3,35	319,5	7,8	810	2560	1982	0,2
80	60	20	O4	53	31,6	0,54	9,73	110	127,2	4,2	319,5	7,7	810	2560	1965	0,2
100	60	20	O5	51	34,2	2,14	10,11	122	122,4	4,65	340,8	7,7	900	2590	2154	0

20	90	20	P1	64,5	16,8	8,23	8,13	156	154,8	5,75	333,7	7,6	660	2520	1842	0,1
40	90	20	P2	55,5	28,4	3,89	8,42	130	133,2	4	340,8	7,5	750	2500	1885	0,1
60	90	20	P3	56	27,7	0,216	9,23	108	134,4	3	326,6	7,5	870	2490	2113	0,2
80	90	20	P4	55	29,0	0,188	9,59	106	132	3,4	326,6	7,4	780	2480	1909	0,3
100	90	20	P5	48	38,1	0,288	9,74	106	115,2	3,5	362,1	7,4	810	2480	1857	0
0	90	3	Q1	70	9,7	25,6	7,85	148	168	7,5	340,8	8,6	700	2610	1936	0,1
0	90	5	Q2	70	9,7	26,3	7,93	150	168	7,8	411,8	8,6	700	2620	1842	0,2
0	90	8	Q3	72,5	6,5	27,7	7,98	156	174	7,5	362,1	8,6	650	2620	1846	0,3
0	90	20	Q4	68	12,3	22,9	7,92	138	163,2	7,95	369,2	8,6	750	2630	1955	0,3
0	90	20	Q5	67,5	12,9	29,1	7,98	170	162	7,35	326,6	8,7	725	2630	2034	0,1
25	120	15	R1	61	21,3	15,5	8,27	130	146,4	3,7	326,6	8	780	2440	2029	0,2
50	120	15	R2	56,5	27,1	2,18	9,06	116	135,6	3,4	362,1	8	870	2440	2090	0,1
75	120	15	R3	54	30,3	0,514	9,53	102	129,6	2,85	383,4	7,9	900	2430	2071	0,1
100	120	15	R4	50	35,5	0,314	9,69	104	120	3,05	390,5	7,9	990	2430	2212	0
125	120	15	R5	50	35,5	0,357	9,74	96	120	2,85	397,6	7,8	725	2440	1632	0
100	75	15	S1	55	29,0	0,359	10,45	100	132	8,75	440,2	8,1	870	2300	1889	0,2
100	90	15	S2	55,5	28,4	0,234	10,64	100	133,2	8	390,5	7,9	840	2290	1902	0,3
100	105	15	S3	56	27,7	0,297	10,35	108	134,4	7,25	390,5	7,9	780	2260	1806	0,3
100	120	15	S4	57,5	25,8	0,316	10,58	130	138	6,5	390,5	7,9	780	2260	1801	0,4
100	135	15	S5	58	25,2	0,307	10,58	148	139,2	6,05	390,5	7,9	810	2290	1994	0,5
25	120	15	T1	50	37,5	0,432	9,51	112	120	4	383,4	8,1	760	2210	1629	1,1
50	120	15	T2	48	40,0	0,395	9,95	110	115,2	4,1	355	8,1	720	2230	1556	0,9

75	120	15	T3	40	50,0	0,469	9,6	100	96	3,4	376,3	8,1	680	2180	1376	0,8
100	120	15	T4	45,5	43,1	0,609	10,15	100	109,2	4,15	390,5	8,1	680	2210	1458	0,7
125	120	15	T5	45	43,8	2,97	9,86	100	108	4,1	404,7	8,1	720	2220	1436	0,7
130	110	0	U1	62.5	21,88	4,80	7,98	11,40	138	15,0	510	8,3	397,6	1237,0	2210	2,3
130	110	5	U2	62.5	21,88	4,20	8,02	11,20	124	15,0	660	8,5	390,5	1550,0	2210	2,1
130	110	10	U3	62.5	21,88	5,25	8,10	10,80	130	15,0	660	8,3	390,5	1523,0	2220	2,3
130	110	15	U4	62.5	21,88	5,35	7,98	12,10	120	15,0	690	8,7	383,4	1568,0	2220	2,4
130	110	20	U5	62.5	21,88	5,00	7,86	10,60	116	15,0	660	8,4	390,5	1499,0	2210	2,1

Tableau N° 10 : Principales différences entre eaux de surface et eaux souterraines.

Caractéristiques	Eaux de surface	Eaux souterraines
Température	Variable suivant saisons	Relativement constante
Turbidité, MES (vrais ou colloïdales)	Variable parfois élevée	Faible ou nulle (sauf en terrain karstique)
Couleur	Liées surtout aux MES (argiles, algues sauf dans les eaux très douces et acides (acides humiques)	Liée surtout aux matières en solution (acides humiques), due à une précipitation et présence de certains éléments Fer Manganèse
Goûts et odeurs	Fréquents	Rares (sauf H_2S)
Minéralisation	Variable en fonction des terrains, des précipitations, des rejets	Sensiblement constante : en générale nettement plus élevée que dans les eaux de surface de la même région
Fer et Mn divalents à l'état dissous	Généralement absent sauf en profonds des pierres d'eau en état d'eutrophisation	Généralement présents
Co_2 agressif	Généralement absent	Souvent présent en grande quantité
O_2 dissous	Le plus souvent au voisinage de la saturation : absent dans le cas d'eaux très polluées	Absent la plupart du temps

H_2S	Généralement absent	Souvent présent
NH_4	Présent seulement dans les eaux polluées	Présent fréquemment sans être un indice systématique de pollution bactérienne
Nitrates	Peu abondants en général	Teneurs parfois élevées
Silice	Teneur généralement modérée	Teneur par fois élevée
Micropolluants minéraux et organiques	Présents dans les eaux de pays industrialisés, mais susceptibles de disparaître rapidement après suppression de la source.	Généralement absent, mais une pollution accidentelle subsiste beaucoup plus long temps
Solvants chlores	Rarement présent	Peuvent être présente (pollution de la nappe)
Elément vivant	Bactéries (dont certaines pathogènes) virus, plancton (animal et végétal)	Férrobactéries et sulfatoréductrices fréquents
Caractère eutrophie	Possible : accentue par la température élevée	Non

Tableau N°11 *:* **Les normes de la qualité de quelques paramètres physico- chimique d'une eau potable :**

	Paramètres physico-chimiques (mg/L)	***Recommandations (OMS)***
Paramètres physiques	La température pH Résidu sec	Ne doit pas dépasser 25°C 6,5≤ pH ≤ 8,5 ≤ 1500 mg /l
Paramètres chimiques	Chlorures (Cl) Sulfates (SO_4) Magnésium (Mg) Sodium (Na) Potassium (K)	≤ 200 mg /l ≤ 250 mg /l ≤ 150 mg /l ≤ 150 mg /l ≤ 120 mg /l
Paramètres chimiques indésirables	Nitrates (NO_3) Nitrites (NO_2) Ammonium (NH_3) Fer (Fe) Manganèse (Mn) Cuivre (Cu) Zinc (Zn) Phosphore (P) Argent (Ag)	≤ 50 mg /l ≤ 0,1 mg /l ≤ 0,5 mg /l ≤ 0,2 mg /l ≤ 0,05 mg /l ≤ 01 mg /l ≤ 05 mg /l ≤ 05 mg /l ≤ 0,01 mg /l
Paramètres chimiques toxiques	Arsenic (As) Cadmium (Cd) Cyanures (Cn) Chrome total Mércure (Hg) Nickel (Ni) Plomb (Pb)	≤ 0,05 mg /l ≤ 0,005 mg /l ≤ 0,05 mg /l ≤ 0,05 mg /l ≤ 0,001 mg /l ≤ 0,05 mg /l ≤ 0,05 mg /l

pH	**4,5**	**8,3**
	Bases faibles (HCO_3^-).	Bases fortes ($CO3^{2-}$, OH^-)
1) Eau dont l'alcalinité n'est attribuable qu'aux bicarbonates (cas général des eaux naturelles) pH < 8,3		
2) Eau dont l'alcalinité n'est attribuable qu'aux carbonates. pH > 8,3		
3) Eau dont l'alcalinité est attribuable à la fois aux bicarbonates et aux carbonates.		
4) Eau dont l'alcalinité n'est pas attribuable qu'aux alcalins. pH > 9,5		
5) Eau dont l'alcalinité est attribuable à la fois aux bicarbonates et aux alcalins. pH > 9,5		

Figure N° 08 : *L'alcalinité de l'eau.*

Annexe 2

Tableau 3-2 Résultat d'analyse d'une eau brute et après traitement par le sulfate seul

Paramètres	***E5***	***E4***	***E3***	***E2***	***E1***	***B1***
pH	6,48	6,59	6,7	6,79	6,81	7,02
Turbidité (NTU)	0,55	0,41	0,36	0,38	0,56	6
TH (°F)	77	78	78	77	79	87,5
Ca^{2+} (mg/L)	180	184	184	180	184	208
Mg^{2+} (mg/L)	184	187	186	184	190	210
TAC °F	7,2	9,1	10	10,5	11	13,4
Cl^- (mg/L)	454	44**0**	440	447	462	426
K^+ (mg/L)	8,4	8,4	8,6	8,4	8,3	8,3
Na^+ (mg/L)	625	650	625	675	650	625
SO_4^{2-} (mg/L)	1739	1812	1745	1814	1770	1927
MO (mg O2/L)	0,6	1,1	1,1	1,2	0,9	1,9
Cond, (µS/cm)	2310	2330	2340	2320	2330	2290
Rendement d'élimination (%)	12,6	10,9	11,4	**12,6**	9,7	
Doses injectées (mg/L)	100	80	60	**40**	20	

Tableau 3-4- Résultat d'analyse d'une eau brute et après traitement

Paramètres	***D5***	***D4***	***D3***	***D2***	***D1***	***B1***
pH	8,13	8,12	8,18	8,12	8,97	7,02
Turbidité (NTU)	88,3	76,4	52,8	24,7	9,23	6
TH °F	75,5	78,5	82,5	82,5	82,5	87,5
Ca^{2+} (mg/L)	190	198	194	190	196	208
Mg^{2+} (mg/L)	181,2	188,4	198	198	198	210
TAC °F	83	100	120	128	167,5	13,4
Cl^- (mg/L)	440,2	433,1	447,3	447,3	461,5	426
K^+ (mg/L)	8,4	8,5	8,5	8,4	8,5	8,3
Na^+ (mg/L)	650	650	675	675	650	625
SO_4^{2-} (mg/L)	1812,2	1849,7	1887	1868	1765,3	1927
MO (mg O2/L)	1,8	1,2	1,3	1,7	1,6	1,9
Cond, (µS/cm)	2080	2080	2110	2130	2140	2290
Rendement d'élimination (%)	**13,7**	10,3	5,7	5,7	5,7	
Doses injectées (mg/L)	**50**	40	30	20	10	

Tableau 3-3- Résultats d'analyse avant et après traitement par la soude suivant les doses indiquées

Paramètres	***F5***	***F4***	***F3***	***F2***	***F1***	***B2***
pH	8,79	8,77	8,83	8,99	8,88	*8,2*
Turbidité (NTU)	4,09	4,94	4,67	3,42	4,64	*9,08*
TH °F	71	71,5	72	72,5	78,5	*76,5*
Ca^{2+} (mg/L)	140	156	168	180	184	*182*
Mg^{2+} (mg/L)	170,4	171,6	172,8	174	188,4	*183,6*
TAC °F	9,85	10	11	12,25	14,5	*13,3*
Cl^- (mg/L)	454,4	454,4	440,2	426	454,4	*454,4*
K^+ (mg/L)	8,2	8,2	8,3	83	8,3	*8,4*
Na^+ (mg/L)	675	700	700	700	700	*650*
SO_4^{2-} (mg/L)	1664,1	1757,6	1798	1836,9	1838,6	*1775*
MO (mg O2/L)	1,2	1,6	1,5	1,5	1,4	*2,5*
Cond, (µS/cm)	2310	2300	2340	2320	2370	*2390*
Rendement d'élimination (%)	**7,2**	**6,5**	**5,9**	**5,2**	**-2,6**	
Doses injectées (mg/L)	40	32	24	16	8	

Tableau 3-6- Résultats d'analyse après traitement suivant les doses des réactifs indiquées

Paramètres	***J4***	***K2***	***K3***	***K4***	***K5***	***L4***	***L5***	***M5***
pH	8,12	8,13	8,19	8,36	8,39	7,86	8,2	8,33
Turbidité (NTU)	2,29	0,581	0,69	2,96	3,27	0,315	0,502	7,58
TH °F	73,5	75	73	65	62,5	68	61,5	70
Ca^{2+} (mg/L)	160	156	152	140	116	136	134,2	138
Mg^{2+} (mg/L)	176,4	180	175,2	156	150	163,2	147,6	168
TAC °F	14,8	11	10	9,5	7,55	6,1	5,1	8,5
Cl^- (mg/L)	404,7	404,7	411,8	376,3	390,5	411,8	390,5	326,6
K^+ (mg/L)	8,7	8,5	8,5	8,4	8,4	7,7	7,7	8,1
Na^+ (mg/L)	800	810	810	810	840	840	840	725
SO_4^{2-} (mg/L)	2061	2118	2165	2035	2012	2093	2065	2003
MO (mg O2/L)	2	2,1	1,5	1,4	1,3	0,9	0,8	1
Cond, (µS/cm)	2350	2620	2600	2590	2570	2540	2510	2600
Rendement d'élimination (%)	3,9	2	4,6	15	18,3	4,2	13,4	1,4
Doses injectées (mg/L)	40-15-40	40-30-24	40-30-36	40-30-48	40-30-60	40-37,5-48	40-37,5-60	40-45-60

Tableau 3-7- Résultats d'analyses après traitement par le sulfate à 20 mg/L en variant les autres doses

Paramètres	***T3***	***T1***	***T2***	***P1***	***P2***	***P3***	***P4***	***P5***
pH	9,6	9,6	9,6	8,13	8,42	9,23	9,59	9,74
Turbidité (NTU)	0,469	0,469	0,469	8,23	3,89	0,22	0,19	0,288
TH °F	40	40	40	65	56	56	55	48
Ca2+ (mg/L)	100	100	100	156	130	108	106	106
Mg2+ (mg/L)	96	96	96	155	133	134	132	115,2
TAC °F	3,4	3,4	3,4	5,75	4	3	3,4	3,5
Cl- (mg/L)	376,3	376,3	376,3	334	341	327	327	362,1
K+ (mg/L)	8,1	8,1	8,1	7,6	7,5	7,5	7,4	7,4
Na+ (mg/L)	680	680	680	660	750	870	780	810
SO42- (mg/L)	1503	1503	1503	1842	1885	2113	1909	1857
MO (mg O2/L)	0,2	0,2	0,2	0	0	0	0	0
Cond, (µS/cm)	2180	2180	2180	2520	2500	2490	2480	2480
Rendement d'élimination (%)	50	37,5	40	16,77	28,39	27,74	29,03	38,06
Doses injectées (mg/L)	20-110-130	20-100-100	20-100-120	20-90-20	20-90-40	20-90-60	20-90-80	20-90-100

Suite du tableau 3-7- Résultats d'analyses après traitement par le sulfate à 20 mg/L en variant les autres doses

Paramètres	***O1***	***O2***	***O3***	***O4***	***O5***	***N3***	***N4***	***N5***
pH	8,75	9,02	9,22	9,73	10,11	8,53	9,22	9,72
Turbidité (NTU)	0,57	1,98	2,37	0,54	2,14	4,52	0,408	0,43
TH °F	55	51,5	53	53	51	60	54	52,5
Ca2+ (mg/L)	122	118	114	110	122	114	100	90
Mg2+ (mg/L)	132	123,6	127,2	127,2	122,4	144	129,6	126
TAC °F	4,2	3,75	3,35	4,2	4,65	4,85	3,65	4,1
Cl- (mg/L)	355	347,9	319,5	319,5	340,8	355	340,8	360
K+ (mg/L)	7,9	8	7,8	7,7	7,7	8,2	8,1	8
Na+ (mg/L)	840	780	810	810	900	870	900	840
SO42- (mg/L)	2029	1876	1982	1965	2154	2115	2117	1918
MO (mg O2/L)	0,3	0,1	0,2	0,2	0,1	0,55	0,7	0,2
Cond, (µS/cm)	2560	2560	2560	2560	2560	2570	2560	2560
Rendement d'élimination (%)	29,03	33,55	32,61	31,61	34,19	22,6	30,3	32,3
Doses injectées (mg/L)	20-60-20	20-60-40	20-60-60	20-60-80	20-60-100	20-45-60	20-45-80	20-45-100

Tableau 3-8- Résultats d'analyses après traitement par le sulfate à 15 mg/L en variant les autres doses

Paramètres	***Q4***	***R1***	***R2***	***R3***	***S1***	***S2***	***T4***
pH	7,92	8,27	9,06	9,53	10,45	10,64	10,15
Turbidité (NTU)	22,9	15,5	2,18	0,514	0,359	0,234	0,609
TH °F	68	61	56,5	54	55	55,5	45,5
Ca2+ (mg/L)	138	130	116	102	100	100	100
Mg2+ (mg/L)	163,2	146,4	135,6	129,6	132	133,2	109,2
TAC °F	7,95	3,7	3,4	2,85	8,75	8	4,15
Cl- (mg/L)	369,2	326,6	362,1	383,4	440,2	390,5	390,5
K+ (mg/L)	8,6	8	8	7,9	8,1	7,9	8,1
Na+ (mg/L)	750	780	870	900	870	840	680
SO42- (mg/L)	1955	2029	2090	2071	1889	1902	1535
MO (mg O2/L)	0,3	0,2	0,1	0,1	0,2	0,3	0,3
Cond, (µS/cm)	2630	2240	2440	2430	2300	2290	2210
Rendement d'élimination (%)	12,3	21,3	27,1	30,3	29	28,4	43,1
Doses injectées (mg/L)	15-90-0	15-120-125	15-120-50	15-120-75	15-75-100	15-90-100	15-100-100

Tableau 3-8- Résultats d'analyses après traitement par le sulfate à 15 mg/L en variant les autres doses

Paramètres	***S3***	***R4***	***S5***	***T5***	***R5***	***U4***
pH	10,35	9,69	10,58	9,86	9,74	7,98
Turbidité (NTU)	0,297	0,314	0,307	2,97	0,357	12,1
TH °F	56	50	58	45	50	62,5
Ca2+ (mg/L)	108	104	148	100	96	120
Mg2+ (mg/L)	134,4	120	139,2	108	120	150
TAC °F	7,25	3,05	6,05	4,1	2,85	5,35
Cl- (mg/L)	390,5	390,5	390,5	404,7	397,6	383,4
K+ (mg/L)	7,9	7,9	7,9	8,1	7,8	8,7
Na+ (mg/L)	780	990	810	720	725	690
SO42- (mg/L)	1806	2212	1994	1595	1632	1568
MO (mg O2/L)	0,3	0	0,5	0,2	0	2,4
Cond, (µS/cm)	2260	2430	2290	2220	2440	2220
Rendement d'élimination (%)	27,7	35,5	25,2	43,8	35,5	21,9
Doses injectées (mg/L)	15-105-100	15-120-100	15-135-100	15-100-120	15-120-125	15-110-130

Liste des tableaux et figures

Tableau 1.1- Caractéristiques des eaux de surface [4]. **(**Page 5)

Tableau 1.2- Classification des eaux d'après leur pH [3]. **(**Page 7)

Tableau 1.3- Classes des eaux de boisson en fonction de leur conductivité (µS/cm) [10]. **(**Page 7)

Tableau 1.4- Classes de turbidité usuelle (NTU, *nephelometric turbidity unit*). **(**Page 8)

Tableau 1.5- Comparaison entre les déférentes normes de l'eau potable [20]. **(**Page 16)

Tableau 1.6- Evolution de la qualité de l'eau durant dix ans. **(**Page 23)

Tableau 2.1- Présente les réactifs utilisés et leurs propriétés. **(**Page 29)

Tableau 3.1 Doses des réactifs injectés.(Page 33)

Tableau 3.2 Doses des réactifs injectés.(Page 35)

T Tableau 3.3 Doses des réactifs injectés.(Page 33)

Tableau 3.4 Doses des réactifs injectés.(Page 38)

Tableau 3-5- Doses injectées à l'essai de Jar test (Page 39)

Tableau 3-6- Doses injectées au traitement en fixant 15 mg/L de sulfate.(Page 42)

Tableau 3-7- Récapulatif des cas du traitement reduit par un ou deux réactifs. (Page 48)

Tableau 3.-8 Les roles de la chaux et de la soude lors de leur addition.(Page 50)

Liste des Figures

Figure 1.1 Chaîne de traitement des eaux de surface [2]. **(**Page 18)

Figure 1.2 Evolution de la duréte depuis 2004 jusqu'à 2013 de l'eau brute et l'eau traitée.

(Page 24)

Figure 2.1 Appareillage de jar test. (Page 29)

Figure 3-1- Dureté totale avant et après le traitement par le sulfate d'alumine seul

Figure 3-2- Analyses avant et après le traitement par le sulfate d'alumine pour une dose optimale de 40 mg/L

Figure 3-3- Dureté totale et l'alcalinité après le traitement par la chaux et le taux d'élimination de la dureté

Figure 3-4- Comparaison entre la qualité d'eau brute et celle obtenue par la dose optimale de la chaux

Figure 3-5- Dureté totale, Na, avant et après le traitement par la Soude seule et leur rendement correspond

Figure 3-6- Comparaison entre la qualité d'eau brute et celle obtenue

Figure 3-7. Résultats d'analyse après le jar test par les doses indiquées

Figure 3-8- Résultats d'analyses après traitement par les doses indiquées.

Figure 3-9- L'état initial et l'état final du prélèvement K5.

Figure 3-10-Résultats d'analyses dureté et rendement d'elimination.

Figure 3-11-Résultats d'analyses après traitement par 20mg/L de sulfate et les autres varies.

Figure 3-11-Résultats d'analyses apès traitement par 20mg/L de sulfate et les autres varies.

Figure 3-12- Résultats d'analyses après traitement à la dose 15 mg/L en variant les autres doses.

Figure 3-13- Résultats d'analyses après traitement à la dose 15 mg/L en variant les autres doses.

Figure 3-14- Rendement (%), pH, et la turbidité après traitement à la dose 15 mg/L en variant les autres doses.

Figure 3-15- Comparaison des résultats des trois traitements par des différentes doses.

Figure 3-16- Comparaison des résultats des trois traitements par des différentes doses.

Figure 3-17- Comparaison des résultats des trois traitements par des différentes doses.

Figure 3.18- Les paramètres réduits par les doses des réactifs utilisés.

Figure 3-19- Les paramètres réduits par les doses des réactifs utilisés.

Figure 3-20- Classement des 20 premiers rendements obtenus.

Figure 3-21- Proportionnalité entre la dureté résiduelle et le calcium et le magnésium.

Références Bibliographiques

[1].Jean-Claude Boeglin, propriétés des eaux naturelles, Techniques de l'ingénieur.

[2].Gomella.C.Guerree H, Le traitement des eaux publiques. Industrielles et privées Eyrolles, Paris, 1978.

[3].Desjardins, R. « Le traitement des eaux », 2ième Éd. revue et améliorée, Éd. de l'École Polytechnique de Montréal, Canada (1997).

[4].Beaudry, J-P. « Traitement des eaux », Éd. Le Griffon d'argile, Québec, Canada (1984).

[5].Lawrence K. Wang, Jy S. Wu, Nazih K. Shammas, and David A. Vaccari « Recarbonation and Softening »

[6].Kemmer, F.N. « NALCO, Manuel de l'eau », Éd. Technique et Documentation Lavoisier, Paris, France (1984).

[7].Mackenzie L.Dvis. PhD.PE.BCEE « WATER AND WASTEWATER ENGINEERING » ;wef press.

[8].COIN. L, "La pratique de l'eau, usages domestiques collectifs et industriels. Edition du Moniteur, 1981.

[9].KETTAB.A "Traitement des eaux, les eaux potables". Edition O.P.U, 1993.

[10]. www.graymont.com/fr_prod_high_calcium_hydrated.shtml ''La chaux dans le traitement de l'eau''

[11]. www.akdolit.com / '' La chaux dans l'eau potable et de processus''

[12]. www.aqualives.com / ''la dureté'.

[13].Hubert Cabana, « Adoucissement « ; 2009

F. Berné,Jean Cordonnier ;'Traitement des eaux.

[14]. http://www.audreco.com/aquario « Aquariophilie : l'Eau et ses duretés ».

[15]. http://www.emse.fr/~brodhag/TRAITEME « Précipitation des sels Elimination du calcium et du magnésium décarbonatation la chaux ».

[16].WILLIAM H. BOOTH ; 1920 « Water Softening and treatment ».

[17].Dégremont, Huitième édition (1978).

[18].J. G. SLACKJ. G. SLACKTHE ; « Lime/soda water softening process » ; 1979.

[19 .Dr. Rudolf Herbers ; « L`eau ; La dureté de l`eau ; L`a doucissement de l`eau ; Les essais ».

[20]. www.gls.fr ; Memotec n°6 « les procédés d'adoucissement en traitement de l'eau potable ».

[21]. Thèse ; MEDFOUNI Samir « Adoucissement des eaux géothermales de l'Oued R'Hir ».

[22].Charles R.Cox ; « TECHNIQUES ET CONTRÔLE DU TRAITEMENT DES EAUX » Organisation Mondiale de la santé ; N°49.