

UNIVERSITE SAÂD DAHLAB DE BLIDA

Faculté des Sciences de l'Ingénieur

Département des Sciences de l'Eau et l'Environnement

MEMOIRE DE MASTER

Filière : génie des procédés

Spécialité :

Eau, Environnement et Développement Durable

Thème :

ELIMINATION DES ALGUES PAR COAGULATION AMELIOREE DES L'EAU DE BARRAGE KEDDARA ET LAKHEL

Présenté par:

ZIBOUCHE Houria

Devant le jury composé de :

M.BESSENEASSE	Maître de conférences, U.de Blida	Président
M.ANSSER	Maître de conférences, U.de Blida	Examineur
D.BENSSAFIA	Maître de conférences, U.de Blida	Examineur
D.GHERNAOUT	Maître de conférences, U.de Blida	Promoteur

Année Universitaire 2010/2011

DEDICACE

À ma Mère et mon petit frère Anis Abderrahmane.

REMERCIEMENTS

Ce travail a été réalisé au Laboratoire de Traitement des Eaux de l'Ecole Nationale Supérieure de l'Hydraulique (ENSH) de Blida pour la période de Mars jusqu'au mois de Mai et aussi au niveau de Laboratoire de la Station de Traitement des Eaux de Boudouaou pour le mois de Juin sous la direction de Monsieur Djamel Ghernaout, Maître de Conférences A, au Département de Chimie Industrielle.

Je remercie M. Ghernaout pour son suivi durant la réalisation de ce travail.

Je remercie Monsieur le Président du Jury pour m'avoir honorée en acceptant de présider ce Jury.

Je remercie également les autres membres du Jury pour avoir eu la gentillesse d'examiner ce travail

J'adresse mes remerciements à Monsieur Djilali Bensafia, le Chef du Département de Sciences de l'Eau et de l'Environnement, pour son soutien indispensable le long de ce stage. Je remercie profondément Mesdames Bensafia et Remini au même Département.

Je remercie également tous les enseignants et techniciens des Laboratoires de Traitement des Eaux de l'ENSH, de la Station de Boudouaou et de l'Agence Nationale des Ressources Hydriques en particulier Melle Farida Khemici.

Enfin, je suis heureuse de remercier mes camarades du Département, pour les bons moments passés ensemble et à toutes les personnes qui m'ont aidée de près ou de loin pour l'élaboration de ce travail.

ملخص

في دراستنا، طبقنا عملية تخثر و تخثر محسن لمعالجة مياه سدي قدارة بولاية بومرداس و لكحل بولاية البويرة، التي تحتوي على الطحالب من أجل جعل العلاج الكيميائي أكثر فعالية. وأظهرت الدراسة التصنيفية للتنوع العوالم النباتية ممثلة في خمسة فروع من بينهم 11 الأجناس والأنواع من 7 (قدارة)، و 3 فروع، 7 بينهم من الأجناس والأنواع من 5 (لكحل). من جهة أخرى عملية التخثر الكلاسيكية سمحت لنا بالحد من الطحالب بنسبة 45 إلى 61% باستعمال $Al_2(SO_4)_3$ من اجل تركيز ما بين (20 و 25 ملغ/لتر) في pH قدره ما بين (8 و 8.48) و باستعمال $FeCl_3$ بنسبة 60 إلى 71% من اجل تركيز ما بين (15 و 20 ملغ/لتر) من اجل سد قدارة، و سد لكحل باستعمال $Al_2(SO_4)_3$ من اجل تركيز قدره 30 ملغم / لتر بنسبة 55% في pH قدره 8.52. و قد أظهرت طريقة تخثر محسن نسبة تتراوح بين 97 إلى 99% باستعمال $FeCl_3$ و 94 إلى 97% باستعمال $Al_2(SO_4)_3$ من اجل سد قدارة و سد لكحل بنسبة 95% و هذه النتائج أثبتت بتطبيق مرحلة واحدة من العلاج : التخثر.

كلمات مفتاحية: مياه السد، تحسين التخثر، الطحالب، كبريتات الألمنيوم و كلوريد الحديدي.

Résumé

Dans notre étude, nous avons appliqué le procédé de coagulation classique (CC) et améliorée (CA) pour traiter des eaux des Barrages de Keddara (BK) et Lakhel (BL) qui sont réputés pour leurs grandes teneurs en algues afin de rendre le traitement conventionnel de l'eau plus efficace. L'étude taxonomique a montré une diversité du phytoplancton qui est représenté par 5 embranchements comprenant 11 genres et 7 espèces à partir du BK et 3 embranchements comprenant 7 genres et 5 espèces à partir du BL. En plus, la CC nous a permis un abattement des algues de 60 à 71% à pH 8-8,48 pour $FeCl_3$ (15-20 mg/L) et 45 à 61% pour $Al_2(SO_4)_3$ (20-25 mg/L) (BK) et 55% à pH 8,52 ($Al_2(SO_4)_3$, 30 mg/L) (BL). La méthode de CA a montré un abattement variant entre 97 à 99% pour $FeCl_3$ et 94 à 97% pour $Al_2(SO_4)_3$ pour BK et 95% pour $Al_2(SO_4)_3$ pour BL par l'application d'une seule étape de traitement, à savoir la CA sans chloration (essais de jar test).

Mots clés : Eau de barrage ; Coagulation améliorée ; Algues ; Sulfate d'aluminium ; Chlorure ferrique.

Abstract

In our study, we applied the process of classical (CC) and enhanced coagulation (EC) to treat water of the Keddara (KD) and Lakhel Dams (LD) which are well-known for their high concentrations of algae in the aim of making the chemical treatment most effective. The taxonomic study showed a diversity of the phytoplankton represented by 5 junctions including 11 kinds and 7 species from (KD) and 3 junctions including 7 kinds and 5 species from LD. The CC allowed us an abattement of the algae from 60 to 71% with pH 8- 8,48 for $FeCl_3$ (15-20 mg/L) and 45 to 61% for $Al_2(SO_4)_3$ (20-25 mg/L) (KD) and 55% with pH 8,52 ($Al_2(SO_4)_3$, 30 mg/L) (LD). The EC method showed an abattement which varies between 97 to 99% by $FeCl_3$ and 94 to 97% by $Al_2(SO_4)_3$ for

KD and 95% by $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ for LD by the application of only one stage of treatment : coagulation without chlorination.

Key words: Dam water; Enhanced coagulation; Algae; aluminium sulphate; ferric chloride.

Introduction générale

Dans un pays semi-aride comme l'Algérie, la question de l'eau constitue un enjeu central: social, environnemental, sanitaire, alimentaire, économique et financier. Cependant, la dégradation de la qualité des eaux a touché une partie importante de nos barrages, notamment le processus d'eutrophisation, un des problèmes majeurs qui se produit lorsque l'eau s'enrichit excessivement en nutriments (le phosphore et l'azote), provoquant une croissance anormale de la végétation. Le processus d'eutrophisation développe une prolifération d'algues vertes, l'épuisement des réserves en oxygène des eaux profondes et des modifications de la composition chimique de l'eau [1].

En outre, une présence importante de cyanobactéries et de micro-algues dans les systèmes aquatiques reste un problème majeur dans le traitement de l'eau potable et dans l'amélioration de la qualité des eaux douces [2] en particulier. L'élimination des algues particulières est basée sur des techniques classiques de clarification des eaux telles que la coagulation/floculation, suivie de décantation et filtration sur sable [3]. Cependant ces procédés rencontrent de grandes difficultés à éliminer les micro-algues ainsi que les matières organiques naturelles.

Dans ce travail, nous nous intéressons à la coagulation/coagulation pour mieux éliminer les micro-algues. En effet, nous allons examiner la coagulation conventionnelle ainsi que la coagulation améliorée (*Enhanced coagulation*), qui s'appuie sur l'acidification de l'eau, comme procédé de traitement des eaux de Barrages (Keddara (Wilaya de Boumerdès) et Lakhel (Wilaya de Bouira)). Pour se faire, nous adopterons la démarche suivante :

- Présenter brièvement quelques généralités sur les algues, la coagulation/floculation, l'élimination des algues par coagulation/floculation ainsi un aperçu sur les Barrages étudiés.
- Exposer la technique de coagulation améliorée
- Présenter le dispositif et le protocole expérimentaux.
- Présenter les résultats trouver et les discuter.
- Terminer avec une conclusion générale.

Sommaire

Dédicaces.....	
....i	
Remerciements.....	
.....ii	
Résumé.....	
iv	
Liste des	
abréviations.....v	
Liste des	
tableaux.....vi	
Liste des	
figures.....ix	
Sommaire.....	
xii	
Introduction	
.....1	

SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

I. Etude algale

I.1. Classification des planctons.....	2
I.1.1. Chlorophytes.....	2
I.1.2. Rhodophytes.....	2
I.1.3. Euglénophytes.....	2
I.1.4. Chrysophytes ou Chromophytes	3
I.1.5. Cyanophytes.....	3
I.1.6. Pyrrophytes.....	3
I.2. Rôles des algues	4

I.3. Problèmes causés par les algues	4
II. Coagulation-Floculation	
II.1. Définition.....	5
II.2. Coagulants utilisés.....	5
II.3. Essais sur jar test.....	5
II.4. Elimination des algues par coagulation.....	6
II.5. Coagulation améliorée.....	8
II.6. Présentation des Barrages	8
II.6.1 Barrage de Keddara.....	8
II.6.2. Barrage Lakhel.....	9
II.7. Présentation de la station de traitement des eaux de Boudouaou.....	9
II.7.1. Description de la station de traitement des eaux de Boudouaou.....	9
Conclusion.....	10
TECHNIQUES EXPERIMENTALES	
III.1. Produits et matériels.....	11
III.1.1. Produits.....	11
III.1.2. Matériels.....	11
III.2. Mode opératoire.....	11
III.2.1. Essai en Jar-test.....	11
III.2.1.1. Choix des coagulants.....	11
III.2.1.2. Préparation des solutions.....	11
III.2.1.3. Etapes de travail.....	12
III.2.1.4. Analyse des échantillons.....	13
<i>a) Mesure du pH et de la conductivité.....</i>	<i>13</i>
<i>b) Mesure de l'absorbance.....</i>	<i>13</i>

c) Mesure de la turbidité.....	13
d) Mesure de la matière organique.....	14
III.2.2. Analyse algales.....	15
III.2.2.1. Analyse quantitative et qualitative de phytoplancton.....	15
a) Analyse quantitative.....	15
b) Analyse qualitative.....	16

RESULTATS ET DISCUSSION

IV. Résultats et discussion.....	18
IV.1. Mois de Mars.....	18
IV.1.1. Résultats de l'analyse quantitative et qualitative des algues.....	18
a) Eau brute.....	18
b) Eau traitée par CC et CA.....	19
IV.1.2. Elimination de la matière organique.....	22
a) Oxydabilité au KMnO_4	22
b) UV_{254}	24
IV.1.3. Elimination de la turbidité.....	25
IV.1.4. Le pH.....	27
IV.1.5. Conclusion.....	27
IV.2. Mois d'Avril	28
IV.2.1. Résultats de l'analyse quantitative et qualitative.....	28
a) Eau brute.....	28
b) Eau traitée par CC et CA.....	29
IV.2.2. Elimination de la matière organique.....	31

a) Oxydabilité au KMnO_4	31
b) Méthode de UV.....	32
IV.2.3. Elimination de la turbidité.....	34
IV.2.4. Le pH.....	35
IV.2.4. Conclusion.....	36
IV.3. Mois de Mai.....	37
IV.3.1. Résultats de l'analyse quantitative et qualitative des algues.....	37
a) Eau brute.....	37
b) Eau traitée par CC et CA	37
IV.3.2. Elimination de la matière organique.....	40
a) Oxydabilité au KMnO_4	40
IV.3.3. Elimination de la turbidité.....	41
IV.3.4. Le pH.....	42
IV.3.5. Conclusion.....	43
IV.4. Mois de Juin Keddara et Lakhel	43
IV.4.1. Résultats de l'analyse quantitative et qualitative des algues.....	43
a) Eau brute.....	43
b) Eau traitée par CC et CA	45
IV.4.2. Elimination de MO.....	48
a) Oxydabilité au KMnO_4	48
b) UV_{254}	50
IV.4.3. Elimination de la turbidité.....	52
IV.4.4. Le pH.....	54

IV.4.5. Conclusion.....	56
Conclusion générale.....	57
Références bibliographiques.....	58
Annexe	

III.1. PRODUITS ET MATERIELS

III.1.1. Produits

- Chlorure ferrique.
- Sulfate d'aluminium.
- Solution de lugol.
- Oxalate.
- Permanganate de potassium.
- Acide sulfurique.

III.1.2. Matériels

- Jar test composé de six agitateurs mécaniques.
- Spectrophotomètre de type UV-1700 pharmaSpect/UV-Vis spectrophotometer/Shimadzu.
- Turbidimètre de type HACH 2100.
- pH-mètre de type HANNA instruments.
- Conductimètre de type HANNA instruments.
- Agitateur magnétique de type VWR.
- Microscope inversé (figure III.1).
- Balance de type Sartorius analytic (max 202 g, $d_d = 0,2$ mg).
- Bêchers en verre de capacité de 1000 mL.
- Tubes à essais.
- Plaque chauffante.
- Verrerie de laboratoire (pipettes, éprouvettes, etc.).
- Barreaux magnétiques.

III.2. MODE OPERATOIRE

III.2.1. Essai au jar test

III.2.1.1. Choix des coagulants

Nous avons choisi le chlorure ferrique et le sulfate d'alumine (alun) qui sont les utilisés dans les stations de traitement des eaux potables en particulier le second réactif. De ce fait, nous avons pensé à traiter les eaux des deux Barrages Keddara (BK) et Lakhel (BL) qui chargés en algues en utilisant une version accentuée de la coagulation conventionnelle à savoir la coagulation améliorée (CA).

III.2.1.2. Préparation des solutions

Pour les besoins de notre étude, nous avons préparé deux solutions à une concentration de 1 g/L pour les deux coagulants dans 1 litre d'eau distillée tout en ajoutant 1 g de coagulant donné. La solution doit être bien agitée jusqu'à la dissolution totale du coagulant.

III.2.1.3. Etapes de travail

Les étapes de travail de cette partie expérimentale se composent comme suit :

Première étape :

- Echantillonnage des eaux des deux Barrages (BK, BL) réalisé par l'Agence Nationale des Ressources Hydraulique (ANRH);
- La mesure des paramètres physicochimiques de l'eau brute (température, pH, conductivité, turbidité, etc.).
- Préparation de 10 ml d'eau brute pour l'analyse microscopique, en ajoutant 1 à 2 gouttes de lugol pour fixer les algues.

Deuxième étape :

Cette étape concerne l'étude de l'effet de la concentration du coagulant (CC) :

- Remplir les béciers de 1 L par l'eau brute à traiter et mettre en marche les agitateurs à 200 tr/min.
- A temps $t = 0$, ajouter le coagulant à des doses croissantes et par la même façon dans chaque vase.
- Après 2 min d'agitation rapide, réduire la vitesse à 50 tr/min, c'est la phase d'agitation lente.
- Après 20 min, laisser décanter tout en ayant arrêté et levé les pales.
- Après les 30 min de décantation, prélever par siphonage 0,5 L à partir de chaque bécier.
- Faire les mesures des paramètres physiques.
- Dans des tubes à essais, ajouter 10 mL de chaque échantillon plus 1 à 2 gouttes de lugol pour fixer les algues, puis les stocker à l'obscurité à une température comprise entre 1 et 5°C.
- Afin de trouver la concentration optimale du coagulant, effectuer plusieurs essais de jar test.

Troisième étape :

Cette étape relative à l'étude de l'effet du pH sur la coagulation, en d'autres termes c'est ce qu'on appelle dans cette étude la CA:

- Afin de trouver la dose optimale de l'eau brute, on doit ajuster le pH par l'ajout de l'acide

H₂SO₄ (0,1 N). Ensuite, la dose optimale du coagulant trouvée précédemment est

appliquée pour faire l'essai de jar test de CA (Figure II.1).

- La mesure des différents paramètres pour chaque échantillon comme pour la coagulation classique.

III.2.1.4. Analyses des échantillons

Pour bien montrer l'efficacité du traitement, nous avons procédé à différentes analyses :

a) Mesure du pH et de la conductivité

Le pH de la solution ainsi que sa conductivité (C_d) sont mesurés avant et après traitement pour voir réellement l'effet de (CC) et (CA) sur ces deux paramètres.

b) Mesure de l'absorbance

Elle est effectuée en utilisant un spectromètre UV-Visible à double faisceaux avec une cuve en quartz, pour apprécier la présence de la matière organique naturelle (MON) qui se trouve dans la solution (eau brute et eau traitée). Afin de déterminer la longueur d'onde à laquelle il faut doser la MON, nous avons effectué toutes les analyses à cette longueur d'onde. Les pourcentages de réduction de l'absorbance (A_b) sont calculés à partir de la relation suivante :

$$(4.1)$$

Où :

Abs_i : absorbance initiale (avant traitement).

Abs_f : absorbance finale (après traitement).

c) Mesure de la turbidité

La mesure de la turbidité est effectuée sur un turbidimètre, les pourcentages de réduction de la turbidité (T_{urb}) sont calculés à partir de la relation suivante :

$$(4.2)$$

Où :

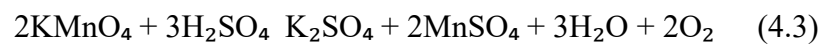
$Turb_i$: turbidité initiale (avant traitement).

$Turb_f$: turbidité finale (après traitement).

d) Mesure de la matière organique :

- Principe :

Ce test a pour but d'approcher la teneur en MO présente dans l'eau. On oxyde l'échantillon par un excès connu de permanganate de potassium ($KMnO_4$) en milieu acide et à chaud :



Réactifs :

- Oxalate ($C_2H_2O_4$) 0,1 N

- Permanganate de potassium ($KMnO_4$) 0,01 N

- Acide sulfurique (H_2SO_4) dilué 2 N

Mode opératoire :

Echantillon :

- Ajouter 10 mL d'acide sulfurique dilué à 100 mL d'eau à analyser.

- Porter à l'ébullition pendant 1 min.

- Ajouter 10 mL de $KMnO_4$ (0,01) et laisser à une ébullition régulière et douce pendant 10 min, puis ajouter mL d'oxalate 0,1 N ; enfin, titrer avec du $KMnO_4$ jusqu'à l'apparition d'une couleur rose claire qui persiste 15 à 20 s.

Blanc :

Faire toujours un essai à blanc : ajouter 10 mL d'oxalate et titrer jusqu'au virage.

Expression des résultats :

(4.4)

Sachant que :

- V_0 : mL de $KMnO_4$ (0,01N) nécessaire pour le dosage du blanc,

- V_2 : mL de $KMnO_4$ (0,01N) nécessaire pour le dosage du blanc en deuxième fois,

- V_1 : mL de $KMnO_4$ (0,01N) nécessaire pour le dosage du blanc d'échantillon,

- 16 : Facteur de correction.

Les pourcentages de réduction de la MON sont calculés à partir de la relation suivante :

(4.5)

Où :

MO_i : Valeur initiale (avant traitement).

MO_f : Valeur finale (après traitement).

III.2.2. Analyses algales

Notre travail d'analyse qualitative et quantitative des algues a été effectué au niveau de l'ANRH de Blida.

III.2.2.1. Analyse quantitative et qualitative du phytoplancton

Après le prélèvement, ajouter 2 à 3 gouttes de la solution lugol aux échantillons et puis les stocker à l'obscurité à une température comprise entre 1 et 5°C.

a) Analyse quantitative

Les méthodes courantes pour l'analyse quantitative microscopique du phytoplancton découlent de la méthode d'Utermohl et impliquent l'utilisation de chambres de sédimentation et d'un microscope inversé.

Les échantillons issus de l'échantillonnage quantitatif sont d'abord conservés et stockés à faible température jusqu'à l'analyse. Avant de prélever un sous-échantillon, on doit ramener l'échantillon à la température appropriée et l'homogénéiser. Les chambres de sédimentation comprennent une colonne verticale, avec une base. On remplit la colonne de 25 mL de l'échantillon. Puis on ferme la chambre avec un couvre-objet en évitant les bulles d'air, et on laisse les échantillons pendant un temps de sédimentation de 24 heures, en évitant la vibration. Il convient que la sédimentation ait lieu à l'obscurité et à une température ambiante constante. Après la sédimentation, on glisse la colonne de la chambre sur le côté et on place un couvre-objet sur la chambre de comptage pour la fermer, et on place en douceur la chambre de comptage vers le microscope inversé. On utilise l'objectif X100. Le comptage de champs du microscope est choisi de manière aléatoire, le nombre de champs que nous avons comptés est de 10 champs.

b) Analyse qualitative

Pour l'identification et l'étude taxonomique, on a utilisé comme référence des clés portant des listes de taxons.

a) *Calcul du nombre de cellules trouvés dans l'échantillonnage quantitatif*

$$N \text{ (cellule/mL)} = \frac{\text{Nombre d'organismes dénombrées} \times \text{nombre de champ} \times 1000}{\text{Nombre de champs prospectés} \times \text{volume concentré}} \quad (4.5)$$

$$\text{Nombre de champ} = \frac{\text{Surface de la chambre}}{\text{Surface d'un champ}} \quad (4.6)$$

$$= \frac{\pi R^2}{0,181} = \frac{3,14 \times (13)^2}{0,181} = \frac{530,66}{0,181} = 2931,8$$

Sachant que :

- Pour le microscope inversé, le grossissement est multiplié par 100 (surface d'un champ = 0,181mm²).

- Nombre de champs prospecté = 10 champs.

- Volume concentré = 25 mL (chambre Uthermol de 25 mL).

Donc :

$$n \times 2931,8 \times 1000$$

N =

(4.7)

10×25

$N = n \times 11727,2 \text{ cellules/L} = n \times 11,7 \text{ cellules/mL}$ (avec un grossissement de 100).



Figure III.1. Vue de microscope inversé.

IV. Résultats et discussion

L'objectif de cette étude est de mettre au point le traitement d'une eau de barrage, en l'occurrence l'eau de Barrage Keddara (BK) qui contient une charge importante des algues, par le procédé de coagulation conventionnelle (CC) et coagulation améliorée (CA) (en Anglais, *enhanced coagulation*) en utilisant les coagulants les plus utilisés dans les stations de traitement de l'eau, à savoir le sulfate d'aluminium (alun, $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$) et le chlorure ferrique ($\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$). L'évaluation de ces deux procédés a porté sur la diminution des algues qui se trouvent dans les eaux de barrages (BK du mois de Mars jusqu'au mois de Juin par alun et FeCl_3 et Barrage Lakhel (BL) au mois de Juin par alun) en utilisant le suivi des paramètres analytiques suivants : le dénombrement algal, l'oxydabilité au KMnO_4 (dosage de la matière organique (MO)) et la mesure de l'absorbance UV à 254 nm (UV_{254}) avant et après traitement de CC et CA.

Les prélèvements de l'eau des deux barrages, BK et BL, ont été effectués à 50 cm au-dessous de la surface de l'eau comme le font les stations de traitement de l'eau lors du pompage de l'eau brute des barrages.

Par commodité, nous allons présenter les résultats obtenus séparément pour chaque mois, en allant du mois de Mars jusqu'au mois de Juin pour l'eau de BK, et pour le mois de Juin pour l'eau de BL.

IV.1. Mois de Mars

IV.1.1. Résultats de l'analyse quantitative et qualitative des algues

a) Eau brute

La Figure IV.1 montre le nombre de cellules présentes dans l'eau de BK pour chaque embranchement qui sont au nombre de 3 pour le mois de Mars. Selon une étude réalisée en 2009, Mechahed et Yakoubi [35] ont trouvé que les bacillariophytes sont les prédominantes pour le mois de Mars, donc il n'y a pas un grand changement au niveau du BK de l'année 2009 vers année de 2011 qui est marquée par une pluviométrie plus importante (voir Figure IV.1).

Figure IV.1. Répartition des algues récoltées au BK selon leurs embranchements qui sont au nombre de 3 pour le mois de Mars.

b) Eau traitée par CC et CA

La Figure IV.2 montre le nombre de cellules (/mL) dans l'eau brute et l'eau traitée par CC et CA du BK.

Figure IV.2. Nombre des cellules algales de l'eau brute, et de l'eau coagulée avec FeCl_3 (20 mg/L) et $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ (25 mg/L) à différentes valeurs de pH.

Nous remarquons une diminution dans le nombre des cellules de l'eau traitée par CA par rapport à l'eau traitée par CC. Donc, le traitement par CA est plus efficace que par CC pour l'élimination des algues, c'est-à-dire le pH a une très grande influence sur l'élimination des cellules algales.

En plus, nous avons remarqué que le nombre des cellules de l'eau coagulée par $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ est plus élevé que FeCl_3 pour la CC et même pour la CA ou bien, en d'autres termes, FeCl_3 est plus performant qu' $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$. En effet, pour les différentes valeurs de pH, à pH acide (pH = 6, $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$) et (pH = 6,5, FeCl_3) nous avons la valeur la plus faible du nombre des cellules, 23,4 et 11,7 cellules/mL pour $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ et FeCl_3 , respectivement.

D'après les Figures IV.3 et 4 (pour l'aluminium et le fer, respectivement), l'hydrolyse de l'aluminium (de même pour le fer) passe par trois étapes :

- La première étape est très rapide (réaction d'hydrolyse) et conduit à la formation de monomères.
- Elle est suivie d'une seconde étape où se produisent des réactions de polymérisation.
- La troisième étape est la formation de l'hydroxyde d'aluminium ($\text{Al}(\text{OH})_{3(s)}$ solide).

En effet, selon Baes [36], les espèces hydrolysées d'Al existent sous les formes suivantes :

- Cinq monomères d'aluminium : Al^{3+} , AlOH_2^+ , $\text{Al}(\text{OH})_2^+$, $\text{Al}(\text{OH})_3^0$, $\text{Al}(\text{OH})_4^-$.

- Trois polymères d'aluminium : $\text{Al}_2(\text{OH})_2^{4+}$, $\text{Al}_3(\text{OH})_4^{5+}$, $\text{Al}_{13}\text{O}_4(\text{OH})_{24}^{7+}$.
- Un précipité solide d'aluminium : $\text{Al}(\text{OH})_{3(s)}$.

Pour un pH = 6-7, 92 à 99% d'aluminium est sous forme de précipité ($\text{Al}(\text{OH})_{3(s)}$).
Donc, il y'a une formation de floccs (le terme désigné en Anglais est *sweep floccs*) ce qui implique que l'élimination ou la réduction des algues se fait dans cet intervalle de pH par emprisonnement/adsorption des algues sur les floccs d'aluminium ($\text{Al}(\text{OH})_{3(s)}$).

En outre, les références bibliographiques comme [37], indiquent que pour que la coagulation par les sels ferriques s'effectue correctement, il faut que le pH soit supérieur à 5,5 ou 6 [37].

Fraction de l'espèce présente

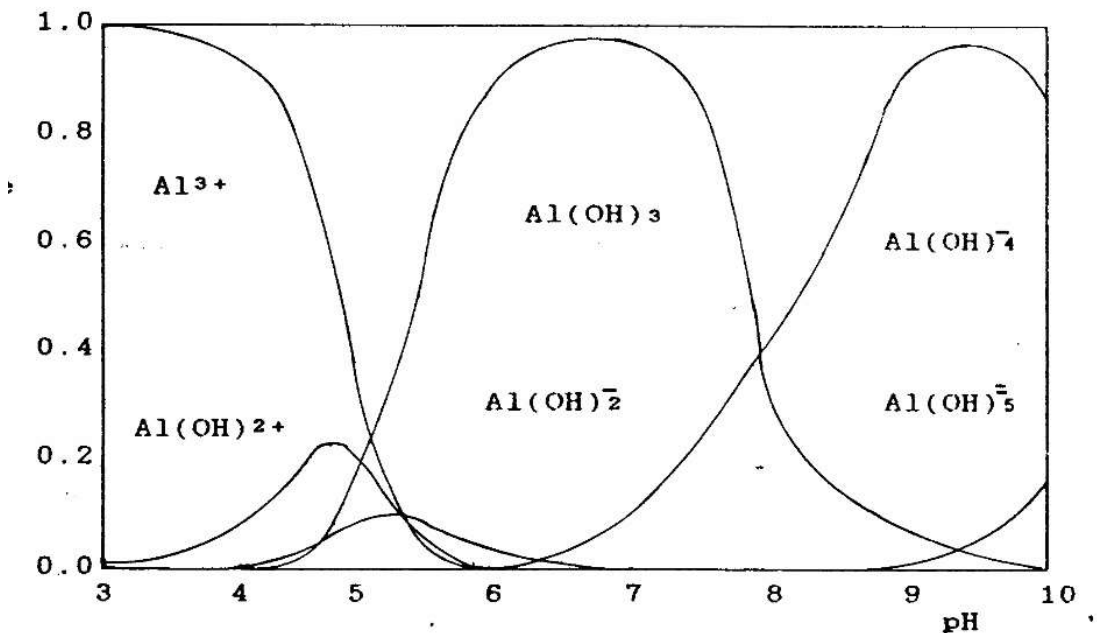


Figure IV.3. Diagramme de stabilité des espèces ioniques dérivant de l'hydrolyse des sels d'aluminium [38].

Fraction de l'espèce présente

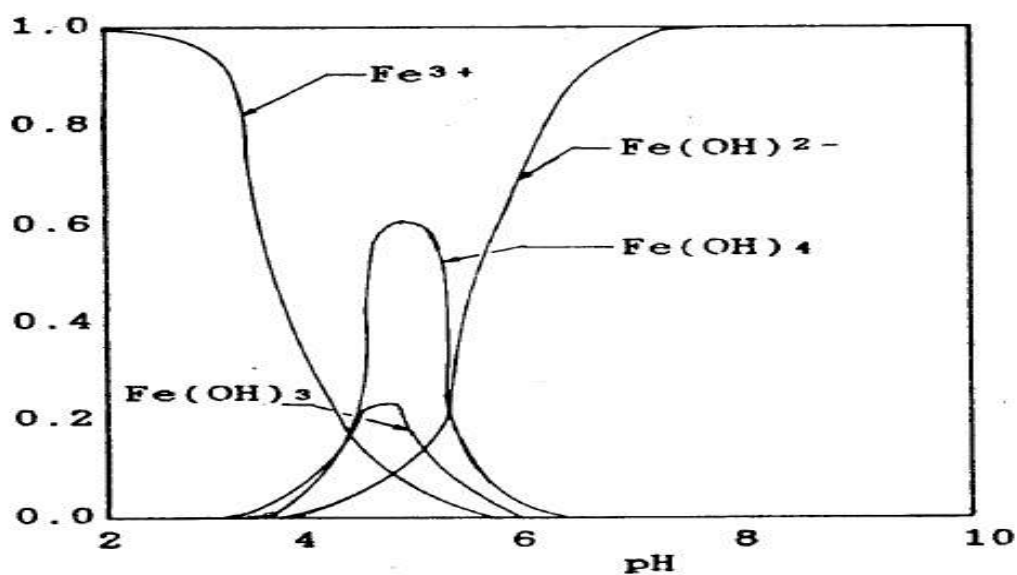


Figure IV.4. Diagramme de stabilité des espèces ioniques dérivant de l'hydrolyse des sels de fer [39].

D'autre part, la Figure IV.5 montre le taux de réduction des cellules algales de l'eau coagulée par FeCl_3 et $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ (CC) et à différentes valeurs de pH (CA). Il est question, à présent de déterminer le pH optimal pour lequel une meilleure réduction en matière des algues est obtenue. Nous constatons que la meilleure réduction des algues est apportée par FeCl_3 (97,06%, pH = 6,5) et $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ (94,12%, pH = 6) pour la CA tout en sachant que pour la CC, FeCl_3 (41,18%) et $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ (26,47%) qui est obtenue à pH = 8,35 (nous rappelons ici que la CC s'appuie sur l'ajout direct du coagulant sans aucune modification (acidification) du pH).

Figure IV.5. Taux de réduction des cellules algales de l'eau coagulée avec FeCl_3 (20 mg/L) et $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ (25 mg/L) (CC) et à différentes valeurs de pH (CA).

Donc, le pH a une grande influence sur l'élimination des algues en contribuant à :

- la neutralisation des charges des algues (qui sont négativement chargées),
- et facilitant la formation des espèces coagulantes (monomères) et floculantes (polymères) voire même absorbantes (hydroxyde d'aluminium) de l'aluminium.

IV.1.2. Elimination de la MO

a) Oxydabilité au KMnO_4

Comme vu précédemment, la CC et la CA affectent la présence des algues en les éliminant. L'une des préoccupations de la coagulation, comme celles de la chloration pour laquelle les constituants intracellulaires (cyanotoxines) des algues ont été trouvés en solution aggravant la formation des sous-produits de la désinfection, reste l'éventuelle action des espèces cationiques métalliques sur les algues. Dans ce qui suit, nous nous intéressons à l'appréciation de la présence de la MO en termes d'oxydabilité au KMnO_4 et l'absorbance UV_{254} dans l'eau coagulée par CC et CA. La Figure IV.6 représente le taux de réduction de la MO de l'eau coagulée avec FeCl_3 et $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ à différentes valeurs de pH (CA). Nous observons sur la Figure IV.6 l'existence d'une zone où l'efficacité d'élimination de la MO en termes d'oxydabilité KMnO_4 atteint un pourcentage important (89,51%, pH = 6,5) pour FeCl_3 et (87,04%, pH = 6) pour $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$. Sachant que pour le traitement par CC, le pourcentage de réduction est (32,09%, 20 mg/L) pour FeCl_3 et (24,69%, 25 mg/L) pour $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, donc le traitement par CA est plus efficace que CC dans l'élimination de l'oxydabilité KMnO_4 .

Figure IV.6. Taux de réduction de la MO de l'eau coagulée avec FeCl_3 et $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ à différentes valeurs de pH (CA).

Les résultats obtenus confirment les données bibliographiques concernant l'élimination de composés organiques pour des pH se situant globalement entre 5 et 7 selon la nature du coagulant [40] : la littérature rapporte que la coagulation de la MO est beaucoup plus efficace à pH acide qu'à pH proche de la neutralité (sans ajustement de pH) [41].

b) UV₂₅₄

La Figure IV.7 montre le taux de réduction d'UV₂₅₄ de l'eau coagulée avec FeCl₃ et Al₂(SO₄)₃ à différentes valeurs de concentrations (CC). La Figure IV.7 montre deux zones particulières :

Figure IV.7. Taux réduction d'UV₂₅₄ de l'eau coagulée avec FeCl₃ et Al₂(SO₄)₃ à différentes valeurs de concentration (CC).

1. Une zone où le pourcentage d'élimination de l'absorbance UV₂₅₄ étant maximale et comprise entre 46 et 48% pour les concentrations de FeCl₃ (40 à 50 mg/L), et 24 à 26% pour de faibles concentrations d'Al₂(SO₄)₃ (15 à 25 mg/L).

2. Une deuxième zone où l'abattement d'UV₂₅₄ est minimal est observée pour les concentrations fortes et faibles d'Al₂(SO₄)₃ (30 à 55 mg/L et 0 à 10 mg/L, respectivement) et FeCl₃ (0 à 35 mg/L).

D'une manière générale, le chlorure ferrique est plus performant que l'alun en matière d'élimination d'UV₂₅₄.

D'autre part, la Figure IV.8 fait apparaître l'existence d'une zone de forte efficacité dont la position est dépendante du pH : le pourcentage d'élimination de l'absorbance UV₂₅₄ est de 60% à pH = 6,5 pour FeCl₃ et 29,68% pH = 5 pour Al₂(SO₄)₃.

Figure IV.8. Taux réduction d'UV₂₅₄ de l'eau coagulée avec FeCl₃ et Al₂(SO₄)₃ à différentes valeurs de pH (CA).

IV.1.3. Elimination de la turbidité

L'intérêt accordé à l'élimination des algues et de la MO ne doit en aucun cas éclipser le suivi de la réduction de la turbidité. En fait, la turbidité est le paramètre le plus important dans le procédé de coagulation étant donné qu'elle permet de rendre compte de la transparence d'un liquide due à la présence des particules colloïdales (y comprises les micro-algues) et permet d'évaluer la décantation des floes formés lors de la coagulation.

En plus, elle permet de connaître, d'une manière générale, le degré de la pollution physicochimique des eaux brutes ainsi que la qualité d'une eau destinée à la consommation humaine.

Les Figures IV.9 et 10 montrent le taux de réduction de la turbidité pour l'eau coagulée avec FeCl_3 et $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ à différentes valeurs de concentrations (CC) et à différentes valeurs de pH (CA).

Il en ressort que pour les différentes concentrations des coagulants, le procédé de CC est efficace pour réduire la turbidité : 76,3% à 20 mg/L pour FeCl_3 et 71,46% à 25 mg/L pour $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$. Pour le procédé de CA, le taux de réduction est 94,69% (pH = 6,5) pour FeCl_3 et 87,62% (pH = 6) pour $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$.

Figure IV.9. Réduction de turbidité de l'eau coagulée avec FeCl_3 et $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ à différentes valeurs de concentration (CC).

Figure IV.10. Taux réduction de la turbidité de l'eau coagulée avec FeCl_3 et $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ à différentes valeurs de pH (CA).

Par conséquent, le pH optimal pour l'abattement de la turbidité est entre 5,5 et 7 en utilisant le chlorure ferrique et entre 6 et 7 en utilisant l'alun, ce qui est en accord avec la littérature [33].

3.1.4. Le pH

Le fait d'ajouter le coagulant à l'eau brute fait diminuer le pH en plus du fait de la formation de l'hydroxyde métallique ($\text{Al}(\text{OH})_{3(s)}$) qui consomme une importante quantité d'ions OH^- . La Figure IV.11 représente, de manière schématique, la diminution du pH en fonction des concentrations des coagulants parce que l'ajout de coagulant va acidifier le milieu.

Figure IV.11. Variation du pH de l'eau coagulée avec FeCl_3 et $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ à différentes valeurs de concentration (CC).

IV.1.5. Conclusion

Le BK présente un peuplement moyennement diversifié, nous avons remarqué l'absence de 6 embranchements pour le mois de Mars : les Cyanophytes, Rhodophytes, Pyrrophytes, Phéophytes, Dinophytes et les Euglénophytes et le nombre des espèces trouvés est limité.

L'étude en Jar-test sur l'eau brute de BK a permis de montrer que la turbidité, la MO et les algues représentent les fractions les plus aptes à se coaguler en présence d'alun et du chlorure ferrique.

L'abattement de la turbidité avoisine 77% (20 mg/L) et 72% (25 mg/L) pour FeCl_3 et alun (CC), 95 et 88% à pH = 6 à 6,5 pour FeCl_3 et alun (CA), respectivement.

L'abattement des algues est 97,06% (pH = 6,5) pour FeCl_3 et 94,12% (pH = 6) pour $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ lorsque nous adoptons la CA. Sachant que pour la méthode de la CC, nous avons obtenu avec l'utilisation de FeCl_3 : 41,18%, et $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$: 26,47%. D'après l'analyse algale faite pour CC et CA, nous avons remarqué que le genre cyclotelle n'est pas totalement éliminé.

Pour les deux méthodes CC et CA, l'abattement de la MO est plus important que celui de l'absorbance UV_{254} .

Ces résultats montrent également que les meilleurs résultats sont obtenus pour l'utilisation de la méthode de CA.

IV.2. Mois d'Avril

IV.2.1. Résultats de l'analyse quantitative et qualitative des algues

a) Eau brute

La même méthodologie adoptée pour le mois de Mars est retenue pour les mois suivants, Avril, Mai, et Juin. La Figure IV.12 montre que le nombre des cellules présentes dans l'eau du BK pour chaque embranchement qui sont au nombre de 3 pour le mois d'Avril. Selon une étude réalisée en 2009 par Mechahed et Yakoubi [35], elles ont trouvé que les bacillariophytes sont les prédominantes et ils sont suivis par les chlorophytes et enfin par les dinophytes pour le mois d'Avril. Donc il n'y a pas un grand changement au niveau du BK entre 2009 et 2011 qui est marquée par une pluviométrie plus importante (voir Figure IV.12).

Figure IV.12. Répartition des algues récoltées au BK selon leurs embranchements qui sont au nombre de 3 pour le mois d'Avril.

b) Eau traitée par CC et CA

La Figure IV.13 montre le nombre de cellules (/mL) dans l'eau brute et l'eau traitée par CC et CA du BK.

Figure IV.13. Nombre des cellules algales de l'eau brute, et de l'eau coagulée avec FeCl_3 (20 mg/L) et $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ (20 mg/L) à différentes valeurs de pH.

Nous remarquons une diminution dans le nombre des cellules de l'eau traitée par CA par rapport à l'eau traitée par CC. Donc, le traitement par CA est plus efficace que par CC pour l'élimination des algues, c'est-à-dire le pH a une très grande influence sur l'élimination des cellules algales.

En plus, nous avons remarqué que le nombre des cellules de l'eau coagulée par $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ est plus élevé que FeCl_3 pour la CC et même pour la CA ou bien, en d'autres termes, FeCl_3 est plus performant qu' $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$. En effet, pour les différentes valeurs de pH, à pH acide (pH = 6,5 pour $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ et pH = 6,5 pour FeCl_3) nous avons la valeur la plus faible du nombre des cellules, à savoir 35,1 et 11,7 cellules/mL pour $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ et FeCl_3 , respectivement.

D'après les Figures IV.3 et 4 (pour l'aluminium et le fer, respectivement), l'hydrolyse de l'aluminium (de même pour le fer) passe par trois étapes :

- La première étape est très rapide (réaction d'hydrolyse) et conduit à la formation de monomères.
- Elle est suivie d'une seconde étape où se produisent des réactions de polymérisation.
- La troisième étape est la formation de l'hydroxyde d'aluminium ($\text{Al}(\text{OH})_{3(s)}$).

En effet, selon Baes [36], les espèces hydrolysées d'Al existent sous les formes suivantes :

- Cinq monomères d'aluminium : Al^{3+} , AlOH_2^+ , $\text{Al}(\text{OH})^{2+}$, $\text{Al}(\text{OH})_3^0$, $\text{Al}(\text{OH})_4^-$.
- Trois polymères d'aluminium : $\text{Al}_2(\text{OH})_2^{4+}$, $\text{Al}_3(\text{OH})_4^{5+}$, $\text{Al}_{13}\text{O}_4(\text{OH})_{24}^{7+}$.
- Un précipité solide d'aluminium : $\text{Al}(\text{OH})_{3(s)}$.

Pour un pH = 6-7, 92 à 99% d'aluminium est sous forme de précipité ($\text{Al}(\text{OH})_{3(s)}$). Donc, il y'a une formation de floccs (le terme désigné en Anglais est *sweep floccs*) ce qui implique que l'élimination ou la réduction des algues se fait dans cet intervalle de pH par emprisonnement/adsorption des algues sur les floccs d'aluminium ($\text{Al}(\text{OH})_{3(s)}$).

En outre, les références bibliographiques comme [37], indiquent que pour que la coagulation par les sels ferriques s'effectue correctement, il faut que le pH soit supérieur à 5,5 ou 6 [37].

D'autre part, la Figure IV.14 montre le taux de réduction des cellules algales de l'eau coagulée par FeCl_3 et $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ (CC) et à différentes valeurs de pH (CA). Il est question, à présent de déterminer le pH optimal pour lequel une meilleure réduction en matière des algues est obtenue. Nous constatons que la meilleure réduction des algues est apportée par FeCl_3 (98,46%, pH = 6,5) et $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ (95,38%, pH = 6,5) pour la CA tout en sachant que pour la CC, FeCl_3 (70,77%) et $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ (64,62%) qui est obtenue à pH = 8,2 (nous rappelons ici que la CC s'appuie sur l'ajout direct du coagulant sans aucune modification (acidification) du pH).

Figure IV.14. Taux de réduction des cellules algales de l'eau coagulée avec FeCl_3 (20 mg/L) et $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ (20 mg/L) (CC) à différentes valeurs de pH (CA).

Donc, le pH a une grande influence sur l'élimination des algues en contribuant à :

- la neutralisation des charges des algues (qui sont négativement chargées),
- et facilitant la formation des espèces coagulantes (monomères) et floculantes (polymères) voire même absorbantes (hydroxyde d'aluminium) de l'aluminium.

IV.2.2.Éliminationde la MO

a) Oxydabilitéau $KMnO_4$

Comme vu précédemment, la CC et la CA affectent la présence des algues en les éliminant. L'une des préoccupations de la coagulation, comme celles de la chloration pour laquelle les constituants intracellulaires (cyanotoxines) des algues ont été trouvés en solution aggravant la formation des sous-produits de la désinfection, reste l'éventuelle action des espèces cationiques métalliques sur les algues. Dans ce qui suit, nous nous intéressons à l'appréciation de la présence de la MO en termes d'oxydabilité au $KMnO_4$ et l'absorbance UV_{254} dans l'eau coagulée par CC et CA. La Figure IV.15 représente le taux de réduction de la MO de l'eau coagulée avec $FeCl_3$ et $Al_2(SO_4)_3$ à différentes valeurs de pH (CA). Nous observons sur la Figure IV.15 l'existence d'une zone où l'efficacité d'élimination de la MO en termes d'oxydabilité $KMnO_4$ atteint un pourcentage important (86,97%, pH = 6,5) pour $FeCl_3$ et (77,08%, pH = 6,5) pour $Al_2(SO_4)_3$. Sachant que pour le traitement par CC, le pourcentage de réduction est (58,33%, 20 mg/L) pour $FeCl_3$ et (40,10%, 20 mg/L) pour $Al_2(SO_4)_3$, donc le traitement par CA est plus efficace que CC dans l'élimination de l'oxydabilité $KMnO_4$.

Figure IV.15.Taux de réduction de la MO de l'eau coagulée avec $FeCl_3$ et $Al_2(SO_4)_3$ à différentes valeurs de pH (CA).

Les résultats obtenus confirment les données bibliographiques concernant l'élimination de composés organiques pour des pH se situant globalement entre 5 et 7 selon la nature du coagulant [40] : la littérature rapporte que la coagulation de la MO est beaucoup plus efficace à pH acide qu'à pH proche de la neutralité (sans ajustement de pH) [41].

b) UV₂₅₄

La Figure IV.16 montre le taux de réduction d'UV₂₅₄ de l'eau coagulée avec FeCl₃ et Al₂(SO₄)₃ à différentes valeurs de concentrations (CC). La Figure IV.16 montre une zone particulière :

Figure IV.16. Taux réduction d'UV₂₅₄ de l'eau coagulée avec FeCl₃ et Al₂(SO₄)₃ à différentes valeurs de concentration (CC).

Dans cette zone le pourcentage d'élimination de l'absorbance UV à 254 nm est 39,25% pour FeCl₃ (20 mg/L), 23,66% pour une forte concentration d'Al₂(SO₄)₃ (45 mg/L). D'une manière générale, le chlorure ferrique est plus performant que l'alun en matière d'élimination d'UV₂₅₄. D'autre part, la Figure IV.17 fait apparaître l'existence d'une zone de forte efficacité dont la position est dépendante du pH : le pourcentage d'élimination de l'absorbance UV₂₅₄ est de 46,77% à pH = 6,5 pour FeCl₃ et 31,18% pH = 6 pour Al₂(SO₄)₃.

Figure IV.17. Taux réduction d'UV₂₅₄ de l'eau coagulée avec FeCl₃ et Al₂(SO₄)₃ à différentes valeurs de pH (CA).

IV.2.3. Elimination de la turbidité

L'intérêt accordé à l'élimination des algues et de la MO ne doit en aucun cas éclipser le suivi de la réduction de la turbidité. En fait, la turbidité est le paramètre le plus important dans le procédé étant donné qu'elle permet de rendre compte de la transparence d'un liquide due à la présence des particules colloïdales et permet d'évaluer la décantation des floes formés lors de la coagulation. En plus, elle permet de connaître, d'une manière générale, le degré de la pollution physicochimique des eaux brutes ainsi que la qualité d'une eau destinée à la consommation humaine.

Les Figures IV.18 et 19 montrent le taux de réduction de la turbidité pour l'eau coagulée avec FeCl₃ et Al₂(SO₄)₃ à différentes valeurs de concentrations (CC) et à différentes valeurs de pH (CA).

Il en ressort que pour les différentes concentrations des coagulants, le procédé de CC est efficace pour réduire la turbidité : 80,95% à 20 mg/L pour FeCl₃ et 68,25% à 25

mg/L pour $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$. Pour le procédé de CA, le taux de réduction est 91,22% (pH = 6,5) pour FeCl_3 et 61,84% (pH = 6,5) pour $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$.

Figure IV.18. Réduction de turbidité de l'eau coagulée avec FeCl_3 et $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ à différentes valeurs de concentration (CC).

Figure IV.19. Taux réduction de la turbidité de l'eau coagulée avec FeCl_3 et $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ à différentes valeurs de pH (CA).

Par conséquent, le pH optimal pour l'abattement de la turbidité est entre 5,5 et 7 en utilisant le chlorure ferrique et entre 6 et 7 en utilisant l'alun, ce qui est en accord avec la littérature [33].

IV.24. Le pH

Le fait d'ajouter le coagulant à l'eau brute fait diminuer le pH du fait de la formation de l'hydroxyde métallique qui consomme une importante quantité d'ions OH^- . La Figure IV.20 représente, de manière schématique, la diminution du pH en fonction des concentrations des coagulants parce que l'ajout de coagulant va acidifier le milieu.

Figure IV.20. La variation de pH de l'eau coagulée avec FeCl_3 et $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ à différentes valeurs de concentration (CC).

IV.2.5. Conclusion

Le BK présente un peuplement moyennement diversifié. En effet, nous avons remarqué l'absence des embranchements suivants pour le mois d'Avril : les cyanophytes,

rhodophytes, pyrrophytes, phéophytes, bacillariophytes et les euglénophytes, et en plus le nombre des espèces trouvés est limité.

L'étude en jar test de l'eau brute de BK a permis de montrer que la turbidité, la MO et les algues représentent les fractions les plus aptes à être coagulées en présence d'alun et le chlorure ferrique.

L'abattement de la turbidité est au voisin de 81% (20 mg/L) et 69% (25 mg/L) pour FeCl_3 et alun (CC), 92 et 62% à pH = 6,5 pour FeCl_3 et alun (CA), respectivement.

L'abattement des algues est 99% (pH = 6,5) pour FeCl_3 et 96% (pH = 6) pour $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ lorsque nous adoptons la méthode de CA. Sachant que pour la méthode de CC nous avons obtenu avec l'utilisation de FeCl_3 , 78% et $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, 65%. D'après l'analyse algale, les traitements par CC et CA n'ont pas totalement les genres de cyclotelle.

Pour les deux méthodes CC et CA, l'abattement de la MO est plus important que celui de l'absorbance UV_{254} .

IV.3. Mois de Mai

IV.3.1. Résultats de l'analyse quantitative et qualitative des algues

a) Eau brute

La Figure IV.21 montre que le nombre des cellules présentes dans l'eau du BK pour chaque embranchement qui sont au nombre de 2 pour le mois de Mai. Selon une étude réalisée en 2009 par Mechahed et Yakoubi [35], elles ont trouvé que les bacillariophytes sont les prédominantes et ils sont suivis par les cyanophytes mais dans notre eau de mois de Mai les cyanophytes sont abondantes enfin par les dinophytes pour le mois de Mai. Donc il y a un changement au niveau de BK entre 2009 et 2011 qui est marquée par une pluviométrie plus importante (voir Figure IV.21).

Figure IV.21. Répartition des algues récoltées au BK selon leurs embranchements qui sont au nombre de 2 pour le mois de Mai.

b) Eau traitée par CC et CA

La Figure IV.22 montre le nombre de cellules (/mL) dans l'eau brute et l'eau traitée par CC du BK. Nous remarquons une diminution dans le nombre des cellules de l'eau traitée par CA par rapport à l'eau traitée par CC. Donc, le traitement par CA est plus efficace que par CC pour l'élimination des algues, c'est-à-dire le pH a une très grande influence sur l'élimination des cellules algales.

Figure IV.22. Taux de réduction des cellules algales de l'eau coagulée avec FeCl_3 et $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ à différentes valeurs de concentration (CC).

En plus, nous avons remarqué que la réduction de nombre des cellules de l'eau coagulée par $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ est plus élevée que FeCl_3 pour la CC et même pour la CA ou bien, en d'autres termes, FeCl_3 est plus performant qu' $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$. En effet, pour les différentes valeurs de pH, à pH acide (pH = 6,5, $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$) et (pH = 6,5, FeCl_3) nous avons la valeur la plus faible du nombre des cellules, 46,8 et 11,7 cellules/mL pour $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ et FeCl_3 , respectivement et la meilleure réduction des algues FeCl_3 (73,37%, 25 mg/L) et $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ (70,41%, 50 mg/L) est obtenue à pH = 8,06 pour BK (nous rappelons ici que la CC s'appuie sur l'ajout direct du coagulant sans aucune modification (acidification) du pH).

D'après les Figures IV.3 et 4 (pour l'aluminium et le fer, respectivement), l'hydrolyse de l'aluminium (de même pour le fer) passe par trois étapes :

- La première étape est très rapide (réaction d'hydrolyse) et conduit à la formation de monomères.
- Elle est suivie d'une seconde étape où se produisent des réactions de polymérisation.
- La troisième étape est la formation de l'hydroxyde d'aluminium ($\text{Al}(\text{OH})_{3(s)}$ solide).

En effet, selon Baes [36], les espèces hydrolysées d'Al existent sous les formes suivantes :

- 1- Cinq monomères d'aluminium : Al^{3+} , AlOH_2^+ , $\text{Al}(\text{OH})_2^+$, $\text{Al}(\text{OH})_3^0$, $\text{Al}(\text{OH})_4^-$.
- 2- Trois polymères d'aluminium : $\text{Al}_2(\text{OH})_2^{4+}$, $\text{Al}_3(\text{OH})_4^{5+}$, $\text{Al}_{13}\text{O}_4(\text{OH})_{24}^{7+}$.
- 3- Un précipité solide d'aluminium : $\text{Al}(\text{OH})_{3(s)}$.

Pour un pH = 6-7, 92 à 99% d'aluminium est sous forme de précipité ($\text{Al}(\text{OH})_{3(s)}$). Donc, il y'a une formation de floccs (le terme désigné en Anglais est *sweep floccs*) ce qui implique que l'élimination ou la réduction des algues se fait dans cet intervalle de pH par emprisonnement/adsorption des algues sur les floccs d'aluminium ($\text{Al}(\text{OH})_{3(s)}$).

En outre, les références bibliographiques comme [37], indiquent que pour que la coagulation par les sels ferriques s'effectue correctement, il faut que le pH soit supérieur à 5,5 ou 6 [37].

D'autre part, la Figure IV.23 montre le taux de réduction des cellules algales de l'eau coagulée par FeCl_3 et $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ (CC) et à différentes valeurs de pH (CA). Il est question, à présent de déterminer le pH optimal pour lequel une meilleure réduction en matière des algues est obtenue. Nous constatons que la meilleure réduction des algues est apportée par FeCl_3 (99,70%, pH = 6,5) et $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ (98,28%, pH = 6,5) pour la CA.

Figure IV.23. Taux de réduction des cellules algales de l'eau coagulée avec FeCl_3 et $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ à différentes valeurs de pH (CA).

Donc, le pH a une grande influence sur l'élimination des algues en contribuant à :

- la neutralisation des charges des algues (qui sont négativement chargées),
- et facilitant la formation des espèces coagulantes (monomères) et flocculantes (polymères) voire même absorbantes (hydroxyde d'aluminium) de l'aluminium.

IV.3.2. Elimination de MO

a) Oxydabilité au KMnO_4

Comme vu précédemment, la CC et la CA affectent la présence des algues en les éliminant. L'une des préoccupations de la coagulation, comme celles de la chloration pour laquelle les constituants intracellulaires (cyanotoxines) des algues ont été trouvés en solution aggravant la formation des sous-produits de la désinfection, reste l'éventuelle

action des espèces cationiques métalliques sur les algues. Dans ce qui suit, nous nous intéressons à l'appréciation de la présence de la MO en termes d'oxydabilité au KMnO_4 et l'absorbance UV_{254} dans l'eau coagulée par CC et CA. La Figure IV.24 représente le taux de réduction de la MO de l'eau coagulée avec FeCl_3 et $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ à différentes valeurs de pH (CA). Nous observons sur la Figure IV.24 l'existence d'une zone où l'efficacité d'élimination de la MO en termes d'oxydabilité KMnO_4 atteint un pourcentage important (91,48%, pH = 6,5) pour FeCl_3 et (93,20%, pH = 6) pour $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$. Sachant que pour le traitement par CC, le pourcentage de réduction est (46,80%, 20 mg/L) pour FeCl_3 et (56,20%, 25 mg/L) pour $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, donc le traitement par CA est plus efficace que CC dans l'élimination de l'oxydabilité KMnO_4 .

Figure IV.24. Taux de réduction de la MO de l'eau coagulée avec FeCl_3 et $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ à différentes valeurs de pH (CA).

Les résultats obtenus confirment les données bibliographiques concernant l'élimination de composés organiques pour des pH se situant globalement entre 5 et 7 selon la nature du coagulant [40] : la littérature rapporte que la coagulation de la MO est beaucoup plus efficace à pH acide qu'à pH proche de la neutralité (sans ajustement de pH) [41].

IV.3.3. Élimination de la turbidité

L'intérêt accordé à l'élimination des algues et de la MO ne doit en aucun cas éclipser le suivi de la réduction de la turbidité. En fait, la turbidité est le paramètre le plus important dans le procédé étant donné qu'elle permet de rendre compte de la transparence d'un liquide due à la présence des particules colloïdales et permet d'évaluer la décantation des floes formés lors de la coagulation. En plus, elle permet de connaître, d'une manière générale, le degré de la pollution physicochimique des eaux brutes ainsi que la qualité d'une eau destinée à la consommation humaine.

Les Figures IV.25 et 26 montrent le taux de réduction de la turbidité pour l'eau coagulée avec FeCl_3 et $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ à différentes valeurs de concentrations (CC) et à différentes valeurs de pH (CA). Il en ressort que pour les différentes concentrations des

coagulants, le procédé de CC est efficace pour réduire la turbidité : 90,26% à 25 mg/L pour FeCl_3 et 56,98% à 30 mg/L pour $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$. Pour le procédé de CA, le taux de réduction est 81,02% (pH = 6,5) pour FeCl_3 et 76,15% (pH = 6,5) pour $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$.

Figure IV.25. Réduction de turbidité de l'eau coagulée avec FeCl_3 et $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ à différentes valeurs de concentration (CC).

Figure IV.26. Taux réduction de la turbidité de l'eau coagulée avec FeCl_3 et $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ à différentes valeurs de pH (CA).

Par conséquent, le pH optimal pour l'abattement de la turbidité est entre 5,5 et 7 en utilisant le chlorure ferrique et entre 6 et 7 en utilisant l'alun, ce qui est en accord avec la littérature [33].

IV.2.4. Le pH

Le fait d'ajouter le coagulant à l'eau brute fait diminuer le pH du fait de la formation de l'hydroxyde métallique qui consomme une importante quantité d'ions OH^- .

Figure IV.27. Variation de pH de l'eau coagulée avec FeCl_3 et $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ à différentes valeurs de concentration (CC).

La Figure IV.27 représente, de manière schématique, la diminution du pH en fonction des concentrations des coagulants parce que l'ajout de coagulant va acidifier le milieu.

IV.3.5. Conclusion

Le BK présente un peuplement moyennement diversifié. En effet, nous avons remarqué la présence de deux embranchements : les chlorophytes et les bacillariophytes, en plus le nombre des espèces trouvés est limité.

L'étude en jar test sur l'eau brute de BK a permis de montrer que la turbidité, la MO et les algues représentent les fractions les plus aptes à se coaguler en présence d'alun et le chlorure ferrique.

L'abattement de la turbidité avoisine 57% (30 mg/L), 91% (25 mg/L) pour alun et FeCl₃ (CC), 76 et 81% à pH= 6 et 6,5 pour alun et FeCl₃ (CA), respectivement.

L'abattement des algues est 99,7% (pH = 6,5) pour FeCl₃ et 98,82% (pH = 6,5) pour Al₂(SO₄)₃ lorsque nous adoptons utilise la méthode de CA. Sachant que pour la méthode de CC, nous avons obtenu avec l'utilisation de FeCl₃, 74% et Al₂(SO₄)₃, 70%. En plus, les traitements par CC et CA n'ont pas totalement le genre cyclotelle.

Pour les deux méthodes CC et CA, l'abattement de la MO est plus important que celui de l'absorbance UV₂₅₄.

IV.4. Mois de Juin

IV.4.1. Résultats de l'analyse quantitative et qualitative des algues

A) Barrage Keddara et Lakhel

a) Eau brute

Les Figures IV.28 et 29 montrent le nombre des cellules présentes dans l'eau du BK pour chaque embranchement qui sont au nombre de 2 pour le mois de Juin. Selon une étude réalisée en 2009 par Mechahed et Yakoubi [35], elles ont trouvé les mêmes embranchements, donc leurs résultats sont conformes aux nôtres.

Figure IV.28. Répartition des algues récoltées au BK selon leurs embranchements qui sont au nombre de 3 pour le mois de Juin (BK).

Figure IV.29. Répartition des algues récoltées au BL selon leurs embranchements qui sont au nombre de 4 pour le mois de Juin pour BL.

Pour le BK, selon une étude réalisée en 2006 par Houli et al. [42], ils ont trouvé 4 embranchements : chlorophytes, diatomophytes, cyanophytes, dinophytes mais dans notre étude nous avons trouvé les mêmes résultats pour les chlorophytes, bacillariophytes, et les cyanophytes sauf pour les euglénophytes ils ont trouvé les dinophytes.

Nos résultats montrent que les chlorophytes représentent l'embranchement le plus dominant, suivis par les cyanophytes pour BK et BL, suivis par les chrysophytes (BK) et pour BL, et suivis par les bacillariophytes en suite par les euglénophytes.

b) Eau traitée par CC et CA

Les Figures IV.30 et 31 montrent le nombre de cellules (/mL) dans l'eau brute et l'eau traitée par CC du BK et BL.

Figure IV.30 Taux de réduction des cellules algales de l'eau coagulée avec FeCl_3 et $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ à différentes valeurs de concentration (CC) pour BK.

Nous remarquons une diminution dans le nombre des cellules de l'eau traitée par CA par rapport à l'eau traitée par CC. Donc, le traitement par CA est plus efficace que par CC pour l'élimination des algues, c'est-à-dire le pH a une très grande influence sur l'élimination des cellules algales.

En plus, nous avons remarqué que la réduction du nombre des cellules de l'eau coagulée par FeCl_3 est plus élevée qu'avec $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ pour la CC et même pour la CA ou bien, en d'autres termes, FeCl_3 est plus performant qu' $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$. En effet, pour les différentes valeurs de pH, à pH acide (pH = 6,5, $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$) et (pH = 7, FeCl_3) nous avons la valeur la plus élevée du nombre des cellules, 1170 et 982,8 cellules/mL pour $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ et FeCl_3 , respectivement et la meilleure réduction des algues FeCl_3 (73,75%, 25 mg/L) et $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ (68,75%, 35 mg/L) pour BK et 587 cellules/mL pour $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ et la meilleure réduction des algues $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ (88,59%, 25 mg/L) pour BL.

Figure IV.31. Taux de réduction des cellules algales de l'eau coagulée avec $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ à différentes valeurs de concentration (CC) pour BL.

D'après les Figures IV.3 (pour l'aluminium) et IV.4 (pour le fer), l'hydrolyse de l'aluminium (de même pour le fer) passe par trois étapes :

- La première étape est très rapide (réaction d'hydrolyse) et conduit à la formation de monomères.
- Elle est suivie d'une seconde étape où se produisent des réactions de polymérisation.
- La troisième étape est la formation de l'hydroxyde d'aluminium ($\text{Al(OH)}_{3(s)}$ solide).

En effet, selon Baes [36], les espèces hydrolysées d'Al existent sous les formes suivantes :

- Cinq monomères d'aluminium : Al^{3+} , AlOH_2^+ , Al(OH)^{2+} , Al(OH)_3^0 , Al(OH)_4^- .
- Trois polymères d'aluminium : $\text{Al}_2(\text{OH})_2^{4+}$, $\text{Al}_3(\text{OH})_4^{5+}$, $\text{Al}_{13}\text{O}_4(\text{OH})_{24}^{7+}$.
- Un précipité solide d'aluminium : $\text{Al(OH)}_{3(s)}$.

Pour un pH = 6-7, 92 à 99% d'aluminium est sous forme de précipité ($\text{Al(OH)}_{3(s)}$). Donc, il y'a une formation de floes (le terme désigné en Anglais est *sweep floes*) ce qui implique que l'élimination ou la réduction des algues se fait dans cet intervalle de pH par adsorption des algues sur les floes d'aluminium ($\text{Al(OH)}_{3(s)}$).

En outre, les références bibliographiques comme [37], indiquent que pour que la coagulation par les sels ferriques s'effectue correctement, il faut que le pH soit supérieur à 5,5 ou 6 [37].

Figure IV.32. Taux de réduction des cellules algales de l'eau coagulée avec FeCl_3 et $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ à différentes valeurs de pH (CA) pour BK.

D'autre part, les Figures IV.32 et 33 montrent le taux de réduction des cellules algales de l'eau coagulée par FeCl_3 et $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ (CC) et à différentes valeurs de pH (CA).

Figure IV.33. Taux de réduction des cellules algales de l'eau coagulée avec $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ à différentes valeurs de pH (CA) pour BL.

Il est question, à présent de déterminer le pH optimal pour lequel une meilleure réduction en matière des algues est obtenue. Nous constatons que la meilleure réduction des algues est apportée par FeCl_3 (99,38%, pH = 7) et $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ (98,44%, pH = 6,5) pour BK et $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ (99,32%, pH = 6) pour BL par la CA.

IV.4.2.Éliminationde la MO

a) Oxydabilitéau KMnO_4

Comme vu précédemment, la CC et la CA affectent la présence des algues en les éliminant. L'une des préoccupations de la coagulation, comme celles de la chloration pour laquelle les constituants intracellulaires (cyanotoxines) des algues ont été trouvés en solution aggravant la formation des sous-produits de la désinfection, reste l'éventuelle action des espèces cationiques métalliques sur les algues.

Dans ce qui suit, nous nous intéressons à l'appréciation de la présence de la MO en termes d'oxydabilité au KMnO_4 et l'absorbance UV_{254} dans l'eau coagulée par CC et CA. Les Figures IV.34-37 représentent le taux de la réduction de la MO de l'eau coagulée avec FeCl_3 et $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ à différentes valeurs de concentration (CC) et différentes valeurs de pH (CA) pour BK et avec $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ pour BL. Nous observons à la Figure IV.36, une zone où l'efficacité d'élimination de la MO, en termes d'oxydabilité au KMnO_4 , atteint un pourcentage important (91,52%, pH = 6,5) pour FeCl_3 et (82,79%, pH = 6) pour $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ (BK) et (94,43%, pH = 6) pour $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ (BL). Sachant que pour le traitement par CC le pourcentage de réduction est (72,89%, 15 mg/L) pour FeCl_3 et (60%, 20 mg/L) pour $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ (BK) et (61,9%, 25 mg/L) pour $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ (BL). Ainsi donc, le traitement par CA est plus important que par CC.

Les résultats obtenus confirment les données bibliographiques concernant l'élimination de composés organiques pour des pH se situant globalement entre 5 et 7 selon la nature du coagulant [40] : la littérature rapporte que la coagulation de la MO est beaucoup plus efficace à pH acide qu'à pH proche de la neutralité (sans ajustement de pH) [41].

Figure IV.34. Taux de réduction de la MO de l'eau coagulée avec FeCl_3 et $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ à différentes valeurs de concentration (CC) pour BK.

Figure IV.35. Taux de réduction de la MO de l'eau coagulée avec $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ à différentes valeurs de concentration (CC) pour BL.

Figure IV.36 Taux de réduction de la MO de l'eau coagulée avec FeCl_3 et $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ à différentes valeurs de pH (CA) pour BK.

Figure IV.37 Taux de réduction de la MO de l'eau coagulée avec $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ à différentes valeurs de pH (CA) pour BL.

b) UV₂₅₄

La Figure IV.38 montre le taux de réduction d'UV₂₅₄ de l'eau coagulée avec FeCl_3 et $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ à différentes valeurs de concentrations (CC). La Figure IV.39 montre une zone particulière, où le pourcentage d'élimination de l'absorbance UV à 254 nm est 54,26% pour FeCl_3 (20 mg/L), 49,33% pour d' $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ (20 mg/L).

Figure IV.38. Taux réduction d'UV₂₅₄ de l'eau coagulée avec FeCl_3 et $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ à différentes valeurs de concentration (CC) pour (BK).

D'autre part, la Figure IV.39 fait apparaître l'existence d'une zone de forte efficacité dont la position est dépendante du pH : le pourcentage d'élimination de l'absorbance UV₂₅₄ est de 58,74% à pH = 7 pour FeCl_3 et 31,84% à pH = 7,5 pour $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$.

Figure IV.39 Taux réduction d' UV_{254} de l'eau coagulée avec $FeCl_3$ et $Al_2(SO_4)_3$ à différentes valeurs de pH (CA) pour BK.

IV.4.3. Elimination de la turbidité

L'intérêt accordé à l'élimination des algues et de la MO ne doit en aucun cas éclipser le suivi de la réduction de la turbidité. En fait, la turbidité est le paramètre le plus important dans le procédé de coagulation étant donné qu'elle permet de rendre compte de la transparence d'un liquide due à la présence des particules colloïdales et permet d'évaluer la décantation des floes formés lors de la coagulation. En plus, elle permet de connaître, d'une manière générale, le degré de la pollution physicochimique des eaux brutes ainsi que la qualité d'une eau destinée à la consommation humaine.

Les Figures IV.40-43 montrent le taux de réduction de la turbidité pour l'eau coagulée avec $FeCl_3$ et $Al_2(SO_4)_3$ à différentes valeurs de concentrations (CC) et à différentes valeurs de pH (CA) pour BK et BL.

Il en ressort que pour les différentes concentrations des coagulants, le procédé de CC est efficace pour réduire la turbidité : 70,89% à 15 mg/L pour $FeCl_3$ et 58,2% à 20 mg/L pour $Al_2(SO_4)_3$ (BK) et 82,15% à 25 mg/L pour BL. Pour le procédé de CA, le taux de réduction est 76,12% (pH = 7) pour $FeCl_3$ et 63,28% (pH = 6) pour $Al_2(SO_4)_3$ (BK) et 90,58% (pH = 6) pour $Al_2(SO_4)_3$ (BL).

Figure IV.40. Réduction de turbidité de l'eau coagulée avec $FeCl_3$ et $Al_2(SO_4)_3$ à différentes valeurs de concentration (CC) pour BK.

Figure IV.41. Réduction de turbidité de l'eau coagulée avec $Al_2(SO_4)_3$ à différentes valeurs de concentration (CC) pour BL.

Figure IV.42 Taux réduction de la turbidité de l'eau coagulée avec FeCl_3 et $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ à différentes valeurs de pH (CA) pour BK.

Figure IV.43. Taux réduction de la turbidité de l'eau coagulée avec $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ à différentes valeurs de pH (CA) pour BL.

Par conséquent, le pH optimal pour l'abattement de la turbidité est entre 5,5 et 7 en utilisant le chlorure ferrique et entre 6 et 7 en utilisant l'alun, ce qui est en accord avec la littérature [33].

IV.2.4. Le pH

Le fait d'ajouter le coagulant à l'eau brute fait diminuer le pH en plus du fait de la formation de l'hydroxyde métallique qui consomme une importante quantité d'ions OH^- . Les Figures IV.44 et 45 représentent, de manière schématique, la diminution du pH en fonction des concentrations des coagulants (l'ajout du coagulant va acidifier le milieu).

Figure IV.44. Variation de pH de l'eau coagulée avec FeCl_3 et $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ à différentes valeurs de concentration (CC) pour (BK).

Figure IV.45. Variation de pH de l'eau coagulée avec $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ à différentes valeurs de concentration (CC) pour BL.

IV.4.5. Conclusion

Le BK présente un peuplement moyennement diversifié par rapport au BL, nous avons remarqué la présence de trois embranchement : les chlorophytes et chrysophytes et cyanophytes, pour BL nous avons trouvé aussi ces embranchements mais au lieu de des chrysophytes nous avons les bacillariophytes au nombre de trois et le nombre des espèces trouvées est diversifié pour les deux barrages par rapport aux autres mois.

Pour le procédé de CA, le taux de réduction est mieux que par CC soit pour la turbidité ou les algues.

Pour les deux méthodes de CC et CA, l'abattement de la MO est plus important que celui de l'absorbance UV_{254} .

Pour les photos des algues voir l'annexe.

CONCLUSION GENERALE

La modification du procédé de coagulation pour réaliser de plus grandes performances de réduction de la MON est désignée communément sous le vocable de CA. La CA correspond à l'utilisation des dosages de coagulant efficaces pour l'enlèvement de la MON. Cependant, on a proposé une autre option de la CA pour démontrer la réduction efficace de la formation de DBP en utilisant un concept prolongé de la CA. En effet dans la CA, la dose de coagulant et la coagulation pH peuvent être optimisées pour réduire de manière significative la demande de coagulant tout en augmentant l'élimination des algues.

Les essais au jar test de la CC et CA dans le laboratoire ont été réalisés montrant que le procédé de coagulation reste la solution efficace pour les stations de traitement des eaux qui sont confrontés aux problèmes des algues et de la MON si elles acidifient légèrement leurs eaux brutes (CA). Ceci étant parce que quelques usines seulement à travers le monde pour ne pas dire aucune en Algérie, particulièrement celles devant traiter l'eau très colorée, ont été conçues pour enlever la MON.

Comme discuté le long de ce travail, la CA est prouvée comme une technique efficace et économique pour améliorer la performance de la coagulation dans nos stations de traitement de l'eau.

L'abattement des algues environ de 99,7% pour CA sachant que pour CC est environ de 75%, donc on a une bonne élimination pour la méthode de CA et le chlorure ferrique mieux que l'alun de point de vue l'élimination des algues, turbidité et la MO, Sachant que on a une meilleure réduction à pH=6 pour $Al_2(SO_4)_3$ et pH=6,5 pour $FeCl_3$.

Le BL est trop diversifiée par rapport à BK, et nous allons presque les mêmes résultats de point de vue l'élimination des algues.

Comme perspective, il serait intéressant de continuer ce travail en examinant l'efficacité de CA en utilisant la mesure du carbone organique total (COT) et en travaillant point par point au niveau d'une station de traitement d'eau pour mieux évaluer les performances de la CA à l'échelle industrielle.

I. ETUDE ALGUALE

Les algues sont des organismes photosynthétiques très abondants sur toute la surface de la Terre. Elles colonisent les eaux douces et marines et constituent le phytoplancton [1]. La taille des algues peut varier de la cellule microscopique unique, à quelques cellules en colonie et jusqu'à 75 m (laminaires, sargasses) pour certaines formes multicellulaires [4].

I.1. Classification des planctons

Il existe plusieurs classifications selon l'embranchement, mais nous nous sommes basés sur les algues d'eau douce :

I.1.1. Chlorophytes

Les micro-algues vertes ou chlorophytes sont des organismes eucaryotes chlorophylliens vivant dans les milieux aquatiques. La couleur verte vient des pigments majoritaires représentés par la chlorophylle-*a*. Les algues vertes présentent différentes morphologies : formes unicellulaires, solitaires ou coloniales, pluricellulaires [5].

I.1.2. Rhodophytes

Ce sont le plus souvent des algues marines et leur présence dans les eaux douces se limite à une trentaine de genres peu fréquents. Leurs pigments sont constitués par des chlorophylles *a* et *d*. En eau douce, la couleur des rhodophytes est bleu-vert, rouge-violacé, très souvent vert sale ou vert noirâtre [6].

I.1.3. Euglénophytes

Ce sont des algues unicellulaires et flagellées, le plus souvent mobiles, avec des plastes verts contenant de la chlorophylle *a* et *b* [5]. Elles pourraient être aussi les espèces d'algues dominantes en été, elles préfèrent les eaux avec des concentrations élevées d'ammonium et de la matière organique (MO) dissoute [7].

I.1.4. Chrysophytes ou chromophytes

Elles sont caractérisées par des chromatophores bruns, jaunes ou vert-jaunâtres. Il existe de nombreuses formes flagellées possédant pour la plupart des fouets inégaux. Ce groupe se divise en quatre classes :

- Les *chrysophycées* : à plastes jaunes ou bruns renfermant des chlorophylles *a* et *c*.
- Les *xanthophycées* : possèdent des plastes vert-jaunes ou verts à peine jaunâtres renfermant des chlorophylles *a* et *c*.
- Les *diatomées* ou *diatomophycées* (ou *bacillariophycées*) : ce sont des algues unicellulaires ou coloniales, quelquefois filamenteuses, à plastes bruns ou jaunes contenant de la chlorophylle-*a* et *c*.
- Les *phéophycées* : ce sont des algues brunes toujours filamenteuses ou thalloïdes, jamais unicellulaires. Elles sont surtout marines et ne sont représentées en eaux douces que par cinq genres et cinq à six espèces fortes rares [5].

I.1.5. Cyanophytes

On les a nommées les algues bleu-vertes, ne possèdent pas de noyau **B** membrane définie (ce sont des procaryotes, à l'inverse des autres groupes qui sont des eucaryotes) ni de chromatophores. Les pigments présents dans la cellule sont nombreux : chlorophylle verte *a* et *c*, phycocyanine. Les cyanophytes ne possèdent pas de formes flagellées. C'est un groupe d'algues très abondantes dans les eaux douces africaines [5].

I.1.6. Pyrrhophytes

Les pyrrhophytes ont des plastes bruns, plus rarement rouges ou bleu-verts contenant des chlorophylles *a* et *c*, les formes unicellulaires biflagellées sont très nombreuses. Les réserves sont constituées par de l'amidon extraplastidial. On distingue deux classes :

- Les *cryptophytes*, toutes unicellulaires, **B** fouets légèrement inégaux, à insertion latérale et dirigés dans le même sens, sortant d'un cytopharynx.
- Les *dinophycées* ou *péridiniens* à fouets dirigés perpendiculairement l'un par rapport à l'autre, l'un longitudinal, l'autre transversal. Elles ont un très gros noyau à structure filamenteuse [5].

I.2. Rôles des algues

En général, les algues jouent un rôle important dans l'équilibre du système aquatique vu que certaines espèces sont capables de se développer dans le sol ou à la surface des végétaux, et produisent de l'oxygène et des composés organiques [8], et absorbent les nutriments de l'eau [9]. D'autres ont un effet inhibiteur vis-à-vis de certaines bactéries, champignons et levures pathogènes, et aussi celles qui sont bioaccumulantes des éléments radioactifs [10]. En plus, les micro-algues sont des fixateurs efficaces de CO₂ [11]. D'autre part, les algues sont utilisées par l'Homme comme aliments, médicaments, engrais ou produits de beauté [12]. Certaines espèces appartenant aux genres *Scenedesmus*, *Chlorella* ont un effet inhibiteur sur *Bacillus cereus* et *Pseudomonas sp* (cyanophytes). [13].

I.3. Problèmes causés par les algues

Les algues dans eaux de surface posent beaucoup de problèmes tels que la couleur, l'odeur, le goût et les composés de toxines, qui poseraient des risques à la santé animale et humaine. En outre, les algues font compromettre également le processus de traitement d'eau potable [14,15]. En effet, la multiplication des algues peut bloquer les filtres à sable, l'eutrophisation dans les bassins de clarification et la corrosion des installations [1].

II. COAGULATION/FLOCCULATION

II.1. Définition

La coagulation et la floculation (coagulation/floculation, C/F) sont les processus qui permettent l'élimination des colloïdes. La coagulation consiste à les déstabiliser. Il s'agit de neutraliser leurs charges électrostatiques de répulsion pour permettre leur rencontre. La floculation rend compte de leur agglomération en agrégats éliminés par décantation et/ou filtration [16].

II.2. Coagulants utilisés

Les produits les plus utilisés pour la purification des eaux sont le sulfate d'aluminium ou alun ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$), et le chlorure ferrique (FeCl_3). Il était établi initialement que les ions positifs (Al^{3+} et Fe^{3+}) avaient pour effet de neutraliser les charges et donc annuler les forces de répulsion entre les particules, mais il a été montré que les mécanismes qui entrent en jeu sont plus complexes et que les produits d'hydrolyse des sels d'aluminium et de fer sont des coagulants plus efficaces que les ions eux-mêmes. En effet, lorsque le sulfate d'aluminium (ou sel de fer) est ajouté à l'eau, il réagit avec l'alcalinité de l'eau et produit des hydroxydes ($\text{Al}(\text{OH})_{3(s)}$ ou $\text{Fe}(\text{OH})_{3(s)}$) insolubles et formant un précipité [17].

II.3. Essais sur jar test

Les tests de clarification sont mis en œuvre à l'aide d'un dispositif expérimental dit un jar test (Figure 5.1). La solution (l'eau brute) est répartie dans cinq vases à précipité d'un volume de un litre qui sont installés sur un agitateur muni d'hélices. L'expérience se décompose en trois étapes. Tout d'abord, on procède à une agitation rapide à 200 trs/min pendant 2 min avec le coagulant. Une agitation lente à 50 trs/min durant 20 min aidant à la formation de floccs. Après décantation durant 30 min, les prélèvements sont effectués par soutirage à l'aide de robinets placés à mi-hauteur du vase à précipité afin de ne pas déstabiliser le flocc et prélever le surnageant [2].

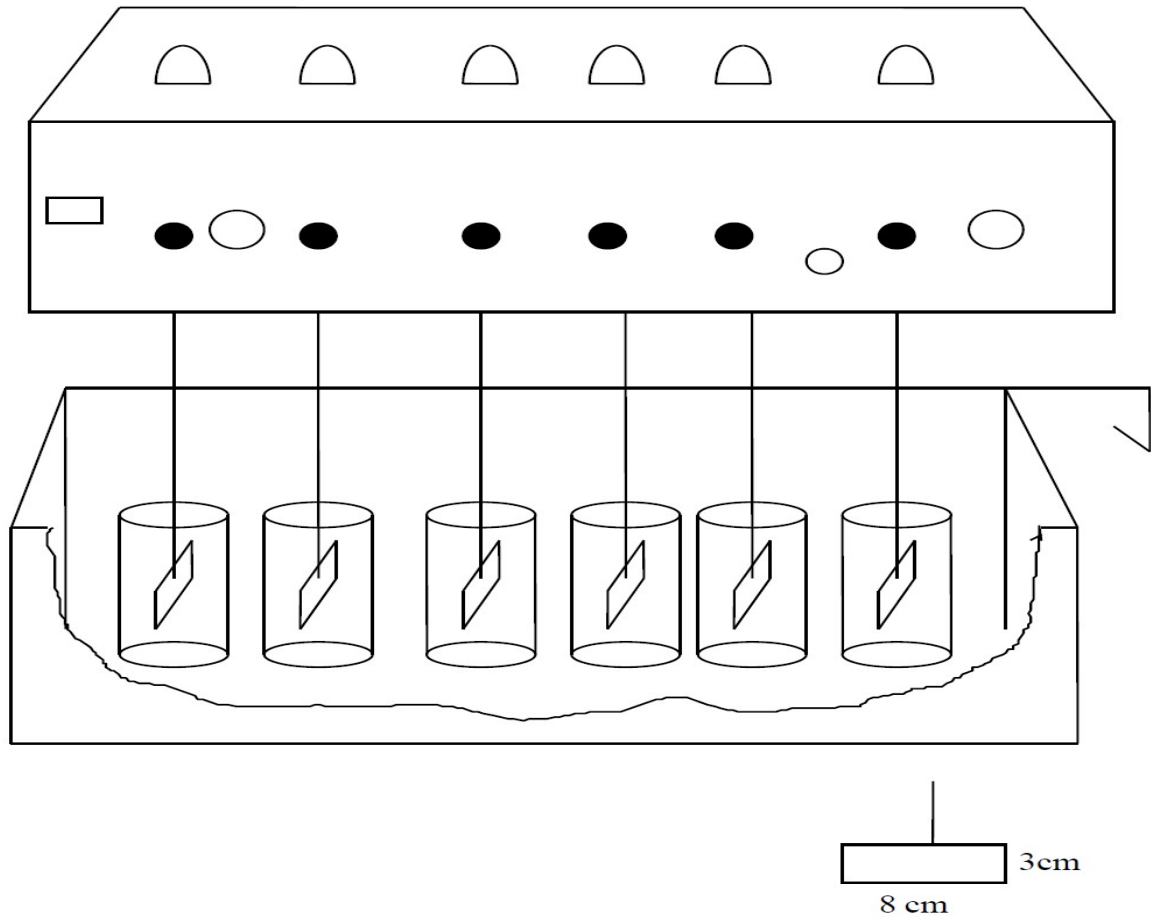


Figure II.1. Jar -test.

II.3. ELIMINATION DES ALGUES PAR C/F

L'élimination des algues avant la filtration et la post-désinfection est plus que nécessaire sur une filière de traitement d'eau potable afin d'éviter les phénomènes de colmatage et la formation de sous-produits de désinfection (SPD). Par ailleurs, de nombreuses algues contiennent des quantités significatives de composés qui sont des sources de mauvais goûts et d'indésirables odeurs et des toxines. Sur une filière conventionnelle, les traitements de C/F, qui permettent l'élimination de ces algues tout en préservant leur intégrité, seront donc privilégiés [2]. En effet, la coagulation permet d'augmenter la rétention de micro-organismes et permet l'élimination des phosphates, donc elle réduit les proliférations algales [21].

Parmi les composés chimiques utilisés habituellement pour la coagulation en traitement d'eau potable, on trouve divers sels d'aluminium et de fer. L'ajout de polymères organiques, notamment cationiques, aux coagulants à base de sels métalliques peut permettre également d'améliorer la coagulation en augmentant la taille des floccs.

Cependant, l'élimination efficace des algues dépend de l'optimisation des doses de réactifs et du pH de coagulation [22].

Mouchet et al. [23] ont montré que la dose de coagulant nécessaire à l'élimination des algues est fonction de l'alcalinité et de la concentration d'algues.

Plummer et al. [24] rapportent que la coagulation d'algues vertes présentant des cellules lisses et plus ou moins sphériques (*Chlorella vulgaris*, *Nitzschia*) se fait principalement par neutralisation de charge. Ces auteurs montrent également que pour *Scenedesmus obliquus* il existe une dose optimale de coagulant (sulfate d'aluminium à pH 7) correspondant à une mobilité électrophorétique nulle et une durée de cycle de filtration sur sable maximale. En revanche, les algues filamenteuses (*Oscillatoria rubescens*), les algues plus volumineuses ou les espèces avec une surface couverte de poils (*Stephanodiscus hantzschii*) peuvent être éliminées plus efficacement en présence abondante de floccs d'hydroxyde d'aluminium par enrobage des cellules algales. Cependant, l'élimination des algues pendant l'étape de C/F est susceptible de provoquer la libération de toxines, par action du coagulant sur les cellules [2].

Lam et al. [25] ont observé que 23% des microcystines-LR (mesurées après plusieurs jours de traitement) contenues dans les cellules étaient ont été libérées par la mise en œuvre de fortes doses de sulfate d'aluminium (200 mg/L). Avec une dose standard de sulfate d'alumine équivalente à 24 mg/L, James et al. [26] ont montré que la coagulation causait la lyse de *Microcystis aeruginosa* et une augmentation de la concentration en microcystines-LR. A des concentrations et des conditions proches de celles rencontrées dans les usines de traitement d'eau, Chow et al. [27] ont établi que l'utilisation de chlorure de fer comme coagulant (15 et 30 mg/L de $FeCl_3$) n'a pas conduit à une augmentation de la concentration en microcystines dans l'eau après traitement de *Microcystis aeruginosa*. Postérieurement, Chow et al. [28] ont également confirmé que le traitement en jar test et sur pilote par le sulfate d'alumine (2,4 à 5,8 mg/L d'Al) de culture de *Microcystis aeruginosa* à leur état de croissance maximale n'endommageait pas les cellules et ne provoquait pas de libération additionnelle de toxines.

D'autre part, le chlorure ferrique est le coagulant le plus efficace pour l'abattement de la turbidité et ainsi que pour l'élimination des cellules de *Planktonothrix agardhii* et de *Scenedesmus obliquus* et l'élimination de la chlorophylle-*a*. C'est également le coagulant le plus performant pour l'élimination de la MO particulaire [2]. Ces résultats sont en

accord avec ceux publiés par Rastogl et al. [29] selon lesquels le coagulant à base d'aluminium reste moins efficace que celui à base de fer.

II.4. Coagulation améliorée

La plupart des procédés de coagulation et filtration ont été concentrés traditionnellement sur l'élimination de la turbidité, mais pas sur l'élimination de la matière organique naturelle (MON). Dans les années récentes, cependant, l'optimisation des procédés en ce qui concerne l'élimination de MON a reçu beaucoup d'attention [30,31]. La principale motivation pour cette élimination est d'abord les préoccupations à propos de la couleur, les mauvais goûts et odeurs, les SPD connus et inconnus, la recroissance bactérienne dans les systèmes de distribution d'eau, et la disponibilité de micropolluants associés à la MON.

Le concept de coagulation améliorée (ou accentuée) (en Anglais, *enhanced coagulation*) s'est élaboré en impliquant le contrôle de pH le plus strict et les doses élevées de coagulant dans le but d'augmenter l'efficacité d'élimination de la MON. De cette façon la formation de SPD connus et inconnus est contrôlée. Cependant, il est encore important de maintenir des valeurs de faible turbidité, du point de vue opération du procédé et contrôle de pathogènes pour un bon traitement d'eau [30-32]. D'autre part, la gamme optimale du pH pour l'utilisation du sulfate d'aluminium est de 6 à 7, pour le chlorure ferrique elle est de 5,5 à 7 [33]. Aux Etats-Unis, la coagulation améliorée est reconnue comme étant efficace pour l'élimination du carbone organique total [34].

II.5. Présentation des Barrages

II.5.1. Barrage de Keddara

Le Barrage de Keddara (BK) est situé dans la Wilaya de Boumerdès à 8 Km au sud de Boudouaou et à 50 Km à l'Est d'Alger. D'une capacité de 145 millions de m³, il mobilise, en plus de ses apports propres, les eaux dérivées du Barrage de Hamiz ainsi que celles transférées à partir du Barrage de Beni-Amrane. Il est destiné à l'alimentation en eau potable de l'agglomération Algéroise. Le Barrage a été mis en service en 1987 [18,19].



Figure II.2. Vue du BK.

II.5.2. Barrage Lakhel

Le Barrage Lakhel se trouve à 5 Km au sud-est du village d'Ain-Bessem dans la wilaya de Bouira. D'une capacité de 30 millions de m³, il est destiné à l'alimentation en eau potable d'Ain-Bessem, Sour El-Ghozlane et sa zone industrielle [20].

II.6. Présentation de la station de traitement des eaux de Boudouaou

La transformation d'une eau de surface en une eau propre à la consommation humaine fait appel à un ensemble de procédés de traitement extrêmement divers qu'il faut assembler dans un ordre déterminé afin de fournir un produit fini conforme aux normes de potabilité. L'efficacité du traitement adopté dépendra de la façon dont sera conduite l'exploitation de l'usine. Pour atteindre l'objectif souhaité, l'exploitant devra d'une part respecter certains principes élémentaires pour assurer le contrôle du processus de traitement et le contrôle de l'eau traitée, et d'autre part disposer d'un certain nombre de moyens techniques et humains.

II.6.1. Description de la station de traitement des eaux de Boudouaou

La station de Traitement des Eaux de Boudouaou (STEB) se situe à environ 8 km de la ville de Boudouaou. Elle a été mise en service durant l'année 86/87, et elle est alimentée par les eaux emmagasinées à la retenue du BK. La STEB est d'une capacité

nominale de 540 000 m³/jour (6,25 m³/s) d'eau brute à traiter et fournit un débit d'eau traitée de 518 400 m³/jour (6 m³/s). La STEB est alimentée gravitairement par une conduite de 1500 mm de diamètre. Cependant, pour palier au problème de sécheresse vécu par notre pays et qui a engendré une baisse du niveau du plan d'eau du BK, en 2001 des pompes submersibles ont été installées au BK afin de permettre le pompage de l'eau brute vers la chambre d'arrivée mais actuellement, elles ne sont plus utilisées. Le procédé de traitement appliqué au niveau de la STEB est conçu pour éliminer les éléments indésirables contenus dans l'eau brute par les différents traitements suivants :

- 1- Pré-chloration de l'eau brute qui sert à l'oxydation d'une partie de MO.
- 2- Le traitement par C/F qui sert à agglomérer les matières colloïdales contenues dans l'eau par la formation des floccs.
- 3- La clarification (ou décantation) qui permet la précipitation des floccs au fond des décanteurs.
- 4- Une filtration sur sable qui a pour objet d'éliminer les matières encore en suspension dans l'eau.
- 5- Une désinfection (ou chloration) des eaux traitées.

Conclusion

Il ressort de l'expérience acquise ainsi que des observations et performances publiées, que l'efficacité des différentes étapes sera fortement dépendante des algues à éliminer, de leur morphologie et de leur concentration.

Tableau A.1.	Coagulation classique par FeCl_3 au mois de Mars (BK).
Tableau A.2.	Coagulation classique par $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ au mois de Mars (BK).
Tableau A.3.	Coagulation améliorée par FeCl_3 au mois de Mars (BK).
Tableau A.4.	Coagulation améliorée par $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ au mois de Mars (BK).
Tableau A.5.	Coagulation classique par FeCl_3 au mois d'Avril (BK).
Tableau A.6.	Coagulation classique par $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ au mois d'Avril (BK).
Tableau A.7.	Coagulation améliorée par FeCl_3 au mois d'Avril (BK).
Tableau A.8.	Coagulation améliorée par $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ au mois d'Avril (BK).
Tableau A.9.	Coagulation classique par FeCl_3 au mois de Mai (BK).
Tableau A.10.	Coagulation classique par $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ au mois de Mai (BK).
Tableau A.11.	Coagulation améliorée par FeCl_3 au mois de Mai (BK).
Tableau A.12.	Coagulation améliorée par $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ au mois de Mai (BK).
Tableau A.13.	Coagulation classique par FeCl_3 au mois de Juin (BK).
Tableau A.14.	Coagulation classique par $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ au mois de Juin (BK).
Tableau A.15.	Coagulation améliorée par FeCl_3 au mois de Juin (BK).
Tableau A.16.	Coagulation améliorée par $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ au mois de Juin (BK).
Tableau A.17.	Coagulation classique par $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ au mois de Juin (BL).
Tableau A.18.	Coagulation améliorée par $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ au mois de Juin (BL).
Tableau A.19.	Nombres des algues dans l'eau brute et l'eau traitée par (CC) et (CA) pour le mois de Mars (BK).
Tableau A.20.	Nombres des algues dans l'eau brute et l'eau traitée par (CC) et (CA) pour le mois d'Avril (BK).
Tableau A.21.	Nombres des algues dans l'eau brute et l'eau brute traitée par (CC) et (CA) de mois de Mai (BK).
Tableau A.22.	Nombres des algues dans l'eau brute et l'eau traitée par (CC) et (CA) pour le mois de Juin (BK).
Tableau A.23.	Nombres des algues de l'eau brute et l'eau traitée par (CC) et (CA) pour le mois de Juin (BL).

Liste des Tableaux

LISTE DES FIGURES

Figure II.1.	Jar test	6
Figure II.2.	Vue du BK	9
Figure III.1.	Vue de microscope inversé	17
Figure IV.1.	Répartition des algues récoltées au BK selon leurs embranchements qui sont au nombre de 3 pour le mois de Mars.	19
Figure IV.2.	Nombre des cellules algales de l'eau brute, et de l'eau coagulée avec FeCl_3 (20 mg/L) et $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ (25 mg/L) à différentes valeurs de pH.	19
Figure IV.3.	Diagramme de stabilité des espèces ioniques dérivant de l'hydrolyse des sels d'aluminium	21
Figure IV.4.	Diagramme de stabilité des espèces ioniques dérivant de l'hydrolyse des sels de fer	21
Figure IV.5.	Taux de réduction des cellules algales de l'eau coagulée avec FeCl_3 (20 mg/L) et $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ (25 mg/L) (CC) à différentes valeurs de pH (CA).	22
Figure IV.6.	Taux de réduction de la MO de l'eau coagulée avec FeCl_3 et $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ à différentes valeurs de pH (CA).	23
Figure IV.7.	Taux réduction d' UV_{254} de l'eau coagulée avec FeCl_3 et $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ à différentes valeurs de concentration (CC)	24
Figure IV.8.	Taux réduction d' UV_{254} de l'eau coagulée avec FeCl_3 et $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ à différentes valeurs de pH (CA)	25
Figure IV.9.	Réduction de turbidité de l'eau coagulée avec FeCl_3 et $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ à différentes valeurs de concentration (CC).	26
Figure IV.10.	Taux réduction de la turbidité de l'eau coagulée avec FeCl_3 et $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ à différentes valeurs de pH (CA).	26
Figure IV.11.	Variation de pH de l'eau coagulée avec FeCl_3 et $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ à différentes valeurs de concentration (CC)	27
Figure IV.12.	Répartition des algues récoltées au BK selon leurs embranchements qui sont au nombre de 3 pour le mois d'Avril.	29
Figure IV.13.	Nombre des cellules algales de l'eau brute, et de l'eau coagulée avec FeCl_3 (20mg/L) et $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ (20 mg/L) à différentes valeurs de pH.	29
Figure IV.14.	Taux de réduction des cellules algales de l'eau coagulée avec FeCl_3 (20 mg/L) et $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ (20 mg/L) (CC) à différentes valeurs de pH (CA).	31
Figure IV.15.	Taux de réduction de la MO de l'eau coagulée avec FeCl_3 et $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ à différentes valeurs de pH (CA).	32
Figure IV.16.	Taux réduction d' UV_{254} de l'eau coagulée avec FeCl_3 et $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ à différentes valeurs de concentration (CC).	33
Figure IV.17.	Taux réduction d' UV_{254} de l'eau coagulée avec FeCl_3 et $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ à différentes valeurs de pH (CA).	33
Figure IV.18.	Réduction de turbidité de l'eau coagulée avec FeCl_3 et $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ à différentes valeurs de concentration (CC).	34
Figure	Taux réduction de la turbidité de l'eau coagulée avec FeCl_3 et	35

IV.19.	Al ₂ (SO ₄) ₃ à différentes valeurs de pH (CA).	
Figure IV.20.	Variation de pH de l'eau coagulée avec FeCl ₃ et Al ₂ (SO ₄) ₃ à différentes valeurs de concentration (CC).	36
Figure IV.21.	Répartition des algues récoltées au BK selon leurs embranchements qui sont au nombre de 2 pour le mois de Mai.	37
Figure IV.22.	Taux de réduction des cellules algales de l'eau coagulée avec FeCl ₃ et Al ₂ (SO ₄) ₃ à différentes valeurs de concentration (CC).	38
Figure IV.23.	Taux de réduction des cellules algales de l'eau coagulée avec FeCl ₃ et Al ₂ (SO ₄) ₃ à différentes valeurs de pH (CA).	39
Figure IV.24.	Taux de réduction de la MO de l'eau coagulée avec FeCl ₃ et Al ₂ (SO ₄) ₃ à différentes valeurs de pH (CA).	40
Figure IV.25.	Réduction de turbidité de l'eau coagulée avec FeCl ₃ et Al ₂ (SO ₄) ₃ à différentes valeurs de concentration (CC).	41
Figure IV.26.	Taux réduction de la turbidité de l'eau coagulée avec FeCl ₃ et Al ₂ (SO ₄) ₃ à différentes valeurs de pH (CA).	42
Figure IV.27.	Variation de pH de l'eau coagulée avec FeCl ₃ et Al ₂ (SO ₄) ₃ à différentes valeurs de concentration (CC).	42
Figure IV.28.	Répartition des algues récoltées au BK selon leurs embranchements qui sont au nombre de 3 pour le mois de Juin, (BK).	44
Figure IV.29.	Répartition des algues récoltées au BL selon leurs embranchements qui sont au nombre de 4 pour le mois de Juin, (BL)	44
Figure IV.30.	Taux de réduction des cellules algales de l'eau coagulée avec FeCl ₃ et Al ₂ (SO ₄) ₃ à différentes valeurs de concentration (CC) pour (BK).	45
Figure IV.31.	Taux de réduction des cellules algales de l'eau coagulée avec Al ₂ (SO ₄) ₃ à différentes valeurs de concentration (CC) pour (BL).	46
Figure IV.32.	Taux de réduction des cellules algales de l'eau coagulée avec FeCl ₃ et Al ₂ (SO ₄) ₃ à différentes valeurs de pH (CA) pour (BK).	47
Figure IV.33.	Taux de réduction des cellules algales de l'eau coagulée avec Al ₂ (SO ₄) ₃ à différentes valeurs de pH (CA) pour (BL).	47
Figure IV.34.	Taux de réduction de la MO de l'eau coagulée avec FeCl ₃ et Al ₂ (SO ₄) ₃ à différentes valeurs de concentration (CC) pour (BK)	49
Figure IV.35.	Taux de réduction de la MO de l'eau coagulée avec Al ₂ (SO ₄) ₃ à différentes valeurs de concentration (CC) pour (BL).	49
Figure IV.36.	Taux de réduction de la MO de l'eau coagulée avec FeCl ₃ et Al ₂ (SO ₄) ₃ à différentes valeurs de pH (CA) pour (BK).	50
Figure IV.37.	Taux de réduction de la MO de l'eau coagulée avec Al ₂ (SO ₄) ₃ à différentes valeurs de pH (CA) pour (BL).	50
Figure IV.38.	Taux réduction d'UV ₂₅₄ de l'eau coagulée avec FeCl ₃ et Al ₂ (SO ₄) ₃ à différentes valeurs de concentration (CC) pour (BK).	51
Figure IV.39.	Taux réduction d'UV ₂₅₄ de l'eau coagulée avec FeCl ₃ et Al ₂ (SO ₄) ₃ à différentes valeurs de pH (CA) pour BK.	51
Figure IV.40.	Réduction de turbidité de l'eau coagulée avec FeCl ₃ et Al ₂ (SO ₄) ₃ à différentes valeurs de concentration (CC) pour BK.	52
Figure IV.41.	Réduction de turbidité de l'eau coagulée avec Al ₂ (SO ₄) ₃ à différentes valeurs de concentration (CC) pour (BL).	53
Figure IV.42.	Taux réduction de la turbidité de l'eau coagulée avec FeCl ₃ et Al ₂ (SO ₄) ₃ à différentes valeurs de pH (CA) pour (BK).	53
Figure IV.43.	Taux réduction de la turbidité de l'eau coagulée avec Al ₂ (SO ₄) ₃ à différentes valeurs de pH (CA) pour (BL).	54
Figure	Variation de pH de l'eau coagulée avec FeCl ₃ et Al ₂ (SO ₄) ₃ à	55

IV.44.	différentes valeurs de concentration (CC) pour (BK).	
Figure	Variation de pH de l'eau coagulée avec $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ à différentes	55
IV.45.	valeurs de concentration (CC) pour (BL).	

LISTE DES ABREVIATIONS

CA : Coagulation améliorée.

CC : Coagulation classique.

BK : Barrages de Keddara.

BL : Barrage de Lakhel.

alun : le sulfate d'alumine.

pH: potentiel Hydrogène.

Cd : Conductivité ($\mu\text{S}/\text{cm}$).

MO : Matière organique.

C : Coagulation.

F : Flocculation.

Ab : Absorbance.

R (%): Rendement d'élimination de la matière organique, la turbidité, l'absorbance et les algues.

Turb: Turbidité.

MES : Matière en suspension

Tableau A.1. Coagulation classique par FeCl₃ au mois de Mars (BK).

C _{coag} (mg/L)	Turbidité (NTU)	pH	C (μS/cm)	UV ₂₅₄	MO (mg O ₂ /L)	Nombre d'algues/mL	%R (Turb)	%R Abs	%R MO	% R d'algue
Eau brute	8,5	8,35	900	0,155	1,62	397,8	-	-	-	-
0	5,21	8,3	883	0,104	-	-	38,56	32,90	-	-
5	3,9	8,02	887	0,102	-	-	54,01	34,19	-	-
10	3,13	7,87	875	0,097	-	-	63,09	37,42	-	-
15	3,19	7,79	863	0,097	-	-	62,38	37,42	-	-
20	2,01	7,76	827	0,093	1,10	234	76,30	40,00	32,09	41,18
25	2,69	7,66	878	0,094	-	-	68,28	39,35	-	-
30	2,9	7,56	873	0,091	-	-	65,80	41,29	-	-
35	3,47	7,48	860	0,088	-	-	59,08	43,23	-	-
40	3,68	7,39	872	0,083	-	-	56,60	46,45	-	-
45	3,88	7,34	864	0,082	-	-	54,25	47,1	-	-

								0		
50	4,12	7,28	879	0,081	-	-	51,42	47,74	-	-
55	4,28	7,05	875	0,085	-	-	49,53	45,16	-	-

Tableau A.2.Coagulation classique par $Al_2(SO_4)_3$ mois de Mars (BK).

C_{coag} (mg/L)	Turbidité (NTU)	pH	C (μ S/cm)	UV ₂₅₄	MO (mg O ₂ /L)	Nombre d'algues/m L	%R (Turb)	%R Abs	%R MO	% R d'algue
Eau brute	8,5	8,35	900	0,155	1,62	397,8	-	-	-	-
0	6,01	8,02	902	0,145	-	-	29,13	6,45	-	-
5	4,26	7,95	905	0,14	-	-	49,76	9,68	-	-
10	3,98	7,89	900	0,135	-	-	53,07	12,90	-	-
15	3,55	7,77	900	0,118	-	-	58,14	23,87	-	-
20	2,98	7,7	893	0,118	-	-	64,86	23,87	-	-
25	2,42	7,59	879	0,115	1,22	292,5	71,46	25,81	24,69	26,47
30	2,8	7,49	884	0,123	-	-	66,98	20,65	-	-
35	3,01	7,43	885	0,127	-	-	64,50	18,06	-	-

40	3,75	7,41	885	0,128	-	-	55,78	17,42	-	-
45	3,88	7,38	872	0,132	-	-	54,25	14,84	-	-
50	5,01	7,23	870	0,135	-	-	40,92	12,90	-	-
55	5,66	7,17	867	0,132	-	-	33,25	14,84	-	-

Tableau A.3. Coagulation améliorée par Fe Cl₃ mois de Mars (BK).

pH	Turbidité (NTU)	C (µs/cm)	Abs ₂₅₄ nm	MO (mg d'O ₂ /L)	Nombre d'algues (cellules/mL)	%R (Turb)	%R Abs	%R MO	% R d'algue
5	1,74	945	0,1	0,44	46,8	79,48	35,48	72,84	88,24
5,5	0,84	932	0,092	0,4	35,1	90,09	40,65	75,31	91,18
6	0,60	928	0,074	0,27	23,4	92,92	52,26	83,33	94,12
6,5	0,45	910	0,062	0,17	11,7	94,69	60,00	89,51	97,06
7	0,62	902	0,089	0,64	35,1	92,68	42,58	60,49	91,18

Tableau A.4. Coagulation améliorée par $\text{Al}_2 (\text{SO}_4)_3$ mois de Mars (BK).

pH	Turbidité (NTU)	C ($\mu\text{s}/\text{cm}$)	Abs ₂₅₄ nm	MO (mg d'O ₂ /L)	Nombre d'algues (cellules/mL)	%R (Turb)	%R Abs	%R MO	% R d'algue
5	1,84	959	0,109	0,35	58,5	78,30	29,68	78,40	85,29

5,5	1,79	951	0,11	0,32	46,8	78,89	29,03	80,25	88,24
6	1,05	922	0,111	0,21	23,4	87,62	28,39	87,04	94,12
6,5	1,26	901	0,12	0,6	35,1	85,14	22,58	62,96	91,18
7	1,27	889	0,129	0,61	35,1	85,02	16,77	62,35	91,18

Tableau A.5.Coagulation classique par Fe Cl₃ mois d'Avril (BK).

C _{coag} (mg/L)	Turbidité (NTU)	pH	C (μS/cm)	UV ₂₅₄	MO (mg O ₂ /L)	Nombre d'algues/mL	%R (Turb)	%R Abs	%R MO	% R d'algue
Eau brute	6,3	8,2	873	0,186	1,92	760,5	-	-	-	-
0	4.09	8,16	883	0,185	-	-	35,08	0,54	-	-
5	3.66	8,02	877	0,183	-	-	41,90	1,61	-	-
10	2.06	7,87	875	0,179	-	-	67,30	3,76	-	-
15	1.22	7,79	863	0,177	-	-	80,30	4,84	-	-
20	1.20	7,76	827	0,113	0,80	222,3	80,95	39,25	58,33	70,77
25	1.33	7,66	878	0,138	-	-	78,88	25,81	-	-
30	1.70	7,56	873	0,18	-	-	73,01	3,23	-	-
35	1.83	7,48	860	0,185	-	-	70,95	0,54	-	-
40	2.11	7,43	872	0,179	-	-	66,50	3,76	-	-
45	3.36	7,34	864	0,179	-	-	46,66	3,76	-	-
50	3.65	7,28	879	0,171	-	-	42,06	8,06	-	-
55	3.80	7,05	869	0,183	-	-	39,68	1,61	-	-

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Tableau A.6. Coagulation classique par $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ mois d'Avril (BK).

C_{coag} (mg/L)	Turbidité (NTU)	pH	C ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	UV_{254}	MO (mg O_2/L)	Nombre d'algues/mL	%R (Turb)	%R Abs	%R MO	% R d'algue
Eau brute	6.3	8.2	873	0,186	1,92	760,5	-	-	-	-
0	5.2	8,18	882	0,18	-	-	17.46	3,23	-	-
5	3.9	8,16	889	0,174	-	-	38.09	6,45	-	-
10	3.1	7,95	890	17,2	-	-	50.79	15,59	-	-
15	3.2	7,91	897	0,154	-	-	49.20	17,20	-	-
20	2	7,8	886	0,152	1,15	269,6	68.25	18,28	40,10	64,62
25	2.6	7,8	886	0,15	-	-	58.73	19,35	-	-
30	2.9	7,75	888	0,149	-	-	53.96	19,89	-	-
35	3.4	7,75	882	0,148	-	-	46.03	20,43	-	-
40	3.7	7,58	877	0,146	-	-	41.26	21,51	-	-
45	3.9	7,16	866	0,142	-	-	38.09	23,66	-	-
50	4.02	7,15	867	0,144	-	-	36.19	22,58	-	-
55	4.48	6,67	860	0,155	-	-	28,88	16,67	-	-

Tableau A.7. Coagulation améliorée par Fe Cl_3 mois d'Avril (BK).

pH	Turbidité (NTU)	C (μs/cm)	Abs ₂₅₄ nm	MO (mg d'O ₂ /L)	Nombre d'algues (cellules/mL)	%R (Turb)	%R Abs	%R MO	% R d'algue
5	2,20	987	0,161	0,55	58,5	64,51	13,44	75	92,31
5.5	1,34	980	0,145	0,76	46,8	78,38	22,04	70,83	93,85
6	1.29	948	0,133	0,58	23,4	79,52	28,49	82,29	96,92
6,5	0,54	929	0,099	0,44	11,7	91,22	46,77	86,97	98,46
7	3,87	915	0,109	0,60	58,5	37,58	41,40	68,75	92,31

Tableau A.8. Coagulation améliorée par Al₂ (SO₄)₃ mois d'Avril (BK).

pH	Turbidité (NTU)	C (µs/cm)	Abs ₂₅₄ nm	MO (mg d'O ₂ /L)	Nombre d'algues (cellules/m L)	%R (Turbidité)	%R Abs	%R MO	% R d'algue
5	5,90	1003	0,175	0,55	81,9	4,79	5,91	71,35	89,23
5,5	3,87	998	0,16	0,760	93,6	3,46	13,98	60,42	87,69
6	2,82	991	0,128	0,58	70,2	54,38	31,18	69,79	90,77
6,5	2,36	987	0,132	0,44	35,1	61,84	29,03	77,08	95,38
7	3	978	0,144	0,60	70,2	51,50	22,58	68,75	90,77

Tableau A.9.Coagulation classique par FeCl₃ mois de Mai (BK).

C _{coag} (mg/l)	Turbidité (NTU)	pH	C (μs/cm)	MO (mg d'O ₂ /L)	Nombre d'algues	%R (Turb)	%R MO	% R d'algue
-----------------------------	--------------------	----	-----------	--------------------------------	--------------------	--------------	-------	----------------

					(cellules/mL)			
Eau brute	11,5	8,06	931	4,11	3954,6	-	-	-
0	2,55	7,98	931	-	1930,5	45,86	-	51,18
5	1	7,79	927	-	1813,5	75,66	-	54,14
10	0,56	7,75	932	-	1626,3	86,37	-	58,88
15	0,54	7,64	928	-	1638	86,86	-	58,58
20	0,53	7,55	927	-	1579,5	87,10	-	60,06
25	0,40	7,42	920	1,25	1404	90,26	46,80	64,50
30	0,44	7,35	916	-	1053	89,29	-	73,37
35	0,45	7,24	911	-	1181,7	89,05	-	70,12
40	0,65	7,2	913	-	1158,3	84,18	-	70,71
45	0,74	7,16	905	-	1275,3	81,75	-	67,75
50	0,85	7,16	901	-	1170	79,32	-	70,41
55	0,57	7,11	898	-	1205,1	86,13	-	69,53

Tableau A.10.Coagulation classique par $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ mois de Mai (BK).

C_{coag} (mg/l)	Turbidité (NTU)	pH	C ($\mu\text{s}/\text{cm}$)	MO (mg d' O_2/L)	Nombre d'algues (cellules/m L)	%R (Turb)	%R MO	% R d'algue
Eau brute	4,11	8,06	931	2,35	3954,6	-	-	-
0	3,37	8,02	951	-	2328,3	18,00		41,12

5	3,11	7,88	944	-	2106	24,33		46,75
10	3	7,85	933	-	2047,5	27,00		48,22
15	2,51	7,77	921	-	1813,5	38,93		54,14
20	2,44	7,67	917	-	1626,3	40,63		58,88
25	2,09	7,56	903	-	1556,1	49,14		60,65
30	1,94	7,56	903	1,80	1521	52,98	56,20	61,54
35	2,35	7,53	903	-	1404	42,82		64,50
40	2,42	7,45	900	-	1392,3	41,12		64,79
45	2,50	7,41	896	-	1287	39,17		67,46
50	2,50	7,34	888	-	1170	39,17		70,41
55	2,55	7,21	881	-	1181,7	37,95		70,12

Tableau A.11. Coagulation améliorée par Fe Cl₃ mois de Mai (BK).

pH	Turbidité (NTU)	C (µs/cm)	MO (mg d'O ₂ /L)	Nombre d'algues (cellules/mL)	%R (Turb)	%R MO	% R d'algue
5	1,72	975	0,33	81,9	58,63	85,95	97,93
5,5	1,60	963	0,89	105,3	61,07	62,12	97,34
6	1,45	951	0,29	35,1	64,72	87,65	99,11
6,5	0,78	942	0,20	11,7	81,02	91,48	99,70

7	1,08	927	0,24	81,9	73,72	89,78	97,93

Tableau A.12. Coagulation améliorée par $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ mois de Mai (BK).

pH	Turbidité (NTU)	C ($\mu\text{s}/\text{cm}$)	MO (mg d'O ₂ /L)	Nombre d'algues (cellules/mL)	%R (Turb)	%R MO	% R d'algue
5	1,20	981	0,24	152,1	70,80	89,78	96,15
5,5	1,09	980	0,16	117	73,47	93,20	97,04
6	0,98	978	0,22	58,5	76,15	90,63	98,52
6,5	1,00	964	0,52	46,8	75,66	77,87	98,82
7	1,33	960	0,20	93,6	67,63	91,48	97,63

Tableau A.13.Coagulation classique par Fe Cl₃ mois de juin (BK).

C _{coag} (mg/l)	Turbidité (NTU)	pH	C (µs/cm)	Abs ₂₅₄ nm	MO (mg d'O ₂ /L)	Nombre d'algues/mL	%R (Turb)	%R Abs	%R MO	% R d'algue
Eau brute	2,01	8,00	917	0,223	4,01	3744	-	-	-	-
0	1,50	7,98	927	0,196	3,8	1813,5	25,37	12,10	42,10	51,56
5	1,03	7,90	926	0,195	2,20	1579,5	48,75	12,55	51,31	57,81
10	0,938	7,86	925	0,194	1,85	1205,1	53,33	13,00	60,52	67,81
15	0,585	7,8	925	0,177	1,04	994,5	70,89	20,62	72,89	73,44
20	0,883	7,72	922	0,113	1,12	982,8	56,06	49,32	70,52	73,75
25	0,989	7,65	910	0,138	1,19	1041,3	50,79	38,11	68,68	72,19
30	1,28	7,56	915	0,180	1,27	1006,2	36,31	19,28	66,57	73,13

35	1,37	7,51	913	0,185	1,27	1181,7	31,84	21,52	66,57	68,44
40	1,36	7,47	913	0,179	1,39	1193,4	32,33	19,73	63,42	68,13
45	1,42	7,40	913	0,179	1,85	1193,4	29,35	19,73	51,32	68,13
50	1,46	7,39	909	0,171	1,62	1275,3	27,36	23,31	57,36	65,94
55	1,47	7,37	904	0,193	1,73	1298,7	26,86	13,45	54,47	65,31

Tableau A.14.Coagulation classique par $Al_2(SO_4)_3$ mois de Juin (BK).

C_{coag} (mg/l)	Turbidité (NTU)	pH	C (μ s/cm)	Abs ₂₅₄ nm	MO (mg d'O ₂ /L)	Nombre d'algues/mL	%R (Turb)	%R Abs	%R MO	% R d'algue
Eau brute	2,01	8,00	917	0,223	4,01	3744	-	-	-	-
0	1,51	7,96	922	0,196	2,81	1895,4	24,87	12,11	26,05	49,38
5	1,48	7,95	920	0,195	2,5	1684,8	26,37	12,56	34,21	55,00
10	1,01	7,94	916	0,194	2,21	1462,5	49,75	13,00	41,84	60,94
15	1,00	7,91	900	0,177	2,39	1404	50,24	20,63	37,10	62,50
20	0,840	7,81	912	0,113	1,52	1404	58,20	49,33	60,00	62,50
25	0,948	7,71	903	0,138	1,66	1345,5	52,83	38,12	56,31	64,06
30	0,960	7,58	904	0,18	1,90	1205,1	48,75	19,28	50,00	67,81
35	1,03	7,54	901	0,185	1,93	1170	47,75	17,04	49,21	68,75

40	1,05	7,53	897	0,179	1,99	1263,6	47,76	19,73	47,63	66,25
45	1,10	7,49	895	0,179	2,01	1298,7	45,27	19,73	47,10	65,31
50	1,19	7,48	893	0,171	2,09	1462,5	40,79	23,32	45,00	60,94
55	1,21	7,44	882	0,193	2,11	1392,3	39,80	13,45	44,47	62,81

Tableau A.15. Coagulation améliorée par Fe Cl₃ mois de Juin (BK).

pH	Turbidité (NTU)	C (µs/cm)	Abs ₂₅₄ nm	MO (mg d'O ₂ /L)	Nombre d'algues (cellules/mL)	%R (Turb)	%R Abs	%R MO	% R d'algue
5	1,04	982	0,200	1,04	81,9	48,25	52,91	74,06	97,81
5.5	0,988	956	0,203	0,69	58,5	50,84	47,53	82,79	98,44
6	0,886	946	0,199	0,57	46,8	55,92	48,43	85,79	98,75
6,5	0,750	941	0,161	0,34	46,8	62,68	57,85	91,52	98,75
7	0,480	934	0,169	0,46	23,4	76,12	58,74	88,53	99,38
7,5	0,540	925	0,152	0,56	35,1	73,13	55,61	86,03	99,06

Tableau A.16. Coagulation améliorée par $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ mois de Juin (BK).

pH	Turbidité (NTU)	C ($\mu\text{s}/\text{cm}$)	Abs ₂₅₄ nm	MO (mg d'O ₂ /L)	Nombre d'algues (cellules/mL)	%R (Turb)	%R Abs	%R MO	% R d'algue
5	1,11	1034	0,185	1,73	128,7	44,77	10,31	56,86	96,56

5,5	1,05	953	0,187	1,04	105,3	47,76	8,97	74,06	97,19
6	0,738	944	0,185	0,69	81,9	63,28	10,76	82,79	97,81
6,5	0,852	936	0,184	0,81	58,5	57,61	27,80	79,80	98,44
7	0,892	929	0,182	1,73	70,2	55,62	24,22	56,86	98,13
7,5	1,00	919	0,177	1,80	70,2	50,24	31,84	55,11	98,13

Tableau A.17.Coagulation classique par $Al_2(SO_4)_3$ mois de Juin (BL).

C_{coag} (mg/l)	Turbidité (NTU)	pH	C (μ s/cm)	MO (mg d'O ₂ /L)	Nombre d'algues/mL *10 ³	%R (Turb)	%R MO	% R d'algue
Eau brute	6,3	8,3	700	7,9	5,14	-	-	-
0	6,5	7,88	689	7,6	4,09	5,80	3,80	20,42
5	5,48	7,83	620	7,01	3,90	20,58	11,27	24,06
10	5,01	7,75	615	6,85	4,67	27,39	13,29	9,14
15	3,89	7,6	610	5,45	1,57	43,62	31,01	69,42
20	2,22	7,51	603	4,33	2,99	67,83	45,19	41,79
25	1,23	7,3	570	3,01	0,58	82,17	61,90	88,59
30	1,27	7,19	598	3,02	3,86	81,59	61,77	24,83
35	1,33	7,17	601	3,01	0,62	80,72	61,90	87,85
40	1,89	7,11	608	3,99	3,29	72,61	49,49	35,90
45	3,01	7,05	592	4,07	2,59	56,38	48,48	49,58
50	4	7,01	590	4,16	2,27	42,03	47,34	55,79
55	3,85	7,03	609	4,11	2,29	44,20	47,97	55,30

--	--	--	--	--	--	--	--	--

Tableau A.18. Coagulation améliorée par $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ mois de Juin (BL).

pH	Turbidité (NTU)	C ($\mu\text{s/cm}$)	MO (mg d'O ₂ /L)	Nombre d'algues (cellules/mL)	%R (Turb)	%R MO	% R d'algue
5	1,22	1001	0,89	128,7	82,32	88,73	97,50
5,5	1,23	998	0,5	105,3	82,17	93,67	97,95
6	0,65	955	0,44	35,1	90,58	94,43	99,32
6,5	0,78	925	0,59	46,8	88,70	92,53	99,09
7	0,89	901	1,11	70,2	87,10	85,95	98,64
7,5	1,11	897	1,16	81,9	83,91	85,32	98,41

Tableau A.19. Les nombres des algues dans l'eau brute et l'eau traitée par (CC) et (CA) pour le mois de Mars (BK).

		Embranchements	Chlorophytes		Bacilariophytes	Crysophytes
		Genre	Closterium	Tetradron	Cyclotelle	Synura
		Espèces	acutum	minimum	-	-
		Eau brute	8	5	18	3
Nombres des algues	FeCl ₃	20 mg/L(CC)	1	1	18	-
		pH=5	-	-	4	-
		pH=5,5	1	-	2	-
		pH=6	-	-	2	-
		pH=6,5	-	-	1	-
		pH=7	-	-	2	1
	Al ₂ (SO ₄) ₃	25 mg/L(CC)	2	1	22	-

		pH=5	-	-	5	-
		pH=5,5	1	-	2	1
		pH=6	-	-	2	-
		pH=6,5	-	-	3	-
		pH=7	1	-	2	-

Tableau A.20. Les nombres des algues dans l'eau brute et l'eau traitée par (CC) et (CA) pour le mois d'Avril (BK).

		Embranchements	Chlorophytes		Bacilariophytes			Dinophytes
		Genre	Closterium	Tetradron	Cyclotelle	Syndra	Navicula	Ceratium
		Espèces	Acutum	Minimum	-	-	-	Hirundinella
		Eau brute	12	6	39	4	2	1
Nombres des algues	FeCl ₃	20 mg/L (CC)	2	1	15	-	-	-
		pH=5	1	1	3	-	-	-
		pH=5,5	-	-	4	-	-	-
		pH=6	-	-	2	-	-	-
		pH=6,5	-	-	1	-	-	-
		pH=7	-	-	3	1	1	-
	Al ₂ (SO ₄) ₃	20 mg/L (CC)	-	-	23	-	-	-
		pH=5	1	-	5	1	-	-
		pH=5,5	2	1	4	-	-	1

		pH=6	-	2	3	1	-	-
		pH=6,5	-	-	3		-	-
		pH=7	1	-	2	-	1	2

Tableau A.21. Les nombres des algues dans l'eau brute et l'eau brute traitée par (CC) et (CA) de mois de Mai (BK).

		Embranchements	Chlorophytes	Bacillariophytes	
		Genre	Closterium	Cyclotella	Synedra
		Espèces	Lanceolatum	-	-
		Eau brute	28	127	183
Nombres des algues	FeCl ₃	30 mg/L (CC)	8	60	28
		pH=5	1	5	1
		pH=5,5	2	6	1

		pH=6	1	1	1
		pH=6,5	-	1	-
		pH=7	2	4	1
	Al ₂ (SO ₄) ₃	50 mg/L (CC)	4	30	6
		pH=5	2	10	1
		pH=5,5	1	5	4
		pH=6	2	1	2
		pH=6,5	-	3	1
		pH=7	-	2	6

Tableau A.22. Les nombres des algues dans l'eau brute et l'eau traitée par (CC) et (CA) pour le mois de Juin (BK).

		Embranchements		Chlorophytes				Chrysophytes	Cyanophytes	
		Genre		Closterium		Chlamydomonas	Coelastrum		Microcystis	
		Espèces		Acutum	lanceolatum	-	Cubicum	Microporum	-	Aeruginosa
		Eau brute		20	195	20	20	40	20	20
Nombres des algues	FeCl ₃	15 mg/L (CC)	5	50	6	7	4	4	8	
		pH=5	-	5	-	-	-	-	2	
		pH=5,5	-	1	-	-	-	1	3	

	Al ₂ (SO ₄) ₃	pH=6	-	2	1	-	-	-	1
		pH=6,5	-	1	-	-	2	1	-
		pH=7	-	-	-	1	-	-	1
		pH=7,5	-	2	-	-	1	-	-
		35 mg/L (CC)	3	45	12	2	8	5	15
		pH=5	3	6	-	-	-	1	1
		pH=5,5	-	3	2	1	-	1	2
		pH=6	2	3	-	1	1	-	-
		pH=6,5	-	2	2	-	-	-	1
		pH=7	1	-	-	-	3	2	-
		pH=7,5	-	2	1	1	1	-	1

Tableau A.23. Les nombres des algues de l'eau brute et l'eau traitée par (CC) et (CA) pour le mois de Juin (BL).

	Embranchements	Chlorophytes						Bacillariophycées	Cyanophytes		
		Genre	Closterium	Scenedesmus	Pediastrum	Chlorelle	Cyclotelle	Anabaena			
	Espèces	Lanceolatum	Quadricauda	Acuminaius	Brya num	Duplex	-	-	-		
	Eau brute	25	18	20	20	15	87	50	100	95	
Nombres des algues	Al ₂ (SO ₄) ₃	20 mg/L	4	2	6	-	-	5	-	30	3
		pH=5	-	-	1	1	-	2	-	6	1
		pH=5,5	-	-	-	-	-	-	-	9	-
		pH=6	-	-	-	-	-	-	1	1	1

Les photos d'algues selon les embranchements

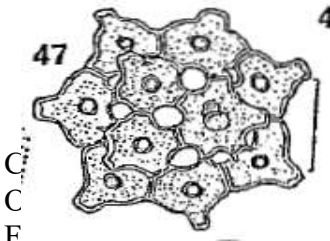
Embranchement des Chlorophytes



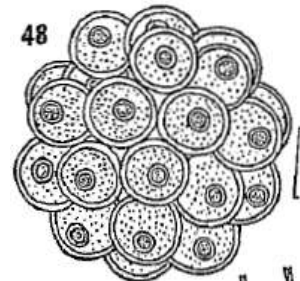
C : Chlorophycées
O : Scenedesmacée
F : Closteriumicales
G, E : *Closterium acutum*



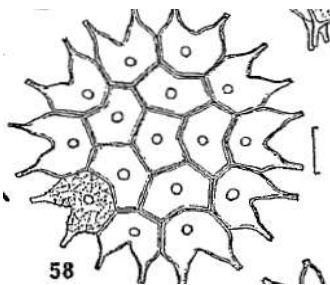
C : Chlorophycées
O : Chlorophycidées
F : Volvocales
G, E : *Tetradron minimum*



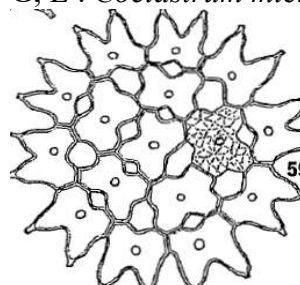
47
C : Chlorophycées
O : Scenedesmacée
F : Senedemacales
G, E : *Coelastrum cambricum*



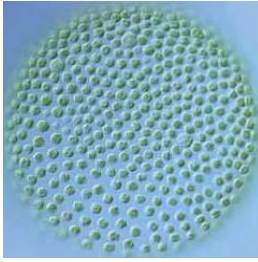
48
C : Chlorophycées
O : Scenedesmacée
F : Senedemacales
G, E : *Coelastrum microporum*



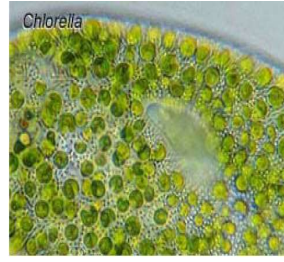
58
C : Hydrodictyacées
O : Chlorophycées
F : Pediastraceae
G, E : *Pediastrum boryanum*



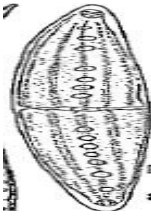
59
C : Hydrodictyacée
O : Chlorophycées
F : Pediastraceae
G, E : *Pediastrum duplex*



C : Chlorophyceae
 O : Volvocales
 F : Volvocaceae
 G, E : *Volvox sp*



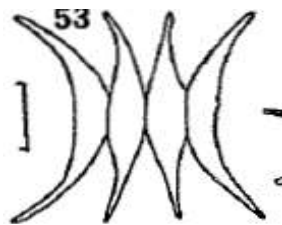
C : chlorophyceae
 O : Chlorococcales
 F : Oocytaceae
 G, E : *Chlorella sp*



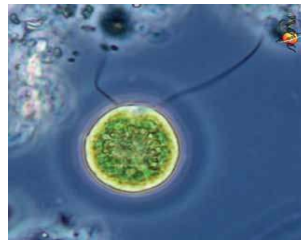
C : Chlorophycées
 O : Scenedesmacee
 F : Closteriumiales
 G, E : *Closterium lanceolatum*



C : chlorophyceae
 O : Chlorococcales
 F : Scenedesmaceae
 G, E : *Scenedesmus quadricauda*



C : chlorophyceae
 O : Chlorococcales
 F : Scenedesmaceae
 G, E : *Scenedesmus acuminatus*

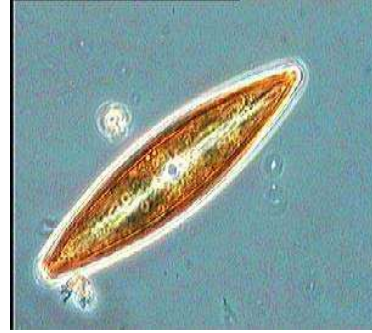


C : Chlorophyceae
 O : Volvocales
 F : Chlamydomonadaceae
 G, E : *Chlamydomonas sp*

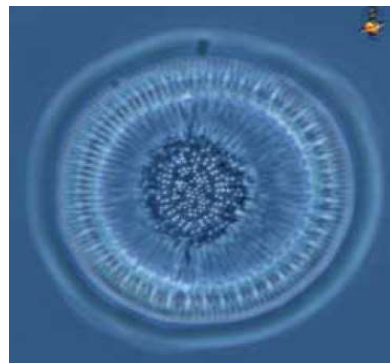
Embranchement des Bacillariophytes



C : Bacillariophyceae
O : Pennales
F : Pennalecées
G, E : *Syndra* sp



C : Bacillariophyceae
O : Naviculales
F : Naviculacées
G, E : *Navicula cryptocephala*



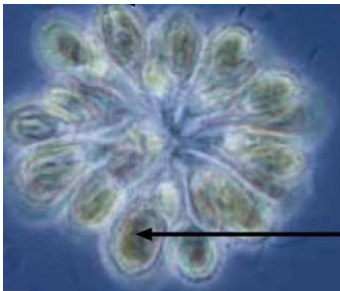
C : Bacillariophyceae
O : Centrales
F : Centralecées
G, E : *Cyclotella* sp

Embranchement des Dinophytes



C : Dinophycées
 O : Peridiniens
 F : Ceratiacées
G, E : Ceratium hirundinella

Embranchement des Chrysophytes

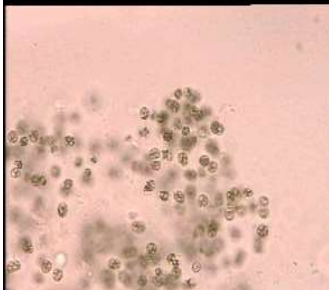


C: Chrysophyceae
 O: Ochromadales
 F : Synuraceae
G, E : Synura sp



C : Chrysophyceae
 O : Ochromadales
 F : Dinobryaceae
G, E : Dinobryon sp

Embranchement des Cyanophytes



C: Cyanophycée
O: Chroococales
F: Chroococcaceae
G, E: *Microcystis aeruginosa*



C : Cyanophycée
O : Nostocales
F : Nostocaceae
G, E : *Anabaena sp*

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

[1] I. Bouaichi, Qualité des eaux de barrages en exploitation, ANBT, Département de la protection des plans d'eau, EQSEAATN',2010, Poster 23 :

www.crna.dz/EQSEAATN-2010/RECUEIL.pdf

[2] P. Roche, C. Semler, Elaboration d'une stratégie de traitement d'algues sur une filière d'eau potable, 2005, P.1 :

http://www.eau-seine-normandie.fr/fileadmin/mediatheque/Dossier_partage/ETUDES-Logo/Rapports/Rapport_05AEP03.pdf

[3] V. Bonnely, J. Moles, P. Mouchet, Elimination des algues toxiques et de leurs toxines 'Efficacité des filières de traitement', P.1.

www.com.univ-mrs.fr/IRD/griscya/activites/.../bonnelye_1103.pdf

[4] M. Cavalla, Les algues-les microalgues, 2000.

http://mcavalla.free.fr/rsr/atlas_mcavalla.pdf

[5] A. Iltis, Les algues I, 1966, P.11-12.

http://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/pleins_textes_6/idt/00552.pdf

[6] D. Champiat, J.P. Larpent, Biologie des eaux, Méthodes et techniques, Paris: Masson, 1988, P. 374.

[7] K. Amante, B. Karnik, Strategies for controlling and mitigating algal growth within water treatment plants, Sunil Kommineni, 2009.

www.waterrf.org/ProjectsReports/PublicReportLibrary/91256.pdf

[8] C. Haslay, H. Leclerc, Microbiologie des eaux d'alimentation, Lavoisier Tec & Doc, Paris, P. 495 p.

[9] C. Rivard-Sirois, Rappel, 2005. C.P. 732, Sherbrooke. (Québec) J1H 5K7

www.ville.saguenay.qc.ca/pdf/Fiche_11.pdf

- [10] B. Ghernaout, D. Ghernaout, A. Saibab, Algae and cyanotoxins removal by coagulation/flocculation, (2010) 133–143
- [11] A. Demirbas, M.F. Demirbas, Algae energy, algae as a new source of biodiesel, London, 2010, P.76.
- [12] J. Morère, G. Michard, F. Martin, Dictionnaire de science biologie, Edition Doin, Paris, 1996, P. 195.
- [13] D. Champiat, J.-P. Larpent, Biologie des eaux (Méthodes et techniques), 1994, P. 150.
- [14] S. Gao, J. Yang, J. Tian, F. Ma, G. Tu, M. Du, Electro-coagulation–flotation process for algae removal, J. Hazard. Mater. 177 (2010) 336-343.
- [15] J.D. Plummer, J.K. Edzwald, Effect of ozone on algae as precursors for trihalomethane and haloacetic acid production, Environ. Sci. Technol. 35 (2001) 3661–3668.
- [16] C. Cardot, Génie de l’environnement-les traitements de l’eau, procédés physicochimiques et biologiques, Edition Ellipses, 1999, P.11.
- [17] R. Desjardins, Traitement des eaux, Edition de l’Ecole Polytechnique, Montréal, 1997, P. 34.
- [18] M. Abdelkader, Mémoire de magister, la mise en place d’un plan d’intervention en cas de sécheresse pour la wilaya d’Alger, Boumerdes, 2009.
www.umbb.dz/site-bib/ressources.../theses.../Meklati-abdel-kader.pdf
- [19] Ministère des Ressources en Eau. Le Secteur de l’eau en Algérie-Documents de synthèse, 2005.
- [20] F. Khemici, Etude hydrobiologique du barrage Lakhel en 2008.
<file:///H:/Documents%20and%20Settings/WEMI/Bureau/Etude-hydrobiologique-du-barrage-lakhel-en-2008.htm>
- [21] Traitement de potabilisation des eaux de surface Conf2006/63 (Société anonyme de gestion des eaux de Paris, Conf2006/63, P. 54.
- [22] Hutson et al. Algal interference with water treatment processes, Progress Phycological Res. 5 (1987)

www.eau-seine-normandie.fr/fileadmin/.../Rapport_05AEP03.pdf

[23] P. Mouchet P, V. Bonnelye, Solving algae problems: French expertise and world-wide applications, J. Water Suppl. Res. Technol.-Aqua 47 (1998) 125-141.

<http://upetd.up.ac.za/thesis/submitted/etd-12182006155052/unrestricted/04references.pdf>

[24] J.D. Plummer, J.K. Edzwald, Impacts of ozone on coagulation of algal-laden waters, WQTC, Salt Lake City, Utah, 5-9 November 2000.

www.eau-seine-normandie.fr/fileadmin/.../Rapport_05AEP03.pdf

[25] A-K. Lam, E-E. Prepas, D. Spink, S. Ehrudey, Chemical control of hepatotoxic phytoplankton blooms: implications for human health, 1995, P. 1845-1854.

http://www.waterboards.ca.gov/water_issues/programs/peer_review/docs/rb5_trihalomethane/hrudey_cv.pdf

[26] H. James, J-K. Fawell, Detection and removal of cyanobacterial toxins from freshwaters, Foundation for Water Research report, Ref. FR-0211, 1991, P.035.

<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0043135499000512>

[27] C.W.K. Chow, J. House, R.M.A. Velzeboer, M. Drikas, M.D. Burch, D.A. Steffensen, The effect of ferric chloride flocculation on cyanobacterial cells, Water Res. 32 (1998) 808-814.

http://www.wqra.com.au/_dyn/media/r390/system/attrib/file/331

[28] C.W.K. Chow, M. Drikas, J. House, M.D. Burch, R.M.A. Velzeboer, The impact of conventional water treatment processes on cells of cyanobacterium *Microcystis aeruginosa*, Water Res. 33 (1999) 3253-3262.

www.eau-seine-normandie.fr/fileadmin/.../Rapport_05AEP03.pdf

[29] N. Rastogi, S.R.Gandy, D.R.U. Knappe, Achieving effective algae removal prior to filtration: comparison of conventional treatment and microsand-enhanced flocculation, WQTC, Tampa, Florida, 31 October-3 November 1999.

[30] D. Ghernaout, Elimination des substances humiques et des germes indicateurs de contamination bactériologique par électrocoagulation assistée d'un traitement magnétique de l'eau, Thèse de Doctorat, Département de Chimie Industrielle, Université Saâd Dahlab de Blida, 2008, P.45.

[31] B. Eikebrokk, Coagulation-direct filtration of soft, low alkalinity humic waters, In: Conference proceedings, International IAWQ-IWSA Joint Specialist Group on Particle Separation Conference on Removal of HS from water; H. Degaard (Ed.), Trondheim, Norway, 24-26 June 1999, 65-72.

[32] M. Yan, D. Wang, S. You, J. Qu, H. Tang, Enhanced coagulation in a typical North-China water treatment plant, *Water Res.* 40 (2006) 3621-3627.

<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0043135406003423>

[33] S.D. Freese, D.J. Nozaic, M.J. Pryor, R. Rajogopaul, D.L. Trollip, R.A. Smith, Enhanced coagulation: a viable option to advance treatment technologies in the South African context.

<http://www.environmental-expert.com/Files/5302/articles/5885/art5.pdf>

[34] V. Uyak, I. Toroz, Désinfection by-product precursors reduction by various coagulation techniques in Istanbul water supplies, *J. Hazard. Mater* 141 (2007) 320-380.

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16905244>

[35] T. Mechahed, F. Yakoubi, Suivi hydrobiologique du Barrage de Keddara durant l'année 2009, EQSEAATN' 2010, Communication orale 7.

www.crna.dz/EQSEAATN-2010/RECUEIL.pdf

[36] F. Trichet, Cinétique de floculation, mesure et application au traitement des eaux, Thèse de Doctorat des sciences pharmaceutiques, Faculté de Montpellier, 1985.

[37] S. Ezziane, Traitement des eaux de rejets de l'Usine CERAMIT, Tenes, Département de Génie des Procédés, Université de Chleff, 2007, P. 50.

http://bu.univ-chlef.dz/doc_num.php?explnum_id=11

[38] T.R. Hund, C.R. O'Melia, Aluminium-fulvic acid interactions: mechanisms and applications, *J. Am. Water Works Assoc.* 80 (1988) 176-186.

[http://www.stb.dot.gov/filings/all.nsf/6084f194b67ca1c4852567d9005751dc/adb5b36df5f11507852578f8003d1d93/\\$FILE/230872.pdf](http://www.stb.dot.gov/filings/all.nsf/6084f194b67ca1c4852567d9005751dc/adb5b36df5f11507852578f8003d1d93/$FILE/230872.pdf)

[39] P.N. Johnson, A. Amirtharajah, Ferric chloride and alun as single and dual coagulant, *J. Am. Water Works Assoc.* (1983) 219-237.

<http://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=p-n.%20johnson%2C%20a.%20amirtharajah%2C%20ferric%20chloride%20and%20alum%20as%20single%20and%20dual%20coagulant%2C%201983%2>

[40] M.J. Semmens, K. Ayers, Removal by coagulation of trace organics from Mississippi river water, J. Am. Water Works Assoc, 77 (1985) 79-84.

www.sciencedirect.com/science/article/pii/S004313549600259X

[41] E. Lefebvre, B. Legube, Influence de la préoxydation sur la coagulation par le chlorure ferrique de la matière organique, J. Water Sci. 4 (1998) 499-520.

<http://id.erudit.org/iderudit/705113ar>

[42] S. Houli, A. Aouabed, F. Ammour, Etude du peuplement phytoplanctonique dans les eaux du Barrage Lakhel situé à l'Est de l'Algérie, 2007.

<http://www.univ-blida.dz/jstre/confs/houli.pdf>