

# UNIVERSITE SAÂD DAHLAB DE BLIDA

Faculté des Sciences de l'Ingénieur

Département de Chimie Industrielle



## MEMOIRE DE MASTER

En Chimie Industrielle

Spécialité : Génie de l'Environnement

Option : Procédés de traitement des effluents et protection de l'environnement

Elimination des micro-algues des eaux du Barrage Ghrib (Ain Defla) par coagulation améliorée, et étude physicochimique et algologique des Barrages Boukerdène (Tipaza) et Lakhel (Bouira)

Par

**Yassamine KELLALI**

Devant le jury composé de :

A. AOUABED	Professeur, U.S.D. Blida	Président
C. ZEDDAM	Maître – Assistante (A), U.S.D. Blida	Examinatrice
H. LARIBI	Maître – Assistante (A), U.S.D. Blida	Examinatrice
M.W. NACEUR	Professeur, U.S.D. Blida	Promoteur
D. GHERNAOUT	Maître de Conférences (A), U.S.D. Blida	Co-Promoteur

Blida, Octobre 2011

*A Mes Chers Parents,*

*A Ma Sœur.....*

## RESUME

**Résumé :** Les barrages Boukerdène, Lakhal ainsi que Ghrib, situés au Nord Ouest et au centre de l'Algérie, sont utilisés aussi bien pour l'alimentation en eau potable que pour l'irrigation. Les micro-algues (MA) et le phytoplancton sont capables de proliférer lorsque les conditions environnementales leur sont favorables. Ces phases de prolifération peuvent avoir des conséquences néfastes sur le fonctionnement des écosystèmes aquatiques mais aussi sur leur usage. L'objectif de notre travail, est d'avoir une meilleure connaissance sur la prolifération de ces MAs dans les eaux des barrages cités précédemment, de décrire et de quantifier ces espèces ainsi que d'étudier leur impact sur un traitement physicochimique, la coagulation conventionnelle (CC) et la coagulation améliorée (CA). Aussi, une étude physicochimique a été élaborée afin d'apprécier la qualité des eaux de ces barrages. Nos essais au laboratoire ont pu montrer que la teneur en MAs de ces eaux était élevée, et l'application de la CA sous des conditions contrôlées (dose de coagulant, acidification du milieu) aboutit à des meilleures performances par rapport à la CC.

**Mots clés:** Barrage Lakhal ; Barrage Boukerdène ; Barrage Ghrib ; Micro-algues, Coagulation améliorée ; Coagulation conventionnelle.

**Abstract :** The dams Boukerdène, Lakhal and Ghrib, located at Western North and the center of Algéria, are used as well for the drinking water supply as for the irrigation. The microalgues and the phytoplankton are able to proliferate when the environmental conditions are favorable for them. These phases of proliferation can have fatal consequences on the operation of the watery ecosystems but also on their use. The objective of our work is to have a some knowledge on the proliferation of these microalgea in water of stoppings quoted previously, and describe them and to quantify them these species like studying their impact on a physicochemical treatment, coagulation flocculation and Enhanced coagulation. Also, a physico-chemical study was elaborate in order to asses the of water of these stoppings. Our tests laboratory could show that the content of microalgues of this water was raised, and the application of coagulation-flocculation and the coagulation improved under controlled conditions (amount of coagulant, acidification of the medium) leads thus to potentials in consumption in coagulant raised because of presence of many pollutants.

**Keywords:** Lakhal stopping, Boukerdène stopping, Ghrib Stopping, algae, microalgues, Enhanced coagulation, coagulation-flocculation, parameters physico-chemical.

**ملخص:** تقع سدود بوكردان (تبيازة) ، لكحل (بويرة) وغريب (عين الدفلة) في وسط و شمال غرب الجزائر، و تستخدم هذه السدود خاصة لمياه الشرب و أيضا لأغراض الري . تستطيع الطحالب و الطحالب الدقيقة و كذا العوالق النباتية على الانتشار عندما تكون الظروف البيئية ملائمة. و قد تكون لمراحل انتشارها عواقب سلبية على سير عمل النظم البيئية المائية، و كذلك على استخدامها. الهدف من دراستنا هو الحصول على مفهوم أفضل حول انتشار هذه الطحالب في مياه السدود المذكورة أعلاه، كذلك وصف هذه الأنواع وتحديدتها ودراسة تأثيرها على المعالجة الفيزيائية و الكيميائية لمياه السدود باستعمال طريقة التلبد و التخثر، و عملية تحسين التخثر. إضافة إلى ما سبق، قمنا أيضا بدراسة الخصائص الفيزيائية والكيميائية لتقييم نوعية مياه هذه السدود. قد أظهرت نتائج تجاربنا على مستوى المخبر، أن نسبة محتوى الطحالب الدقيقة لهذه المياه كانت عالية، وتطبيق عملية التلبد و التخثر و كذا عملية تحسين التخثر تحت ظروف ملائمة (جرعة المخثر و التحميض) ، يؤدي إلى استهلاك مستويات عالية من المخثر بسبب وجود الكثير من الملوثات.

**كلمات البحث:** سد لكحل، سد بوكردان، سد غريب، الطحالب الدقيقة، الطحالب، العوالق النباتية، عملية تحسين التخثر، عملية التلبد و التخثر، الخصائص الفيزيائية والكيميائية.

## REMERCIEMENTS

Ce travail a été réalisé dans les Laboratoires de Milieux Poreux et Dispersés (Laboratoire 256) du Département de Chimie Industrielle, Faculté des Sciences de l'Ingénieur, et de l'Agence Nationale des Ressources Hydrique (ANRH) de Soumâa (Blida), sous la direction du Professeur Mohamed Wahib Naceur et Docteur Djamel Ghernaout, Enseignants-Chercheurs au même Département.

Tout d'abord, je tiens à remercier mon Directeur du Mémoire de Master le Professeur M.W. Naceur d'avoir accepté mon encadrement, et pour ses précieux conseils.

Je remercie mon Co-directeur de Mémoire le Docteur D. Ghernaout, Maître de Conférences (A), de m'avoir accueilli dans son Laboratoire 256 et pour sa disponibilité durant la période de mon stage, qu'il soit assuré de ma reconnaissance pour son aide qui m'a permise de mener à terme ce travail.

Je tiens également à remercier Monsieur Ali Aouabed, Professeur au Département de Chimie Industrielle de l'Université de Blida, pour l'intérêt qu'il a accordé à mon travail en acceptant de le juger, et de m'avoir honoré par sa présence comme Président du Jury de ma soutenance.

Je suis également très sensible à l'honneur qui m'a été fait par Madame Chaffia Zeddami, Maître-assistante (A), au Département de Chimie Industrielle ainsi que Mme Hassiba Laribi, Maître assistante (A) au même Département, d'avoir accepté d'être membres de jury pour ce travail. J'apprécie les remarques pertinentes et les commentaires constructifs dont elles m'avaient gratifiés.

Je remercie également Monsieur Mohamed Houari, Chef du même Département, pour ses encouragements et son aide précieuse tout au long de mes études au sein de notre Département.

Que Madame S. Semsari et le Pr A. Khelifa soient assurés de ma reconnaissance pour leurs encouragements et leurs conseils qui m'ont été d'un grand apport quant à la réalisation de mon travail.

Je remercie ma collègue Mlle Chahinèze Benblidia, pour sa collaboration, et son aide 'Merci beaucoup mon amie'.

Je remercie particulièrement Mlle Farida Khemici et M. Tabet du Laboratoire de Traitement Des Eaux de l'ANRH pour leur précieuse et indispensable aide à l'élaboration de ce travail.

Mes remerciements vont à l'ensemble des Laboratoires du Département de Chimie Industrielle et ceux de l'ANRH de Blida ainsi qu'à l'ADE de Chiffa, pour leur accueil, leur aide et l'expérience enrichissante qu'ils m'ont offerte.

Mes sincères remerciements s'adressent à Madame S. Kaloune et Madame Y. Belaroussi du C.T.D.A de Baba Hassan, pour m'avoir permis de faire les analyses utiles et nécessaires qui sans elles ce travail serait inconsistant.

Je tiens à remercier tous ceux et celles qui m'ont apporté de près ou de loin une aide quant à l'élaboration de ce travail.

Un grand merci à toute ma famille et particulièrement à mes chers parents et à ma petite sœur adorée, pour leur soutien moral durant les moments difficiles.

Un dernier grand merci à l'ensemble de la CREG, pour leurs encouragements incessants, leur soutien permanent, et de m'avoir encouragé à avancer dans mes études en post-graduation.

Merci pour tout...

# TABLE DES MATIERES

RESUME

REMERCIEMENTS

TABLE DES MATIERES

LISTE DES ILLUSTRATIONS, GRAPHIQUES ET TABLEAUX

INTRODUCTION

PARTIE I : SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE

1. GENERALITES SUR LES EAUX.....	4
1.1. Introduction .....	4
1.2. Ressources hydriques naturelles .....	4
1.3. Pollution et utilisation ultérieure de l'eau .....	7
2. ALGUES ET MICRO-ALGUES .....	10
2.1. Introduction .....	10
2.2. Définition .....	11
2.3. Distribution .....	12
2.4. Séquences saisonnières.....	13
2.5. Classification.....	13
2.6. Caractéristiques des groupes d'algues.....	12
2.7. Enjeux rencontrés par les microalgues dans les filières de traitement ....	21
2.8. Algues et microalgues toxines et leurs toxines.....	23
2.9. Intoxications dues aux cyanobactéries et des microalgues .....	26
3. TRAITEMENT DES EAUX.....	27
3.1. Coagulation- Flocculation.....	27
3.2. Elimination des algues particulières par coagulation/flocculation .....	29
3.3. Etape de la clarification filtration.....	30
3.4. Coagulation améliorée .....	30

PARTIE II : EXPERIMENTATIONS

4. MATERIELS ET METHODES.....	33
4.1. Introduction .....	33
4.2. Analyses physico chimiques du barrage Lakhal, Ghrib, Boukerdène et hydrobiologiques du barrage Lakhal et Boukerdène .....	34

4.3. Elimination des microalgues des eaux de barrage Ghrib par le procédé coagulation améliorée .....	36
5. RESULTATS ET INTERPRETATIONS	45
5.1. Analyses physicochimiques des Barrages Lakhel et Ghrib et hydrobiologiques des Barrage Lakhel et Boukerdène (Résultats).....	45
5.2. Elimination des micro-algues des eaux du Barrage Ghrib par coagulation améliorée (Résultats).....	66

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

LISTE DES ABREVIATIONS

ANNEXES

REFERENCES

## LISTE DES ILLUSTRATIONS, GRAPHIQUES ET TABLEAUX

<b>Figure 1.1</b> : Eutrophisation de l'eau	9
<b>Figure 2.2</b> : <i>Scenedesmus quadricauda</i>	11
<b>Figure 2.3</b> : Les Chlorophytes non filamenteuses peuvent être isolées ou bien en colonies plus ou moins importantes	15
<b>Figure 2.4</b> : La desmidiée <i>Closterium</i> et <i>Pediastrum</i> une Chlorophyte coloniale	16
<b>Figure 2.5</b> : <i>Gyrosigma</i> et <i>Navicula</i> colorées au vert de méthyle qui met en évidence le noyau	17
<b>Figure 2.6</b> : <i>Cocconeis</i> et <i>Epithemia</i> une diatomée épiphyte	17
<b>Figure 2.7</b> : La diatomée filamenteuse <i>Melosira</i> et <i>Gomphonema</i> , une diatomée pédonculée	18
<b>Figure 2.8</b> : <i>Surirella spiralis</i> et <i>Tabellaria</i>	18
<b>Figure 2.9</b> : <i>Ceratium</i> , <i>Dinophysis</i> et <i>Peridinium</i>	19
<b>Figure 2.10</b> : Deux représentants du genre <i>Euglena</i> , noter la présence du stigma orangé.	19
<b>Figure 2.11</b> : Deux représentants du genre <i>Phacus</i> sp	20
<b>Figure 2.12</b> : <i>Merismopedia</i> et <i>Oscillatoria</i>	21
<b>Figure 2.13</b> : Forme d'une poussière verte à la surface des plants d'eau au mois d'Août	21
<b>Figure 2.14</b> : (a, b, c, d, e) Structure moléculaire de la microcystine	25
<b>Figure 2.15</b> : Structure moléculaire de la nodolarine	25
<b>Figure 2.16</b> : Structure moléculaire de la saxitoxine	26
<b>Figure 2.17</b> : Structure moléculaire de la cylindropermopsine	26
<b>Figure 4.18</b> : Situation géographique du Barrage Ghrib	35
<b>Figure 4.19</b> : Barrage Ghrib	35
<b>Figure 4.20</b> : Situation géographique du Barrage Lakhel	37
<b>Figure 4.21</b> : Barrage Boukerdène	38



<b>Figure 4.22</b> : Essai de coagulation/floculation (Jar-test)	40
<b>Figure 4.23</b> : pH mètre	41
<b>Figure 4.24</b> : Conductimètre	41
<b>Figure 4.25</b> : Microscope inversé	41
<b>Figure 4.26</b> : Chambre d'Utermhol	41
<b>Figure 4.27</b> : Essai de Jar-Test (coagulation)	42
<b>Figure 4.28</b> : Essai de Jar-Test (floculation)	43
<b>Figure 5.29</b> : Variations mensuelles de la température de l'air des eaux de barrages : Ghrib, Lakhel et Boukerdène	45
<b>Figure 5.30</b> : Variations mensuelles de la température des eaux de barrages : Ghrib, Lakhel et Boukerdène	46
<b>Figure 5.31</b> : Variations mensuelles du volume (Hm <sup>3</sup> ) des eaux de Barrages Ghrib, Lakhel et Boukerdène	47
<b>Figure 5.32</b> : Variations mensuelles du calcium (mg/L) des eaux de Barrages Ghrib, Lakhel et Boukerdène	47
<b>Figure 5.33</b> : Variations mensuelles du magnésium (mg/L) des eaux de Barrages Ghrib, Lakhel et Boukerdène	48
<b>Figure 5.34</b> : Variations mensuelles de la dureté (°F) des eaux des Barrages Ghrib, Lakhel et Boukerdène	48
<b>Figure 5.35</b> : Variations mensuelles de l'alcalinité (°F) des eaux des Barrages Ghrib, Lakhel et Boukerdène	49
<b>Figure 5.36</b> : Variations mensuelles du pH des eaux des Barrages Ghrib, Lakhel et Boukerdène	51
<b>Figure 5.37</b> : Variations mensuelles des bicarbonates (mg/L) des eaux des Barrages Ghrib, Lakhel et Boukerdène	51

<b>Figure 5.38</b> : Variations mensuelles de la turbidité (NTU) des eaux des Barrages Ghrib, Lakhel et Boukerdène	52
<b>Figure 5.39</b> : Variations mensuelles de la silice (mg/L) des eaux de Barrages Ghrib, Lakhel et Boukerdène	52
<b>Figure 5.40</b> : Variations mensuelles de la conductivité électrique ( $\mu\text{s}/\text{cm}$ ) des eaux des Barrages : Ghrib, Lakhel et Boukerdène	52
<b>Figure 5.41</b> : Variations mensuelles des nitrates (mg/L) des eaux des Barrages : Ghrib, Lakhel et Boukerdène	54
<b>Figure 5.42</b> : Variations mensuelles des nitrites (mg/L) des eaux des Barrages : Ghrib, Lakhel et Boukerdène	54
<b>Figure 5.43</b> : Variations mensuelles de l'ammonium (mg/L) des eaux des Barrages : Ghrib, Lakhel et Boukerdène	55
<b>Figure 5.44</b> : Variations mensuelles des phosphates des eaux des Barrages : Ghrib, Lakhel et Boukerdène	55
<b>Figure 5.45</b> : Variations mensuelles des résidus secs (mg/L) des eaux des Barrages : Ghrib, Lakhel et Boukerdène	56
<b>Figure 5.46</b> : Variations mensuelles du sodium (mg/L) des eaux des Barrages : Ghrib, Lakhel et Boukerdène	56
<b>Figure 5.47</b> : Variations mensuelles du potassium (mg/L) des eaux des Barrages : Ghrib, Lakhel et Boukerdène	57
<b>Figure 5.48</b> : Variations mensuelles des sulfates (mg/L) des eaux des Barrages : Ghrib, Lakhel et Boukerdène	57
<b>Figure 5.49</b> : Variations mensuelles des chlorures (mg/L) des eaux des Barrages : Ghrib, Lakhel et Boukerdène	58
<b>Figure 5.50</b> : Variations mensuelles de la M.O des eaux des Barrages : Ghrib, Lakhel et Boukerdène	58

<b>Figure 5.51 :</b> Variations mensuelles de la DCO des eaux de Barrages : Ghrib, Lakhel et Boukerdène	60
<b>Figure 5.52 :</b> Variations mensuelles de l'oxygène (mg/L) des eaux de Barrages : Ghrib, Lakhel et Boukerdène	60
<b>Figure 5.53 :</b> Variations mensuelles du pourcentage de l'Oxygène des eaux de Barrages : Ghrib, Lakhel et Boukerdène	61
<b>Figure 5.54 :</b> Comparaison entre la variation du dénombrement des micro-algues contenues dans les eaux de Barrages : Ghrib, Lakhel et Boukerdène du mois de Janvier jusqu'au mois d'Août	62
<b>Figure 5.55 :</b> Variation de la réduction de la turbidité des eaux du Barrage Lakhel en fonction de la dose du coagulant (alun et chlorure ferrique)	67
<b>Figure 5.56 :</b> Variation du pH des eaux du Barrage Lakhel en fonction de la dose du coagulant (alun et chlorure ferrique)	68
<b>Figure 5.57 :</b> Variation de la conductivité électrique des eaux du Barrage Lakhel en fonction de la dose du coagulant (alun et chlorure ferrique)	68
<b>Figure 5.58 :</b> Variation du taux d'élimination des micro-algues des eaux du Barrage Lakhel en fonction de la dose du coagulant (alun et chlorure ferrique)	69
<b>Figure 5.59 :</b> Réduction de la turbidité de l'eau du B.Ghrib en fonction de la concentration d'alun par coagulation classique (du mois de Février jusqu'au mois de Mai)	70
<b>Figure 5.60 :</b> Variation du pH de l'eau du B.Ghrib en fonction de la dose d'alun par coagulation classique (du mois de Février jusqu'au mois de Mai)	71
<b>Figure 5.61 :</b> Variation de la conductivité électrique de l'eau du B.Ghrib en fonction de la dose d'alun par coagulation classique (du mois de Février jusqu'au mois de Mai)	71
<b>Figure 5.62 :</b> Réduction des micro-algues contenues dans l'eau du B.Ghrib en fonction de la dose d'alun par coagulation classique (du mois de Février jusqu'au mois de Mai)	72
<b>Figure 5.63 :</b> Variation de la réduction de la turbidité et micro-algues et évolution du pH, de la conductivité électrique pour l'eau du Barrage Ghrib (pH ajusté par l'acide sulfurique et l'acide chlorhydrique) par coagulation améliorée (durant le mois de Février)	73

<b>Figure 5.64 :</b> Variation de la réduction de la turbidité et micro-algues et évolution du pH, de la conductivité électrique pour l'eau du Barrage Ghrib (pH ajusté par l'acide sulfurique et l'acide chlorhydrique) par coagulation améliorée (durant le mois de Mars)	74
<b>Figure 5.65 :</b> Variation de la réduction de la turbidité et micro-algues et évolution du pH, de la conductivité électrique pour l'eau du Barrage Ghrib (pH ajusté par l'acide sulfurique et l'acide chlorhydrique) par coagulation améliorée (durant le mois d'Avril)	75
<b>Figure 5.66 :</b> Variation de la réduction de la turbidité et micro-algues et évolution du pH, de la conductivité électrique pour l'eau du Barrage Ghrib (pH ajusté par l'acide sulfurique et l'acide chlorhydrique) par coagulation améliorée (durant le mois de Mai)	76
<b>Figure 5.67 :</b> Image MEB du précipité (Dépôt mois de Février)	77
<b>Figure 5.68 :</b> Image MEB du précipité (Dépôt mois de Mars)	78
<b>Figure 5.69 :</b> Image MEB du précipité (Dépôt mois d'Avril)	78
<b>Figure 5.70 :</b> Image MEB du précipité (Dépôt mois de Mai)	78
<b>Tableau 1.1 :</b> Classification des éléments rencontrés dans l'eau	6
<b>Tableau 2.2 :</b> Caractéristiques importantes des groupes d'algues	14
<b>Tableau 2.3 :</b> Caractéristiques morphologiques de l'Ordre des Chlorophytes	14
<b>Tableau 2.4 :</b> Micro-algues formant des efflorescences	22
<b>Tableau 2.5 :</b> Espèces toxiques fréquemment rencontrées dans la littérature et leurs toxines	23
<b>Tableau 5.6 :</b> Algues répertoriées au niveau du Barrage Boukerdène au cours de la période du mois de Janvier jusqu'au mois d'Avril	64
<b>Tableau 5.7 :</b> Algues répertoriées au niveau du Barrage Boukerdène au cours de la période du mois de Mai jusqu'au mois d'Août	64
<b>Tableau 5.8 :</b> Algues répertoriées au niveau du Barrage Lakhel au cours de la période du mois de Janvier jusqu'au mois d'Avril	65
<b>Tableau 5.9 :</b> Algues répertoriées au niveau du Barrage Lakhel au cours de la période du mois de Mai jusqu'au mois d'Août	66

## INTRODUCTION

L'Algérie, comme les autres pays méditerranéens, se caractérise par des ressources hydriques rares qui doivent être gérées avec un soin délicat pour garantir leur usage durable [1]. En effet, de ces ressources hydriques on trouve les barrages qui, par le biais des oueds, reçoivent d'une part les rejets de plusieurs agglomérations et d'autre part les engrais agricoles [2]. Ces dernières années, ces rejets des eaux usées d'origine urbaine et industrielle ont augmenté dans les oueds. Ceci constitue une menace pour la qualité des eaux des barrages. Si le phénomène persiste encore, des retenues de barrages seront polluées en entraînant leur enrichissement en éléments nutritifs provoquant une perturbation de ce système lacustre [2-3]. Cependant, l'accroissement rapide des activités humaines a provoqué au cours de ces dernières années une eutrophisation croissante de ces ressources [2]. En plus de ces rejets, 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. Elle peut être déclenchée par l'écoulement des engrais chimiques depuis les terres cultivées [1]. Le dépôt des sédiments dans les retenues des barrages génère l'eutrophisation des eaux. L'eutrophisation est l'enrichissement d'une eau en sels minéraux (nitrates et phosphates notamment) entraînant des déséquilibres écologiques comme la prolifération de la végétation aquatique et l'appauvrissement en oxygène dissous. Le processus de vieillissement passera une retenue d'un état de faible niveau nutritif (oligotrophique) à un état intermédiaire (mésotrophique), puis à un état de haut niveau nutritif (eutrophique). Le phosphore et l'azote sont des substances nutritives limitant le cycle de croissance de la végétation dans la retenue. Le phosphore est transporté en solution dans les retenues et se fixe aux sédiments. Une fois déposés dans la retenue, les sédiments libèrent le phosphore et contribuent au processus d'eutrophisation [3-4]. Le processus d'eutrophisation développe une prolifération d'algues vertes, ce sont des micro-algues allant à l'épuisement des réserves en oxygène des eaux profondes et des modifications de la composition chimique de l'eau [1]. Cette prolifération des algues unicellulaires et de cyanobactéries représentées principalement par plusieurs espèces dont le caractère toxique n'est plus à démontrer [3, 5, 6]. Elle constitue la manifestation la plus caractéristique de ce dysfonctionnement [7].

D'autre part, la 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 [8]. En effet, la prolifération d'algues et les métabolites qu'elles sécrètent peuvent être à l'origine de perturbations sur les filières de

traitement d'eau et ainsi dégrader la qualité de l'eau destinée à la consommation humaine. Notamment, des composés responsables de goût et d'odeur et des toxines d'algues sont susceptibles d'être retrouvés dans l'eau traitée car les installations conventionnelles de traitement d'eau potable ne sont pas nécessairement dimensionnées pour retenir ces composés dissous dans l'eau [8].

Par conséquent, les traitements mis en œuvre doivent, donc, être adaptés à l'élimination des algues [8]. Différents procédés de traitements ont été proposés. D'une manière générale, ces traitements se répartissent comme suit [9] :

- Les procédés physicochimiques comme la coagulation/floculation (C/F) [10, 11, 12] et la neutralisation avec la chaux [14, 15, 16],
- Les procédés électrochimiques comme l'électrocoagulation [17],
- Les procédés adsorptionnels comme l'adsorption sur charbon actif [18, 19, 20] et l'adsorption sur l'argile [20-21].

De plus, lors du dimensionnement de la filière de production d'eau potable, la qualité de la ressource en termes d'algues n'est pas toujours bien connue, étant donné que la présence des algues évolue en fonction de la dégradation de la qualité biologique des ressources en eau [8].

D'autre part, le procédé de C/F, composant essentiel du traitement conventionnel de l'eau, est très complexe. Pour trouver la concentration du coagulant à injecter dans l'eau brute, l'opérateur de la station de traitement des eaux potables se trouve obligé de faire des essais de C/F à l'aide du jar test. La complexité de la C/F peut s'attribuer à l'influence de quelques paramètres physicochimiques ainsi que bactériologiques et algologiques sur ce procédé, ces paramètres peuvent changer d'un jour à l'autre dans l'eau brute [22].

Le présent travail porte sur l'étude des micro-algues et leur élimination des eaux de différents barrages par C/F qui constitue l'étape primordiale au cours de laquelle le traitement conventionnel se réalise. Aussi, cette étude porte comme objectif d'identifier les populations algales, rencontrées au cours de l'année 2011, dans l'eau du Barrage de Ghrib. Un autre objectif est d'avoir une connaissance approfondie sur l'écologie des différentes classes algales vis leurs sérieux problèmes de toxicité sur la santé humaine.

Les résultats des différentes expérimentations performées, basées essentiellement sur le jar test, ainsi que leurs interprétations et les applications qui peuvent en découler sont présentés après un rappel des connaissances déjà acquises sur le traitement des eaux et l'élimination des micro-algues. En dernier lieu, nous terminons ce mémoire avec une conclusion générale portant les principaux résultats et dressant les perspectives ouverts par cette étude.

# CHAPITRE 1

## GENERALITE SUR LES EAUX

### 1.1. Introduction

Le caractère banal de l'eau qui nous environne, fait parfois oublier que ce liquide qui nous est si familier s'avère en réalité, par ses propriétés si particulières, à la fois le fluide le plus indispensable à la vie et celui dont la complexité est la plus remarquable.

La répartition de l'eau sur la Terre est de 1 milliard 340 millions de km<sup>3</sup> (soit  $1,34 \times 10^{18}$  m<sup>3</sup>), un volume impossible à se représenter et pourtant c'est la quantité totale d'eau se trouvant sur notre planète, cela sur une surface de l'ordre de 510 millions de km<sup>2</sup>.

Les océans, les mers et lacs salés constituent plus de 97 % de ce volume total d'eau ; cette eau salée s'avère très difficilement utilisable car les dispositifs de dessalement conduisent à des coûts de l'eau très onéreux voir prohibitifs. Il ne reste en définitive sur la terre que de l'ordre de 2,8 % sous forme d'eau douce dont 2,2% sur les glaciers et calottes polaires (donc pas utilisables) et seulement 0,6 % qui sont répartis entre l'atmosphère et les eaux continentales constituées par les eaux superficielles (rivières, fleuves et lacs) et les eaux souterraines accumulées dans le sol et sous-sol. Le véritable problème qui se pose est en réalité l'accessibilité de ces réserves en eau douce et leur localisation très irrégulièrement répartie, ce qui explique que souvent certaines régions du globe sont très défavorisées [23-24].

### 1.2. Ressources hydriques naturelles

L'homme a recours généralement, pour satisfaire ses propres besoins (production d'eau pour la consommation humaine) et permettre l'usage de l'eau dans ses diverses activités industrielles et agricoles, à deux types de ressources naturelles:

— les eaux superficielles ou de surface (de rivières, fleuves et lacs, barrages...);

— les eaux souterraines.

L'eau à l'état naturel, superficielle ou souterraine, n'est jamais « pure » ; c'est un milieu vivant qui se charge très rapidement de divers éléments en contact des milieux qu'elle traverse et sur lesquels elle ruisselle.



Ces éléments peuvent être présents dans l'eau sous les trois états (gaz, solide, liquide), posséder un caractère organique ou minéral et à l'état particulaire avoir des dimensions très variables. Une classification très succincte des éléments rencontrés dans l'eau permet d'établir le Tableau 1.1.

Nous procéderons ci-après à une analyse de l'origine et des caractéristiques générales (sur le plan de la qualité) de la ressource.

#### 1.2.1. Eaux superficielles :

Elles sont constituées par toutes les eaux, circulantes ou stockées à la surface des continents [25].

Elles ont pour origine soit les eaux de ruissellement, soit les nappes profondes dont l'émergence constitue une source de ruisseau puis de rivière.

Ces eaux se rassemblent en cours d'eau, caractérisés par une surface de contact eau-atmosphère toujours en mouvement et une vitesse de circulation appréciable.

Elles peuvent se trouver stockées en réserves naturelles (étangs et lacs) ou artificielles (retenues, barrages) caractérisées par une surface d'échange eau-atmosphère quasiment immobile, une profondeur qui peut être importante et un temps de séjour souvent élevé.

Il s'agit d'une ressource facilement accessible mais malheureusement fragile et vulnérable, la pollution la rendant souvent impropre à l'utilisation en l'absence d'un traitement préalable [26].

Quelques notions d'hydrologie physique sont rappelées [26].

On appelle bassin versant ou bassin hydrologique une zone de relief dont les eaux de ruissellement de surface s'écoulent et se rassemblent vers un exutoire unique. Il est déterminé par la configuration géographique et délimité par une ligne de crête et de partage des eaux.

**Tableau 1.1** Classification des éléments rencontrés dans l'eau.

État ou forme des éléments	Nature des éléments											
Matières en suspension	Sables, argiles, boues diverses. Roches en débris, matières organiques, minérales et végétales. Débris divers insolubles.											
Matières en émulsion	Matières organiques colloïdales. Huiles minérales, goudrons, suies, pétrole, argiles colloïdales.											
Matières organiques solubilisées	Tourbes, déchets végétaux, matières azotées. Produits de synthèse organique solubles, etc.											
Sels minéraux	<table style="display: inline-table; border: none; vertical-align: middle;"> <tr> <td style="border: none;">carbonates</td> <td rowspan="5" style="border: none; text-align: center; vertical-align: middle;">}      de      {</td> <td style="border: none;">calcium</td> </tr> <tr> <td style="border: none;">bicarbonates</td> <td style="border: none;">magnésium</td> </tr> <tr> <td style="border: none;">sulfates</td> <td style="border: none;">sodium</td> </tr> <tr> <td style="border: none;">chlorures</td> <td style="border: none;">potassium</td> </tr> <tr> <td style="border: none;">nitrates, etc.</td> <td style="border: none;">ammonium, etc.</td> </tr> </table>	carbonates	}      de      {	calcium	bicarbonates	magnésium	sulfates	sodium	chlorures	potassium	nitrates, etc.	ammonium, etc.
carbonates	}      de      {	calcium										
bicarbonates		magnésium										
sulfates		sodium										
chlorures		potassium										
nitrates, etc.		ammonium, etc.										
Organismes vivants d'origine végétale, animale, bactérienne et virale	Plancton, algues, champignons, vers, larves d'insectes, larves, bactéries, amibes, virus, etc.											
Gaz	Oxygène, azote, dioxyde de carbone, ammoniac.											

La composition chimique des eaux de surface [25] dépend de la nature des terrains traversés par l'eau durant son parcours dans l'ensemble des bassins versants. Au cours de son cheminement, l'eau dissout les différents éléments constitutifs des terrains. Par échange à la surface eau-atmosphère, l'eau va se charger en gaz dissous (oxygène, azote, dioxyde de carbone). Les eaux de surface se caractérisent par :

Les variations saisonnières (car climatique) et, à degré moindre, journalières des paramètres physiques: température, turbidité et coloration. Les concentrations en matières solides finement dispersées ou à l'état colloïdal peuvent être importantes tout en étant aléatoires suite à des pluies soudaines, des orages et des pollutions accidentelles ;

— la présence fréquente de matières organiques d'origine naturelle provenant de la décomposition des organismes animaux et végétaux après leur mort ;

— le développement plus ou moins important de phytoplancton (algues) et zooplancton et, dans certaines conditions, d'une vie aquatique intense;

— la fragilité de cette ressource très vulnérable à la pollution d'origine urbaine, industrielle et agricole. On y rencontre par suite très souvent une micropollution minérale (métaux lourds) ou organique (hydrocarbures, solvants, phénols, pesticides, herbicides, etc.) pouvant avoir un caractère toxique et des substances azotées et phosphorées à l'origine des phénomènes d'eutrophisation.

Sur le plan bactériologique, les eaux sont contaminées plus ou moins par des bactéries (dont certaines pathogènes) et des virus [25,27].

### 1.2.2. Eaux souterraines

#### 1.2.2.1. Définitions

Les eaux qui ne sont ni ré évaporées, ni retournées à la mer par ruissellement s'infiltrant dans le sol et le sous-sol et s'y accumulent pour constituer les eaux souterraines.

La pénétration et la rétention des eaux dans le sol dépendent des caractéristiques des terrains en cause et notamment de leur structure qui peut permettre la formation de réservoirs aquifères appelés nappes.

On appelle nappe aquifère une zone de terrain poreux et perméable formant roche magasin limitée à la partie inférieure par une roche imperméable formant le fond du réservoir [27].

### 1.3. Pollution et utilisation ultérieure de l'eau

L'évolution spectaculaire que connaît l'environnement urbain et industriel pose dans de nombreux pays le problème de l'eau [27].

L'approvisionnement en eau (par les précipitations notamment) écarte à priori tout risque majeur de pénurie de la ressource [27].

Qui dit pollution, pense irrémédiablement industrie et éventuellement agriculture. Le raccourci est un peu facile toutefois. Il est inexact surtout. Nous sommes tous des pollueurs... chacun à sa mesure certes. Les ressources en eau sont exposées en réalité à plusieurs types de pollution [27]. L'industrie, c'est vrai, rejette bon nombre de substances qui vont polluer nos rivières et nos nappes, parfois même d'une manière d'autant plus pernicieuse que l'on n'en connaît pas les effets à long terme. Les rejets industriels renferment des produits divers sous forme insoluble ou soluble d'origine minérale et/ou organique, à caractère plus ou moins biodégradable et parfois toxique même à très faible concentration (comme par exemple, les métaux lourds, les composés cyanurés ou phénolés, les pesticides et hydrocarbures divers...).

L'agriculture utilise des engrais chimiques azotés et phosphorés, des produits phytosanitaires destinés à protéger les cultures et à faciliter la vie des agriculteurs. Ces

produits parfois toxiques lorsqu'ils sont utilisés en excès vont contaminer en période de pluie, les eaux de surface par lessivage et ruissellement et les nappes par infiltration. La pollution domestique de nos eaux usées urbaines (mélange d'eaux vannes et d'eaux ménagères) est essentiellement constituée de matières organiques biodégradables certes, mais grandes consommatrices d'oxygène, de germes pathogènes (cause d'épidémies) et de produits chimiques (lessives détergentes riches en phosphates) à l'origine des phénomènes d'eutrophisation [24].

Les retenues recueillent des eaux stagnantes, et la très grande profondeur ne favorise pas la pénétration de l'oxygène de l'air jusqu'aux sédiments accumulés sur le fond. Cela favorise la remise en circulation de certains éléments chimiques contenus dans les vases (dont le phosphore qui à son tour entraînera le développement des végétaux). Si les quantités de phosphore sont excessives, alors le développement végétal deviendra lui aussi excessif, la biomasse sera principalement constituée par des algues microscopiques en suspension, souvent de couleur verte, et dont l'aspect évoque de la peinture. Ce phénomène est désigné par le terme « eutrophisation ». En surface, les algues se développent sur une épaisseur de plusieurs mètres, opacifiant complètement la tranche d'eau où le taux d'oxygène dissous et le pH du milieu subissent des variations importantes entre le jour et la nuit (alternance entre la photosynthèse et la respiration de la végétation), ce qui est préjudiciable pour les autres espèces et entraîne une réduction importante du pouvoir épurateur de tout le système (Figure 1.1) [28].

D'une manière générale, les usages de l'eau seront affectés par l'eutrophisation : colmatage des filtres des unités de production d'eau potable et mauvais goût de l'eau généré par les algues ou par leur décomposition [28].



**Figure 1.1** Eutrophisation de l'eau [28]

Par ailleurs, il ne faut pas oublier la pollution générée par les eaux pluviales en particulier en périodes orageuses. L'eau de pluie se charge d'impuretés au contact de l'air (fumées industrielles) puis en ruisselant sur les toits et les chaussées des villes, de produits divers (huiles de vidange, carburants, métaux lourds, etc.) [28].

En définitive, il faut considérer que si l'on veut éviter, sous l'effet des rejets polluants de dégrader gravement l'environnement, il est nécessaire de préserver le mieux possible notre patrimoine naturel, constitué par nos ressources en eau [24].

L'eau qui s'accumule sur des dizaines de mètres à l'amont d'un barrage est stagnante, de ce fait, les espèces animales et végétales inféodées aux eaux courantes disparaissent. En outre, à partir des eaux stagnantes de retenues, des espèces extérieures pourront s'implanter plus facilement et se développer dans les milieux d'eaux vives au détriment des espèces indigènes. On assiste globalement à une modification et une homogénéisation des milieux, ce qui appauvrit la biodiversité [24].

## CHAPITRE 2

### ALGUES ET MICRO-ALGUES

#### 2.1. Introduction

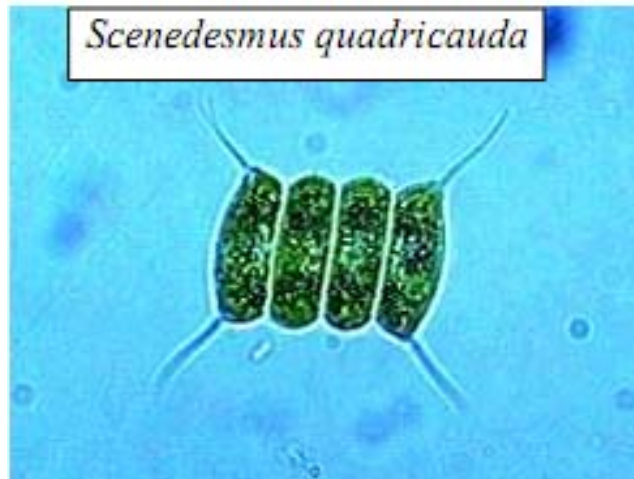
Dans tous les cours d'eau, les surfaces immergées sont recouvertes d'un substrat plus ou moins visqueux constitué de microorganismes (micro-algues, protozoaires, bactéries, etc.) empaquetés dans des substances gélatineuses. Ce sont des biofilms naturels, qui interviennent dans le fonctionnement des rivières. En effet, les polluants toxiques ont des impacts non seulement sur l'environnement, mais aussi sur la santé humaine, avec des conséquences économiques non négligeables [29].

La diversité des algues d'eau douce est très grande, et par exemple il existe plus de 2100 espèces pour la classe des diatomophycées. Elles ont fait l'objet d'une proposition de classification par Bourrelly selon 7 embranchements (systématique algale) qui se subdivisent en classe, ordre, famille, genre, et espèce [30-31, 8].

Les micro-algues sont des organismes végétaux de taille microscopique (cellules de quelques microns), monocellulaires, parfois groupés en colonies ou multicellulaires (filaments). Leur habitat est le plus souvent aquatique (eau de mer et eau douce), leur multiplication le plus souvent est par voie non sexuée, la nutrition est autotrophe (photosynthèse), parfois possibilité de nutrition par voie hétérotrophe et mixotrophe. Ce sont des organismes eucaryotes (organites cellulaires : noyau, chloroplaste, mitochondries, etc.) pour la plupart ou procaryotes (pas d'organites cellulaires) dans le cas des cyanobactéries (algues bleues) [30-31, 8].

La classification usuelle se fait sur la base de la couleur (contenu pigmentaire): chlorophycées (algues vertes), rhodophycées (algues rouges), cyanophycées (algues bleues ou cyanobactéries). Leur croissance est très rapide, elle se fait par division cellulaire: plusieurs divisions par jour en conditions favorables (production rapide de biomasse) [32].

Les algues présentant une forte affinité pour les milieux eutrophisés ; ce sont essentiellement des algues vertes qui appartiennent aux groupes des chlorococcales et des volvocales, mais les milieux eutrophes conviennent aussi à quelques espèces de diatomées et d'eugléniens. Il s'agit essentiellement de *Scenedesmus falcatus* et de *S. quadricauda*, espèces mixotrophes qui présentent une forte affinité pour l'azote ammoniacal [33].



**Figure 2.2** *Scenedesmus quadricauda* [33]

## 2.2. Définition

Les algues sont définies comme étant des organismes eucaryotes (excluant les cyanobactéries qui sont des procaryotes photosynthétiques) dépourvus de racines, de tige (absence de tissus vasculaires) et de feuilles, mais possédant de la chlorophylle ainsi que d'autres pigments accessoires pour réaliser la photosynthèse productrice d'oxygène [34].

Les algues sont différenciées par deux groupes définis selon leur taille : les microalgues et les macroalgues [36].

Les microalgues sont si petites qu'on ne peut les voir qu'au microscope. Les macroalgues sont visibles à l'œil nu et depuis le haut de l'estran jusqu'à 50 m de profondeur et même au-delà. Certaines peuvent se retrouver en suspension dans l'eau [36].

Les algues utilisent la lumière et les éléments nutritifs de l'eau de mer pour produire leur nourriture, c'est ce Stipe qu'on appelle la photosynthèse. La majorité se compose d'un crampon et d'une fronde, certaines possèdent un stipe. Trois types d'algues sont identifiés en fonction de leur couleur (algues brunes, rouges, vertes) [36].

Les groupes de micro-algues aquatiques (phytoplancton), fréquemment rencontrés dans la littérature dédiée au traitement de l'eau, sont :

- les chlorophytes ou algues vertes (ex : *Scenedesmus*, *Pediastrum*),
- les chromophytes ou algues colorées dont la classe des diatomées (ex : *Navicula*, *Synedra*, *Stephanodiscus*) et des chrysophyceae (ex : *Mallomonas*),
- les euglénophytes (ex : *Euglena*), et enfin

- les cyanophytes ou algues bleues (ex : *Planktothrix*, *Microcystis*, *Cylindrospermopsis*) [8, 34].

Les cyanobactéries (ex : algues bleues ou cyanophycées) sont généralement étudiées ensemble car bien que ne possédant pas de noyau, elles ont beaucoup d'affinités avec les algues vraies [8, 34].

Improprement appelées « *algues bleues* », les cyanobactéries sont des organismes autotrophes qui, comme les algues ou les plantes, synthétisent des sucres grâce à un appareil photosynthétique utilisant le CO<sub>2</sub> de l'air, la lumière et l'eau. Elles s'accumulent facilement à la surface des plans d'eau, pour former des fleurs d'eau ou « *bloom* ». Peu sensibles à la lumière, grâce à des pigments résistants aux fortes irradiations solaires, elles survivent également sous de faibles intensités lumineuses, grâce à des pigments chlorophylliens qui absorbent tout le spectre visible. En terme de nutriments, elles ont une affinité pour l'azote et le phosphore plus élevée que celle de la plupart des microorganismes, d'où leur propension à dominer dans des conditions où ces facteurs sont limitants pour d'autres espèces [35].

Les algues et les cyanobactéries sont parmi les premiers organismes apparus sur Terre. Aux Etats-Unis, au voisinage des grands lacs, on a trouvé des cyanobactéries fossiles ressemblant à des oscillaires dans des terrains cambriens de 2 milliards d'années [34].

En général, les algues sont classées dans le groupe des thallophytes, dans le règne végétal, mais du fait de la diversité des formes, certaines espèces phytoplanctoniques sont classées dans le règne des protistes qui regroupe les eucaryotes unicellulaires [34].

La taille des algues peut varier de la cellule microscopique unique, à quelques cellules en colonie et jusqu'à 75 mm (laminaires, sargasses) pour certaines formes multicellulaires [34].

### 2.3. Distribution

La plupart des algues se développent en milieu aquatique d'eau douce, saline ou saumâtre, mais certaines sont terrestres et sont capables de se développer à même le sol ou sur le tronc des arbres [34].



Dans l'eau, les algues, ainsi que de petites plantes, forment le phytoplancton ; le zooplancton étant constitué par des animaux et des protistes non photosynthétiques. Certaines algues se développent sur des rochers humides, sur le tronc des arbres (comme la *Pleurococcus*, une chlorophyte), ou sur un sol mouillé (comme la *Nostoc*, une cyanobactérie). D'autres sont des endosymbiotes de protozoaires (*Zooxanthelles* chez *Paramecium bursaria*), de plantes (*Anabaena* chez *Azolla*, *Cycas*), d'hydriaires, de bryozoaires, de mollusques, vers ou coraux chez lesquels elles se développent dans le cytoplasme. Des algues vivent en symbiose avec des champignons pour former les lichens [34].

#### 2.4. Séquences saisonnières

L'observation de succession de familles d'algues montre, d'une façon générale :

- la dominance des chromophytes, ou algues brunes, jusqu'à début Juin. Il s'agit majoritairement de la classe des diatomophycées. Ces algues, qui sont adaptées aux températures basses et aux forts débits, constituent souvent les espèces majoritaires au

printemps. Une algue telle que *Stephanodiscus hantzschii* a été identifiée comme constituant l'espèce majoritaire dans la formation de blooms.

- une présence prépondérante des chlorophycées ou algues vertes entre Juin et Septembre car leur taux de croissance à température élevée est plus fort que celui des diatomées. La participation de ces algues peut atteindre 90% du total. Notons que le genre *Scenedesmus* est une constante du phytoplancton identifié et souvent en forte proportion.

- les cyanophytes, ou algues bleues, apparaissent en proportion conséquente à partir de la fin de Juillet jusqu'à l'automne [8].

Cependant, ce schéma général doit être pris avec précaution car chaque ressource présente des caractéristiques différentes. C'est ainsi que l'étude réalisée par Prados et Belotte, montre que pour plusieurs sites les chlorophytes peuvent être les espèces dominantes jusqu'à fin Septembre/Octobre où elles peuvent être supplantées par des chromophytes. Quant aux cyanophytes, si elles sont souvent présentes à l'état larvé durant de longues périodes, elles ne constituent que ponctuellement les espèces dominantes [37,8].

#### 2.5. Classification

Il existe plusieurs classifications différentes, mais les algues peuvent être réparties dans sept embranchements distribués dans deux règnes (protistes, végétal) [34].

**Tableau 2.2** Caractéristiques importantes des groupes d'algues.

Embranchement (Règne)	Nom commun	Nombre d'espèces	Représentants	Pigments	Réserves	Paroi	Habitat
Chlorophytes (Protistes)	algues vertes	7500	<i>Chlorella</i> , <i>Scenedesmus</i> , <i>Spirogyra</i> , <i>Ulva</i>	Chloro. a,b Xanthophylles Carotènes	Sucres, amidon, fructane	Cellulose, mannanes, protéines, CaCO <sub>3</sub>	eau douce, saumâtre, salée et terrestre
Charophytes (Protistes)		250	<i>Chara</i> , <i>Nitella</i>	Chloro. a,b Xanthophylles Carotènes	amidon	Cellulose, CaCO <sub>3</sub>	eau douce et saumâtre
Euglenophytes (Protistes)	Euglènes	700	<i>Euglena</i> , <i>Phacus</i>	Chloro. a,b Xanthophylles Carotènes	paramylon, huiles, sucres	absente	eau douce, saumâtre, salée et terrestre
Chrysophytes (Protistes)	algues brun-jaune, vert-jaune et diatomées	6000	<i>Dinobryon</i> , <i>Surirella</i>	Chloro. a, C1, C2 Carotènes fucoxanthine, xanthophylles	Chrysolaminarine, huiles	Cellulose, silice, CaCO <sub>3</sub>	eau douce, saumâtre, salée et terrestre
Phacophytes (Plantes)	algues brunes	1500	<i>Laminaria</i> , <i>Fucus</i>	Chloro. a,b Xanthophylles Carotènes	laminarine, mannitol, huiles	cellulose, alginate, fucoïdane	eau salée et saumâtre
Rhodophytes (Plantes)	algues rouges	3900	<i>Gracilaria</i> , <i>Gelidium</i> , <i>Chondrus</i>	Chloro. a rarement d Xanthophylles carotènes, zéaxanthine, phycocyanine C, phycoérythrine	amidon floridéen	cellulose, xylanes, galactanes, CaCO <sub>3</sub>	eau douce, saumâtre et salée
Pyrrhophytes (Protistes)	dinoflagellés, dinophytes	1100	<i>Gymnodinium</i> , <i>Ceratium</i> , <i>Alexandrium</i>	Chloro. a, C1, C2, carotènes, fucoxanthine, péridinine, dinoxanthine	amidon, glycane, huiles	cellulose ou absente	eau douce, saumâtre ou salée
Cyanophytes (Procaryotes)	Cyanobactéries, algues bleues		<i>Anabaena</i> , <i>Nostoc</i> , <i>Microcystis</i>	chloro. a, allophycocyanines, phycocyanine, phycoérythrine, phycoérythrocyanine			

## 2.6. Caractéristiques des groupes d'algues

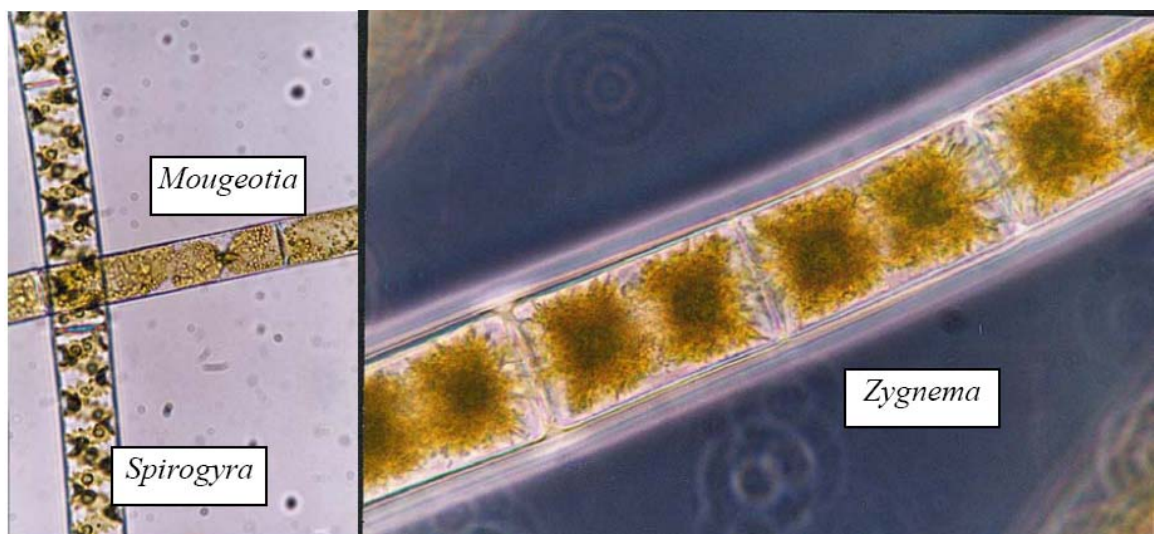
### 2.6.1. Chlorophytes ou algues vertes

Les chlorophytes, qui comportent 14 ordres et 521 genres, présentent différentes caractéristiques morphologiques présentées dans le Tableau 2.2 Ces caractéristiques sont susceptibles d'influer sur l'efficacité des traitements mis en œuvre sur une station d'eau potable [8].

**Tableau 2.3** Caractéristiques morphologiques de l'Ordre des Chlorophytes [38].

Ordre	Caractéristiques morphologiques
Chaetophorales	Formes filamenteuses ramifiées ou en thalle constitués par des paquets de cellules
Charales	Algues de grande taille
Chlorococcales	Formes unicellulaires ou coloniales, immobiles
Dichotomosiphonales	Formes filamenteuses, ramifiées
Oedogoniales	Formes filamenteuses. Filament avec anneaux de croissance
Siphonales	Thalles globuleux, plurinucléés
Sphaeropleales	Formes filamenteuses non ramifiées
Tetrasporales	Stade coloniale, immobile dominant ou unicellulaire immobile
Trentepohliales	Formes filamenteuses ou en disque
Ulothricales	Formes filamenteuses non ramifiées
Ulvales	Thalle foliacé ou tubulaire
Volvocales	Stade flagellé mobile dominant, unicellulaires ou coloniales
Zygnematales	Formes filamenteuses simples ou en formes unicellulaires

Elles présentent une grande diversité de forme, depuis le type unicellulaire jusqu'au type en colonie ou filaments. Certaines espèces ont un crampon qui leur permet de se fixer. Les algues vertes filamenteuses (zygnématales) forment des masses chevelues et plus ou moins gluantes au toucher dans les mares - leur développement est le plus important au printemps, mais elles sont présentes en toutes saisons dans les points d'eau bien éclairés : mares, étangs et même dans les bassins des jets d'eau en association avec d'autres algues filamenteuses comme la diatomée *Melosira* [34].



**Figure 2.3** Les Chlorophytes non filamenteuses peuvent être isolées ou bien en colonies plus ou moins importantes.



**Figure 2.4** La desmidiée *Closterium* et *Pediatrum* une Chlorophyte coloniale.

### 2.6.2. Charophytes

*Chara* et *Nitella* peuvent être confondues avec des plantes aquatiques car elles sont ramifiées. Elles peuvent recouvrir la vase des mares ou des ruisseaux peu profonds [34].

### 2.6.3. Diatomées et chrysophytes

Les diatomées forment la majeure partie du phytoplancton dans les zones les plus froides de l'océan et représentent la seule source d'alimentation pour les animaux vivant dans ces régions. On peut trouver jusqu'à 1 000 000 de diatomées par litre d'eau de mer [34].

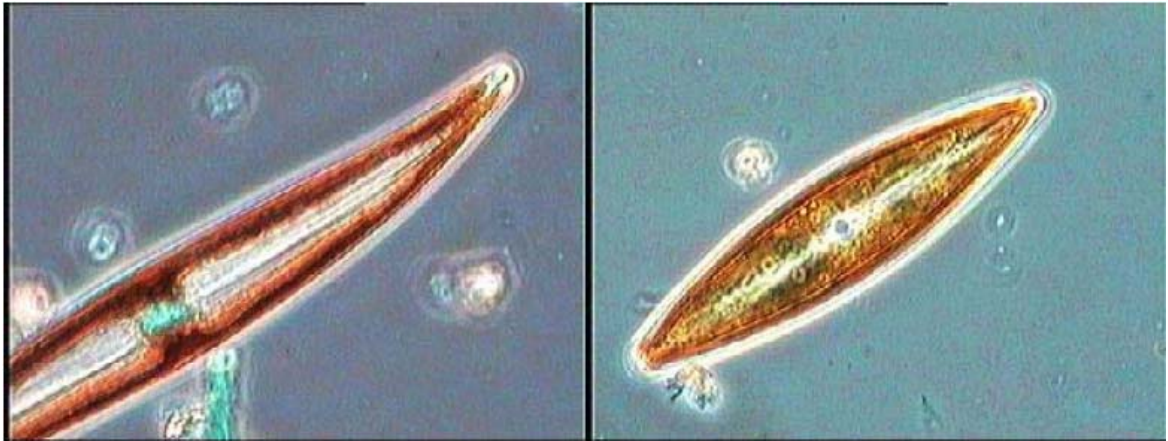
Les diatomées sont présentes depuis 200 millions d'années. Unicellulaires, elles sont souvent réunies en chaîne. Leur paroi cellulaire (ou frustule) est composée de substances pectiques associées à de la silice. Elle est constituée de deux valves qui s'emboîtent l'une dans l'autre [33, 39].

Certaines espèces présentent une forte affinité pour les milieux riches en matières organiques qu'elles colonisent essentiellement au printemps et à l'automne. Elles appartiennent principalement aux genres *Melosira*, *Cyclotella* et *Stephanodiscus* [33].

Les diatomées possèdent une couche externe de silice que l'on nomme la frustule. Lorsque les diatomées meurent, leur contenu cellulaire se décompose et il ne reste plus que cette paroi externe qui sédimente et qui forme une roche que l'on appelle la diatomite ou terre de diatomées (« *diatomaceous earth* ») [34].

On a trouvé en Californie un dépôt de plus de 400 m d'épaisseur. On trouve également des diatomées fossiles. La terre de diatomées ou diatomite est utilisée comme

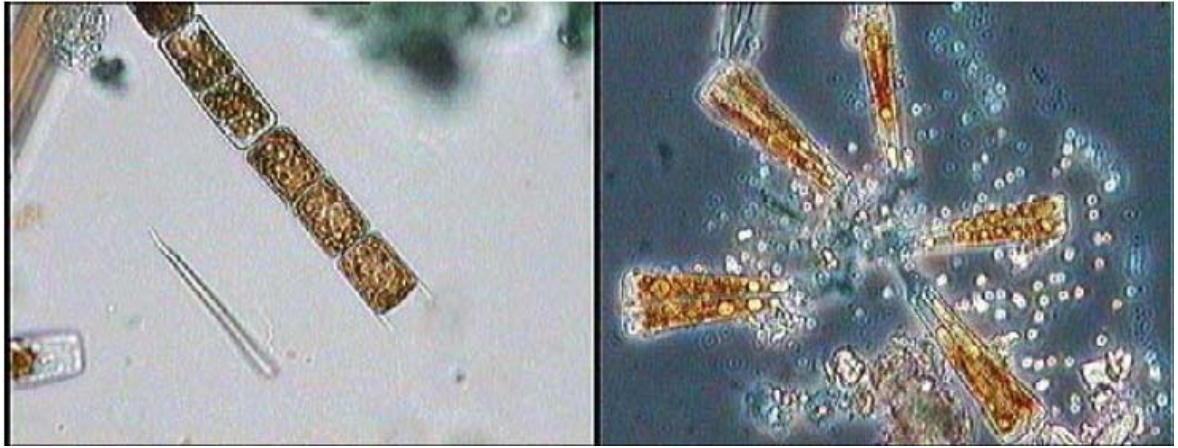
abrasif, comme additif dans les décapants, les huiles décolorantes et désodorisantes et les engrais. Elle est également employée en tant que filtre pour les piscines, comme isolant thermique (briques réfractaires) et phonique et comme additif à la peinture pour augmenter la visibilité nocturne des signaux indicateurs et des plaques d'immatriculation. Les diatomées sont un indicateur de la pollution de l'eau, les tolérances de différentes espèces ont été déterminées vis-à-vis de facteurs environnementaux (concentration en sels, pH, éléments nutritifs, azote, température) [34].



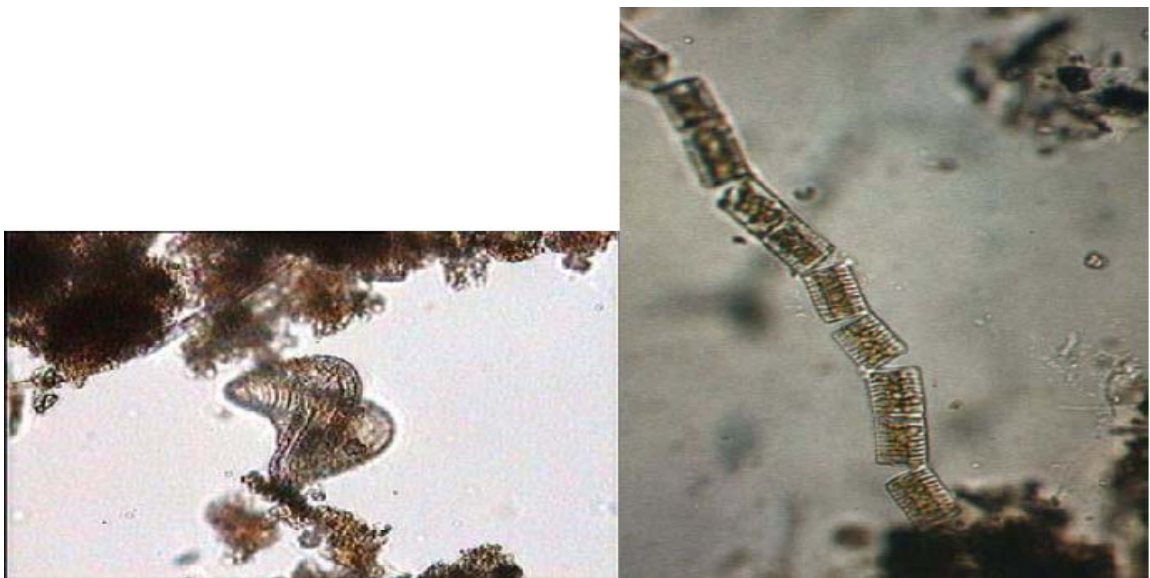
**Figure 2.5** *Gyrosigma* et *Navicula* colorées au vert de méthyle qui met en évidence le noyau.



**Figure 2.6** *Cocconeis* et *Epithemia* une diatomée épiphyte.



**Figure 2.7** La diatomée filamenteuse *Melosira* et *Gomphonema*, une diatomée pédonculée.

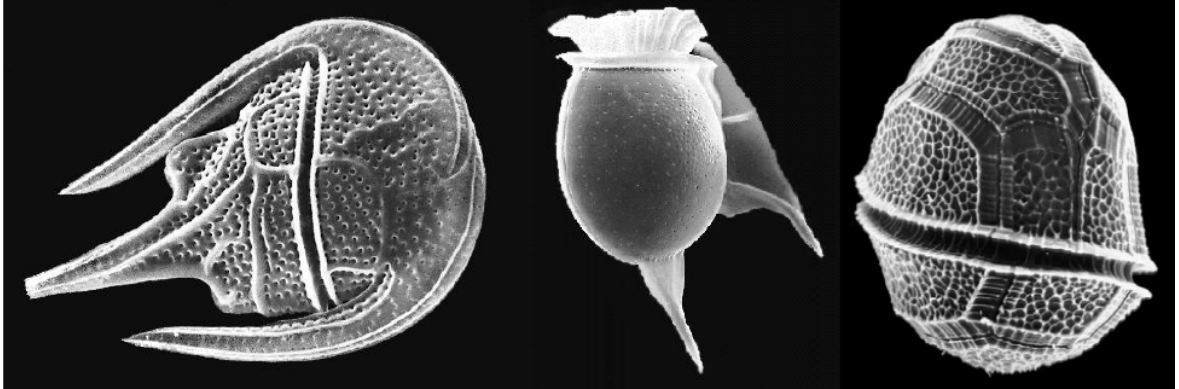


**Figures 2.8** *Surirella spiralis* et *Tabellaria*.

Pour se procurer ce genre de spécimens, il suffit de récolter le dépôt brun-doré qui se forme à la surface des eaux stagnantes sous le couvert des arbres, dans les étangs ou les ruisseaux calmes [34].

### 2.6.3. Pyrrophytes ou dinoflagellés

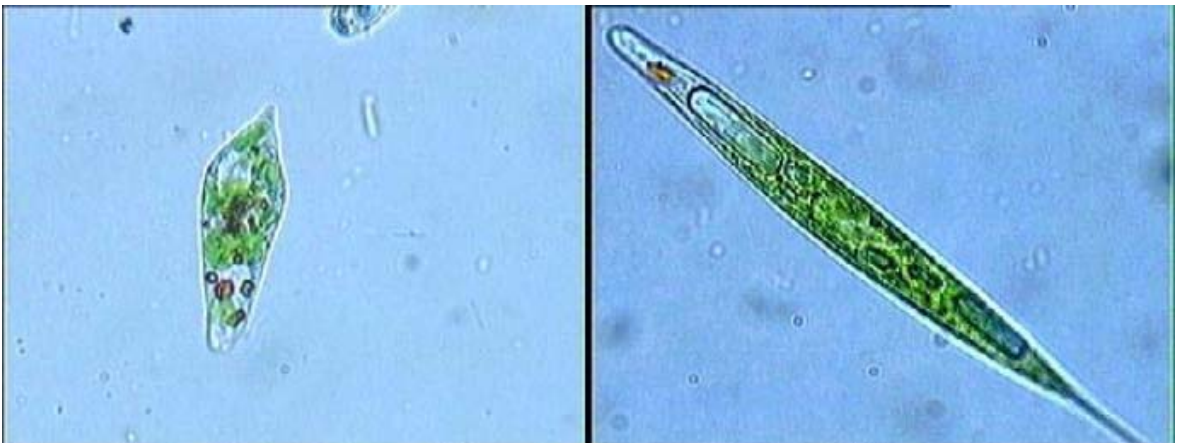
La *Gymnodinium*, une dinophycée, est responsable des "marées rouges" où l'eau peut contenir jusqu'à 46 millions de cellules d'algues par litre d'eau. Lors de la mort des cellules, la libération de substances toxiques provoque une grave pollution des coquillages et de la faune aquatique.



**Figure 2.9** *Ceratium*, *Dinophysis* et *Peridinium*.

#### 2.6.4. Euglenophytes

Les cellules d'euglènes sont souvent déformables et la plupart d'entre elles possèdent un flagelle avant qui leur permet également de se mouvoir en l'agitant un peu comme un lasso [34].



**Figure 2.10** Deux représentants du genre *Euglena*, noter la présence du stigma orangé.

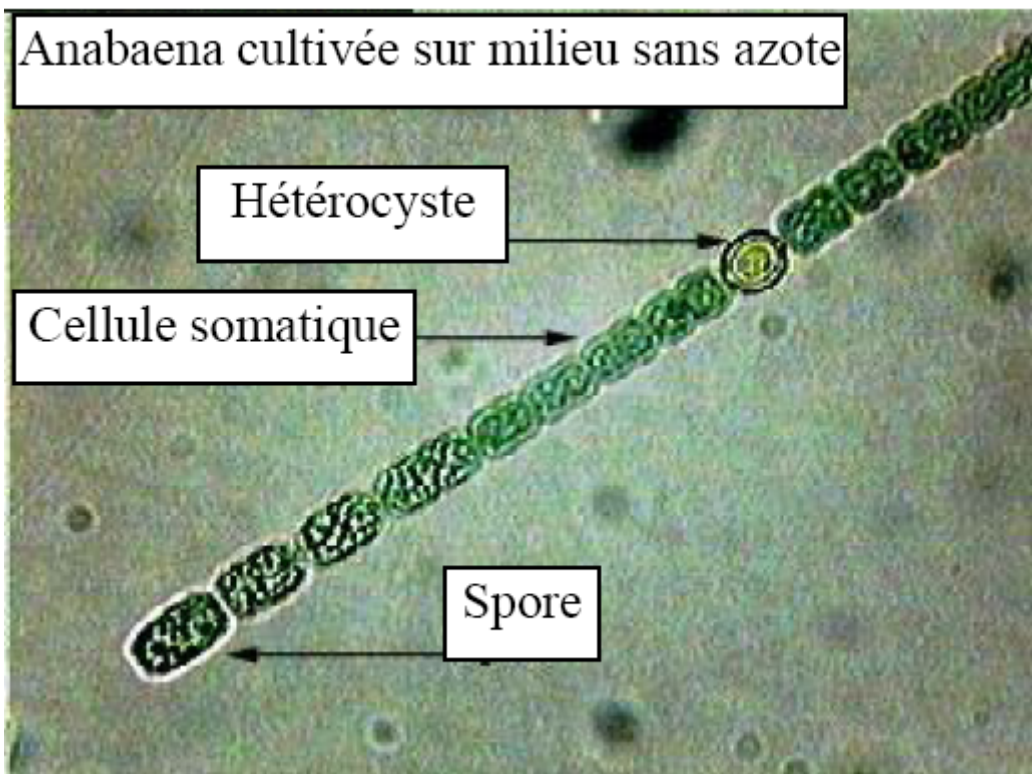
Le métabolisme des Euglènes est polyvalent. En présence de la lumière, ils sont photo-autotrophes, et en absence de la lumière ou après la perte de leur chloroplaste, ils deviennent organotrophes et sont en particulier capables de métaboliser le lactate. Cette propriété particulière, partagée avec les hépatocytes, en fait un modèle d'étude privilégié [40-44, 34].



**Figure 2.11** Deux représentants du genre *Phacus* sp.

#### 2.6.5. Cyanobactéries

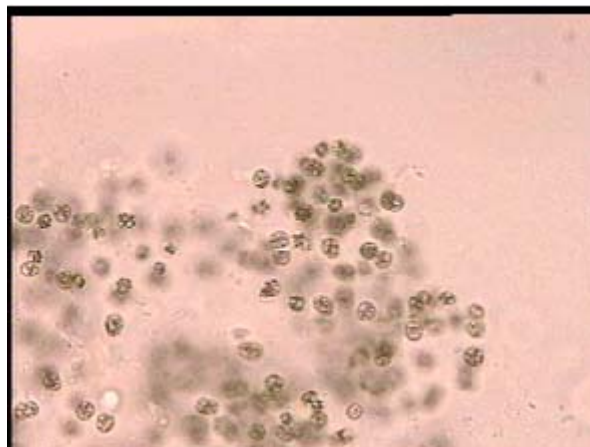
De même que les algues vertes, les cyanobactéries peuvent être sous forme de cellules isolées, de coenobes (*Microcystis*) ou de filaments (*Nostoc*, *Anabaena*) [34].







**Figure 2.12** *Merismopedia* et *Oscillatoria*



**Figure 2.13** Forme d'une poussière verte à la surface des plants d'eau au mois d'Août.

Ces algues sont bien connues des pisciculteurs en raison des nuisances qu'elles occasionnent dans les étangs. Certaines espèces, très fréquentes, sont toxiques et peuvent entraîner des mortalités de poissons (*Microcystis aeruginosa*). Les cyanobactéries se développent en masse et forment des "*fleurs d'eau*" qui constituent une couche plus ou moins épaisse d'algues flottant à la surface de l'eau. La décomposition de cette matière végétale peut ensuite entraîner une désoxygénation et, par conséquent, des mortalités de poissons. De nombreuses autres espèces sécrètent des substances qui donnent un goût de vase à la chair des poissons. Elles sont à l'origine de pertes économiques importantes pour le pisciculteur [45, 33].

### 2.7. Enjeux rencontrés par les micro-algues dans les filières de traitement

Hormis quelques cas dûment référencés et ayant fait l'objet de publications, il reste très difficile d'appréhender de façon globale l'importance de ces amas d'algues appelées *bloom*, sur la production d'eau potable et les difficultés rencontrées par les exploitants sur le terrain. Ces interrogations portent sur les éléments suivants :

- Fréquence des blooms, concentration et identification des algues concernées,
- Conséquence sur le traitement :
  - Dégradation de la qualité d'eau produite,
  - Modification des conditions opératoires pendant le bloom et gain entraîné sur le traitement (qualité d'eau) et les ouvrages (durée de cycle) par ces modifications,
  - Identification des algues posant problème et retrouvées dans les différents ouvrages.

De nombreuses zones d'ombre subsistent qu'il conviendra donc de documenter par des enquêtes ciblées. Toutefois, une enquête, réalisée auprès d'usines de traitement d'eau situées dans l'ouest de la France par les Directions Techniques nationale et régionale et Anjou Recherche, a permis de déterminer les espèces phytoplanctoniques les plus problématiques sur ces filières de traitement. Les concentrations algales au moment des efflorescences ont également été mesurées. Selon cette enquête, quatre groupes, ou classes, posent problème (Tableau 2.4) : les chlorophytes, les cyanobactéries, une chrysophycée et les diatomées [8].

**Tableau 2.4 :** Micro-algues formant des efflorescences.

Embranchement ou Classe	Genre	Concentration moyenne en période de bloom (algues/L)
Chlorophytes	<i>Scenedesmus</i>	9.10 <sup>4</sup> – 1.10 <sup>6</sup>
	<i>Pediastrum</i>	
	<i>Zygnema</i>	
	<i>Tetraedron</i>	
Cyanobactéries	<i>Planktothrix</i>	5.10 <sup>4</sup> – 3.10 <sup>6</sup>
	<i>Microcystis</i>	
	<i>Pseudanabaena</i>	
Chrysophycées	<i>Mallomonas</i>	1.10 <sup>5</sup> – 1.10 <sup>6</sup>
Diatomées	<i>Fragillaria</i>	
	<i>Nitzschia</i>	
	<i>Asterionella</i>	
	<i>Stephanodiscus</i>	
	<i>Navicula</i>	
	<i>Melosira</i>	

## 2.8. Algues et micro-algues toxiques et leurs toxines

Les cyanobactéries sont susceptibles de produire et de libérer (lyse) des toxines. Toutefois, il convient de noter que ce n'est pas systématique et qu'un même genre, selon sa composition génétique, sera producteur ou non. Le Tableau 2.5, présente quelques unes des espèces toxiques les plus courantes et leur toxines [8].

**Tableau 2.5** Espèces toxiques fréquemment rencontrées dans la littérature et leurs toxines.

<i>Genre (espèce)</i>	<i>Toxines</i>
<i>Cylindrospermopsis (C. raciborskii)</i>	cylindrospermopsines, saxitoxines
<i>Anabaena (A. circinalis)</i>	saxitoxines, anatoxines, microcystines
<i>Aphanizonemon</i>	anatoxines
<i>Microcystis (M. aeruginosa)</i>	microcystines
<i>Nodularia (N. spumigena)</i>	nodularines
<i>Oscillatoria (O. agardhii ou Planktothrix agardhii, Planktothrix rubescens)</i>	anatoxine-a, aplysiatoxines, microcystines

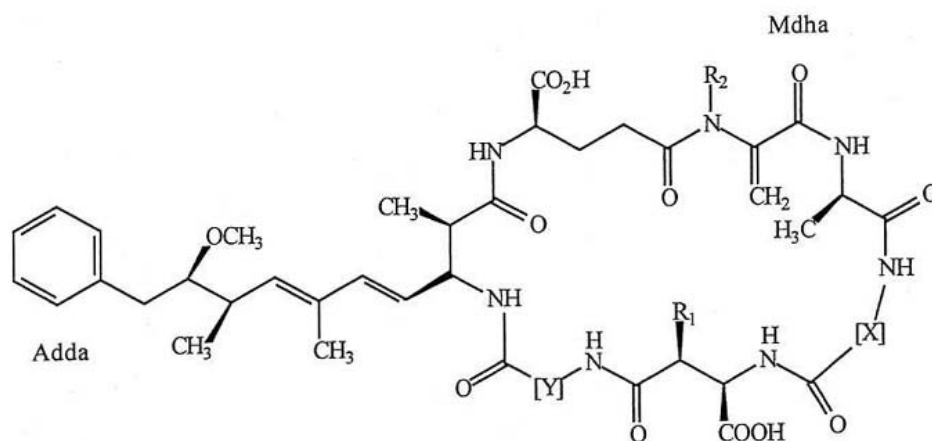
La présence de toxines dans les eaux varie suivant la période (0 à plusieurs milliers de µg de toxine par litre d'eau sont rapportés), plusieurs types de toxines peuvent être présents. De plus, lors de du dimensionnement de la filière de production d'eau potable, la qualité de la ressource en termes d'algues n'est pas toujours bien connue : ce point évolue avec un meilleur suivi de la qualité biologique des ressources en eau [8].

Les cyanotoxines sont généralement localisées à l'intérieur des cellules. Lorsque les cellules sont intactes, il est impératif de les séparer de l'eau sans les endommager ; des technologies de séparation des particules sont employées. D'autre part, certaines toxines sont extracellulaires, et la lyse des cellules entraîne un passage des toxines intracellulaires dans le milieu naturel : dans ce cas, il est nécessaire de mettre en œuvre des technologies de séparation de la pollution dissoute. Ce travail est donc articulé autour de ces deux objectifs : séparer les algues particulières de l'eau et éliminer les toxines en solution par le procédé de coagulation conventionnelle et améliorée [46].

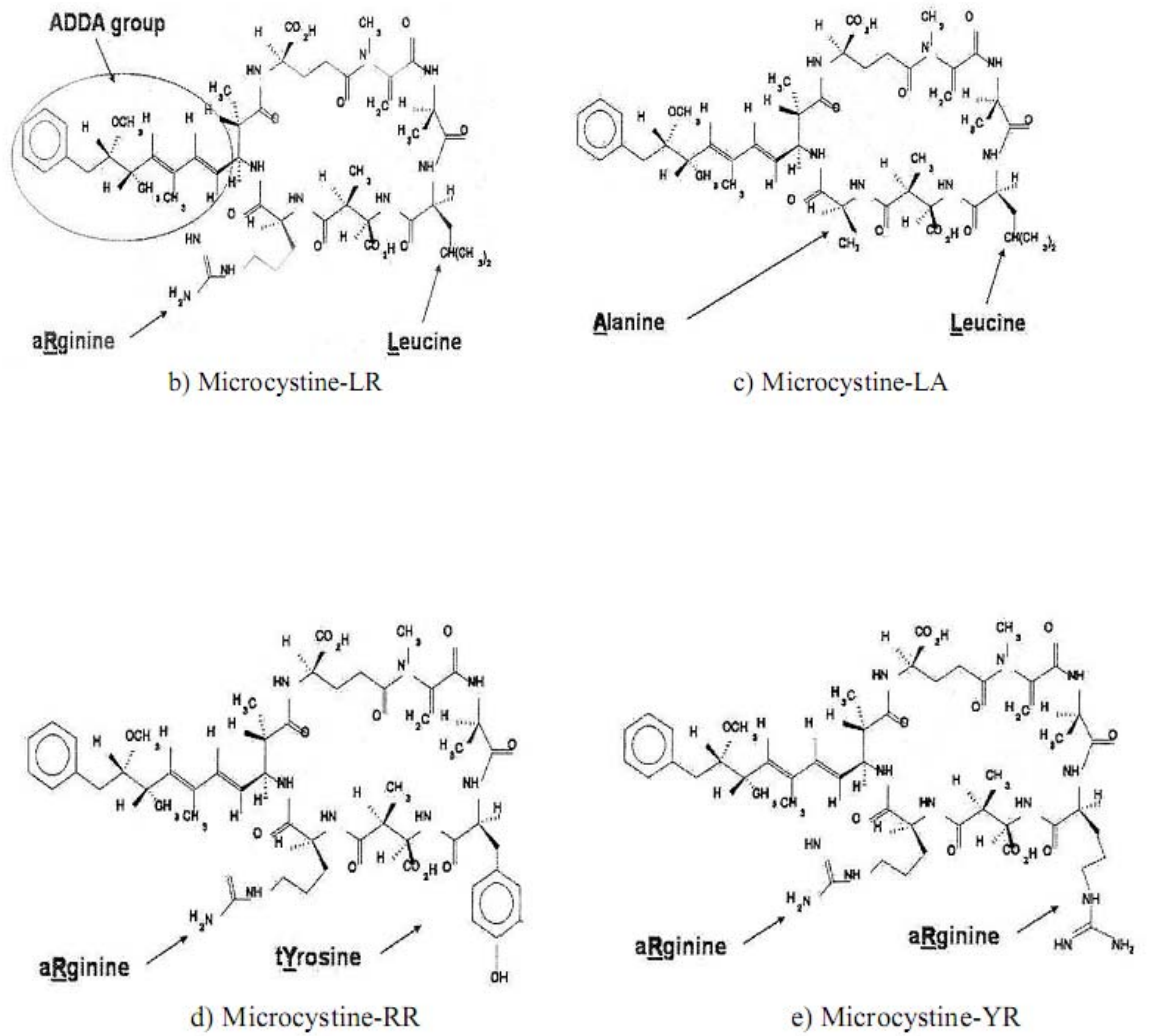
En plus, les cyanotoxines sont un problème de santé publique. En milieu aquatique, de nombreuses espèces de cyanobactéries peuvent produire des toxines. Dans de nombreux cas, les toxines sont des métabolites secondaires dans la formation des photopigments qui s'accumulent dans le cytoplasme. La production de ces endotoxines est maximale quand les conditions de croissance des cyanobactéries sont optimales. Ainsi, on observe une production de toxines directement proportionnelle à l'augmentation de la biomasse. Quand les conditions du milieu sont défavorables, les cyanobactéries meurent, engendrant la lyse cellulaire et donc la libération des toxines accumulées dans le milieu [47-48].

On distingue classiquement 3 types de toxines : les dermatotoxines, les neurotoxines et surtout les hépatotoxines. Il existe des toxines intracellulaires et extracellulaires. Chaque espèce est capable de produire plusieurs types de toxines qui ont des structures chimiques et des poids moléculaires différents [49-50, 8].

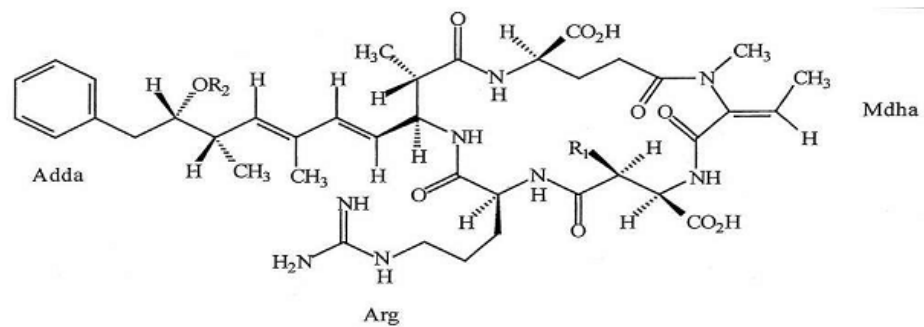
Les Figures 2.14-17, montrent les structures générales de la microcystine, de l'anatoxine, de la saxitoxine et de la cylindrospermopsine (hépatotoxines). Il en résulte que les toxines ont des caractéristiques physicochimiques différentes et en conséquence un même type de traitement présentera une efficacité dépendant des toxines considérées. Actuellement, la structure chimique des métabolites des cyanobactéries fait également l'objet de diverses études [8, 48].



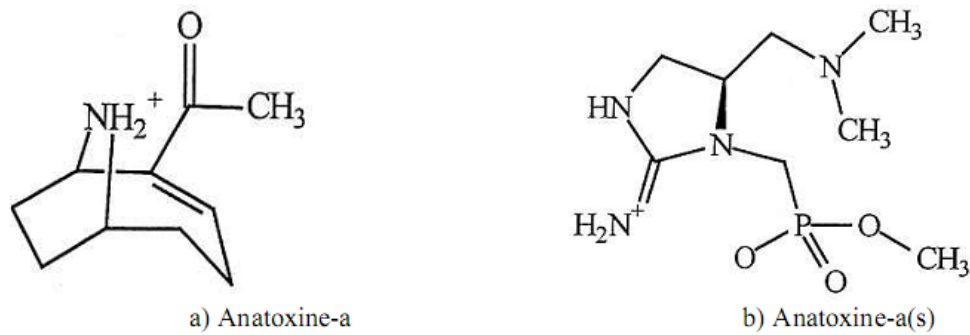
a) Structure générale de la microcystine



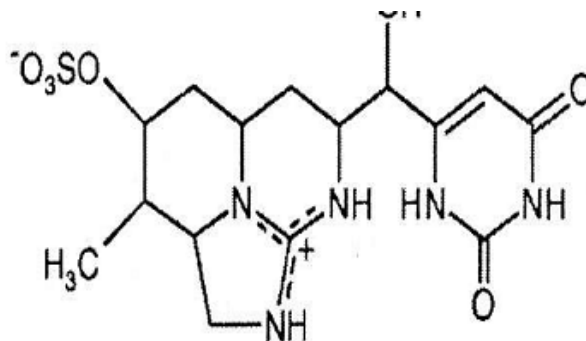
**Figure 2.14** (a, b, c, d, e) Structure moléculaire de la microcystine.



**Figure 2.15** Structure moléculaire de la nodularine.



**Figure 2.16** Structure moléculaire de la saxitoxine.



**Figure 2.17** Structure moléculaire de la cylindropermopsine.

### 2.9. Intoxications dues aux cyanobactéries et des micro-algues

Depuis 1930, une douzaine de cas d'intoxication humaine (symptômes de gastro-entérite et parfois d'hépatite) par les hépatotoxines ont été rapportés dans la littérature. Cependant, pour la majorité des cas, les éléments qui permettraient de statuer clairement sur un lien de cause à effet font défaut. L'exposition aux cyanotoxines qui ont démontré leur potentiel toxique chez l'humain est un incident survenu au Brésil en février 1996 dans un Centre d'Hémodialyse par exposition intraveineuse à une eau contaminée par des microcystines [51], malgré la présence de filtres à charbon dans la filière de traitement [52, 48].

Quelques études épidémiologiques ont été réalisées afin d'évaluer les effets irritatifs des cyanobactéries. Pilotto et *al*, ont évalué, pour les eaux récréatives, la corrélation existant entre différents symptômes (diarrhée, vomissements, éruption cutanée, fièvre, infection des yeux et des oreilles, etc.) et la densité cellulaire des cyanobactéries mettant en évidence une différence notable entre les exposés et les non-exposés [53, 48].

## CHAPITRE 3

### COAGULATION-FLOCCULATION/ COAGULATION AMELIOREE

#### 3.1. Coagulation/floculation

La coagulation/floculation (C/F) à l'aide de sels de fer ou d'aluminium est un procédé largement utilisé pour l'élimination des particules colloïdales et de la matière organique dissoute [54].

Les colloïdes possèdent une charge de surface (caractérisée par le potentiel Zêta (PZ) majoritairement négative et par conséquent les répulsions électrostatiques favorisent un système colloïdal stable à l'origine de la turbidité des eaux du milieu naturel [54-56].

Le colloïde s'entoure d'une double couche :

- une couche fixe, ou couche de Stern, à la surface immédiate de la particule au cœur de laquelle seuls les ions spécifiquement adsorbés peuvent pénétrer.
- une couche diffuse, ou couche de Gouy-Chapman, déformable et mobile, influencée par la force ionique de la solution [56].

Les particules colloïdales sont soumises à deux types de force qui conditionnent la stabilité de la suspension : les forces de répulsion liées aux charges superficielles des colloïdes et les forces d'attraction de type Van der Waals liées à la surface spécifique et à la masse des colloïdes ainsi qu'à la nature du milieu. La résultante de ces forces favorise ou non la rencontre des particules [56].

Dans le cas des eaux naturelles (colloïdes majoritairement chargés négativement), la force de répulsion des colloïdes est supérieure à la force d'attraction créant un système colloïdal stable [56].

Le rôle du coagulant est donc de déstabiliser la suspension colloïdale en pénétrant la double couche pour s'adsorber spécifiquement dans la couche de Stern. Le coagulant cationique, en s'adsorbant spécifiquement, augmente le PZ des particules (initialement négatif) pour le faire tendre vers la valeur zéro et augmente en parallèle la force ionique du milieu, favorisant la compression de la double couche. Par conséquent, la barrière énergétique de la répulsion est abaissée et les chances de rencontre entre les particules colloïdales augmentent permettant l'agrégation des colloïdes, c'est-à-dire leur coagulation. Dans la théorie de la double couche, une coagulation optimale est définie comme étant l'ajout de réactif permettant l'annulation du PZ de la particule colloïdale. La précipitation en solution du coagulant permet ensuite l'entraînement des particules colloïdales si les conditions optimales de pH sont respectées puis la formation de floccs [56].

Les mécanismes prédominants lors de la coagulation sont donc la neutralisation des charges puis l'adsorption des colloïdes neutralisés ou des espèces solubles sur un précipité d'hydroxyde de fer (ou aluminium) ou la coagulation par entraînement [57, 54].

La coagulation par entraînement se produit pour de plus fortes doses de coagulant que la simple neutralisation et conduit à l'élimination de l'espèce par incorporation dans le précipité solide d'hydroxyde métallique. En raison d'un surdosage en coagulant, la solubilité dans l'eau de l'espèce métallique est fortement dépassée conduisant à la formation immédiate de grande quantité de précipités d'hydroxydes métalliques. De ce fait, l'espèce polluante dissoute est éliminée par adsorption à la surface du précipité d'hydroxyde métallique et les espèces colloïdales et particulaires sont éliminées par piégeage dans la masse de précipité [57].

Ce mécanisme peut améliorer pour certaines espèces l'élimination des particules colloïdales par rapport à la simple neutralisation/précipitation [54, 56-57].

Par ailleurs, la coagulation est un procédé par lequel les particules colloïdales sont déstabilisées en annulant leurs charges électriques superficielles, les forces d'attraction inter- moléculaires (forces de Van der Waals) permettant alors l'agglomération des colloïdes en grosses particules ayant de meilleures propriétés de décantation. Après la coagulation, une étape de floculation est généralement effectuée et consiste à provoquer des collisions entre les particules pour favoriser l'agglomération. Deux types de floculation peuvent avoir lieu :

- La floculation péricinétique qui a lieu avec le mouvement aléatoire des particules en solution (Brownien).
- La floculation orthocinétique, provoquée par une agitation mécanique [58].

La turbulence, ainsi générée, augmente les chances de collisions entre les particules. Toutefois, le floc produit ne doit pas être trop fragile sinon le passage dans un milieu turbulent peut le briser. Pour un passage dans un filtre, il est également important que les floes soient assez solides pour qu'ils puissent résister aux forces de cisaillements causées par l'eau. L'ajout d'un adjuvant de coagulation peut augmenter la vitesse de floculation, la vitesse de clarification et renforcer la structure du floc. En outre, l'utilisation d'un adjuvant permet d'élargir les gammes de pH et de températures favorables à la



floculation. Le pH et l'alcalinité sont des facteurs importants, car ils déterminent la forme et la solubilité et la disponibilité du coagulant dans la solution [59].

Plusieurs autres facteurs, tels que la turbidité et la température de l'eau, les vitesses de mélange etc., peuvent avoir une influence importante sur l'efficacité de la coagulation [58].

### 3.2. Elimination des algues particulières par coagulation/floculation

L'étape de C/F ne permet pas, en elle-même, d'éliminer les cyanobactéries. Il s'agit plutôt d'une aide. En effet, lors de cette étape, les cyanobactéries se trouvent piégées dans les floes et peuvent donc être plus facilement éliminées par décantation ou filtration [61, 48].

L'élimination des algues particulières est basée sur des techniques classiques de clarification des eaux telles que la C/F (et la filtration membranaire dans les stations les plus développées). Une attention grandissante a été apportée au fil du temps à la résistance des algues aux traitements mis en œuvre : impact du coagulant, préoxydation et autres réactifs favorisant l'élimination des algues en C/F-décantation, transferts hydrauliques (pompe, chutes d'eau, etc.), ceci afin d'éviter l'ouverture des cellules et le relargage des composés intracellulaires, matières organiques et toxines [61, 46].

La coagulation doit être réalisée à son optimum en termes de taux de traitement (optimum de la dose du jar test ou à l'annulation du PH), de pH, de temps de coagulation.

La coagulation, mise en œuvre depuis des décennies, a fait l'objet de différentes tentatives d'amélioration [62, 46].

En effet, l'élimination des algues par C/F avant la filtration et la désinfection est nécessaire sur une filière de traitement d'eau potable afin d'éviter les phénomènes de colmatage et la formation de sous-produits de désinfection. Par ailleurs, de nombreuses algues contiennent des quantités significatives de composés source de goûts et d'odeurs et des toxines. Sur une filière conventionnelle, les traitements de C/F-décantation qui permettent l'élimination de ces algues tout en préservant leur intégrité seront donc privilégiés. Parmi les composés chimiques utilisés habituellement pour la coagulation en production d'eau potable, on trouve divers sels d'aluminium et de fer.

### 3.3. Etape de la clarification–filtration

L'étape de clarification (C/F–décantation) se montre efficace pour l'élimination des algues. Lors de l'apparition d'un bloom algal, les doses du coagulant doivent être augmentées. La filtration constitue une étape particulièrement efficace dans l'élimination des cyanobactéries ayant échappées à la clarification. Cependant, dans le cas d'une filtration rapide, il faut être particulièrement attentif aux fréquences des lavages : trop espacés, ils peuvent entraîner des problèmes de relargage de toxines, conséquence de la lyse des cyanobactéries dans le média filtrant (destruction par fragmentation). Le rendement global de l'élimination des algues en sortie de la clarification-filtration est de l'ordre de 90 à 95%. Ce rendement peut être amélioré en remplaçant la décantation par une flottation, à condition que les caractéristiques de l'eau à traiter le permettent (eaux peu chargées en matières en suspension, floes peu denses, eaux riches en matières organiques). Toute amélioration du taux d'élimination des algues contribue à l'allongement des cycles de la filtration entre deux lavages, et à une meilleure qualité de l'eau filtrée [35].

### 3.4. Coagulation améliorée

La coagulation est généralement définie par les conditions qui mènent à l'élimination optimale de la turbidité, plutôt qu'à l'élimination optimale de matières organiques naturelles comme cela est le cas pour la coagulation améliorée [63-64].

La coagulation améliorée, est défini comme étant l'addition excessive du coagulant pour une élimination améliorée des précurseurs de DBP (harmful disinfection by-products : Sous produits de désinfection) par traitement de filtration [65-64]. L'élimination de ces précurseurs passe par deux étapes : la première étape est basée sur l'élimination des COT (Carbone Organique Total) car dans une eau non traitée le COT et l'alcalinité sont très élevés, (plus le taux du COT et de l'alcalinité est élevée plus le pourcentage de les éliminer par coagulation améliorée est réalisable). Les essais de coagulation effectués sur les eaux naturelles, ont montrées que le COT (donc l'élimination de NOM (Matières Organiques Naturelles) est fortement dépendant du pH [64].

Selon Hall et Packham, la valeur optimale du pH pour l'élimination de la turbidité est entre 6.5-7.5 [66].

Quaism *et al.*, et Randtke *et al.*, ont constaté que la gamme de l'optimum du pH pour l'élimination des NOM est de 5.0 à 6.0. Par conséquent, plus l'alcalinité de l'eau est élevée, plus l'élimination des NOM est efficace en utilisant la coagulation améliorée [67-69, 64].

D'autres facteurs indépendamment de COT et alcalinité doivent être pris en compte, tel que le type de coagulant et les doses et la nature de la matière organique [70].

Dans la coagulation améliorée, on utilise les coagulants inorganiques, il est possible de réaliser des valeurs optimales du pH pour une élimination maximale de COT, bien que l'addition de l'acide en même temps que le coagulant tienne compte d'une réduction de la dose du coagulant. Les coagulants exigent l'addition de l'acide dans l'ordre pour obtenir la dépression de pH. Un contrôle soigneux est nécessaire dans l'étape d'addition de l'acide pendant la formation des floccs et la réduction de turbidité [64].

La coagulation améliorée est maintenant largement pratiquée pour l'élimination des particules organiques et inorganiques. Elle inclut plusieurs stratégies d'optimisation :

- Augmenter la dose du coagulant
- Réduire la valeur du pH.
- Réduisent la valeur du pH et augmenter la dose du coagulant.

Après mise au pH (5.8 ou 6.5 selon coagulant) avec de l'acide sulfurique 0.1N et homogénéisation, la solution est répartie dans cinq vases à précipité d'1 litre qui sont installés sur un flocculateur muni d'hélices.

L'expérience se décompose en trois étapes. Tout d'abord, on procède à une agitation rapide à 200 tours/min pendant 2 minutes avec le coagulant et 2 minutes supplémentaires avec le flocculant afin de permettre l'agglomération des particules. Une agitation lente à 50 tours/min durant 15 minutes aide à la formation de floccs. Après décantation durant 15 minutes 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 [8, 64].

En termes d'élimination des THM (Trihalométhane), la coagulation améliorée est souvent connue d'avoir peu ou pas d'effet d'élimination totale, contrairement dans les eaux riches en DOC (Carbone Organique Dissous), telles que les eaux eutrophiques et industrielles, la réduction des THM est d'environ de 50% en utilisant le chlorure ferrique. Ceci a été confirmé par des études à l'échelle pilote pour lesquelles l'élimination des THM jusqu'à 40% ont été obtenus en employant le chlorure ferrique par coagulation améliorée. Des éliminations de 50 et de 75% du DBP ont été citées dans la littérature [71-73]. Bien que ceci dépend de la nature de la matière organique actuelle dans l'eau [64].

D'autres études à l'échelle du laboratoire, ont confirmé que les essais de coagulation améliorée élimine jusqu'à 90% des cellules d'algues en utilisant le coagulant chlorure ferrique entre 10 et 30mg/l [64].

#### 3.4.1. L'Effet du pH sur la coagulation améliorée

Des essais ont été effectués pour évaluer l'effet du pH sur la coagulation améliorée, nous en avons constaté que le pH optimal pour l'élimination de turbidité est plus élevée que celui pour l'enlèvement du carbone organique optimal en employant les coagulants inorganiques. Le pH optimal pour l'élimination de la turbidité varie entre 5.5 et 7 en utilisant le chlorure ferrique et entre 6 et 7 en utilisant l'alun, qui est en accord avec la littérature [74]. La meilleure valeur d'élimination du carbone organique est à un pH environ de 5 en utilisant le chlorure ferrique et à entre 5 et 5.5 en utilisant l'alun, qui est en accord avec les résultats de Randtke [75]. Ceci pourraient être obtenus en maintenant la dose de coagulant constante et en réduisant le pH de l'eau avec de l'acide (l'acide a été ajouté avant le coagulant pour produire un pH après l'addition de coagulant approximativement de 5 pour le chlorure ferrique et entre 5 et 5.5 pour l'alun). Par exemple une concentration d'alun de 10 mg/l une fois utilisée pour traiter une eau avec une concentration en DOC de 7.3 mg/l a produit une eau traitée finale avec un pH de 7.3 et n'a exercé aucun effet sur la DOC. Ajoutant l'acide à l'eau avant la coagulation pour produire une eau traitée finale avec un pH de 5.6 donne comme conséquence un DOC de 5.7mg/l, une diminution de DOC de 22%. Krasner et *al*, ont observé un effet semblable. Ces résultats impliquent que les économies significatives de coagulant sont possibles si l'ajustement de pH est employé, bien que le coût de la complication acide et supplémentaire d'ajouter deux produits chimiques au système doivent être considérés [76-77, 64].

## **CHAPITRE 4**

### **MATERIEL ET METHODES**

#### 4.1. Introduction

En Algérie à climat semi-aride, le développement des agglomérations urbaines, la pression démographique et la limitation des ressources souterraines font que le pays a de plus en plus recours aux eaux superficielles pour satisfaire en quantité suffisante, les besoins des populations en eau potable, d'irrigation et industrielle [78].

Ses eaux superficielles, qui sont généralement des retenues de barrages, dépendent des précipitations donc du climat [78-79].

Ce climat varie du type désertique au sud au type méditerranéen au nord. La moyenne des précipitations annuelles est estimée à environ 600 mm. Les températures moyennes mensuelles les plus basses se rencontrent au mois de Janvier (inférieures à 10°C) alors que les maximas sont atteints en Juillet ou Août (25 et 30°C) [80, 79].

Par ailleurs, ces retenues sont devenues sujet au phénomène d'eutrophisation qui est une réaction du milieu à un accroissement excessif en substances nutritives, essentiellement l'azote et le phosphore. L'eutrophisation se manifeste par un développement des algues microscopiques (phytoplancton) causant la détérioration de la qualité des eaux des retenues du barrage [78].

Le procédé de coagulation/floculation utilisant des sels de fer ou d'aluminium est aujourd'hui bien reconnu et établi pour l'élimination des substances humiques (matière organique naturelle NOM) des eaux du milieu naturel et des barrages et il a été largement étudié pour l'élimination des algues et des micro-algues. Ses performances, son coût, sa facilité de mise en œuvre et son caractère applicable sur site, en font un procédé très apprécié à des fins industrielles [56].

L'étape de coagulation/floculation ne permet pas, en elle-même, d'éliminer les cyanobactéries. Il s'agit plutôt d'une aide. En effet, lors de cette étape, les cyanobactéries et les micro-algues se trouvent piégées dans les floes et peuvent donc être plus facilement éliminées par décantation ou filtration [60].

Les barrages suivants Ghrib, Lakhel, et Boukerdène (Nord-Ouest de l'Algérie) n'ont fait, que rarement, l'objet d'étude portant sur la variabilité temporelle du phytoplancton. Pour ces raisons et dans la première partie de ce travail, une étude du phytoplancton a été entreprise sur ces Barrages. En effet, cette étude a porté sur l'identification des populations algales ainsi que l'influence des paramètres physicochimiques et environnementaux sur le développement des différentes espèces, au cours de la période allant de Janvier à Août 2011, pour déterminer d'une part, la diversité du plancton de ces retenues et d'une autre part, les principaux facteurs abiotiques responsables de leur répartition.

Dans la seconde partie, nous nous sommes intéressés à étudier un procédé connu sous le terme de '*coagulation améliorée*' (appelé communément '*Enhanced coagulation*') afin de contribuer à envisager de l'appliquer à l'élimination de la M.O ainsi que les micro-algues des eaux de Barrages Ghrib et Lakhel. A cet effet, des prélèvements ont été pris dans chaque site, des analyses de la conductivité, de turbidité et des micro-algues ont été faites.

#### 4.2. Analyses physicochimiques des Barrages Lakhel, Ghrib, et Boukerdène ainsi que hydrobiologiques des Barrages Lakhel et Boukerdène

##### 4.2.1. Zone d'étude et choix du barrage

###### 4.2.1.1. Barrage Ghrib (Ain-Defla)

Le Barrage Ghrib est situé à 155 km d'Alger à l'aval de l'un des plus longs oueds algériens, l'Oued Chélif qui prend sa source dans l'Atlas Saharien (Figure 4.18). Sa capacité est de  $145,2 \text{ hm}^3$ , avec une superficie de  $2800 \text{ km}^2$ . Bien que la fonction principale de ce plan d'eau soit la production d'eau potable destinée à l'alimentation des villes principalement de Médéa et de Berrouaghia, il est utilisé aussi pour l'usage agricole [81-82].

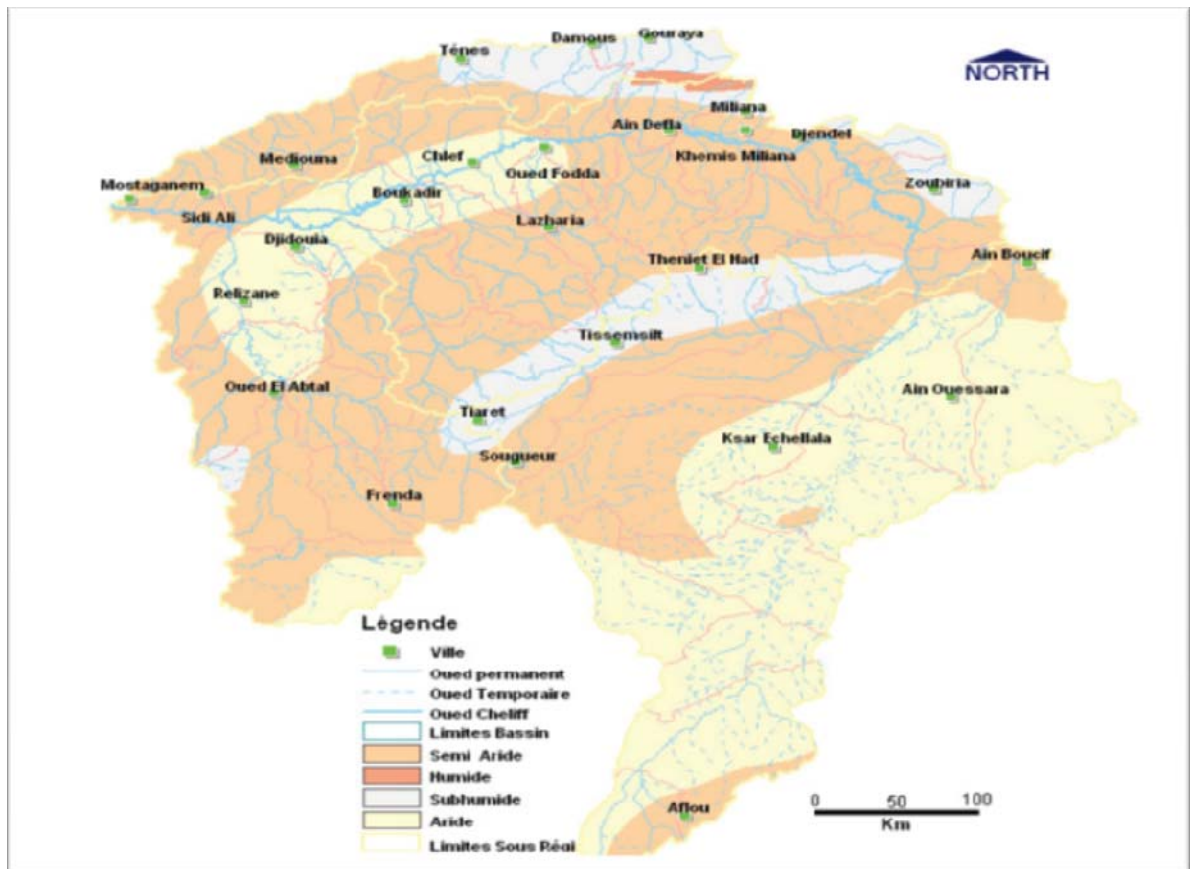


Figure 4.18 Situation géographique du Barrage Ghib.



**Figure 4.19** Barrage Ghrib.

Selon Beauchamp (2006), la détérioration de la qualité de l'eau est appréciée par les mesures des paramètres physicochimiques. Dans le cas d'une détérioration jugée importante, l'eau ne sera plus considérée comme potable pour la consommation humaine. Elle pourra être telle qu'elle est utilisée à d'autres fins (irrigation, etc.) ou devra subir un traitement approprié pour retrouver sa potabilité [83, 82]

Dans le cadre de cette étude, les prélèvements d'eaux ont été effectués entre le mois de Février jusqu'au mois d'Août 2011. Les méthodes analytiques utilisées sont décrites par Rodier et Tardat-Henry ou les catalogues de l'appareillage utilisé. Les méthodes utilisées sont aussi bien volumétriques, colorimétriques. Différents paramètres globaux sont ainsi mesurés tels que la température, le pH, la conductivité, les éléments minéraux majeurs (calcium, magnésium). La turbidité est mesurée par un turbidimètre. La M.O totale a été évaluée par la méthode volumétrique [84]. Les dosages des nitrates et du phosphate, nitrites ont été aussi effectués [83-85].

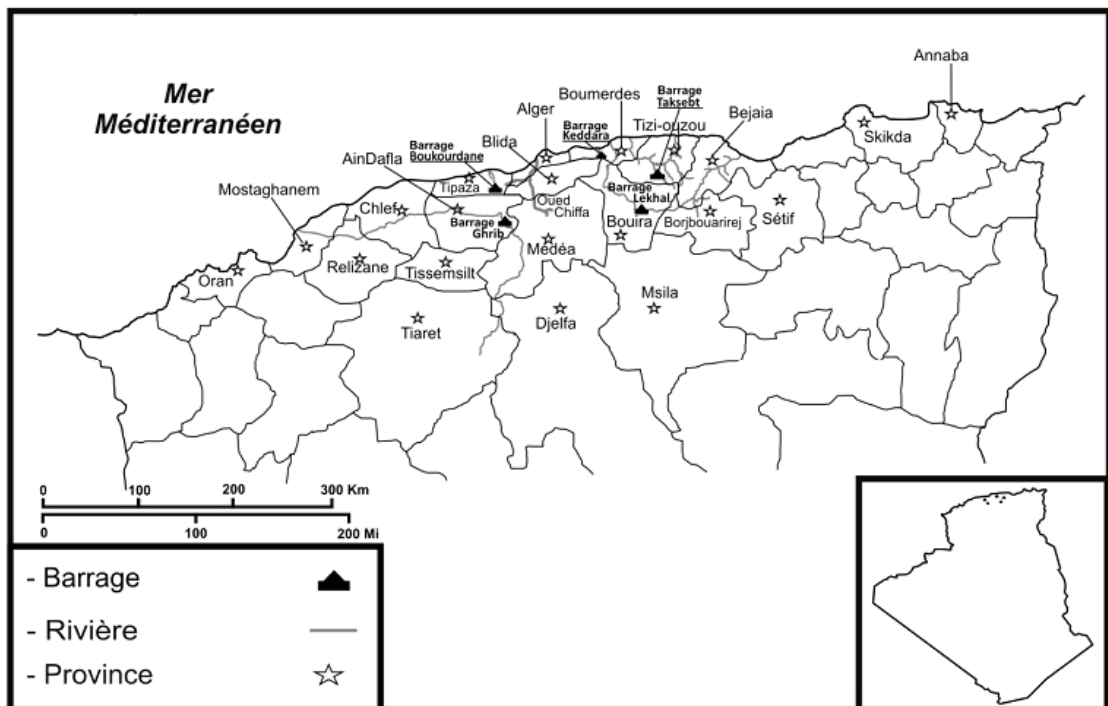
4.2.1.2. Barrage Lakhel (Bouira)

Le Barrage Lakhel est situé à 5 km d'Ain-Bessam dans la Wilaya de Bouira et à 150 km d'Alger (Figure 4.20). Il est implanté à la confluence des Oueds Lakhel et Fahem. Les principales caractéristiques de ce barrage sont résumées dans le Tableau 4.5.

**Tableau 4.5** Caractéristiques morphométriques du Barrage Lakhel [86].

Capacité de la retenue (m <sup>3</sup> )	30 Millions
Superficie du bassin versant (km <sup>2</sup> )	189
Profondeur moyenne (m)	25
Profondeur maximale (m)	45





**Figure 4.20** Situation géographique du Barrage Lakhel [79].

Le climat de la région est sujet à l'influence de la mer mais avec une tendance continentale, l'hiver est plus long avec des températures basses, l'été est plus chaud et moins humide que sur le littoral. Le mois le plus froid est Janvier où la température minimale enregistrée est de 5°C, le mois le plus chaud est Août avec une température maximale de 36,5°C (Agence Nationale des Ressources Hydriques).

Du fait de sa situation, le Barrage Lakhel est confronté à différentes sources de pollution qui menacent la qualité de ces eaux :

- Le rejet des eaux usées par le biais des Oueds qui l'alimentent.
- Une pollution agricole intense dominée par la céréaliculture et les maraîchages.
- Une pollution industrielle due aux nombreuses usines (détergents, semoulerie, cimenterie, briqueterie, etc.).

#### 4.2.1.3. Barrage de Boukerdène (Tipaza)

Le Barrage de Boukerdène se situe à 14 km à l'ouest de Tipaza (Wilaya de Tipaza). Sa construction est sur l'Oued Hichem, il est le dernier né des Barrages Algériens (mis en

services en 1993). Il est destiné à l'alimentation en eau potable des agglomérations de Cherrhell et Tipasa, et l'irrigation de 7200 ha dans la plaine de la Mitidja Occidental. Sa capacité totale de retenue est  $97 \text{ hm}^3$ , son volume régularisé est  $49 \text{ hm}^3$ , et son volume existant est estimé à  $38,565 \text{ hm}^3$ .



**Figure 4.21** Barrage Boukerdène.

Le climat de la région se situe dans un seul étage bioclimatique subdivisé en deux variantes :

1. L'étage sub-humide caractérisé par un hiver doux dans la partie nord.
2. L'étage sub-humide caractérisé par un été chaud dans la partie sud.

Les vents ont des fréquences différentes durant l'année ; les plus dominantes sont de direction sud et ouest ; quant au sirocco, il est rarement enregistré au cours de l'hiver. Par contre les gelées sont fortement influencées par l'altitude. Les précipitations moyennes enregistrées par la station de Merad font ressortir une pluviométrie moyenne annuelle de 600 mm. Les températures varient entre  $33^{\circ}\text{C}$  pour les mois chauds de l'été (Juillet, Août) à  $5,7^{\circ}\text{C}$  pour les mois les plus froids (Décembre à Février) [87-90].

#### 4.2.2. Echantillonnage et mode de prélèvements

Les prélèvements d'eau ont été effectués mensuellement de Février jusqu'au mois d'Août 2011 (la durée de la réalisation du projet). Suivant des méthodes standardisées (de Rodier et Afnor, 24 variables ont fait l'objet d'un suivi physicochimique. L'oxygène dissous est mesuré par la méthode décrite qui doit son origine à Winckler. Des adaptations complémentaires (Alsterberg) l'ont rendue utilisable en présence de certaines interférences. Les nitrates ( $\text{NO}_3^-$ ), les nitrites ( $\text{NO}_2^-$ ), l'azote ammoniacal ( $\text{NH}_4^+$ ) et les sulfates ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) sont déterminés par dosage colorimétrique à l'aide d'un spectrophotomètre. Le calcium ( $\text{Ca}^+$ ) et le magnésium ( $\text{Mg}^{2+}$ ) sont dosés par la méthode volumétrique en EDTA. Le sodium ( $\text{Na}^+$ ) et le potassium ( $\text{K}^+$ ) sont déterminés par photomètre à flamme variant (Photomètre EPPENDORF+ Servotrace) [91, 84].

La M.O est déterminée par oxydation à chaud en milieu acide. La turbidité est mesurée par un turbidimètre (HANNA Instruments HI 93703 MicroprocessorbTurbidy meter). Il est à noter que les prélèvements des échantillons d'eaux ont été effectués à la surface de l'eau. Ces mesures ont été effectuées au niveau du laboratoire de l'ANRH (Agence Nationale des Ressources Hydriques) de Blida, tandis que les autres mesures ont été effectuées au niveau du Laboratoire 256 du Département de Chimie Industrielle de Blida et à l'ADE de Chiffa [91, 84].

Parallèlement aux données abiotiques, les prélèvements de micro-algues ont été réalisés. Ces échantillonnages ont été réalisés à l'aide d'un filet à plancton de 20 à 100  $\mu\text{m}$  de vide de maille, les échantillons ont été fixés et conservés dans une solution de Lugol. Sur ces échantillons, les espèces ont été identifiées et dénombrés au microscope inversé selon la méthode d'Utermohl, modifié par Legendre et Watt [92-93].

#### 4.3. Elimination des micro-algues des eaux du Barrage Ghrib par le procédé de coagulation améliorée

##### 4.3.1. Choix du coagulant

Le travail de la coagulation améliorée a été réalisé sur les eaux de Barrage Ghrib ainsi que sur le Barrage Lakhel qui possèdent des paramètres physicochimiques très importants, d'autant plus les paramètres de pollution. Les coagulants utilisés et testés sont le sulfate d'aluminium et le chlorure ferrique [95-96, 58].

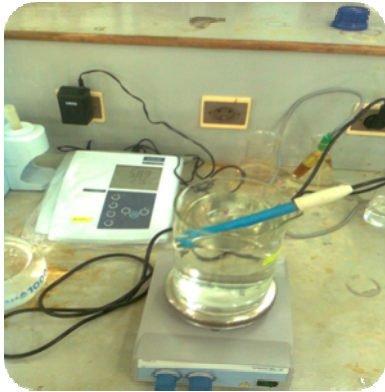
Le travail est réalisé sur un jar test de type WRC composé d'une batterie de quatre béchers fonctionnant simultanément [97].



**Figure 4.22** Essai de coagulation/floculation (Jar-test).

Les essais de coagulation/floculation permettent de déterminer le dosage optimal de plusieurs types de coagulants de façon à répondre à des objectifs du traitement. Le but de cette expérience consiste à étudier l'influence du pH, et de la dose du coagulant choisi pour la seconde étape de ce travail, à savoir la coagulation améliorée, ainsi que le pourcentage d'élimination de la turbidité et des micro-algues. La méthode de traitement se répartit comme suit :

- Il faut agiter l'eau à traiter convenablement avant de prélever un échantillon que ce soit pour faire les analyses ou pour faire un essai de coagulation/floculation.
- Mesurer la température et le pH (appareil de marque Inolab level 1), la turbidité ainsi que la conductivité (appareil de marque HANNA Instrument EC 215, Conductivity meter) de l'eau du barrage.



**Figure 4.23** pH-mètre.



**Figure 4.24** Conductimètre.

- Recenser les micro-algues existantes dans l'eau brute avant traitement par la méthode d'Utermhol (Paragraphe 4.2.2, Annexe A).



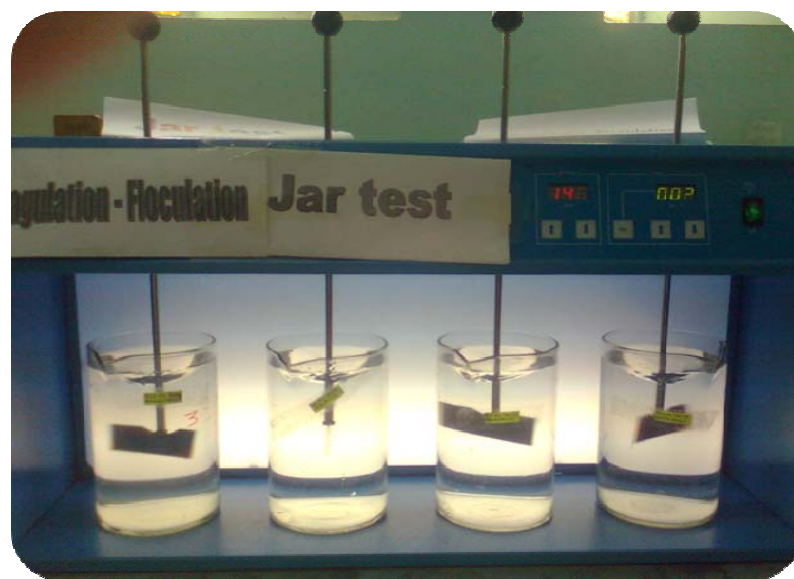
**Figure 4.25** Microscope inversé.



**Figure 4.26** Chambre d'Utermhol.

- Verser 1 L d'échantillon dans chacun des béchers, et les placer sur le banc d'agitation.

- Mettre en route l'agitation jusqu'à atteindre une vitesse de 140 trs/min pour homogénéiser l'échantillon pendant 5 min.
- Préparer les solutions du coagulant.
- Injecter le coagulant à différentes concentrations simultanément dans chacun des béchers.
- Continuer l'agitation à 140 trs/min pendant 2 min (coagulation).



**Figure 4.27** Essai de Jar-Test (coagulation).

- Réduire l'agitation à 40 trs/min pendant 20 min (floculation) puis arrêter l'agitation.



**Figure 4.28** Essai de jar test (floculation).

- Allumer les lampes du banc d'agitation et laisser décanter pendant 30-60 min.
- Pendant ce temps là, observer les floccs (temps d'apparition; grosseur; aspect).
- Prélever simultanément un échantillon d'eau surnageante (traitée) dans chacun des béchers et l'analyser (turbidité, pH, conductivité, micro-algues).

#### 4.3.2. Coagulation classique

Pour la coagulation classique, nous avons réalisé plusieurs essais de jar test (Paragraphe 4.3.1) sur l'eau du Barrage Ghrib, en utilisant le meilleur coagulant choisi en termes d'efficacité et de rendement, durant le mois de Février jusqu'au mois de Mai, en poursuivant les mêmes étapes citées précédemment.

a permis de fixer le pH du milieu, par la suite, on enchaîne les essais de jar test (cités dans le paragraphe 4.3.1).

Ce procédé a été réalisé afin de déterminer son efficacité d'éliminer la turbidité et les micro-algues existantes dans les eaux du barrage étudié et cela pendant chaque mois de la durée du stage en question (Février, Mars, Avril, Mai).

#### 4.3.4. Analyse de la microscopie électronique à balayage

Cette analyse permet de décrire tous les aspects du solide plus précisément sa topographie. Utilisée pour ses fonctions d'observation, la microscopie électronique à balayage (MEB) s'est ensuite développée en association avec d'autres techniques analytiques et a ainsi trouvé de nombreuses applications en métallurgie, dans le domaine de la géologie et de la biologie [98].

Les observations au MEB d'un échantillon de poudre d'alumine permettent de préciser la morphologie de la poudre et les modifications qui ont eu lieu après traitement par coagulation améliorée en acidifiant le milieu avec l'acide et qui a donné de meilleurs rendements après séchage à 105°C pendant 4 h durant notre travail. L'appareil est de marque JEOL JSM6360LV [99, 9].



## CHAPITRE 5 RESULTATS ET DISCUSSIONS

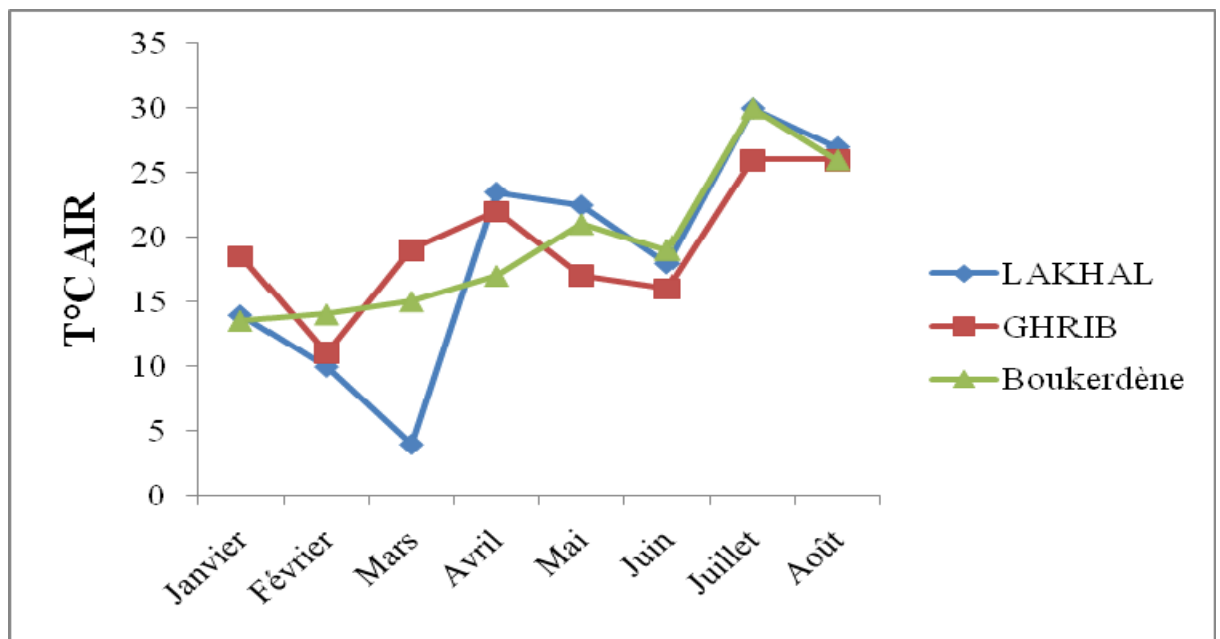
### 5.1. Analyses physicochimiques des Barrages Lakhel et Ghrib et hydrobiologiques des Barrage Lakhel et Boukerdène

#### 5.1.1. Zone d'étude et choix du barrage

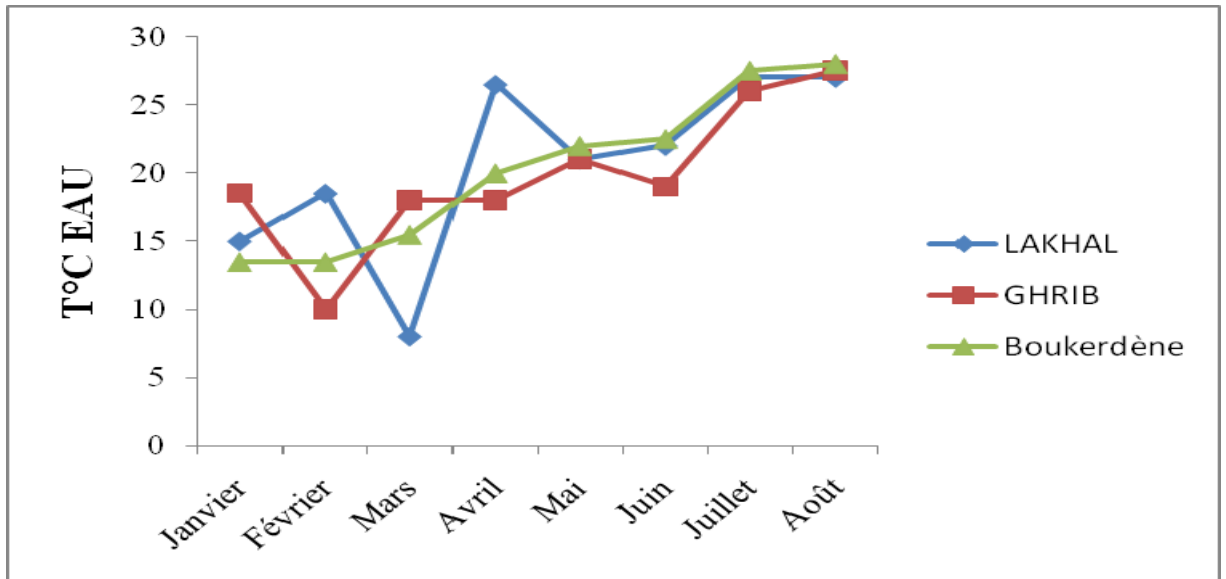
##### 5.1.1.1. Analyses physicochimiques des Barrages Lakhel, Ghrib, et Boukerdène par l'ANRH

Les résultats de l'analyse physicochimique et le suivi des températures, sont reportés dans les Tableaux 1, 2 et 3 (Annexe A). Ces résultats sont comparés aux normes de l'OMS (2004) et aux normes Algériennes (Journal Officiel n°46, 1993) relatives à la qualité des eaux utilisées pour la production de l'eau destinée à la consommation [100].

Les figures ci-dessous montrent la variation mensuelle de la Température de l'Air et de l'eau des trois barrages.



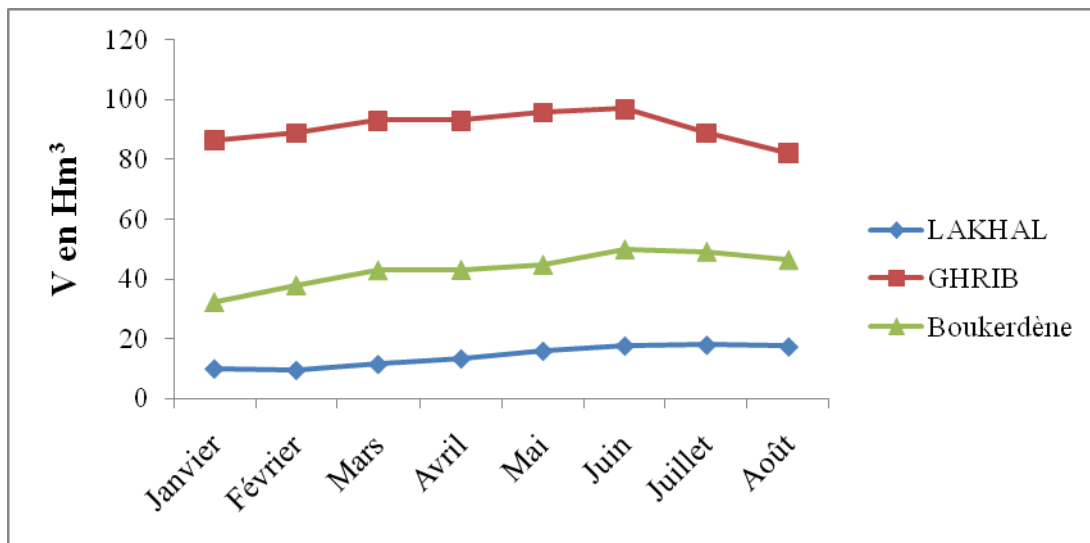
**Figure 5.29** Variation mensuelles de la température de l'air des eaux de barrages : Ghrib, Lakhel et Boukerdène.



**Figure 5.30** Variations mensuelles de la température des eaux de barrages : Ghrif, Lakhel et Boukerdène.

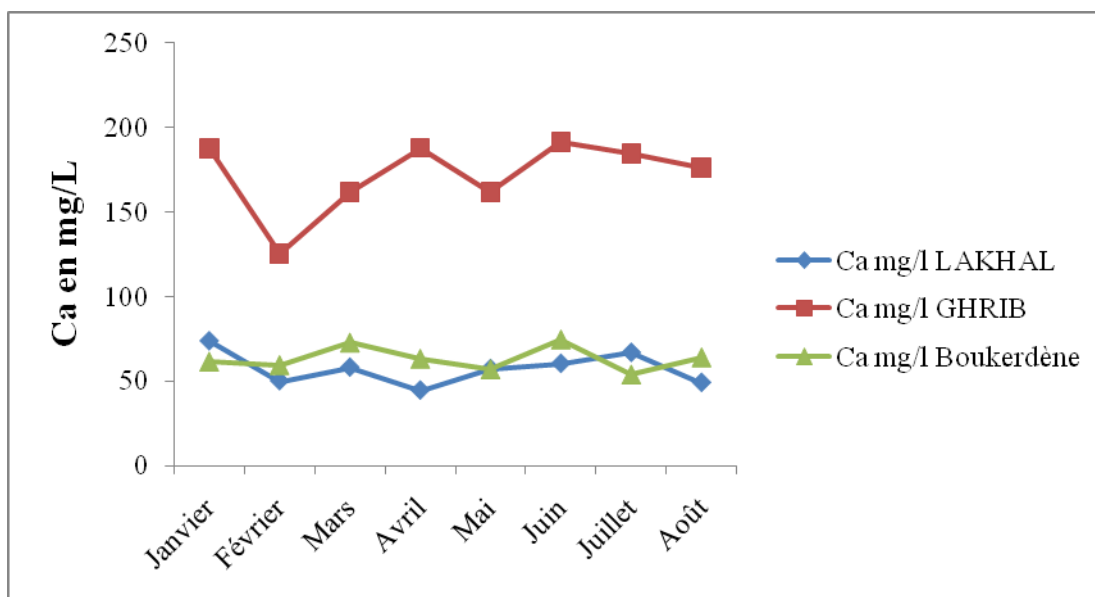
Pour les trois barrages, le régime thermique (températures de l'air) des eaux superficielles du plan d'eau (températures de l'eau) suit celui du climat méditerranéen; il est élevé pendant l'été (27°C à Lakhel, 28°C à Ghrif et à Boukerdène), doux au printemps et en automne (17°C à Lakhel, 18°C à Ghrif et 16°C à Boukerdène) [79].

Selon Hamaidi et *al*, et à partir des données recueillies tout au long de la période de stage, les valeurs de la température sont similaires et suivent un rythme saisonnier. Ces valeurs restent, cependant, acceptables par rapport aux valeurs fixées par la directive de l'OMS (2004), et les normes Algériennes qui sont de 22-25°C [79, 100].



**Figure 5.31** Variations mensuelles du volume ( $\text{Hm}^3$ ) des eaux de Barrages Ghrif, Lakhel et Boukerdène.

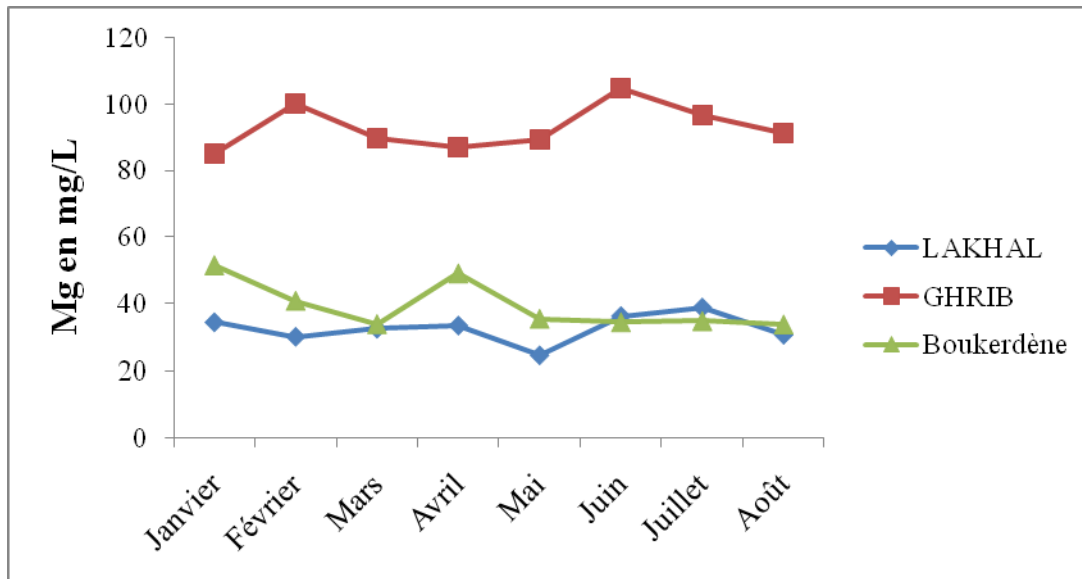
Pour les trois Barrages, le volume total varie légèrement et cela dépend de la température des eaux enregistrée dans chaque barrage (Figure 5.31) et de la pluviométrie.



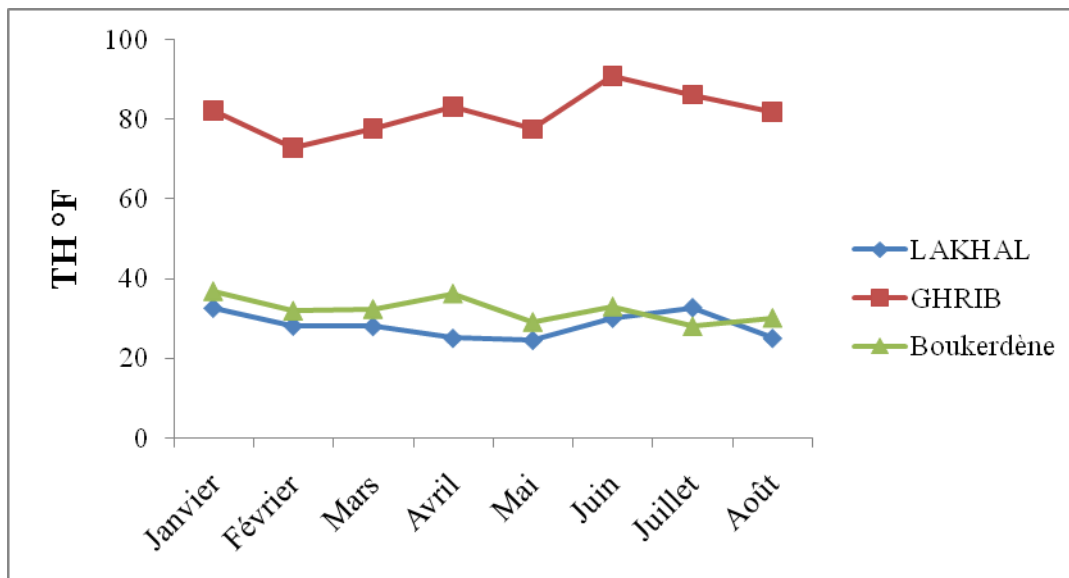
**Figure 5.32** Variations mensuelles du calcium ( $\text{mg/L}$ ) des eaux de Barrages Ghrif, Lakhel et Boukerdène.

Le calcium (Ca) et le magnésium (Mg) sont des éléments que l'on retrouve abondamment dans le sol et les roches; ils sont essentiels à la santé de l'être humain. Le calcium est le

cinquième élément naturel le plus abondant, et le magnésium, le huitième. Ces deux éléments sont présents dans toutes les eaux naturelles.

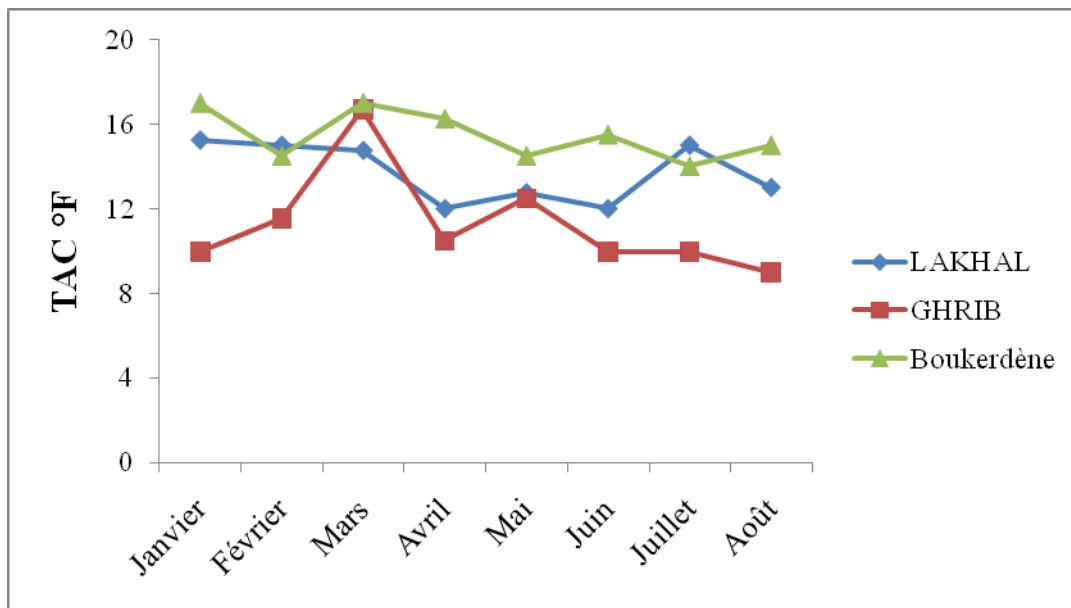


**Figure 5.33** Variations mensuelles du magnésium (mg/L) des eaux de Barrages Ghib, Lakhel et Boukerdène.



**Figure 5.34** Variations mensuelles de la dureté (°F) des eaux des Barrages Ghib, Lakhel et Boukerdène.

Dans les eaux des deux Barrages Boukerdène et Lakhel, on note que les valeurs de  $\text{Ca}^{2+}$  et de  $\text{Mg}^{2+}$  obtenues par mg/L ne dépassent pas les normes (selon les valeurs fixées par l'OMS : 100 mg/L pour le Ca et 50 mg/L pour le Mg), contrairement à celles obtenues dans le Barrage Ghib, en enregistrant des taux supérieurs aux normes (Figures 5.32-33). Cela peut s'expliquer par la salinité et les roches calcaires qui se trouvent dans le milieu.



**Figure 5.35** Variations mensuelles de l’alcalinité (°F) des eaux des Barrages Ghrif, Lakhel et Boukerdène.

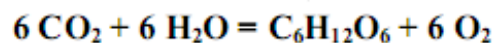
Par ailleurs, les variations de la dureté calcique (THCa) ne suivent pas celles de l’alcalinité (TAC) (Figure 5.35), les concentrations élevées de la dureté calcique (91°F dans le Barrage Ghrif au mois de Juin) sont dues à la nature géologique du bassin versant du barrage qui contient des roches calcaires. Pour le Barrage Ghrif, les valeurs du pH tendent vers l’alcalinité (Figure 5.36), ceci s’explique probablement par la ventilation du milieu (la région de Bougezoul qui aliment ce Barrage se trouve à l’intersection entre les Hauts-Plateaux et la plaine de Mitidja). D’une façon générale, les valeurs du pH montrent que tous les points d’eau se trouvent dans l’intervalle de la norme de potabilité et varie entre 7,5 et 8,6. Selon l’OMS (2004), le pH d’une eau potable doit être compris entre 6,5 et 8,5, les eaux du Barrage Lakhel et Boukerdène ont un pH voisin de la neutralité avec un léger caractère alcalin (Figure 5.36). L’alcalinité des eaux est liée, principalement, aux bicarbonates et les silicates. Les phosphates et toute forme de matière organique (M. O) basiques contribuent légèrement à son alcalinité. Donc, l’alcalinité c’est la capacité à absorber des ions  $H^+$  [100].

Selon Harrat, le Barrage Ghrif étudié est situé dans une région très boisée où la couverture végétale est très dense, ce qui augmente les valeurs de la turbidité (Figure 5.38) [101].

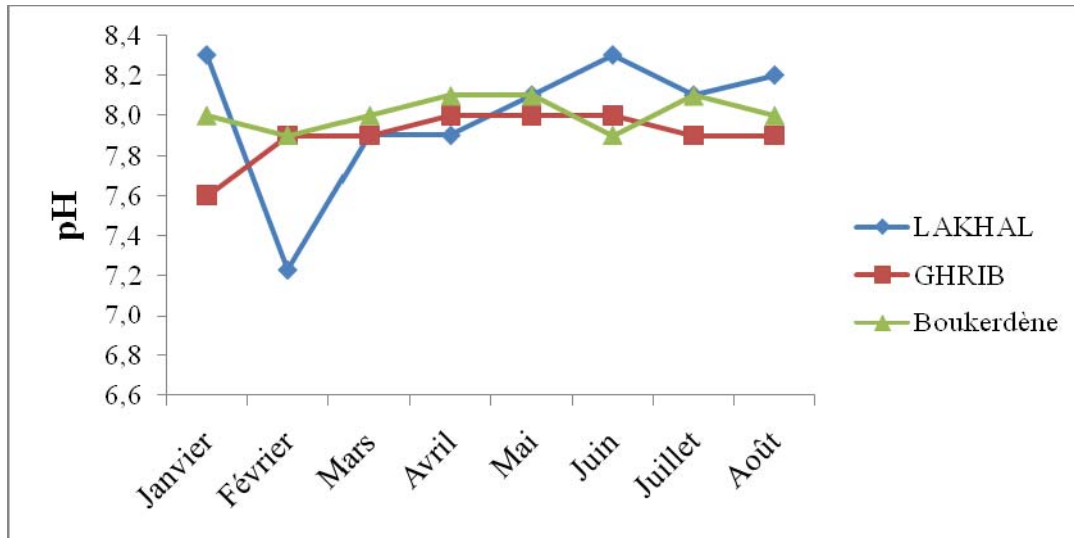
Selon Thornton et *al*, l'accroissement de la turbidité a un impact sur le processus biologique du fait d'une modification de la température. Le blocage du passage de la lumière par les sédiments en suspension a un effet sur le phénomène de la photosynthèse. Concernant les éléments minéraux, pour les trois Barrages, l'alcalinité est bicarbonatée puisque le pH est inférieur à 8,3[102].

D'après Khemici, l'augmentation du pH des eaux du Barrage Lakhel (8,2) peut être due à une forte activité photosynthétique [78-79].

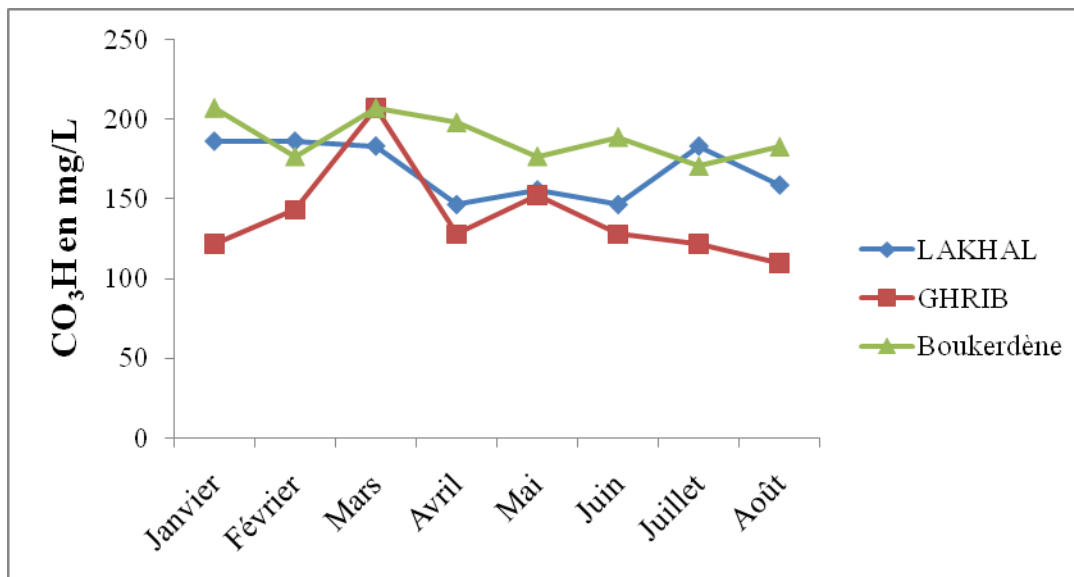
### Réaction de la photosynthèse



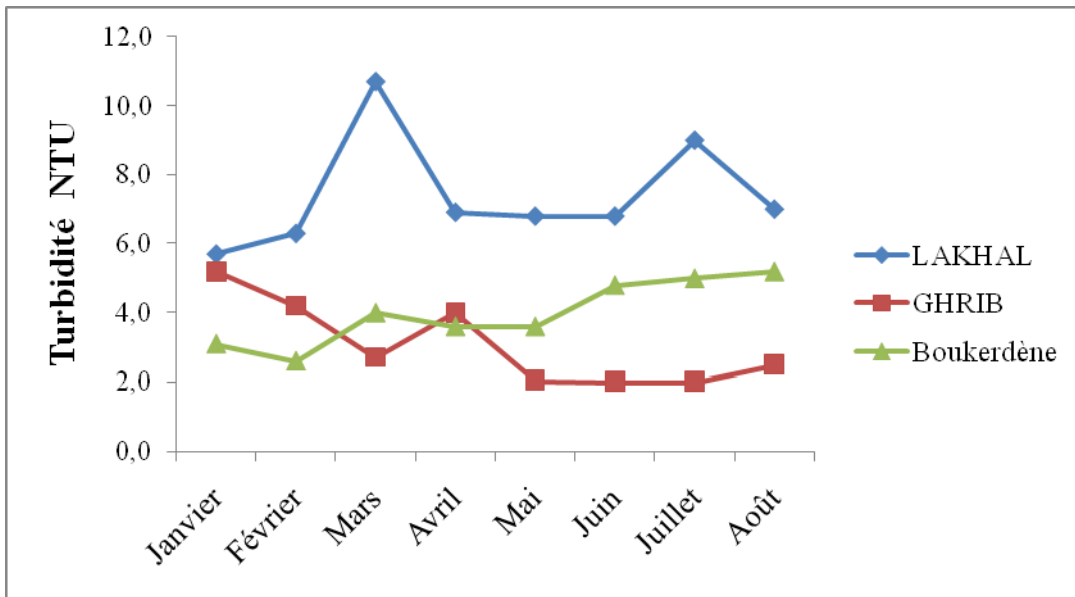
D'après la réaction de la photosynthèse [9], Selon Billard, l'explication de la l'influence de l'activité photosynthétique sur le pH est relative à la modification des concentrations en  $\text{CO}_2$  (Photosynthèse) par respiration (échange air-océan) ou par précipitation en  $\text{CO}_3^{2-}$  entrainera une modification du pH. Ce dernier, augmentera en présence d'une forte activité photosynthétique et il diminuera en dessous de la zone eutrophique. En milieu côtier, certains rejets industriels ou apports d'eaux continentales sont la cause de variation du pH, il peut constituer dans ce cas un indice de pollution [103]. Le pH de l'eau dépend de la nature de substrat géologique local, et des apports d'amendements calcaïques mais il dépend surtout de la teneur en  $\text{CO}_2$ . Pendant le jour, le phytoplancton et les végétaux supérieurs consomment du  $\text{CO}_2$  pour réaliser la photosynthèse et entraînent ainsi une élévation du pH. L'opération inverse se déroule durant la nuit, ce qui conduit à une fluctuation du pH. Dans les eaux peu alcalines, l'amplitude du pH peut aller de 6 à 10 [104].



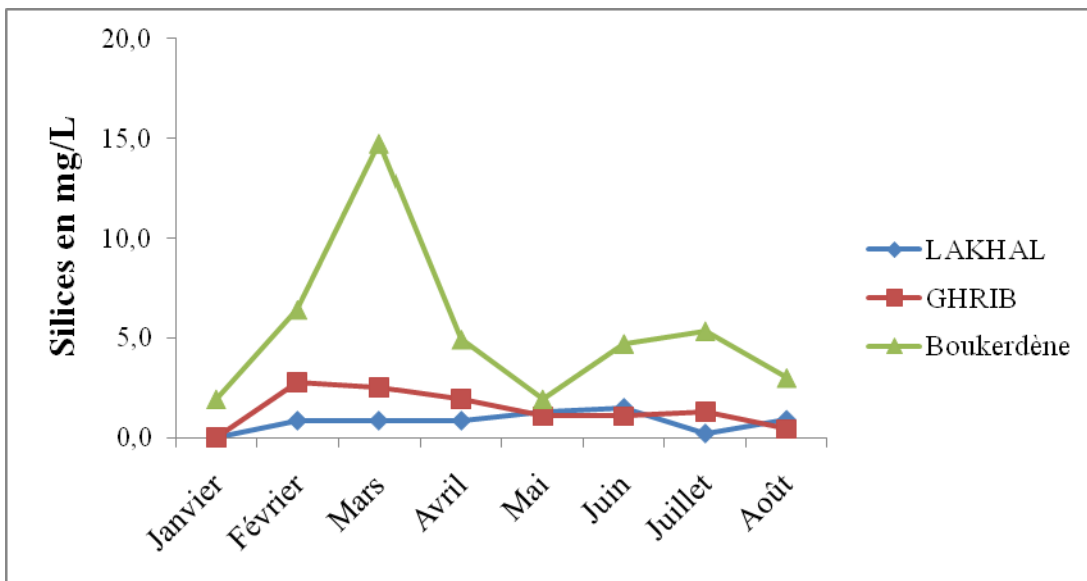
**Figure 5.36** Variations mensuelles du pH des eaux des Barrages Ghib, Lakhel et Boukerdène.



**Figure 5.37** Variations mensuelles des bicarbonates (mg/L) des eaux des Barrages Ghib, Lakhel et Boukerdène.

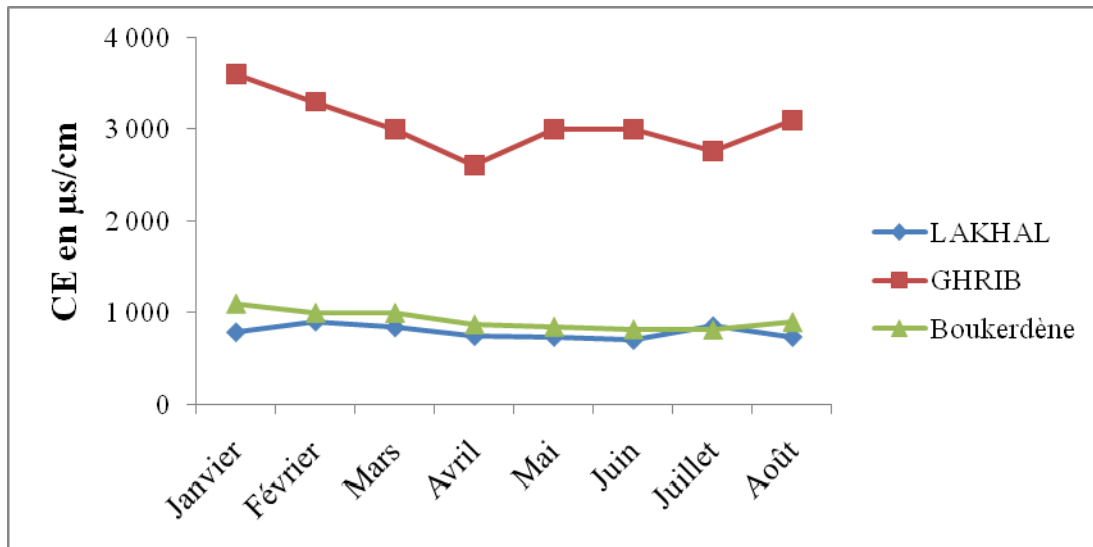


**Figure 5.38** Variations mensuelles de la turbidité (NTU) des eaux des Barrages Ghrif, Lakhel et Boukerdène.



**Figure 5.39** Variations mensuelles de la silice (mg/L) des eaux de Barrages Ghrif, Lakhel et Boukerdène.





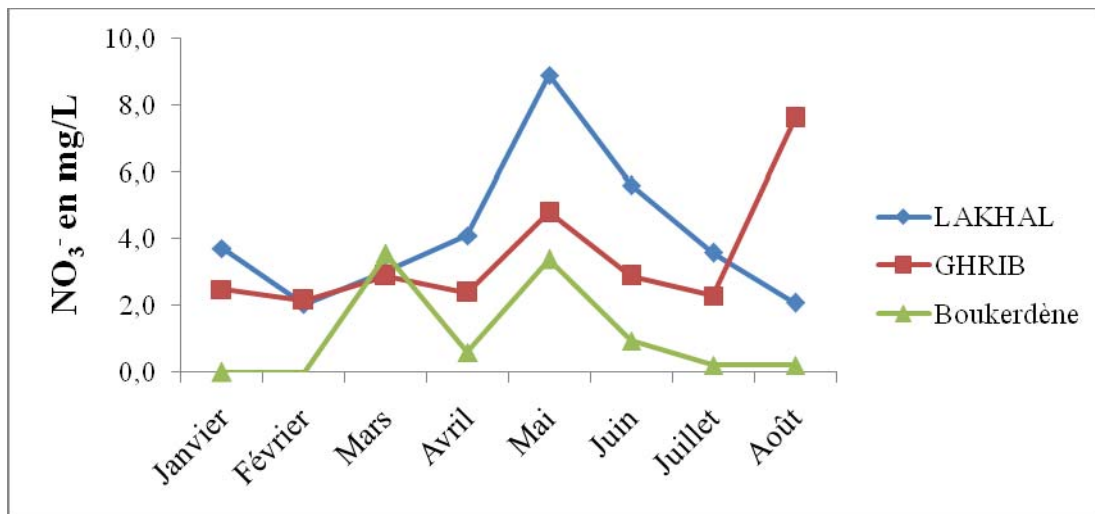
**Figure 5.40** Variations mensuelles de la conductivité électrique ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) des eaux des Barrages : Ghrib, Lakhel et Boukerdène.

Pour le Barrage Boukerdène, la quantité de la silice dans l'eau est très élevée par rapport à celles des autres barrages, elle représente un pic au mois de mars. Quant aux valeurs de la conductivité mesurées au cours de l'année, elles varient entre 700 à 900  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (Figure 5.40) ; ces valeurs sont similaires à celles du Barrage Lakhel, ce qui indique que cette eau est peu minéralisée donc relativement douce.

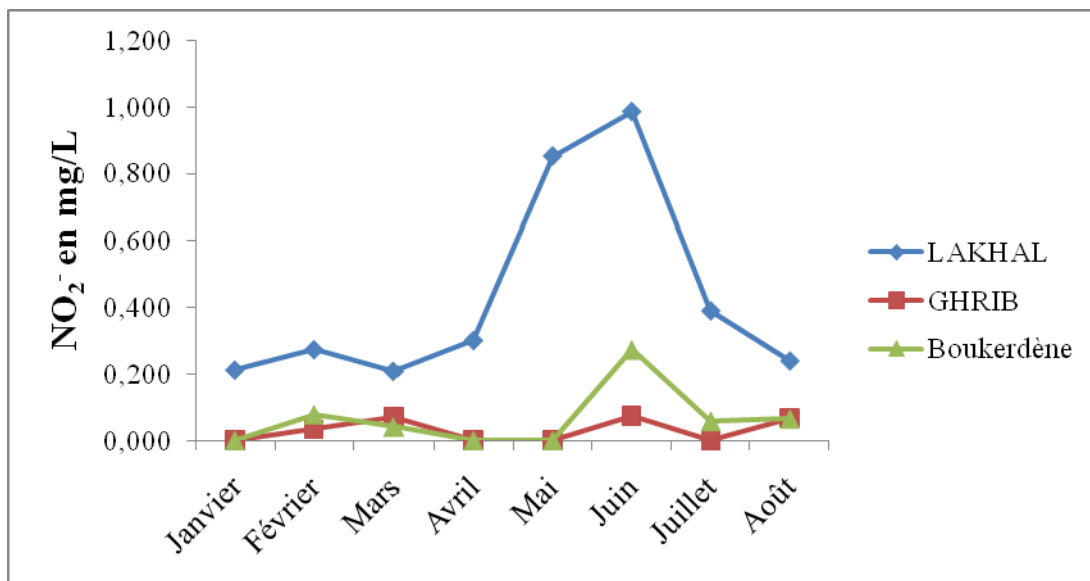
Pour le Barrage Ghrib, les valeurs de la conductivité électrique (CE) ainsi que de la salinité sont très élevées, les maxima ont été enregistrés au mois de Janvier.

Par ailleurs, la présence des nitrates dans les échantillons pourrait être due à la pratique agricole. Ces concentrations restent cependant inférieures à la concentration maximale acceptable selon la Directive Européenne (OMS, 2004) et les Normes Algériennes qui sont de 50 mg/l [100]. Les faibles teneurs obtenues en  $\text{NH}_4^+$  montrent que ces molécules proviennent principalement du métabolisme. En effet, en présence des microorganismes, l'azote organique contenu dans les MOs est oxydé en  $\text{NH}_4^+$ . La nitrification convertit le  $\text{NH}_4^+$  en  $\text{NO}_3^-$  en passant par le  $\text{NO}_2^-$  [105]. Tous ces processus microbiens entre les nitrates, nitrites et l'ammonium dépendent de la présence ou de l'absence de l'oxygène [106], de la température et du pH [107]. L'ammonium est un indicateur de la contamination des sources d'eau par la M.O [108]. Les nitrites ne sont retrouvés que rarement en concentrations importantes dans les eaux naturelles [109]. La teneur en azote ammoniacal est très faible, l'ammoniac est oxydé graduellement en nitrites et nitrates.

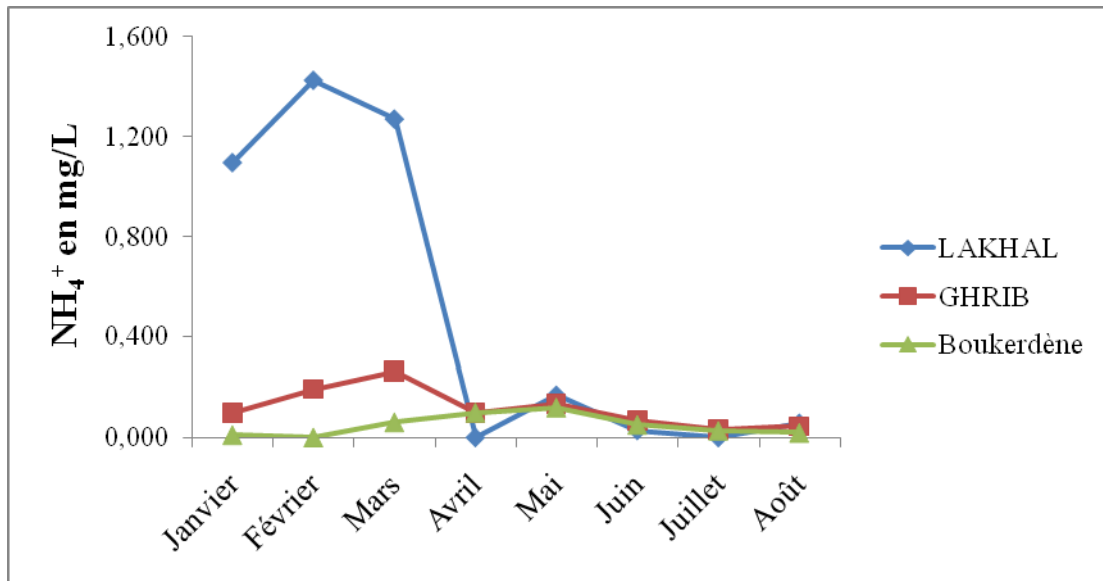
Toutefois, les concentrations en nitrates relevées dans l'ensemble du plan d'eau sont nettement supérieures à la valeur guide fixée à 5 mg/L pour une eau d'excellente qualité. Les concentrations des nitrites relevées des trois barrages, sont relativement faibles avec un minimum égal à 0,209 mg/L pour Lakhel, à pour Ghrif et Boukerdène (saison hivernale) et un maximum de 0,988 mg/L pour Lakhel, 0,075 mg/L pour Ghrif et 0,274 mg/L pour Boukerdène (saison estivale) (Figure 5.42); ces faibles valeurs sont dues probablement à leur transformation en nitrates par les processus de nitrification et/ou dénitrification en présence d'une quantité d'oxygène suffisante.



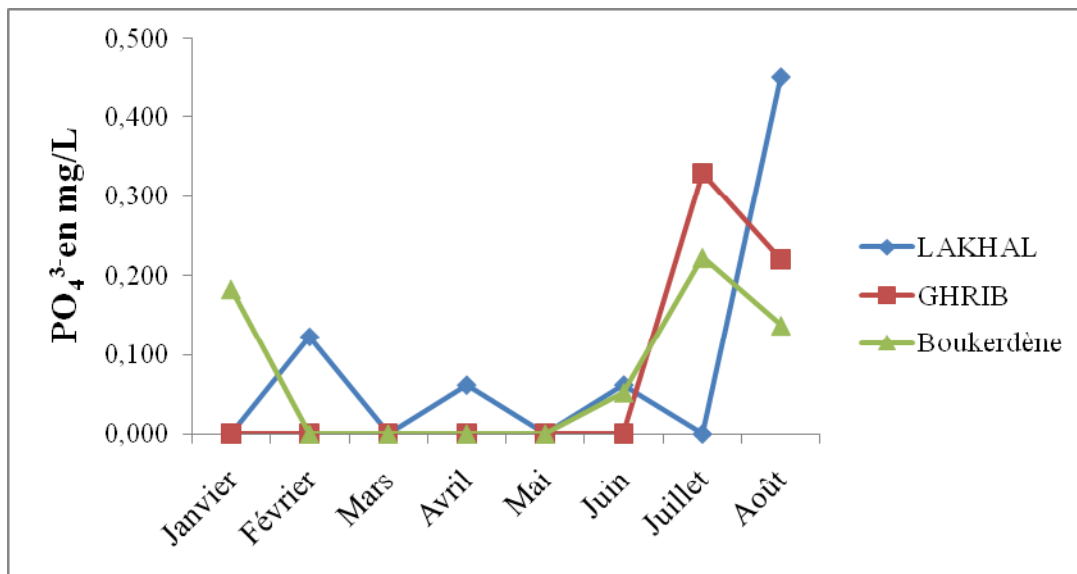
**Figure 5.41** Variations mensuelles des nitrates (mg/L) des eaux des Barrages : Ghrif, Lakhel et Boukerdène.



**Figure 5.42** Variations mensuelles des nitrites (mg/L) des eaux des Barrages : Ghrif, Lakhel et Boukerdène.

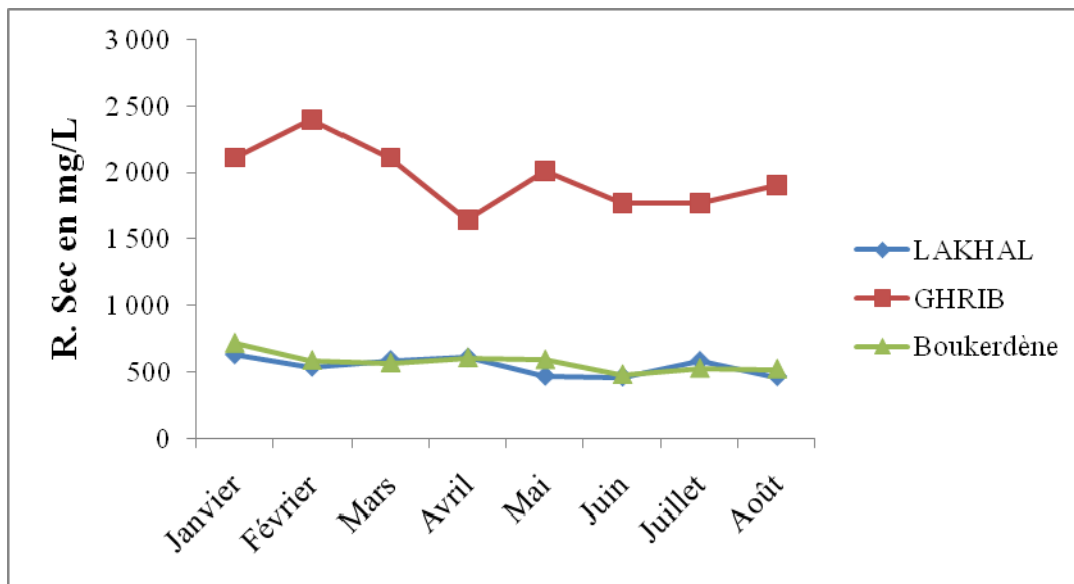


**Figure 5.43** Variations mensuelles de l'ammonium (mg/L) des eaux des Barrages : Ghib, Lakhel et Boukerdène.

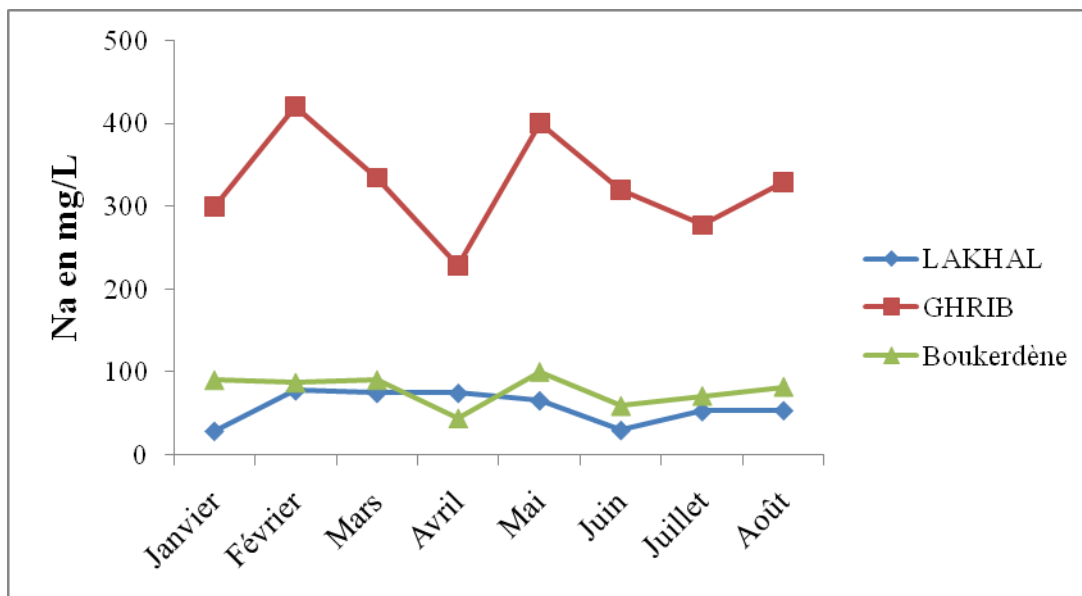


**Figure 5.44** Variations mensuelles des phosphates des eaux des Barrages : Ghib, Lakhel et Boukerdène.

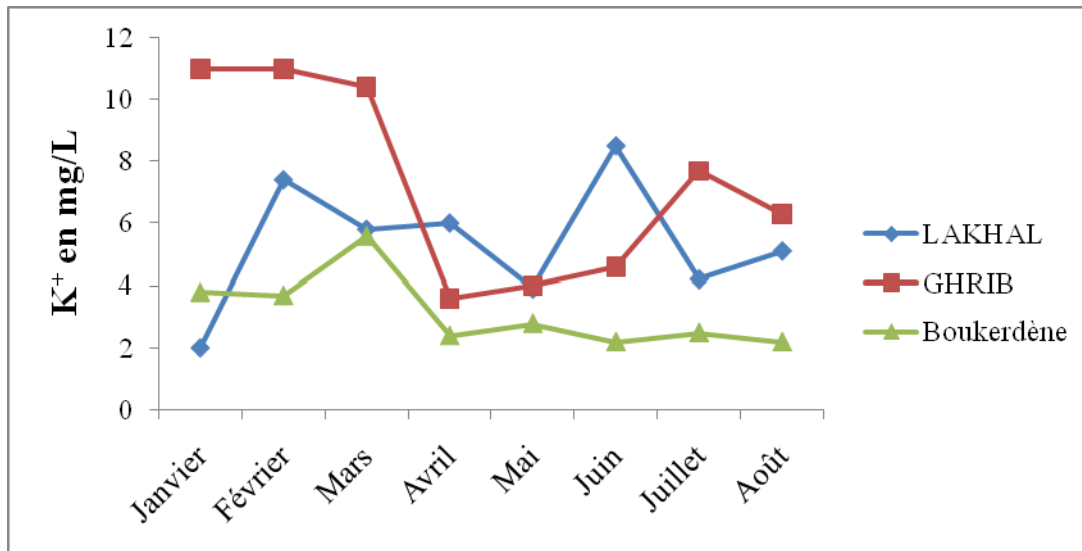
Pour le phosphore, son évolution est presque homogène, avec des valeurs moyennes allant de 0 à 0,450 mg/L pour Lakhel, 0,333 mg/L pour Ghib et 0,223 mg/L pour Boukerdène. Toutefois, nous estimons que le phosphore est sûrement présent dans l'eau à cause des rejets urbains qui sont évacués dans les oueds alimentant ces barrages. Cette absence pourrait être expliquée par le fait que les phosphates des engrais se fixent sur le sol et sont faiblement entraînés par les eaux de ruissellement.



**Figure 5.45** Variations mensuelles des résidus secs (mg/L) des eaux des Barrages : Ghrif, Lakhel et Boukerdène.

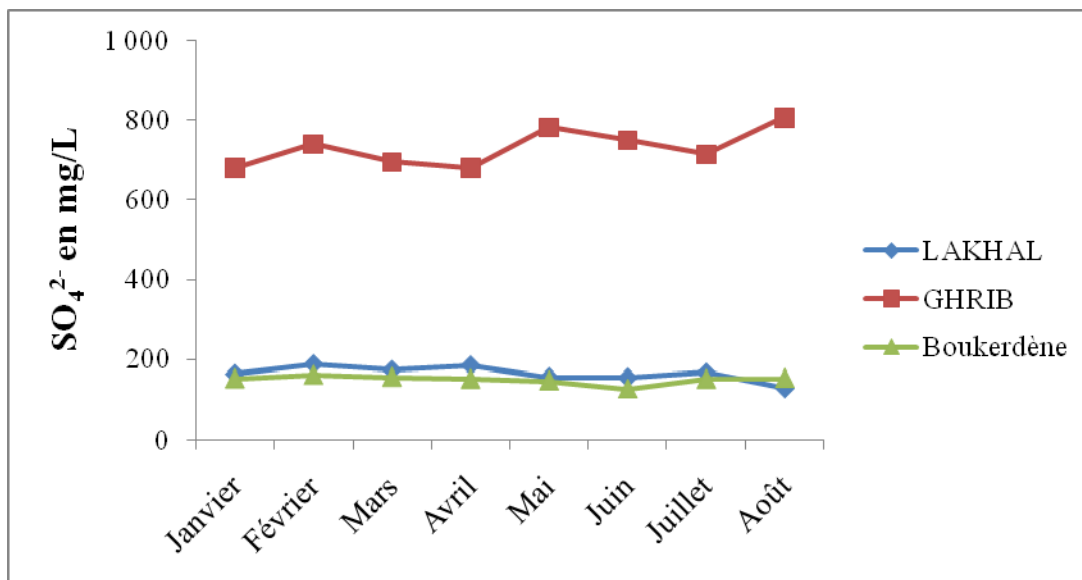


**Figure 5.46** Variations mensuelles du sodium (mg/L) des eaux des Barrages : Ghrif, Lakhel et Boukerdène.



**Figure 5.47** Variations mensuelles du potassium (mg/L) des eaux des Barrages : Ghib, Lakhel et Boukerdène.

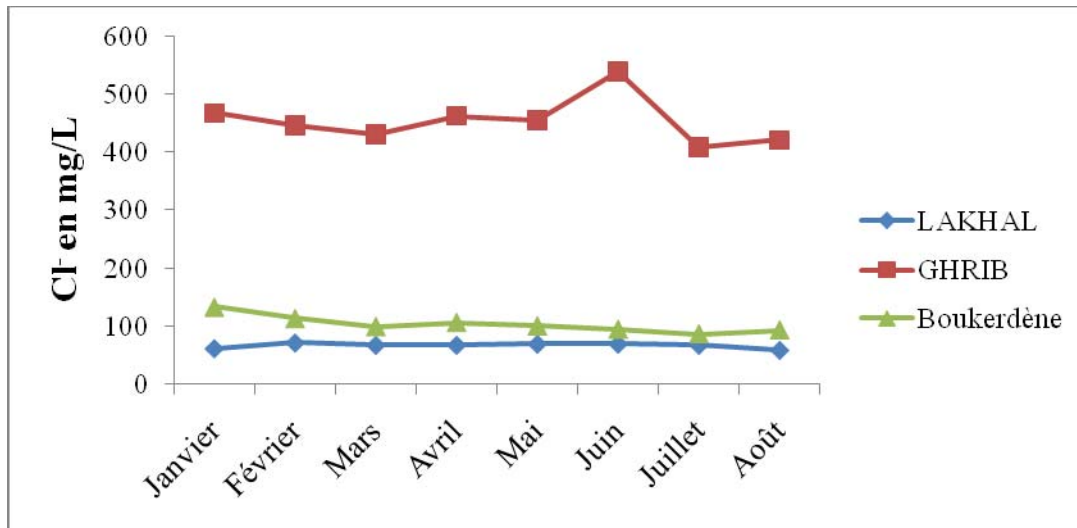
Concernant les concentrations des sels minéraux ( $K^+$  et  $Na^+$ ) contenus dans les eaux du Barrage Ghib, elles sont très élevées par rapport à celles du Barrage Lakhel et Boukerdène, cela est dû à la salinité du milieu naturel alimentant le Barrage Ghib en eau de surface.



**Figure 5.48** Variations mensuelles des sulfates (mg/L) des eaux des Barrages : Ghib, Lakhel et Boukerdène.

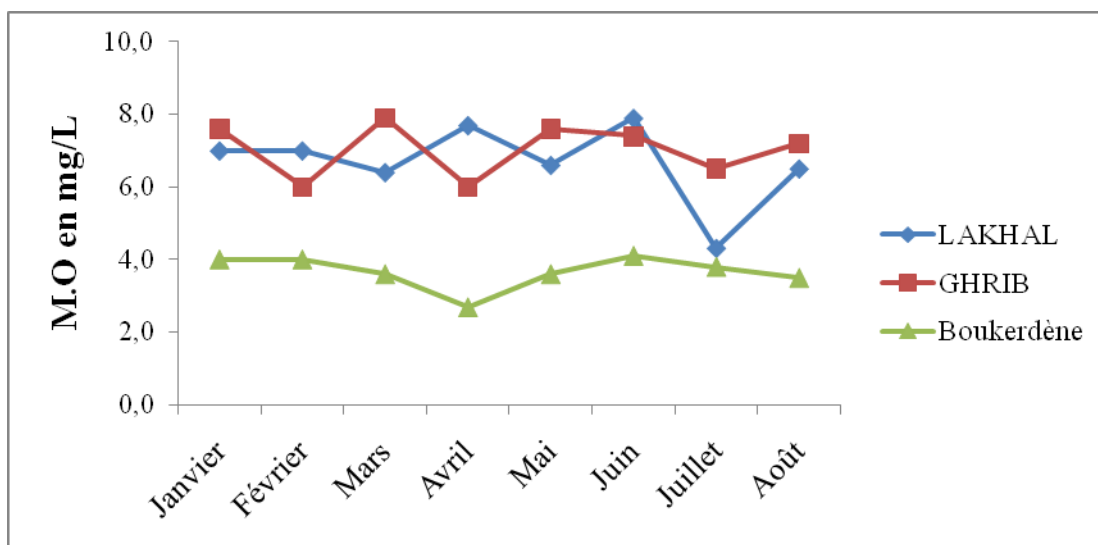
En comparant l'eau du Barrage Ghib à celles Barrages Lakhel et Boukerdène, elle est de très mauvaise qualité à cause de la concentration des sulfates, ce qui peut devenir un facteur limitant à la productivité de ce lac. Par ailleurs, l'absence de roches gypseuses et de

pyrites laisserait supposer que l'origine de ces teneurs très élevées est due essentiellement aux rejets des eaux usées. Selon Cornaz, la décomposition des sulfates en milieu anoxique aboutit à la formation de l'hydrogène sulfaté toxique pour la faune et pourrait être à l'origine d'une odeur et goût désagréables [110].



**Figure 5.49** Variations mensuelles des chlorures (mg/L) des eaux des Barrages : Ghrif, Lakhel et Boukerdène.

L'analyse des eaux du Barrage Ghrif montre des fortes teneurs des concentrations en ions chlorures (Cl) qui sont enregistrées surtout au mois de Juin (Figure 5.49). Selon Cherbi, cette teneur pourrait s'expliquer par la nature du terrain du bassin versant situé sur un sol salin et par des rejets d'eaux usées [111].



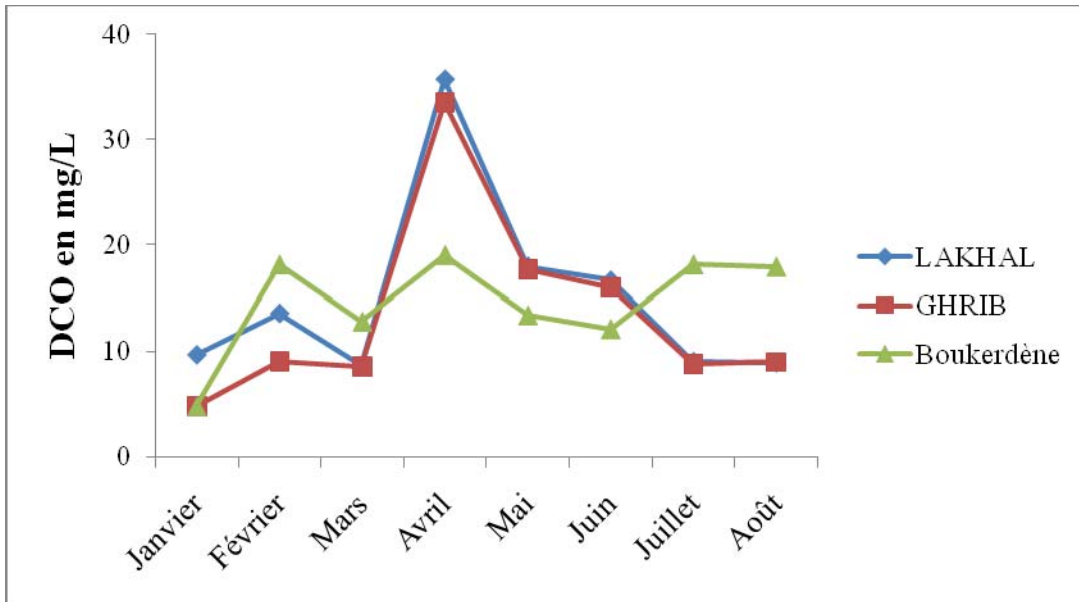
**Figure 5.50** Variations mensuelles de la MO des eaux des Barrages : Ghrif, Lakhel et Boukerdène.

Les teneurs enregistrées en MOs (entre 4,3 et 7,9 mg/L pour Lakhel, idem pour Ghrib, et entre 2,7 et 4,1 mg/L pour Boukerdène) pourraient provenir d'une pollution naturelle (végétation en décomposition) et très peu de pollution d'origine exogène (rejets urbains et pratiques agricoles). Elles pourraient être d'origine soit endogène générée au cours des processus biologiques au sein du milieu, principalement, l'excrétion algale [112], la lyse cellulaire et la sénescence algale [113-114], soit d'origine exogène apportée par le lessivage des sols [115].

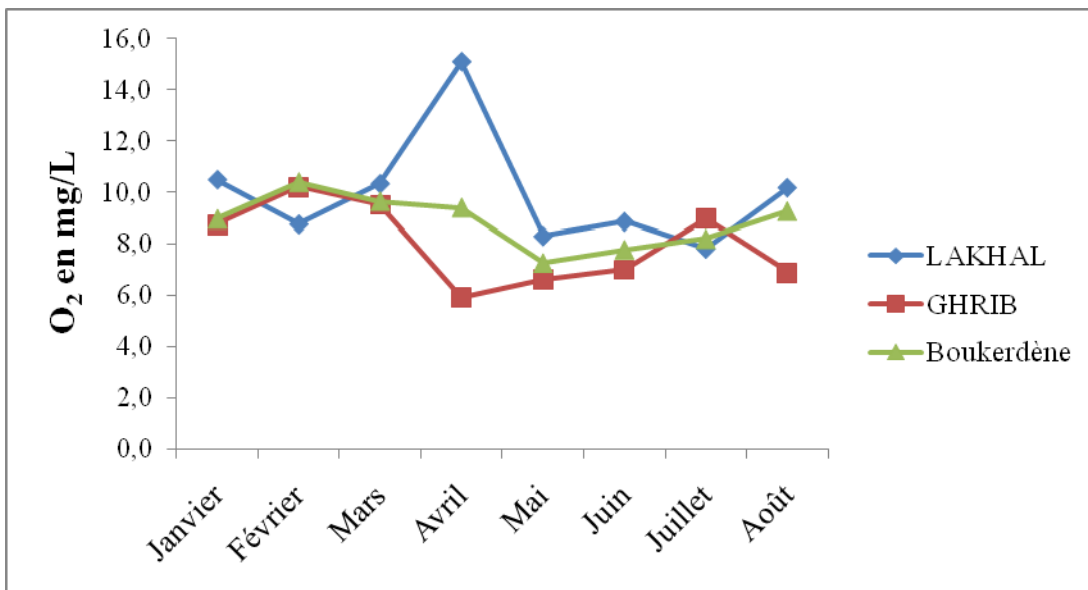
Les valeurs obtenues en analysant les eaux des Barrages Ghrib et Lakhel, dépassent la norme fixée par l'OMS qui est inférieure à 5 mg/L. Dupieux a prouvé que cette concentration élevée est due aux rejets urbains et à une pollution industrielle. Selon CEAEQ, ces valeurs peuvent perturber l'équilibre biologique naturel et peut aussi gêner la production en eau potable. La diminution de la MO observée au niveau du Barrage Boukerdène, serait due à l'augmentation de la température qui accélère le processus de dégradation de la MO par la flore bactérienne [100].

L'oxygène dissous ( $O_2$ ) des eaux superficielles varie entre 7,8 et 15,1 mg/L et c'est le cas pour le Barrage Lakhel. Ces concentrations relativement élevées ne reflètent pas le taux de la charge organique existante réellement dans la phase dissoute de l'eau (Figure 5.52). Ceci pourrait s'expliquer soit par une faible consommation de l'oxygène des microorganismes et du zooplancton (La demande chimique en oxygène (DCO) a augmenté au mois d'Avril puis elle a diminué (Figure 5.51), soit par une activité photosynthétique intense des végétaux aquatiques (phytoplancton).

En plus, durant la période de l'échantillonnage, les eaux de surface du Barrage Lakhel présentaient une oxygénation très élevée. Le maximum de sursaturation en oxygène a été observé au mois de d'Avril (198,2%), la quantité a dépassé les normes (OMS : 70-90%). Durant cette période, nous supposons qu'une très grande quantité de phytoplancton (surtout les cyanobactéries) libèrent une grande quantité d'oxygène à partir de la photosynthèse. Ces résultats concordent avec ceux observés par Deniel et *al.*, et Hamaidi et *al.* Ces chercheurs affirment que des teneurs supérieures à la teneur naturelle de saturation en oxygène indiquent une eutrophisation du milieu se traduisant par une activité photosynthétique intense [100, 116, 79].

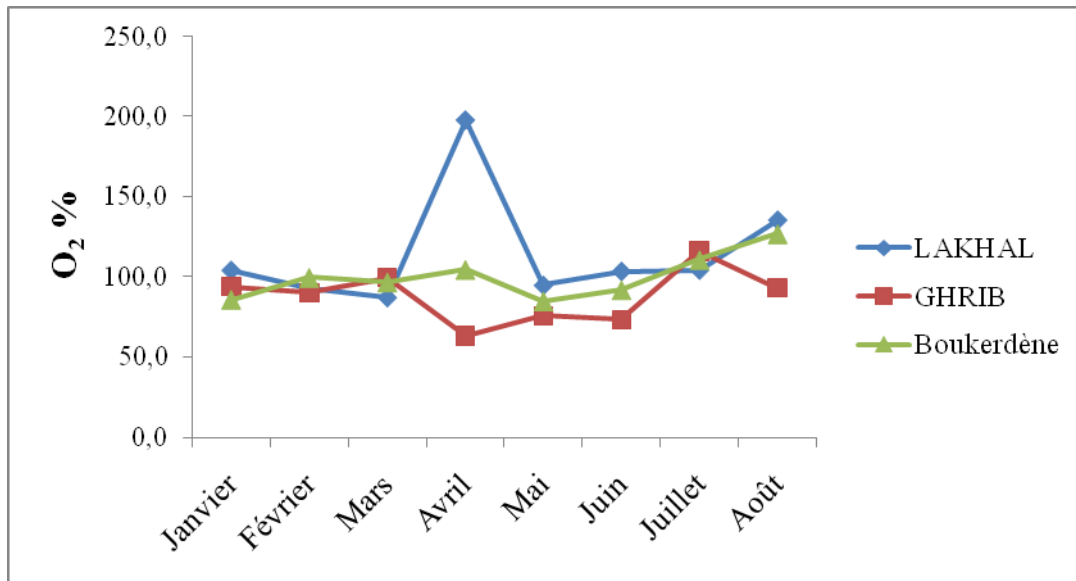


**Figure 5.51** Variations mensuelles de la DCO des eaux de Barrages : Ghrif, Lakhel et Boukerdène.



**Figure 5.52** Variations mensuelles de l'oxygène (mg/L) des eaux de Barrages : Ghrif, Lakhel et Boukerdène.





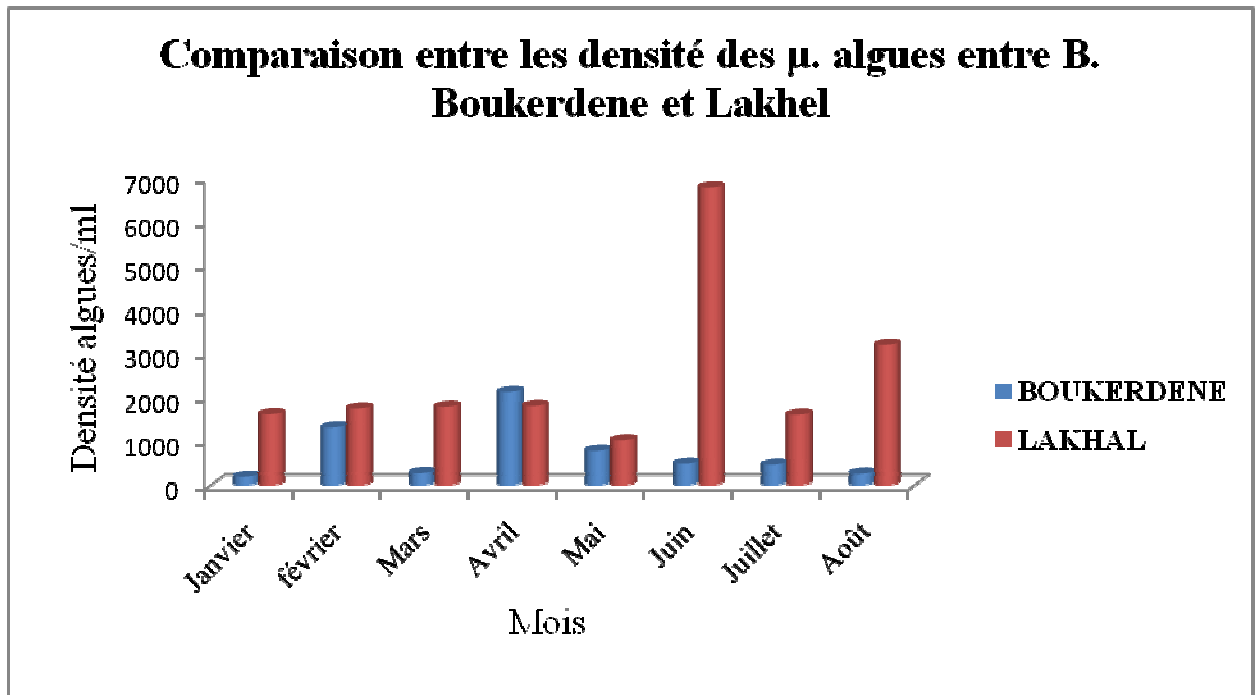
**Figure 5.53** Variations mensuelles du Pourcentage de l'Oxygène des eaux de Barrages : Ghrib, Lakhel et Boukerdène.

L'oxygène est présent dans l'eau sous forme dissoute ou gazeuse. A une température et une pression données, il existe une quantité maximale d'oxygène sous forme dissoute : c'est la teneur en  $O_2$  pour laquelle l'eau est saturée à 100%. La présence de l'oxygène dans l'eau résulte d'une diffusion à partir de l'air au niveau de la surface et surtout de l'activité photosynthétique des végétaux aquatiques, notamment des algues du phytoplancton [45]. Ainsi, dans un milieu contenant beaucoup d'algues productrices d'oxygène par photosynthèse et peu de consommateurs (bactéries, zooplancton, poissons), la teneur en oxygène du milieu va beaucoup varier au cours de la journée: minimale le matin, elle peut atteindre, voire même dépasser largement 100% de saturation dans la journée [117, 33].

Les algues du phytoplancton ont une influence directe sur les conditions physicochimiques d'un écosystème aquatique.

De ce qui précède, les résultats obtenus dans cette étude confirment clairement l'eutrophisation de ces barrages. Le Barrage Ghrib est chaud, alcalin, dure, sulfaté, chloruré et calcaire. Certaines valeurs comme les chlorures, les sulfates et le calcium dépassent les normes ce qui peut engendrer un risque sur la santé des consommateurs (formation de calculs rénaux, irritations gastro-intestinales, etc.). C'est dans ce cadre que le choix de ce barrage a été montré dans notre étude expérimentale.

### 5.1.2 Résultats du dénombrement algal (Barrages Lakhel et Boukerdène)



**Figure 5.54** Comparaison de la variation du dénombrement des micro-algues contenues dans les eaux des Barrages Lakhel et Boukerdène du mois de Janvier jusqu'au mois d'Août.

Les Barrages Boukerdène et Lakhel sont d'une diversité algale moyenne, elle est expliquée par les résultats de la qualité physico-chimique et algologique effectuées sur l'eau de ces deux Barrages. Ces résultats ont montré qu'ils ne sont relativement pas très chargés, les concentrations en sels nutritifs (azote et phosphore) ne sont pas très importantes. Cependant, les facteurs qui mènent à un bloom phytoplanctonique ou une forte biomasse et sa persistance sont principalement l'accroissement des éléments nutritifs, le faible rapport N/P et des conditions de température et d'ensoleillement favorables.

Le nombre de cellules algales totales présente un pic d'une valeur maximale en hiver (Février) et cela pour le Barrage Boukerdène. Ensuite, il diminue en Mars puis l'apparition d'une deuxième valeur maximale au mois d'Avril mais supérieure à celle atteinte au mois de Février. Ceci peut être expliqué par le fait qu'en hiver, sous l'effet des pluies et des ruissellements, l'eau du Barrage peut s'enrichir relativement en nutriments qui vont être utilisés par différentes espèces et avec le changement de la température à la fin du printemps et en été les sources en nutriments diminuent, ainsi que d'autres facteurs peuvent influencer cette diminution tels que la compétition, la prédation et le parasitisme.

Par contre, en analysant la communauté algologique dans les eaux du Barrage Lakhel, le pic maximal a été enregistré en été (Juin, Août), cela prend référence de ce qui a été déjà expliqué précédemment et par la différence des caractéristiques climatologiques des deux régions.

D'après Mechahed et *al*, le nombre total des cellules algales s'explique par le fait que les espèces ont une nature qui varie selon les saisons, car la température de l'eau au cours de la saison hivernale (Janvier-Février) peut être favorable pour un développement algal. Lorsque la température augmente au printemps (Mars-Avril-Mai), certains groupes d'algues vertes variant des diatomées et des algues vertes aux cyanobactéries, se succèdent naturellement [118-119].

En période estivale (Juin-Juillet-Août), pouvant aller jusqu'en mois de Septembre, l'ensoleillement est plus intense donc la température de l'eau reste toujours favorable au développement algal. Ce qui induit l'apparition d'autres espèces qui tolèrent mieux ces températures.

La dominance de la classe des chlorophycées et des bacillariophycées ainsi que les diatomées est expliquée par leur pouvoir d'adaptation à toutes les conditions du milieu, comme il est le cas pour le genre *Cyclotella sp* qui a été rencontré au cours de tous les mois étudiés même dans l'analyse des eaux du Barrage Ghrib.

La faible charge des barrages en cyanophycées est due à la faible teneur du milieu en phosphore particulièrement et à la température qui était favorable pour un nombre très limité d'espèces rencontrées. Les résultats obtenues, et dont les prélèvements ont été faits à la surface du barrage (0 m de profondeur) en périphéries et en se rapprochant du centre du barrage, ont également révélé la présence de deux classes dominantes : les chlorophycées et les bacillariophycées : *Scenedesmus quadricauda*, *Scenedesmus ecornis* ainsi que *tetraedron* et *Pediastrum simplex*. Ces dernières sont parmi les genres rencontrés dans les deux barrages et qui sont rapportées comme responsables du goût et de l'odeur désagréables de l'eau. Cela est lié directement aux substances qu'elles élaborent pendant la phase de croissance, ou indirectement pour certaines cyanophycées qui rejettent des substances phénoliques, qui lors de la désinfection au chlore donnent des composés chlorés (chlorophénols) rendant l'eau extrêmement désagréable à la consommation [120].

Toute variation de l'un des paramètres physicochimiques entraîne systématiquement la variation des autres paramètres (par exemple : la turbidité et la formation des algues sont inversement proportionnelles) [102].

**Tableau 5.6** Algues répertoriées au niveau du Barrage Boukerdène au cours de la période du mois de Janvier jusqu'au mois d'Avril.

Janvier		Février		Mars		Avril	
Genre	Classe	Genre	Classe	Genre	Classe	Genre	Classe
pediastrum	chlorophycée	scenedesmus	chlorophycée	scenedesmus	chlorophycée	synedra	bacillariophycée
scenedesmus	chlorophycée	scenedesmus	chlorophycée	tetraedron	chlorophycée	cyclotelle	bacillariophycée
tetraedron	chlorophycée	staurastrum	chlorophycée	oocystis	chlorophycée	tetraedron	chlorophycée
oocystis	chlorophycée	tetraedron	chlorophycée	scenedesmus	chlorophycée	scenedesmus	chlorophycée
closterium	chlorophycée	scenedesmus	chlorophycée	synedra	bacillariophycée	scenedesmus	chlorophycée
synedra	bacillariophycée	tetraedron	chlorophycée	cyclotelle	bacillariophycée	scenedesmus	chlorophycée
cyclotelle	bacillariophycée	tetrastrum	chlorophycée	navicula	bacillariophycée	pediastrum	chlorophycée
navicula	bacillariophycée	oocystis	chlorophycée	dinobryon	crysophycée	cosmarium	chlorophycée
cymatopleura	bacillariophycée	chlorelle	chlorophycée	peridinium	dinophycée	oocystis	chlorophycée
		pediastrum	chlorophycée			actinostrum	chlorophycée
		closterium	chlorophycée			tetrastrum	chlorophycée
		cosmarium	chlorophycée			monas	chrysophycée
		cyclotelle	bacillariophycée			peridinium	dinophycée
		synedra	bacillariophycée				
		fragillaria	bacillariophycée				
		phacus	euglénophycée				
		tetraedron	chlorophycée				

**Tableau 5.7** Algues répertoriées au niveau du Barrage Boukerdène au cours de la période du mois de Mai jusqu'au mois d'Août

Mai		Juin		Juillet		Août	
Genre	Classe	Genre	Classe	Genre	Classe	Genre	Classe
staurastrum	chlorophycée	peridinium	dinophycée	cosmarium	chlorophycée	scenedesmus	chlorophycée
closterium	chlorophycée	tetraedron	chlorophycée	tetraedron	chlorophycée	cosmarium	chlorophycée
tetraedron	chlorophycée	scenedesmus	chlorophycée	scenedesmus	chlorophycée	coelastrum	chlorophycée
scenedesmus	chlorophycée	cosmarium	chlorophycée	staurastrum	chlorophycée	staurastrum	chlorophycée
cosmarium	chlorophycée	scenedesmus	chlorophycée	coelastrum	chlorophycée	scenedesmus	chlorophycée
synedra	bacillariophycée	golenkinia	chlorophycée	synedra	bacillariophycée	synedra	bacillariophycée
cyclotelle	bacillariophycée	staurastrum	chlorophycée	cyclotelle	bacillariophycée	peridinium	dinophycée
monas	chrysophycée	microcystis	cyanophycée	peridinium	dinophycée	monas	chrysophycée
		synedra	bacillariophycée				
		fragillaria	bacillariophycée				

L'analyse de la composition taxonomique du phytoplancton des Barrages Boukerdène et Lakhel, nous a permis d'identifier 22 espèces pour Boukerdène et 32 espèces pour Lakhel, qui se répartissent dans les classes suivantes: chlorophycées, bacillariophycées, crysophycées, dinophycées, chrysophycées, chrysophycées et les diatomées (Tableaux 5.6-7).

La variation algologique des deux Barrages a montré que les chlorophycées représentent la plus grande richesse taxonomique. Dans le cas du Barrage Boukerdène, l'analyse quantitative des taxons dominants a révélé que les bacillariophycées dont le genre *Navicula*, *Cyclotella*, Et *Synedra*, *Fragillaria*, *Cymatopleura* étaient les plus dominants en hiver (mois de Janvier, Février). Les chlorophycées font partie durant toute l'année, les espèces les plus dominants sont, les *Tetraedron minimum*, *Pediastrum simplex*. Par contre les dinophycées dont le genre *Ceratium uplinducum*, *Peridinium sp*, *Scenedesmus quadricauda*, et *Scenedesmus ecornis*, ainsi que les cyanophycées dont le genre *Microcystis* font leur apparition en été à partir du mois de Juin. L'apparition des chrysophycées, euglénophycées et les dinophycées ainsi que les chrysophycées est très rare (Tableaux 5.6-7).

Concernant l'analyse hydrobiologique du Barrage Lakhel, on rencontre les mêmes taxons (espèces, genre, classe algale) cités précédemment pour le Barrage Boukerdène, du fait que les deux régions possèdent les mêmes conditions climatologiques (Paragraphe 4.2.1.1).

**Tableau 5.8** Algues répertoriées au niveau du Barrage Lakhel au cours de la période du mois de Janvier jusqu'au mois d'Avril.

Janvier		Février		Mars		Avril	
Genre	Classe	Genre	Classe	Genre	Classe	Genre	Classe
scenedesmus	chlorophycée	scenedesmus	chlorophycée	scenedesmus	chlorophycée	scenedesmus	chlorophycée
scenedesmus	chlorophycée	tetraedron	chlorophycée	tetrastrum	chlorophycée	scenedesmus	chlorophycée
closterium	chlorophycée	scenedesmus	chlorophycée	cosmarium	chlorophycée	scenedesmus	chlorophycée
tetraedron	chlorophycée	oocystis	chlorophycée	scenedesmus	chlorophycée	scenedesmus	chlorophycée
cosmarium	chlorophycée	scenedesmus	chlorophycée	scenedesmus	chlorophycée	scenedesmus	chlorophycée
scenedesmus	chlorophycée	staurastrum	chlorophycée	scenedesmus	chlorophycée	tetraedron	chlorophycée
hemitoma	chlorophycée	chodatella	chlorophycée	tetraedron	chlorophycée	oocystis	chlorophycée
tetraedron	chlorophycée	tetrastrum	chlorophycée	actinostromum	chlorophycée	tetrastrum	chlorophycée
coelastrum	chlorophycée	cosmarium	chlorophycée	ankistrodesmus	chlorophycée	tetraedron	chlorophycée
staurastrum	chlorophycée	closterium	chlorophycée	chodatella	chlorophycée	staurastrum	chlorophycée

oocystis	chlorophycée	tetraedron	chlorophycée	cyclotelle	bacillariophycée	cosmarium	chlorophycée
pediastrum	chlorophycée	sphaerocystis	chlorophycée	synedra	bacillariophycée	inc	chlorophycée
scenedesmus	chlorophycée	inc	chlorophycée	phacus	euglénophycée	chodatella	chlorophycée
inc	chlorophycée	coelastrum	chlorophycée			chodatella	chlorophycée
chlorelle	chlorophycée	chlorelle	chlorophycée			golenkinia	chlorophycée
pediastrum	chlorophycée	pediastrum	chlorophycée			pediastrum	chlorophycée
tetraedron	chlorophycée	fragillaria	bacillariophycée			nephrcytium	chlorophycée
gonphosphaera	chlorophycée	synedra	bacillariophycée			coelastrum	chlorophycée
cyclotelle	bacillariophycée	cyclotelle	bacillariophycée			inc	inc
synedra	bacillariophycée	navicula	bacillariophycée			stichoglea	chrysophycée
cyclotelle	bacillariophycée	oscillatoria	cyanophycée			phacus	euglenophycée
phacus	euglénophycée	cryptomonas	cryptophycée			cyclotelle	bacillariophycée
cryptomonas	cryptophycée	phacus	euglénophycée			synedra	bacillariophycée

**Tableau 5.9** Algues répertoriées au niveau du Barrage Lakhel au cours de la période du mois de Mai jusqu'au mois d' Août.

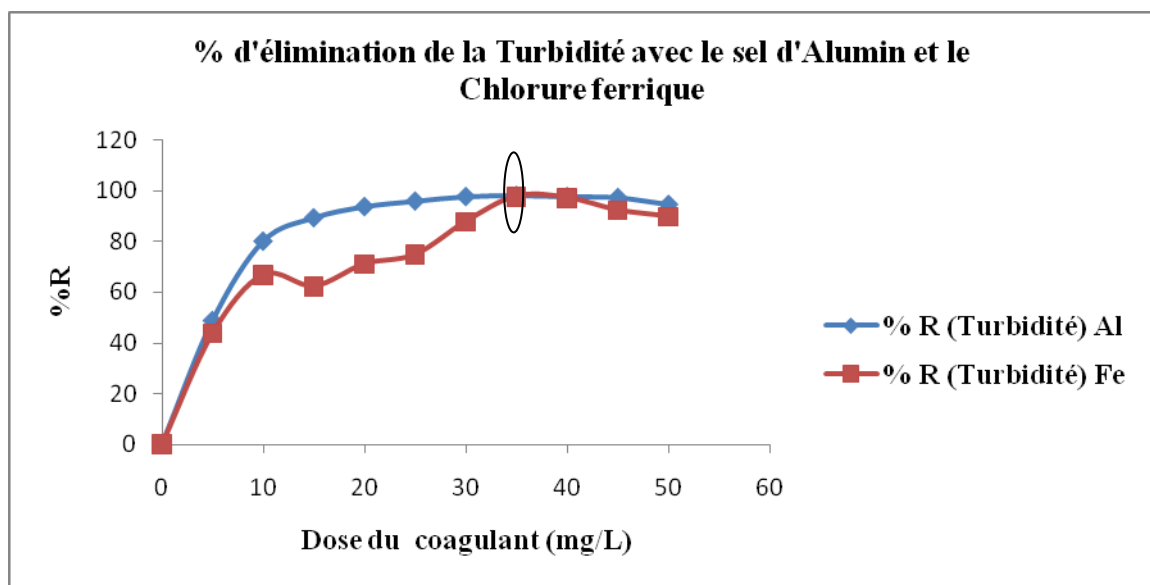
Mai		Juin		Juillet		Août	
Genre	Classe	Genre	Classe	Genre	Classe	Genre	Classe
scenedesmus	chlorophycée	pediastrum	chlorophycée	pediastrum	chlorophycée	scenedesmus	chlorophycée
coelastrum	chlorophycée	pediastrum	chlorophycée	cosmarium	chlorophycée	staurastrum	chlorophycée
tetraedron	chlorophycée	scenedesmus	chlorophycée	staurastrum	chlorophycée	pediastrum	chlorophycée
scenedesmus	chlorophycée	scenedesmus	chlorophycée	coelastrum	chlorophycée	pediastrum	chlorophycée
lagerheimia	chlorophycée	staurastrum	chlorophycée	chodatella	chlorophycée	pediastrum	chlorophycée
cosmarium	chlorophycée	chlorelle	chlorophycée	scenedesmus	chlorophycée	coelastrum	chlorophycée
scenedesmus	chlorophycée	cyclotelle	bacillariophycée	scenedesmus	chlorophycée	cosmarium	chlorophycée
staurastrum	chlorophycée	phacus	euglenophycée	pediastrum	chlorophycée	synedra	bacillariophycée
oocystis	chlorophycée	synechococcus	cyanophycée	scenedesmus	chlorophycée	cyclotelle	bacillariophycée
tetraedron	chlorophycée	zoospore	chlorophycée	tetraedron	chlorophycée	peridinium	dinophyée
tetrastrum	chlorophycée			golenkinia	chlorophycée	phacus	euglenophycée
cosmarium	chlorophycée			synechococcus	cyanophycée	microcystis	cyanophycée
chlorelle	chlorophycée			synedra	bacillariophycée		
pediastrum	chlorophycée			cyclotelle	bacillariophycée		
scenedesmus	chlorophycée			monas	chrysophycée		
cyclotelle	bacillariophycée						
navicula	bacillariophycée						
phacus	euglenophycée						
inc	chlorophycée						

## 5.2. Elimination des micro-algues des eaux du Barrage Ghrib par coagulation améliorée

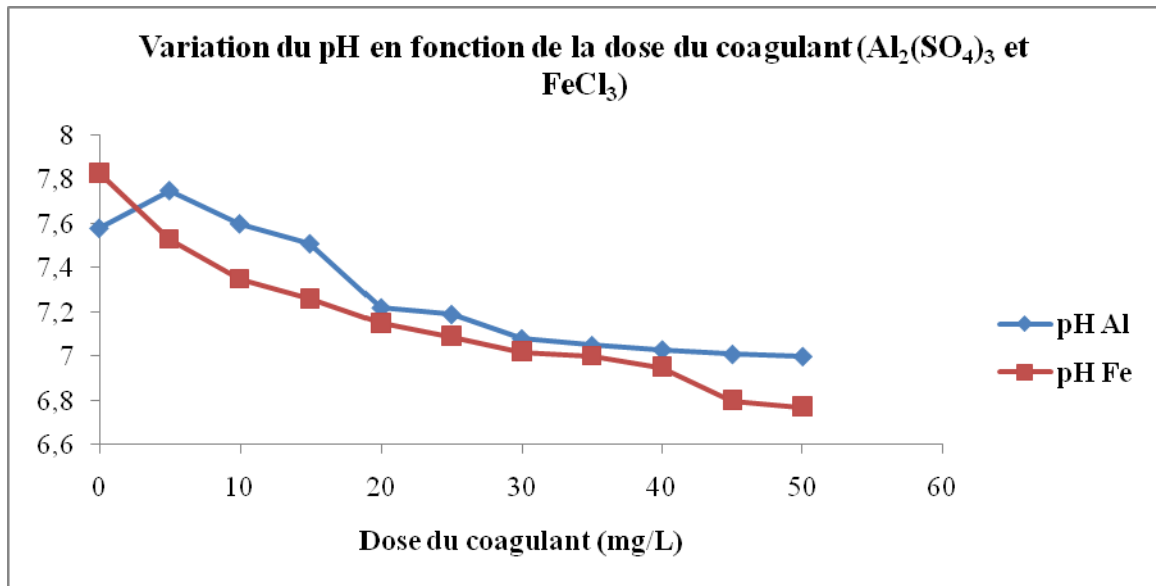
### 5.2.1. Choix du coagulant

L'étude comparative sur les deux coagulants utilisés dans l'élimination des micro-algues ainsi pour réduire la turbidité des eaux de barrage Ghrib, est présentée dans les Figures suivantes (5.55 -58).

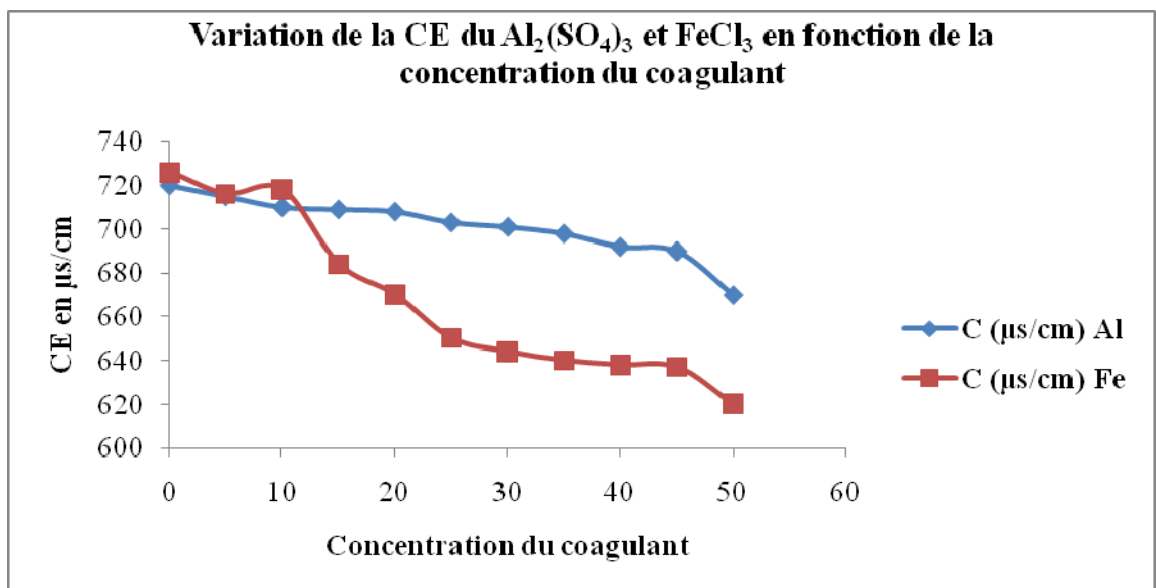
Les procédés de coagulation classique et coagulation améliorée ont été réalisés sur les eaux du Barrage Ghrib. Par contre, l'essai du choix du coagulant a été réalisé sur les eaux du Barrage Lakhel (au mois de Février), puisque nous avons trouvé que les eaux de ces deux Barrages possèdent pratiquement les mêmes caractéristiques physicochimiques (Paragraphe 5.1 1). Ces résultats obtenus permettent de mettre en évidence les effets de ces deux coagulants sur les micro-algues.



**Figure 5.55** Variation de la réduction de la turbidité des eaux du Barrage Lakhel en fonction de la dose du coagulant (alun et chlorure ferrique).

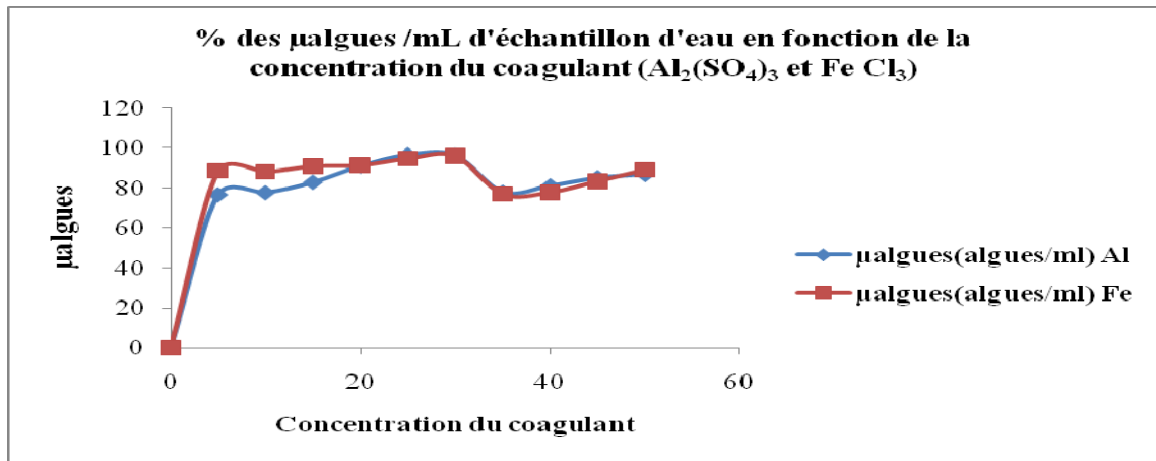


**Figure 5.56** Variation du pH des eaux du Barrage Lakhel en fonction de la dose du coagulant (alun et chlorure ferrique).



**Figure 5.57** Variation de la conductivité électrique des eaux du Barrage Lakhel en fonction de la dose du coagulant (alun et chlorure ferrique).





**Figure 5.58** Variation du taux d'élimination des micro-algues des eaux du Barrage Lakhel en fonction de la dose du coagulant (alun et chlorure ferrique).

Les résultats des essais de la coagulation utilisant les deux coagulants (sulfates d'aluminium et le chlorure ferrique) sont illustrés dans les Figures 5.55-58, et mentionnés en Annexe B. D'après la Figure 5. 56, on constate que l'addition progressive du chlorure ferrique provoque une baisse importante du pH et de la conductivité électrique par rapport au sulfate d'aluminium. Selon Achak et *al*, la baisse du pH dans les deux cas, s'explique par le phénomène de neutralisation de charges par les espèces cationiques de l'aluminium ( $Al^{3+}$ ,  $Al(OH)^{2+}$ ,  $Al(OH)_2^+$ ), et lorsqu'on augmente la dose du coagulant la charge des colloïdes, la charge s'inverse et devient alors positive [9].

Selon Van Benschoten et Edzwald, le pH de la coagulation ainsi que la température de l'eau traitée influent sur les concentrations d'aluminium résiduel [123].

La dose 35 mg/L des deux coagulants permet une meilleure élimination de la turbidité et des micro-algues respectivement, 98,15 et 77,9% pour le sulfate d'aluminium et 97,7 et 76,98% pour le chlorure ferrique. Ceci nous permet de constater que le coagulant le plus adapté à une eau chargée en algues semble être le sulfate d'aluminium.

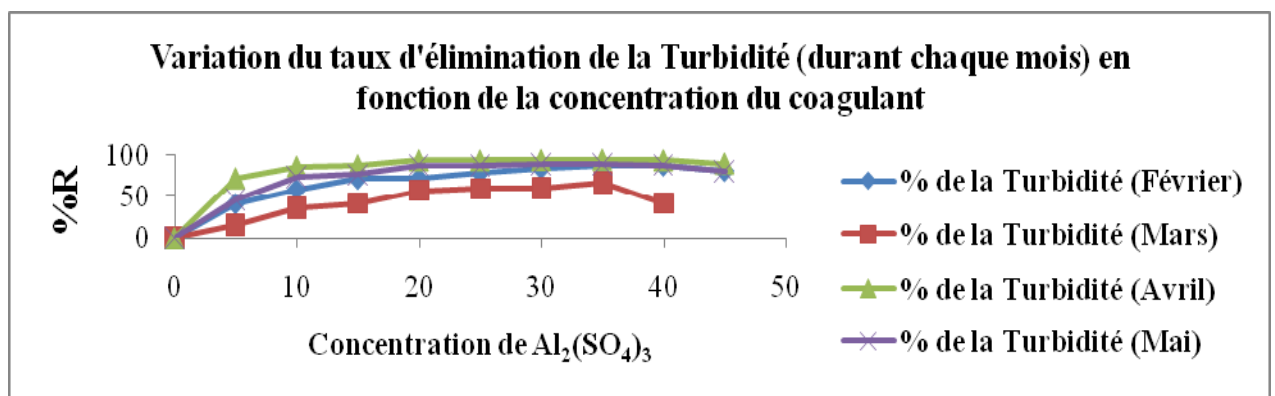
L'élimination des algues pendant l'étape de coagulation/floculation est susceptible de provoquer la libération de toxines, par action du coagulant sur les cellules. Lam et *al*, ont observé que 23% des microcystines-LR (mesuré après plusieurs jours de traitement) contenues dans les cellules étaient libérés par mise en œuvre de fortes doses de sulfate d'aluminium. La même constatation a été formulée par James et *al*, avec des doses de sulfate d'aluminium équivalentes à 24 mg/L, ce qui a induit la lyse des cellules de *Microcystis aeruginosa* (importante augmentation des microcystines-LR). A des

concentrations et des conditions proches de celles rencontrées dans les usines de traitement d'eau, Velzeboer et *al.* ont, en revanche, trouvé que le sulfate d'aluminium ne semblait pas provoquer la lyse de cellules cultivées d'*Anabaena circinalis* ou de *Microcystis aeruginosa*. La floculation a permis l'élimination de cellules en bon état, sans relargage de géosmine ou de microcystine-LR [122-124].

Selon les travaux de Chow et *al.* (1998), l'utilisation du chlorure ferrique comme coagulant (0 à 30 mg/L de  $\text{FeCl}_3$ ) n'a pas conduit à une augmentation de la concentration en toxines ('microcystines') dans l'eau après traitement de *Microcystis aeruginosa*. Postérieurement, Chow et *al.* (1999) 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. Il apparaît que cette étape doit être gérée avec prudence afin de ne pas provoquer la lyse des cellules et optimiser ainsi l'élimination de toxines intra-cellulaires [125-126].

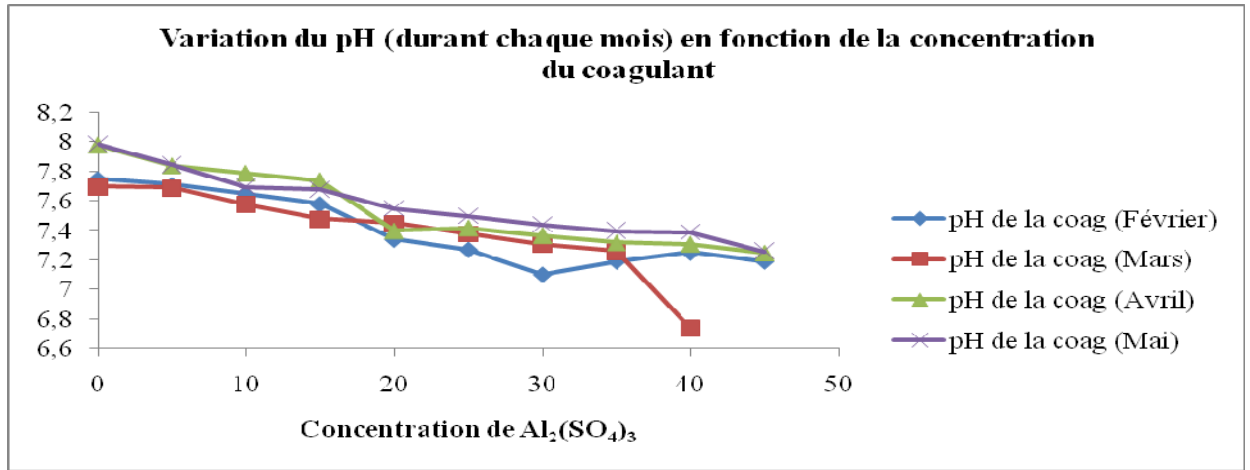
### 5.2.2. Coagulation classique

La coagulation classique et la coagulation améliorée ont été réalisées sur les eaux du Barrage Ghrib. Les Figures 5. 59-62, montrent la variation des paramètres suivants : la turbidité, le pH, la conductivité et les micro-algues, en fonction de la concentration du coagulant sélectionné pour son efficacité (à savoir le sulfate d'aluminium). Les résultats et mentionnés en Annexe B.



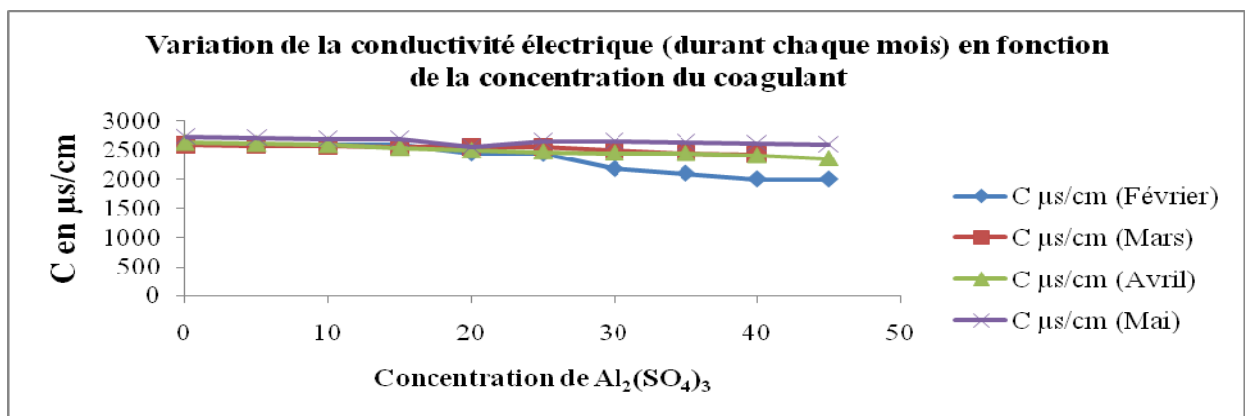
**Figure 5.59** Réduction de la turbidité de l'eau du Barrage Ghrib en fonction de la concentration d'alun par coagulation classique (du mois de Février jusqu'au mois de Mai).

D'après la Figure 5.59, on constate que la dose optimale d'alun varie entre 30 et 35 mg/L, durant la saison hivernale et printanière. Elle permet une meilleure élimination de la turbidité atteignant une valeur maximale de 94,85% au mois d'Avril ; par contre, au cours du mois de Mars l'élimination a été très faible, cela est du aux quantités importantes de pluies enregistrés en ce mois.



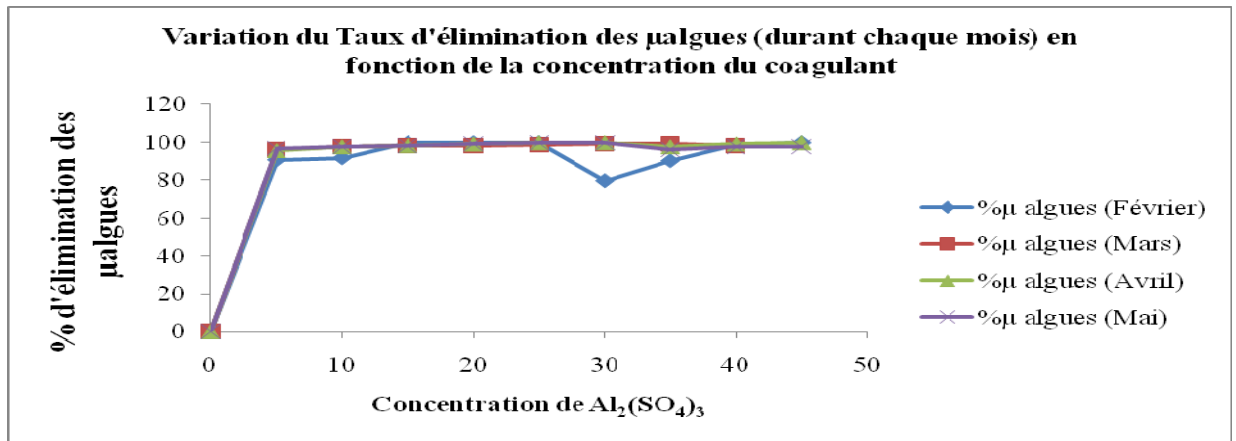
**Figure 5.60** Variation du pH de l'eau du Barrage Ghrib en fonction de la dose d'alun par coagulation classique (du mois de Février jusqu'au mois de Mai).

Les valeurs du pH obtenues, durant la période d'essai allant du mois de Février au mois de Mai pour le traitement de l'eau du Barrage Ghrib, ont diminué ; cela peut être expliqué par l'acidification du milieu et par le phénomène de neutralisation de charge.



**Figure 5.61** Variation de la conductivité électrique de l'eau du Barrage Ghrib en fonction de la dose d'alun par coagulation classique (du mois de Février jusqu'au mois de Mai).

Après traitement des eaux de barrage par coagulation classique, la conductivité électrique diminue et cela durant tous les mois, malgré que le milieu soit riche en sels.



**Figure 5.62** Réduction des micro-algues contenues dans l'eau du Barrage Ghrib en fonction de la dose d'alun par coagulation classique (du mois de Février jusqu'au mois de Mai).

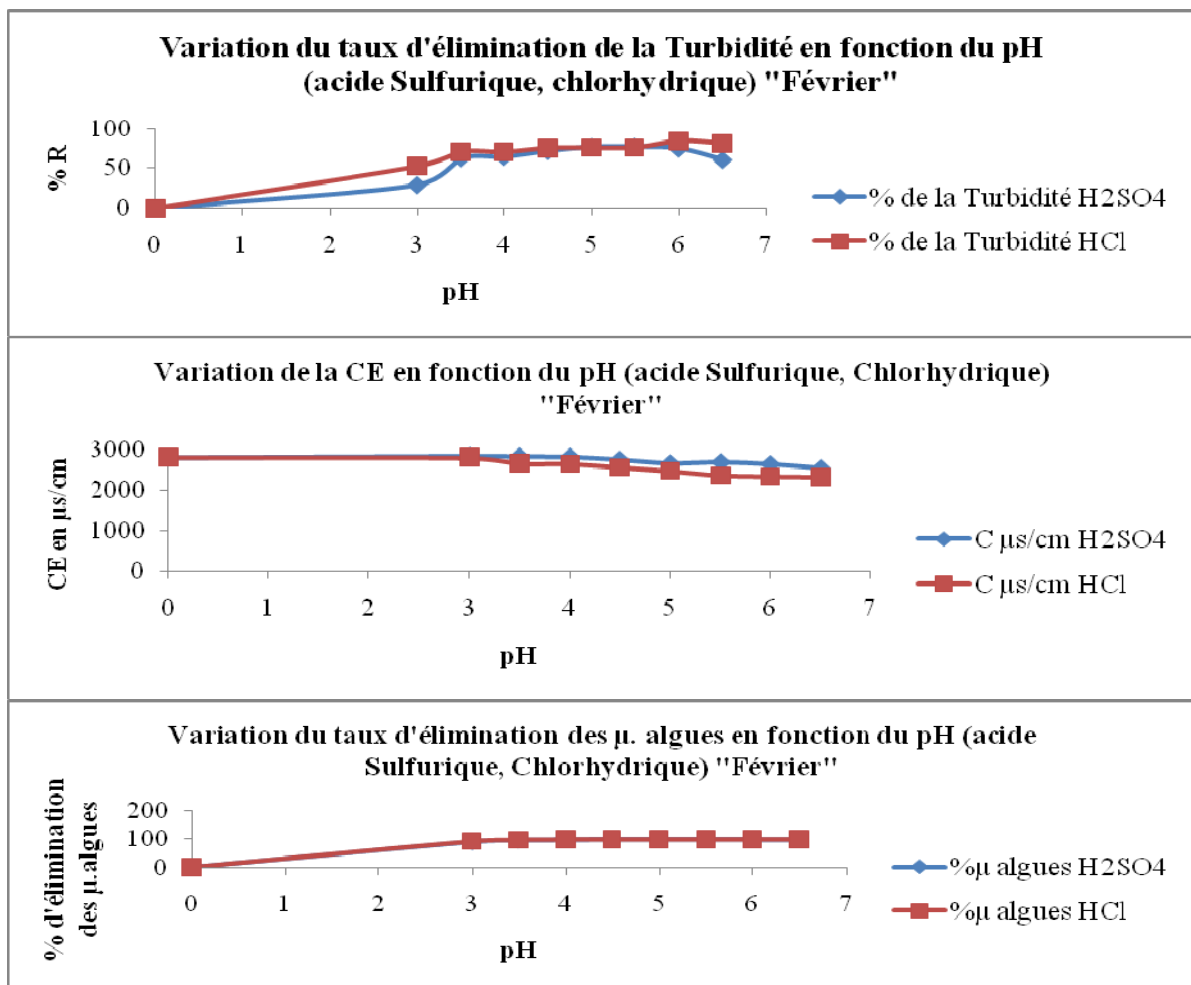
L'augmentation du taux d'élimination des micro-algues est relative à l'augmentation du taux de coagulant requis lors de blooms d'algues pour maintenir un niveau de qualité constant a été mise en évidence. La forme, la taille, la densité, la composition de la surface de la cellule, la présence d'appendices locomoteurs, la production de matériel extra-cellulaire influe sur l'efficacité de l'étape de coagulation [127-128]. Konno et *al*, a montré que la *Synedra*, une diatomée unicellulaire, ne décante pas bien du fait de sa taille un peu plus grande que les autres diatomées [130]. En effet, la *Synedra* peut mesurer de 100 à 300  $\mu$ m de longueur contre, par exemple, *Nitzschia* qui n'a qu'une longueur de 35  $\mu$ m. Les flocons formés ne se maintiennent pas suffisamment longtemps pour décanter du fait de liaisons trop faibles entre le coagulant et la cellule algale. La *Stephanodiscus hantzschii*, une petite algue sphérique à densité élevée du fait de la présence de silice, est généralement bien éliminée par coagulation/floculation. Dans ce dernier cas, un surdosage de 100% du taux de coagulant pourrait s'avérer nécessaire [127]. La *Scenedesmus* est également répertoriée comme une des espèces pouvant dégrader l'étape de coagulation, ainsi que les cyanobactéries, qui, munies de vacuoles gazeuses, sont plus difficilement décantables [131].

L'élimination efficace des algues dépend de l'optimisation des doses de réactifs et du pH de coagulation. Mouchet et *al*, ont montré que la dose du coagulant nécessaire à l'élimination des algues est fonction de l'alcalinité et de la concentration d'algues. Selon ces auteurs, la réduction de la turbidité lors d'un jar test n'est pas un critère suffisant pour évaluer l'élimination des algues [129].

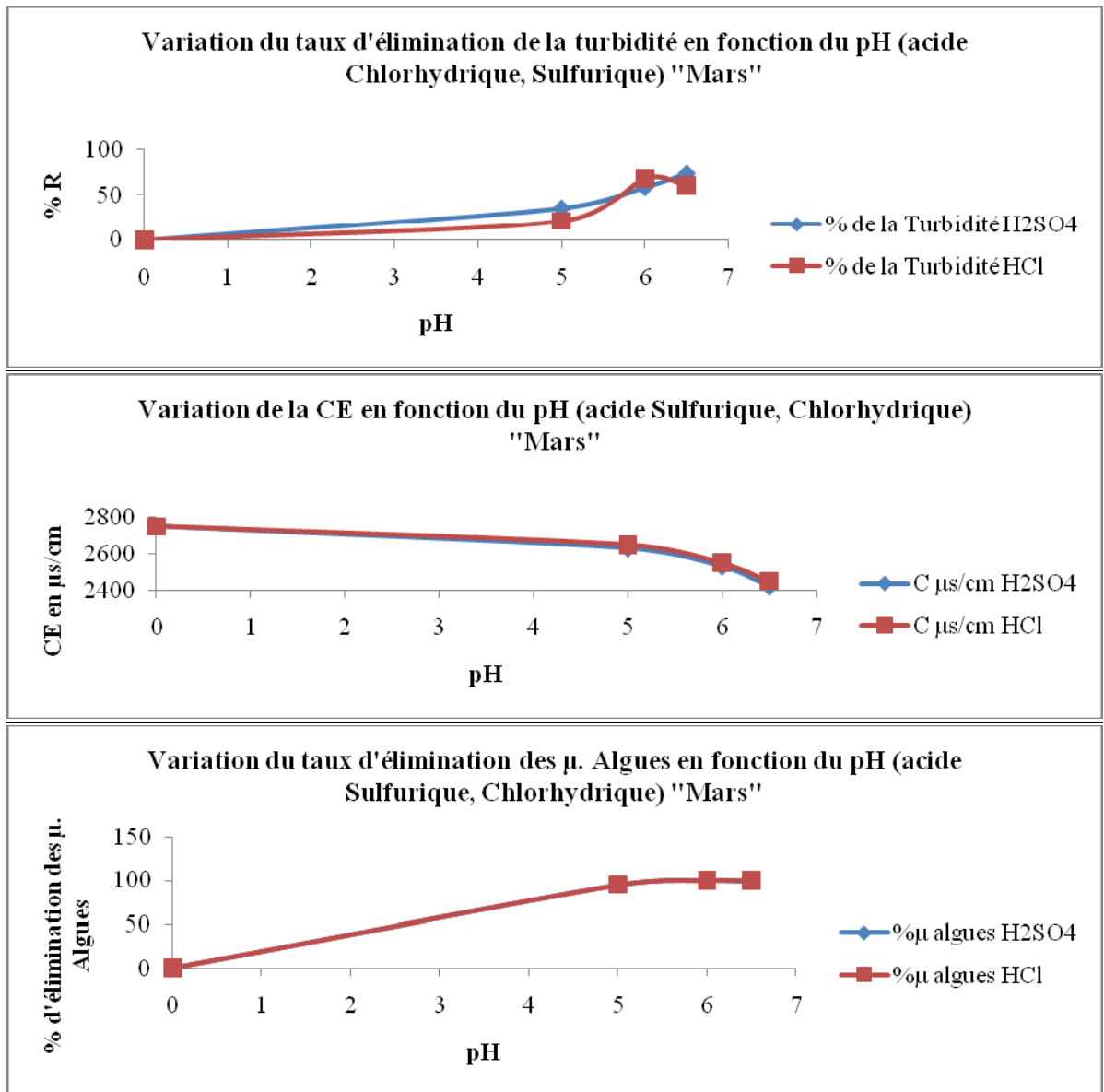
Bernhardt et *al*, rapportent que la coagulation d'algues vertes, présentant des cellules lisses et plus ou moins sphériques, (*Chlorella vulgaris*, *Nitzschia*) se fait principalement par neutralisation de charge [127]. Les travaux de ces auteurs montrent également que pour *Scenedesmus obliquus* il existe une dose optimale de coagulant (sulfate d'aluminium à pH 7). En revanche, les algues filamenteuses (*Oscillatoria rubescens*) et 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.

### 5.2.3. Coagulation améliorée

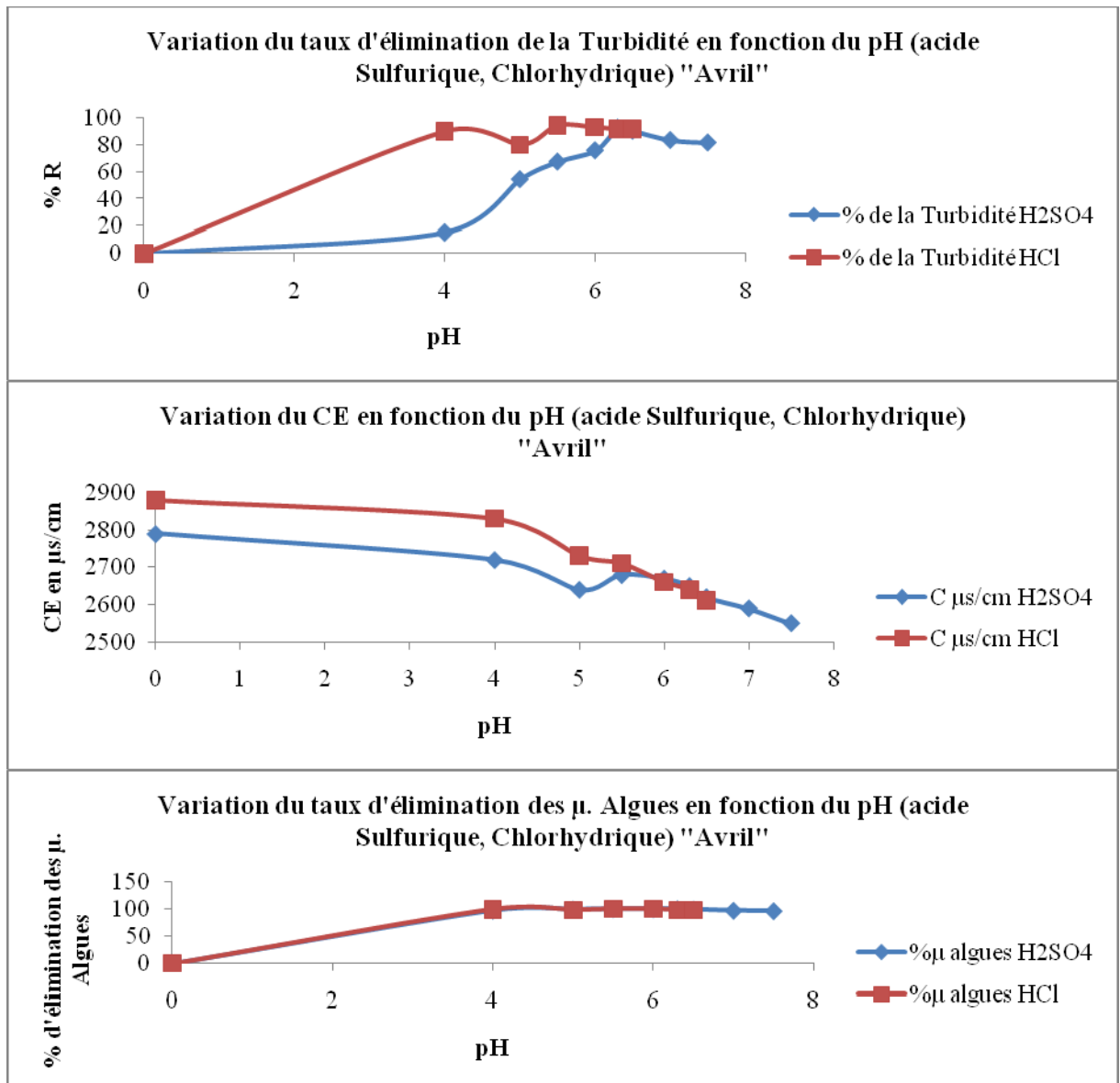
Les Résultats sont illustrés dans les Figures ci- dessous, et affichés en Annexe B.



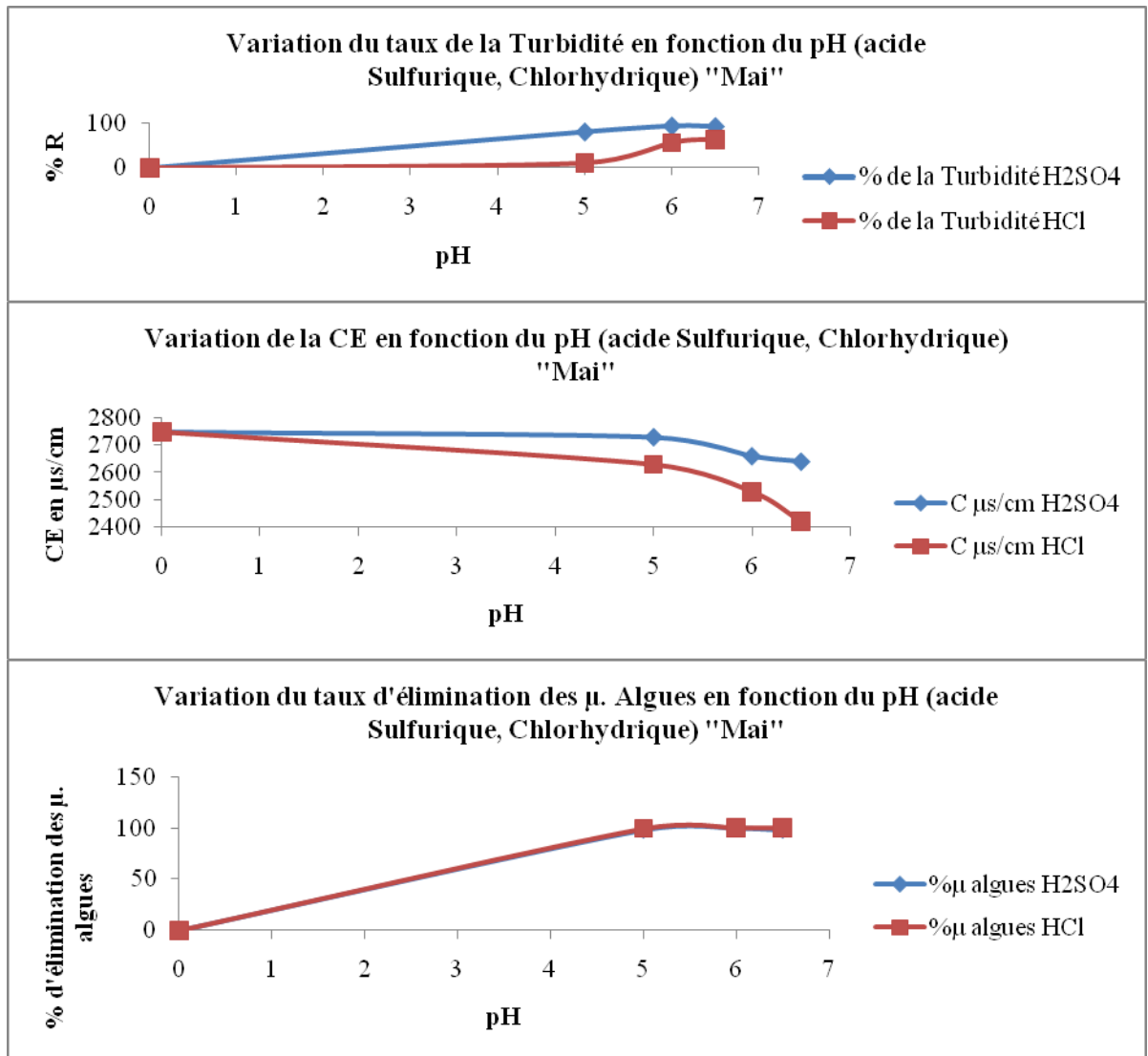
**Figure 5.63** Variation de la réduction de la turbidité et micro-algues, de la conductivité électrique pour l'eau du Barrage Ghrib (pH ajusté par l'acide sulfurique et l'acide chlorhydrique) par coagulation améliorée (durant le mois de Février).



**Figure 5.64** Variation de la réduction de la turbidité et micro-algues, de la conductivité électrique pour l'eau du Barrage Ghrib (pH ajusté par l'acide sulfurique et l'acide chlorhydrique) par coagulation améliorée (durant le mois de Mars).



**Figure 5.65** Variation de la réduction de la turbidité et micro-algues, de la conductivité électrique pour l'eau du Barrage Ghrib (pH ajusté par l'acide sulfurique et l'acide chlorhydrique) par coagulation améliorée (durant le mois d'Avril).



**Figures 5.66** Variation de la réduction de la turbidité et micro-algues, de la conductivité électrique pour l'eau du Barrage Ghrib (pH ajusté par l'acide sulfurique et l'acide chlorhydrique) par coagulation améliorée (durant le mois de Mai)

Les Figures 5.63-66, montrent que l'augmentation du pH entraîne l'augmentation de l'élimination de la turbidité jusqu'à un taux de 76,9% (HCl) et de 84,52% (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) pour le mois de Février, 74,05% (HCl) et de 68,88% (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) pour le mois de Mars, 94,52% (HCl) et de 92,5% (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) pour le mois d'Avril, 93,02% (HCl) et de 64,19% (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) pour le mois de Mai.

Les résultats obtenus démontrent clairement que l'application du HCl est mieux adaptée à l'élimination de la turbidité ainsi que les micro-algues que le H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>.



La comparaison entre la coagulation classique et la coagulation améliorée est mieux observée durant le mois de Mars (Figure 5.64), l'élimination de la turbidité par coagulation classique a été d'un taux avoisinant les 67,4% contrairement à 74,05% d'élimination par coagulation améliorée à une valeur du pH de 6.5 et une dose optimale du coagulant de 35 mg/L.

Par ailleurs, la conductivité électrique enregistrée après traitement par les deux procédés, est en décroissance, et cela durant les 4 mois d'essai.

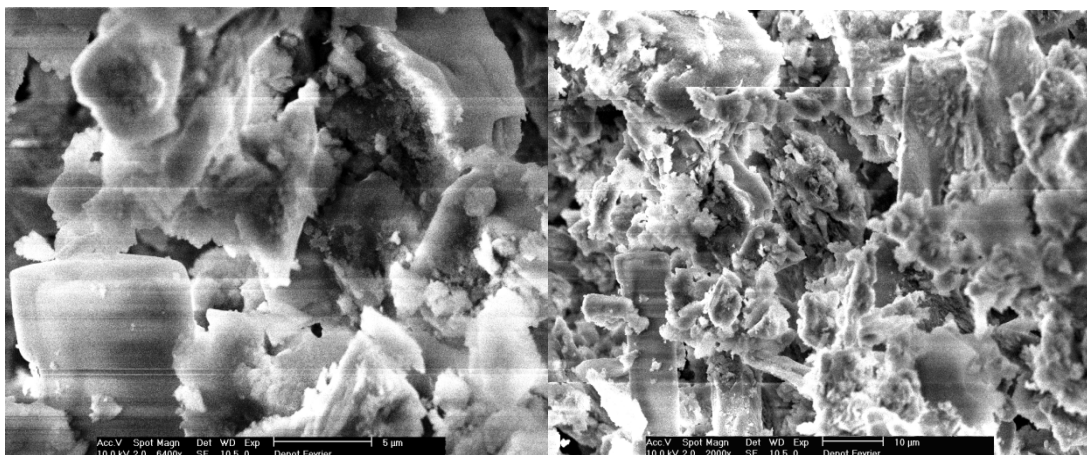
La comparaison entre les deux procédés appliqués concernant l'élimination des micro-algues des eaux du Barrage Ghrib, permet de conclure que le meilleur traitement est celui obtenu par l'acidification du milieu en ajoutant les deux acides (coagulation améliorée). On a obtenu des taux de 100% d'élimination à un pH variant de 6-6,5 et cela durant le mois de Février jusqu'au mois de Mai.

Selon Achak et al, la diminution du pH est due au phénomène de neutralisation de charges par les espèces cationiques de l'aluminium ( $Al^{3+}$ ,  $Al(OH)^{2+}$ ,  $Al(OH)_2^+$ ) [9].

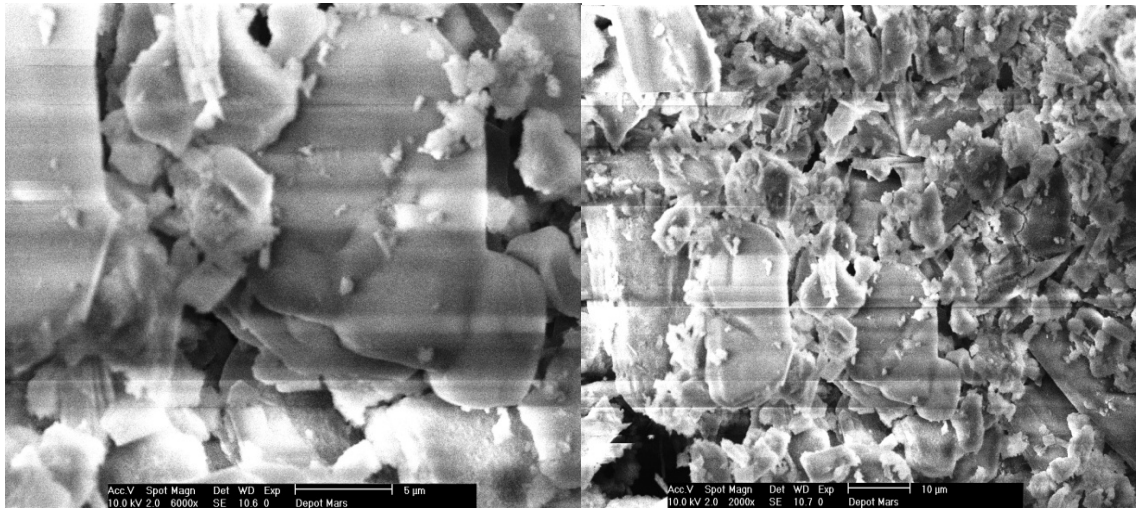
#### 5.2.4. Microscopie électronique à balayage:

Les Figures 5.67-70, ont montré les modifications qui ont eu lieu lors du traitement de la coagulation améliorée (utilisant l'acide chlorydrique).

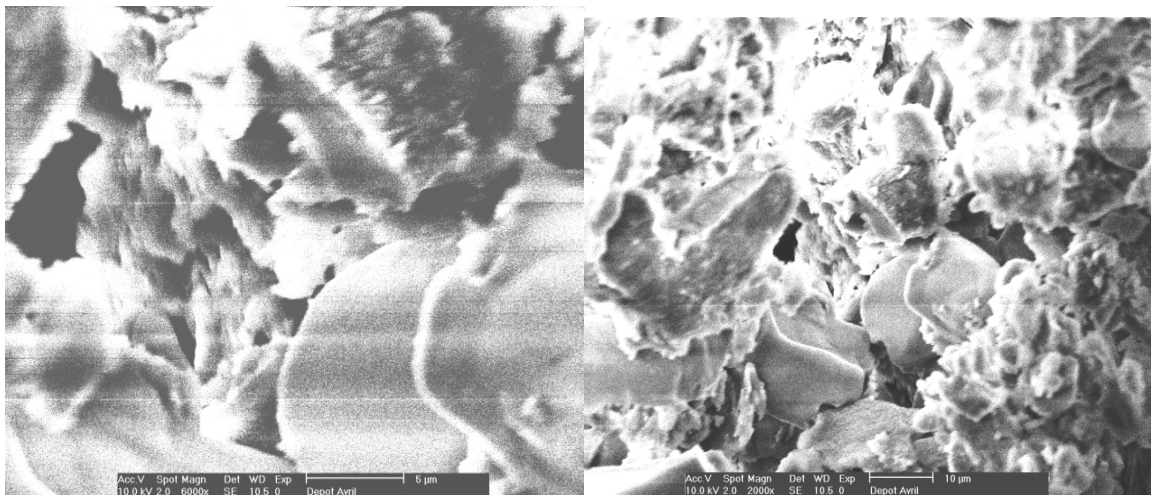
Les échantillons choisis, sont ceux dont les meilleurs résultats d'élimination des micro-algues et de la turbidité obtenus durant les quatre mois consécutifs (Février, Mars, Avril, Mai).



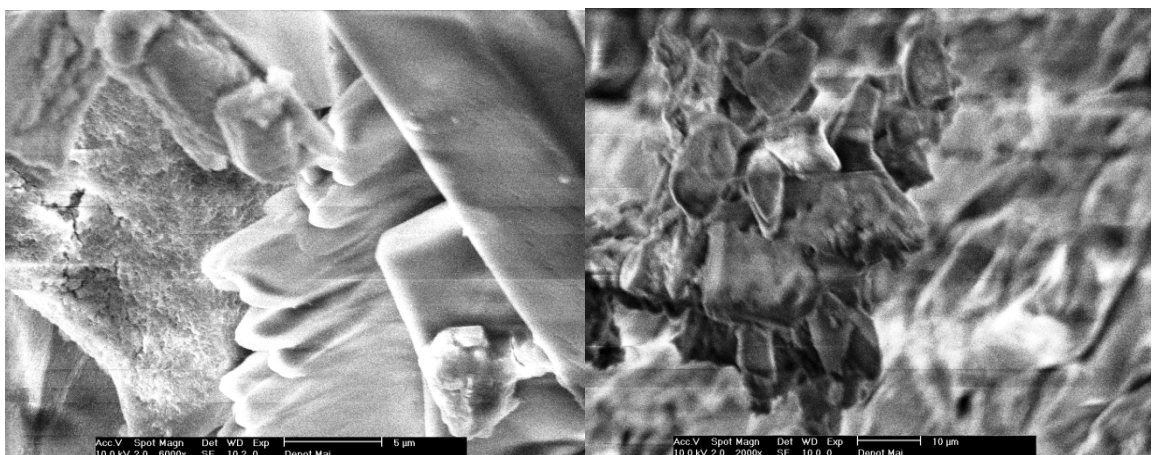
**Figure 5.67:** Image MEB du précipité (à gauche 5µm, à droite 10µm) (Dépôt mois de Février).



**Figure 5.68 :** Image MEB du précipité (à gauche 5µm, à droite 10µm) (Dépôt mois de Mars).



**Figure 5.69 :** Image MEB du précipité (à gauche 5µm, à droite 10µm) (Dépôt mois d'Avril).



**Figure 5.70 :** Image MEB du précipité (à gauche 5µm, à droite 10µm) (Dépôt mois de Mai).

Selon N. Drouiche et M. Hecini, les agrégats formés montrent deux aspects géométriques différents, sphériques et prismatiques. Les particules sphériques ont un diamètre moyen de 100 nm et les particules prismatiques ont un diamètre moyen de 600 nm. Ce résultat peut signifier que la forme finale de précipitation a une morphologie prismatique [132].

Contrairement aux travaux d'Azar *et al*, Shui *et al*, la poudre est constituée de particules sphériques, allant d'une dizaine nanomètres. Cette forme équiaxiale permet d'éviter une orientation préférentielle de particules dans le compact [99, 133-134].

Les figures montrent clairement les modifications des agrégats formés dans les différents échantillons et cela durant la période allant du mois de Février au mois de Mai.

D'après les Figures ci-dessus, on constate l'existence de quelques débris de micro-algues piégés dans les floes qui se présentent sous différentes formes.

## CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Dans cette étude, nous avons déterminé les paramètres physicochimiques et hydrobiologiques des eaux des Barrage Lakhel (BL), Ghrib (BG), et Boukerdène (BB), utilisées en agriculture ainsi que pour le traitement d'eau potable en vue d'évaluer leurs impacts sur les risques sanitaires. Les résultats obtenus indiquent qu'aussi bien la qualité physicochimique que microbiologique des eaux ne répond pas toujours aux critères en vigueur.

De ce qui précède, et de cette étude réalisée nous avons constaté que le barrage le plus chargé en micro-algues est le barrage Lakhel, avec une diversité très importante de communautés algales, comparant au barrage Ghrib c'est un barrage très faible en micro-algues et ceci est dû au taux très élevée de la salinité des eaux de ce barrage.

Ce travail montre l'efficacité du traitement des eaux de BG par le procédé de la coagulation améliorée vis-à-vis de la coagulation/floculation de la chaîne de traitement classique. En effet, des réductions quasi-totales des micro-algues et de la turbidité ont été démontrées à travers les expériences réalisées au niveau du laboratoire. Malgré que l'étude ait donnée de meilleurs résultats, l'impact nocif des produits chimiques utilisés lors des procédés de traitement restera toujours très important. La toxicité du chlore et de l'aluminium n'est plus à démontrer.

La coagulation améliorée a donné un rendement d'élimination de micro-algues de 100% contrairement à ce qui a été approuvé dans la littérature (par Freese et *al*) que la coagulation améliorée n'est pas efficace à l'élimination de micropolluants, et qu'il y a des technologies plus avancées de traitement, telle que l'ozonation et la filtration de GAC (Granular Activated Carbon) exigée.

L'analyse de la microscopie électronique à balayage (MEB) effectuée, durant ce travail, montre clairement les modifications qui ont eu lieu au niveau de la morphologie des floccs recueillis agglomérant ainsi les débris de micro-algues.

En perspective, des études ultérieures devraient permettre une approche plus précise des interactions existantes entre le compartiment phytoplancton et les niveaux adjacents du réseau trophique et l'impact des paramètres physicochimiques. L'évolution rapide des communautés planctoniques en réponse aux changements environnementaux

renforce l'intérêt de leur suivi écologique en raison de l'importance de nos barrages du point de vue de leurs usages vitaux et pluriels.

Un réseau de surveillance doit être mis pour éviter tout risque sanitaire. En fait, il serait utile de poursuivre ce travail pour dénombrer les parasites et les virus qui sont très résistants surtout aux procédés classiques de traitement de l'eau. Ainsi donc, si l'on souhaite à la fois réduire la densité phytoplanctonique et éliminer les cyanobactéries pour améliorer la qualité de l'eau traitée il faut lutter contre l'eutrophisation en diminuant – pour ne pas dire en évitant- les apports globaux en nutriments (phosphore et azote).

Toutefois, et malgré leur impact sur les écosystèmes, on considère comme micro-algues l'ensemble des micro-organismes photosynthétiques eucaryotes et procaryotes. Seulement, une cinquantaine est étudiée et les plus fréquentes sont :

- Diatomées : *Skeletonema*, *Thalassiosira*, *Phaeodactylum*, *Chaetoceros*.
- Flagellées : *Isochrysis*, *Monochrysis*, *Dunaliella*.
- Chlorophycées : *Chlorella*, *Scenedesmus*.
- Cyanophycées : *Spirulina*.

Un fait intéressant, que nous avons découvert lors de nos recherches bibliographiques, est qu'un nombre croissant de sociétés internationales se sont intéressées à la production de micro-algues, surtout ces dernières années, car :

- La biomasse est abondante grâce à l'énergie solaire,
- De nombreux métabolites peuvent être purifiés : vitamines, colorants, acides gras, phospholipides, enzymes, hydrocarbures, polysaccharides, toxines, antibiotiques, inhibiteurs d'enzymes, etc. Ces produits sont destinés à l'alimentation, la cosmétologie, et la pharmacie. Les résidus d'extraction peuvent être valorisés par la production de méthane ou d'alcool.

De plus, les micro-algues peuvent servir à l'épuration des eaux résiduelles urbaines, notamment dans les pays en voie de développement. En se développant et en prélevant des éléments nutritifs dans le milieu, les algues contribuent à l'épurer. Il est donc possible de dépolluer des eaux usées en utilisant ces micro-végétaux. C'est le principe du lagunage.

D'autre part, des perspectives envisagées, pour le futur, se pencheront principalement sur le devenir de ces micro-algues après leur élimination de l'eau, ces perspectives reposent principalement sur des projets qui voient le jour un peu partout dans le monde mais surtout aux Etats-Unis et même en France. L'objectif est de produire un biodiesel (biofuel). Les micro-algues intéressent beaucoup de chercheurs car elles produisent 10 fois plus d'huile que les plantes terrestres (palme, colza, tournesol, etc.) qui étaient utilisées lors des premiers essais. Le projet est toujours en étude. Des raffineries transforment des algues vertes et des déchets organiques (déchets agricoles, déchets animaux, etc.) en énergie, grâce à la méthanisation afin de produire de l'électricité.

## LISTE DES SYMBOLES ET DES ABREVIATIONS

C/F : Coagulation/Floculation

DBP : Sous produits de désinfection

COT : Carbone Organique Total

NOM : Matières Organiques Naturelles

THM : Trihalométhane

DOC : Carbone Organique Dissous

mg/l : milligramme par litre

H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> : Acide sulfurique

HCl : Acide Chlorhydrique

Trs/min : Tours par minutes

M.O : Matières Organiques

μ. Algues ou MA : micro-algues

Hm<sup>3</sup> : Hectomètre cube

°F : Degré Fahrenheit

DCO : Demande Chimique en Oxygène

OMS : Organisation Mondiale de la Santé

Al<sub>2</sub>SO<sub>4</sub><sup>3-</sup> : Sulfates d'Aluminium

FeCl<sub>3</sub><sup>-</sup> : Chlorure Ferrique

nm : Nanomètre

MEB : Microscopie Electronique à Balayage

μs/cm : Micro siemens par centimètre

GAC : Granural Activeted Carbon (Charbon Actif)

## ANNEXE A

### 1. Paramètres physico- chimiques des eaux de barrage Lakhel, Ghrib, Boukerdène :

**Tableau A.1 : Données physico-chimiques des eaux de barrages Lakhel (Bouira)**

<b>DDE</b>	04/01/11	01/02/11	01/03/11	04/04/11	08/05/11	01/06/11	06/07/11	01/08/11
<b>Lieu</b>	BOUIRA	BOUIRA	BOUIRA	BOUIRA	BOUIRA	BOUIRA	BOUIRA	BOUIRA
<b>T°C air</b>	14	10,0	4,0	24	23	18	30	27
<b>T°C Eau</b>	15	19	8,0	27	21	22	27	27
<b>VOLUM E Hm<sup>3</sup></b>	10	9,519	11,465	13	16	18	18	17
<b>HDP</b>	10:45	11 :10	11:30	11:30	11:00	11:30	11:00	10:15
<b>Année</b>	2 011	2 011		2 011	2 011	2 011	2 011	2 011
<b>Calcium</b>	73	56	58	44	57	60	67	49
<b>Magnési um</b>	34	34	32	33	24	36	39	31
<b>Sodium</b>	29	78	75	75	66	30	53	78
<b>Potassiu m</b>	2	7	6	6	4	9	4	5
<b>Chlorur es</b>	62	80	68	68	70	70	68	59
<b>Sulfates</b>	165	187	175	186	157	156	168	130
<b>Bicarbo nates</b>	186	189	183	146	156	146	183	159
<b>Nitrates</b>	3,7	2,0	3,0	4,1	8,9	5,6	3,6	2,1
<b>pH</b>	8,3	7,2	7,9	7,9	8,1	8,3	8,1	8,2
<b>CE µ/cm</b>	785	900	838	743	733	700	850	733
<b>Résidu Sec</b>	629	536	587	606	468	462	581	465
<b>TH</b>	33	28	28	25	24	30	33	25
<b>TAC</b>	15	15	15	12	13	12	15	13
<b>SiO<sub>2</sub></b>	0,0	0,9	0,9	0,9	1,3	1,5	0,2	0,0
<b>NO<sub>2</sub></b>	0,213	0,274	0,209	0,302	0,854	0,988	0,391	0,240
<b>NH<sub>4</sub></b>	1,095	1,424	1,269	0,000	0,169	0,028	0,000	0,057
<b>M.Org</b>	7,0	7,0	6,4	7,7	6,6	7,9	4,3	6,5
<b>PO<sub>4</sub></b>	0,000	0,122	0,000	0,061	0,000	0,061	0,000	0,450
<b>O<sub>2</sub> mg/L</b>	10,5	8,8	10,4	15,1	8,3	8,9	7,8	10,2
<b>O<sub>2</sub> %</b>	104,2	95,4	87,0	198,2	94,7	103,5	104,3	135,6
<b>DCO</b>	10	14	9	36	18	17	9	9
<b>TURBIDITE</b>	5,7	6,3	10,7	6,9	6,8	6,8	9	7



**Tableau A.2 : Données physico-chimiques des eaux de barrages Ghrib (Ain Defla)**

<b>DDE</b>	11/01/11	08/02/11	07/03/11	11/04/11	15/05/11	08/06/11	18/07/11	10/08/11
<b>Lieu</b>	AINDEFLA	AINDEFLA	AINDEFLA	AINDEFLA	AINDEFLA	AINDEFLA	AINDEFLA	AINDEFLA
<b>T°C air</b>	19	11	19	22	17	16	26	26
<b>T°C Eau</b>	19	10	18	18	21	19	26	28
<b>VOLUME Hm<sup>3</sup></b>	87	89	93	93	96	97	89	82
<b>HDP</b>	10:10	10:15	11:00	13:30	10:15	11:15	10:00	12:17
<b>Année</b>	2 011	2 011	2 011	2 011	2 011	2 011	2 011	2 011
<b>Calcium</b>	188	125	162	188	162	191	184	176
<b>Magnésium</b>	85	100	90	87	89	105	96	91
<b>Sodium</b>	300	421	335	229	401	320	278	330
<b>Potassium</b>	11	11	10	4	4	5	8	6
<b>Chlorures</b>	468	446	430	463	455	540	408	420
<b>Sulfates</b>	680	740	695	680	783	750	715	808
<b>Bicarbonates</b>	122	143	207	128	153	128	122	110
<b>Nitrates</b>	2,5	2,2	2,9	2,4	4,8	2,9	2,3	7,6
<b>pH</b>	7,6	7,9	7,9	8,0	8,0	8,0	7,9	7,9
<b>CE µ/cm</b>	3 600	3 300	3 000	2 610	3 000	3 000	2 760	3 100
<b>Résidu Sec</b>	2 111	2 397	2 112	1 644	2 008	1 769	1 770	1 905
<b>TH</b>	82	73	78	83	78	91	86	82
<b>TAC</b>	10	12	17	11	13	10	10	9
<b>SiO<sub>2</sub></b>	0,0	2,8	2,5	1,9	1,1	1,1	1,3	0,4
<b>NO<sub>2</sub></b>	0,000	0,034	0,072	0,000	0,000	0,075	0,000	0,069
<b>NH<sub>4</sub></b>	0,099	0,194	0,264	0,100	0,135	0,069	0,033	0,047
<b>M.Org</b>	7,6	6,0	7,9	6,0	7,6	7,4	6,5	7,2
<b>PO<sub>4</sub></b>	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,330	0,220
<b>O<sub>2</sub> mg/L</b>	8,7	10,2	9,5	5,9	6,6	7,0	9,0	6,9
<b>O<sub>2</sub> %</b>	93,9	90,2	101,2	62,8	75,6	73,9	116,2	93,0
<b>DCO</b>	5	9	9	34	18	16	9	9
<b>TURBIDITE</b>	5,2	4,2	2,7	4,0	2,05	2,0	2,0	2,5

**Tableau A.3** : Données physico-chimiques des eaux de barrages Boukerdène (Tipaza)

DDE	13/01/11	08/02/11	16/03/11	19/04/11	09/05/11	06/06/11	10/07/11	09/08/11
Lieu	TIPAZA	TIPAZA	TIPAZA	TIPAZA	TIPAZA	TIPAZA	TIPAZA	TIPAZA
T°C air	14	14	15	17	21	19	30	26
T°C Eau	14	14	16	20	22	23	28	28
VOLUME Hm <sup>3</sup>	32	38	43	43	45	50	49	46
HDP	9:38	14:30	12:30	11:00	12:10	11:30	12:00	11:20
Année	2 011	2 011	2 011	2 011	2 011	2 011	2 011	2 011
Calcium	62	60	73	63	57	74	54	64
Magnésium	51	41	34	49	36	34	35	34
Sodium	90	87	90	44	100	59	71	82
Potassium	4	4	6	2	3	2	3	2
Chlorures	134	114	100	107	101	95	87	94
Sulfates	153	162	157	152	148	128	152	154
Bicarbonates	207	177	207	198	177	189	171	183
Nitrates	0,0	0,0	3,5	0,6	3,4	0,9	0,2	0,2
pH	8,0	7,9	8,0	8,1	8,1	7,9	8,1	8,0
CE µ/cm	1 100	1 000	1 000	874	850	822	817	900
Résidu Sec	717	587	569	607	592	480	527	522
TH	37	32	32	36	29	33	28	30
TAC	17	15	17	16	15	16	14	15
SiO <sub>2</sub>	1,9	6,4	14,8	4,9	1,9	4,7	5,4	3,0
NO <sub>2</sub>	0,000	0,079	0,041	0,000	0,000	0,274	0,058	0,065
NH <sub>4</sub>	0,010	0,000	0,061	0,100	0,120	0,051	0,027	0,019
M.Org	4,0	4,0	3,6	2,7	3,6	4,1	3,8	3,5
PO <sub>4</sub>	0,184	0,000	0,000	0,000	0,000	0,052	0,223	0,138
O <sub>2</sub> mg/L	9,0	10,4	9,7	9,4	7,3	7,8	8,2	9,3
O <sub>2</sub> %	85,9	99,6	96,8	104,6	84,8	91,9	110,7	126,8
DCO	5	18	13	19	13	12	18	18
TURBIDITE	3,1	2,6	4,0	3,6	3,6	4,8	5,0	5,2

## 2. Méthode du dénombrement d'Utermhol

$$N \text{ (cel/ml)} = \frac{\text{Nombre d'organismes dénombrés} \times \text{nombre de champs} \times 100}{\text{Nombre de champs prospectés} \times \text{Volume concentré}}$$

$$\text{Nombre de champs} = \frac{\text{Surface de la chambre}}{\text{Surface du Champs}}$$

$$= \frac{3.14*(13)^2}{0.181} = \frac{530.66}{0.28} = 1895.2$$

Pour le microscope inversé de grossissement \*32 (surface d'un champ =0.28mm<sup>2</sup>),

Nombres de champs prospecté = 10 champs,

Volume concentré = 10 ml (chambre Uthermhol de 10 ml),

Donc :

$$N = \frac{n*1895.2*1000}{10*10}$$

$$N = n* 189520 \text{ cel/l} = n*189.52 \text{ cel/ml}$$

### 3. Algues et microalgues répertoriées au niveau des barrages Lakhal et Boukerdène :

**Tableau A.4 :** microalgues répertoriées au niveau du barrage Lakhal (mois de Janvier)

Date	Nom	Profondeur	Classe	Genre	Espèce	Densité
02/01/2011	lakehal	0,5m	chlorophycée	scenedesmus	arcuatus	301,04
02/01/2011	lakehal	0,5m	chlorophycée	scenedesmus	acuminatus	56,8
02/01/2011	lakehal	0,5m	chlorophycée	closterium	acutum	22,72
02/01/2011	lakehal	0,5m	chlorophycée	tetraedron	minimum	56,8
02/01/2011	lakehal	0,5m	chlorophycée	cosmarium	depressum	34,08
02/01/2011	lakehal	0,5m	chlorophycée	scenedesmus	ecornis	68,16
02/01/2011	lakehal	0,5m	chlorophycée	hemitoma		22,72
02/01/2011	lakehal	0,5m	chlorophycée	tetraedron	caudatum	45,44
02/01/2011	lakehal	0,5m	chlorophycée	coelastrum	microsporum	22,72
02/01/2011	lakehal	0,5m	chlorophycée	staurastrum	cingulum	22,72
02/01/2011	lakehal	0,5m	chlorophycée	oocystis	naegeli	113,6
02/01/2011	lakehal	0,5m	chlorophycée	pediastrum	simplex	17,04
02/01/2011	lakehal	0,5m	chlorophycée	scenedesmus	quadricauda	85,2
02/01/2011	lakehal	0,5m	chlorophycée	inc		68,16
02/01/2011	lakehal	0,5m	chlorophycée	chlorelle		56,8
02/01/2011	lakehal	0,5m	chlorophycée	pediastrum	duplex	11,36
02/01/2011	lakehal	0,5m	chlorophycée	tetraedron	staurogeniforme	45,44
02/01/2011	lakehal	0,5m	chlorophycée	gonphosphaera	gelatinosa	22,72
02/01/2011	lakehal	0,5m	bacillariophycée	cyclotelle	comta	119,28
02/01/2011	lakehal	0,5m	bacillariophycée	synedra		170,4
02/01/2011	lakehal	0,5m	bacillariophycée	cyclotelle		56,8
02/01/2011	lakehal	0,5m	euglénophycée	phacus	longicauda	11,36
02/01/2011	lakehal	0,5m	cryptophycée	cryptomonas	sp	187,44

**Tableau A.5** : microalgues répertoriées au niveau du barrage Lakhel (mois de Février)

Date	Nom	Profondeur	Classe	Genre	Espèce	Densité
01/02/2011	lakehal	0,5m	chlorophycée	scenedesmus	quadricauda	159,04
01/02/2011	lakehal	0,5m	chlorophycée	tetraedron	caudatum	79,05
01/02/2011	lakehal	0,5m	chlorophycée	scenedesmus	ecornis	96,56
01/02/2011	lakehal	0,5m	chlorophycée	oocystis	naegeli	249,92
01/02/2011	lakehal	0,5m	chlorophycée	scenedesmus	acuminatus	68,16
01/02/2011	lakehal	0,5m	chlorophycée	staurastrum	cingulum	22,72
01/02/2011	lakehal	0,5m	chlorophycée	chodatella	subsalsa	22,72
01/02/2011	lakehal	0,5m	chlorophycée	tetrastrum	staurogenifor me	136,32
01/02/2011	lakehal	0,5m	chlorophycée	cosmarium	depressum	124,96
01/02/2011	lakehal	0,5m	chlorophycée	closterium	acutum	22,72
01/02/2011	lakehal	0,5m	chlorophycée	tetraedron	minimum	56,8
01/02/2011	lakehal	0,5m	chlorophycée	sphaerocystis	aeruginosa	11,36
01/02/2011	lakehal	0,5m	chlorophycée	inc		45,44
01/02/2011	lakehal	0,5m	chlorophycée	coelastrum	microsporu m	22,72
01/02/2011	lakehal	0,5m	chlorophycée	chlorelle		45,44
01/02/2011	lakehal	0,5m	chlorophycée	pediastrum	simplex	11,36
01/02/2011	lakehal	0,5m	bacillariophycée	fragillaria		34,08
01/02/2011	lakehal	0,5m	bacillariophycée	synedra		147,68
01/02/2011	lakehal	0,5m	bacillariophycée	cyclotelle		318,08
01/02/2011	lakehal	0,5m	bacillariophycée	navicula		22,72
01/02/2011	lakehal	0,5m	cyanophycée	oscillatoria	limnetica	11,36
01/02/2011	lakehal	0,5m	cryptophycée	cryptomonas	sp	28,4
01/02/2011	lakehal	0,5m	euglénophycée	phacus	longicauda	11,36

**Tableau A.6** : microalgues répertoriées au niveau du barrage Lakhall (mois de Mars)

Date	Nom	Profondeur	Classe	Genre	Espece	Nombre	Densité
01/03/2011	lakhall	0,5m	chlorophycée	scenedesmus		14	79,52
01/03/2011	lakhall	0,5m	chlorophycée	tetrastrum	staurogeniforme	14	79,52
01/03/2011	lakhall	0,5m	chlorophycée	cosmarium	depressum	11	62,48
01/03/2011	lakhall	0,5m	chlorophycée	scenedesmus	acuminatus	18	102,24
01/03/2011	lakhall	0,5m	chlorophycée	scenedesmus	quadricauda	22	124,96
01/03/2011	lakhall	0,5m	chlorophycée	scenedesmus	ecornis	9	51,12
01/03/2011	lakhall	0,5m	chlorophycée	tetraedron	caudatum	8	45,44
01/03/2011	lakhall	0,5m	chlorophycée	actinostrium		4	22,72
01/03/2011	lakhall	0,5m	chlorophycée	ankistrodesmus	nannoselene	4	22,72
01/03/2011	lakhall	0,5m	chlorophycée	chodatella	subsalsa	2	11,36
01/03/2011	lakhall	0,5m	bacillariophycée	cyclotelle		165	937,2
01/03/2011	lakhall	0,5m	bacillariophycée	synedra		41	232,88
01/03/2011	lakhall	0,5m	euglénophycée	phacus	longicauda	3	17,04

**Tableau A.7** : microalgues répertoriées au niveau du barrage Lakhall (mois d'Avril)

Date	Nom	Profondeur	Classe	Genre	Espece	Nombre	Densité
04/04/2011	lakhall	0,5m	chlorophycée	scenedesmus	acuminatus	131	744,08
04/04/2011	lakhall	0,5m	chlorophycée	scenedesmus	ecornis	17	96,56
04/04/2011	lakhall	0,5m	chlorophycée	scenedesmus	quadricauda	16	90,88
04/04/2011	lakhall	0,5m	chlorophycée	scenedesmus	arcuatus	5	28,4
04/04/2011	lakhall	0,5m	chlorophycée	scenedesmus	granulatum	2	11,36
04/04/2011	lakhall	0,5m	chlorophycée	tetraedron	minimum	3	17,04
04/04/2011	lakhall	0,5m	chlorophycée	oocystis	parva	32	181,76
04/04/2011	lakhall	0,5m	chlorophycée	tetrastrum	staurogeniforme	8	45,44
04/04/2011	lakhall	0,5m	chlorophycée	tetraedron	caudatum	6	34,08
04/04/2011	lakhall	0,5m	chlorophycée	staurastrum	cingulum	4	22,72
04/04/2011	lakhall	0,5m	chlorophycée	cosmarium	depressum	9	51,12
04/04/2011	lakhall	0,5m	chlorophycée	inc		11	62,48
04/04/2011	lakhall	0,5m	chlorophycée	chodatella	citroformis	4	22,72
04/04/2011	lakhall	0,5m	chlorophycée	chodatella	subsalsa	4	22,72
04/04/2011	lakhall	0,5m	chlorophycée	golenkinia	radiata	5	28,4
04/04/2011	lakhall	0,5m	chlorophycée	pediastrum	simplex	3	17,04
04/04/2011	lakhall	0,5m	chlorophycée	nephrocystium	lunatum	4	22,72
04/04/2011	lakhall	0,5m	chlorophycée	coelastrum	microsporum	3	17,04
04/04/2011	lakhall	0,5m	inc	inc		39	221,52
04/04/2011	lakhall	0,5m	chrysophycée	stichoglea	doederleinii	4	22,72
04/04/2011	lakhall	0,5m	euglénophycée	phacus	longicauda	2	11,36
04/04/2011	lakhall	0,5m	bacillariophycée	cyclotelle		4	22,72
04/04/2011	lakhall	0,5m	bacillariophycée	synedra		2	11,36

**Tableau A.8** : microalgues répertoriées au niveau du barrage Lakhall (mois de Mai)

Date	Nom	Classe	Genre	Espece	Densité
08/05/2011	lakhall	chlorophycée	scenedesmus	quadricauda	45,44
08/05/2011	lakhall	chlorophycée	coelastrum	microsporum	28,4
08/05/2011	lakhall	chlorophycée	tetraedron	minimum	22,72
08/05/2011	lakhall	chlorophycée	scenedesmus	acuminatus	28,4
08/05/2011	lakhall	chlorophycée	lagerheimia	genevensis	11,36
08/05/2011	lakhall	chlorophycée	cosmarium	depressum	17,04
08/05/2011	lakhall	chlorophycée	scenedesmus	ecornis	11,36
08/05/2011	lakhall	chlorophycée	staurastrum	cingulum	17,04
08/05/2011	lakhall	chlorophycée	oocystis	parva	113,6
08/05/2011	lakhall	chlorophycée	tetraedron	caudatum	28,4
08/05/2011	lakhall	chlorophycée	tetrastrum	staurogeniforme	11,36
08/05/2011	lakhall	chlorophycée	cosmarium	granulatum	17,04
08/05/2011	lakhall	chlorophycée	chlorelle	vulgaris	56,8
08/05/2011	lakhall	chlorophycée	pediastrum	simplex	11,36
08/05/2011	lakhall	chlorophycée	scenedesmus	arcuatus	39,76
08/05/2011	lakhall	bacillariophycée	cyclotelle		482,8
08/05/2011	lakhall	bacillariophycée	navicula		11,36
08/05/2011	lakhall	euglenophycée	phacus	longicauda	11,36
08/05/2011	lakhall	chlorophycée	inc		56,8

**Tableau A.9** : microalgues répertoriées au niveau du barrage Lakhall (mois de Juin)

Date	Nom	Profondeur	Classe	Genre	Espèce	Densité
01/06/2011	lakehal	0,5m	chlorophycée	pediastrum	bryanum	45,2
01/06/2011	lakehal	0,5m	chlorophycée	pediastrum	duplex	33,9
01/06/2011	lakehal	0,5m	chlorophycée	scenedesmus	quadricauda	56,5
01/06/2011	lakehal	0,5m	chlorophycée	scenedesmus	ecornis	33,9
01/06/2011	lakehal	0,5m	chlorophycée	staurastrum	cingulum	56,5
01/06/2011	lakehal	0,5m	chlorophycée	chlorelle		169,5
01/06/2011	lakehal	0,5m	bacillariophycée	cyclotelle		271,2
01/06/2011	lakehal	0,5m	euglenophycée	phacus	longicauda	22,6
01/06/2011	lakehal	0,5m	cyanophycée	synechococcus	linearis	5909,9
01/06/2011	lakehal	0,5m	chlorophycée	zoospore		203,4

**Tableau A.10** : microalgues répertoriées au niveau du barrage Lakhal (mois de Juillet)

Date	Nom	Profondeur	Classe	Genre	Espèce	Densité
06/07/2011	lakehal	0,5m	chlorophycée	pediastrum	simplex	56,8
06/07/2011	lakehal	0,5m	chlorophycée	cosmarium	depressum	102,24
06/07/2011	lakehal	0,5m	chlorophycée	staurastrum	cingulum	56,8
06/07/2011	lakehal	0,5m	chlorophycée	coelastrum	microsporum	568
06/07/2011	lakehal	0,5m	chlorophycée	chodatella	subsalsa	39,76
06/07/2011	lakehal	0,5m	chlorophycée	scenedesmus	acuminatus	73,84
06/07/2011	lakehal	0,5m	chlorophycée	scenedesmus	arcuatus	34,08
06/07/2011	lakehal	0,5m	chlorophycée	pediastrum	tetra	28,4
06/07/2011	lakehal	0,5m	chlorophycée	scenedesmus	quadricauda	22,72
06/07/2011	lakehal	0,5m	chlorophycée	tetraedron	minimum	28,4
06/07/2011	lakehal	0,5m	chlorophycée	golenkinia	radiata	17,04
06/07/2011	lakehal	0,5m	cyanophycée	synechococcus	linearis	318,08
06/07/2011	lakehal	0,5m	bacillariophycée	synedra		34,08
06/07/2011	lakehal	0,5m	bacillariophycée	cyclotelle		193,12
06/07/2011	lakehal	0,5m	chrysophycée	monas	sp	34,08

**Tableau A.11** : microalgues répertoriées au niveau du barrage Lakhal (mois de Août)

Date	Nom	Profondeur	Classe	Genre	Espèce	Densité
01/08/2011	lakehal	0,5m	chlorophycée	scenedesmus	acuminatus	45,44
01/08/2011	lakehal	0,5m	chlorophycée	staurastrum	cingulum	102,24
01/08/2011	lakehal	0,5m	chlorophycée	pediastrum	duplex	28,4
01/08/2011	lakehal	0,5m	chlorophycée	pediastrum	tetra	34,08
01/08/2011	lakehal	0,5m	chlorophycée	pediastrum	simplex	28,4
01/08/2011	lakehal	0,5m	chlorophycée	coelastrum	microsporum	56,8
01/08/2011	lakehal	0,5m	chlorophycée	cosmarium	depressum	306,72
01/08/2011	lakehal	0,5m	bacillariophycée	synedra		1630,16
01/08/2011	lakehal	0,5m	bacillariophycée	cyclotelle		238,56
01/08/2011	lakehal	0,5m	dinophycée	peridinium		653,2
01/08/2011	lakehal	0,5m	euglenophycée	phacus	longicauda	34,08
01/08/2011	lakehal	0,5m	cyanophycée	microcystis	viridis	45,44

**Tableau A.12** : microalgues répertoriées au niveau du barrage Boukerdène (mois de Janvier)

Date	Nom	Profondeur	Classe	Genre	Espèce	Densité
02/01/2011	boukerdane	0,5m	chlorophycée	pediastrum	duplex	11,36
02/01/2011	boukerdane	0,5m	chlorophycée	scenedesmus	quadricauda	11,36
02/01/2011	boukerdane	0,5m	chlorophycée	tetraedron	minimum	22,72
02/01/2011	boukerdane	0,5m	chlorophycée	oocystis	parva	22,72
02/01/2011	boukerdane	0,5m	chlorophycée	closterium	acutum	11,36
02/01/2011	boukerdane	0,5m	bacillariophycée	synedra	ulna	56,8
02/01/2011	boukerdane	0,5m	bacillariophycée	cyclotelle		34,08
02/01/2011	boukerdane	0,5m	bacillariophycée	navicula		11,36
02/01/2011	boukerdane	0,5m	bacillariophycée	cymatopleura		11,36

**Tableau A.13** : microalgues répertoriées au niveau du barrage Boukerdène (mois de Février)

Date	Nom	Profondeur	Classe	Genre	Espèce	Densité
08/02/2011	boukerdane	0,5m	chlorophycée	scenedesmus	quadricauda	119,28
08/02/2011	boukerdane	0,5m	chlorophycée	scenedesmus	ecornis	68,16
08/02/2011	boukerdane	0,5m	chlorophycée	staurastrum	cingulum	22,72
08/02/2011	boukerdane	0,5m	chlorophycée	tetraedron	minimum	22,72
08/02/2011	boukerdane	0,5m	chlorophycée	scenedesmus	acuminatus	28,4
08/02/2011	boukerdane	0,5m	chlorophycée	tetraedron	caudatum	68,16
08/02/2011	boukerdane	0,5m	chlorophycée	tetrastrum	staurogeniforme	96,56
08/02/2011	boukerdane	0,5m	chlorophycée	oocystis	parva	68,16
08/02/2011	boukerdane	0,5m	chlorophycée	chlorelle	vulgaris	227,2
08/02/2011	boukerdane	0,5m	chlorophycée	pediastrum	duplex	11,36
08/02/2011	boukerdane	0,5m	chlorophycée	closterium	acutum	34,08
08/02/2011	boukerdane	0,5m	chlorophycée	cosmarium	depressum	119,28
08/02/2011	boukerdane	0,5m	bacillariophycée	cyclotelle		198,8
08/02/2011	boukerdane	0,5m	bacillariophycée	synedra		176,08
08/02/2011	boukerdane	0,5m	bacillariophycée	fragillaria		34,08
08/02/2011	boukerdane	0,5m	euglénophycée	phacus	longicauda	11,36
08/02/2011	boukerdane	0,5m	chlorophycée	tetraedron	minimum	11,36



**Tableau A.14** : microalgues répertoriées au niveau du barrage Boukerdène (mois de Mars)

Date	Nom	Profondeur	Classe	Genre	Espece	Densité
15/03/2011	boukerdane	0,5m	chlorophycée	scenedesmus	ecornis	11,36
15/03/2011	boukerdane	0,5m	chlorophycée	tetraedron	minimum	34,08
15/03/2011	boukerdane	0,5m	chlorophycée	oocystis		45,44
15/03/2011	boukerdane	0,5m	chlorophycée	scenedesmus	quadricauda	11,36
15/03/2011	boukerdane	0,5m	bacillariophycée	synedra		68,16
15/03/2011	boukerdane	0,5m	bacillariophycée	cyclotelle		28,4
15/03/2011	boukerdane	0,5m	bacillariophycée	navicula		11,36
15/03/2011	boukerdane	0,5m	crysophycée	dinobryon		11,36
15/03/2011	boukerdane	0,5m	dinophycée	peridinium	sp	51,12

**Tableau A.15** : microalgues répertoriées au niveau du barrage Boukerdène (mois d'Avril)

Date	Nom	Profondeur	Classe	Genre	Espèce	Densité
19/04/2011	boukerdane	0,5m	bacillariophycée	synedra		1857,36
19/04/2011	boukerdane	0,5m	bacillariophycée	cyclotelle		34,08
19/04/2011	boukerdane	0,5m	chlorophycée	tetraedron	minimum	34,08
19/04/2011	boukerdane	0,5m	chlorophycée	scenedesmus	quadricauda	17,04
19/04/2011	boukerdane	0,5m	chlorophycée	scenedesmus	ecornis	11,36
19/04/2011	boukerdane	0,5m	chlorophycée	scenedesmus	acuminatus	17,04
19/04/2011	boukerdane	0,5m	chlorophycée	pediastrum	duplex	11,36
19/04/2011	boukerdane	0,5m	chlorophycée	cosmarium	granulatum	28,4
19/04/2011	boukerdane	0,5m	chlorophycée	oocystis	parva	45,44
19/04/2011	boukerdane	0,5m	chlorophycée	actinostromum	hantschii	17,04
19/04/2011	boukerdane	0,5m	chlorophycée	tetrastrum	triangulare	17,04
19/04/2011	boukerdane	0,5m	chrysophycée	monas	sp	11,36
19/04/2011	boukerdane	0,5m	dinophycée	peridinium	sp	28,4

**Tableau A.16** : microalgues répertoriées au niveau du barrage Boukerdène (mois de Mai)

Date	Nom	Classe	Genre	Espece	Densité
09/05/2011	boukerdane	chlorophycée	staurastrum	cingulum	17,04
09/05/2011	boukerdane	chlorophycée	closterium	acutum	11,36
09/05/2011	boukerdane	chlorophycée	tetraedron	minimum	11,36
09/05/2011	boukerdane	chlorophycée	scenedesmus	inc	17,04
09/05/2011	boukerdane	chlorophycée	cosmarium	granulatum	22,72
09/05/2011	boukerdane	bacillariophycée	synedra		653,2
09/05/2011	boukerdane	bacillariophycée	cyclotelle		28,4
09/05/2011	boukerdane	chrysophycée	monas	sp	22,72

**Tableau A.17** : microalgues répertoriées au niveau du barrage Boukerdène (mois de Juin)

Date	Nom	Profondeur	Classe	Genre	Espece	Densité
06/06/2011	boukourdene	0,5m	dinophycée	peridinium		34,08
06/06/2011	boukourdene	0,5m	chlorophycée	tetraedron	minimum	17,04
06/06/2011	boukourdene	0,5m	chlorophycée	scenedesmus	acuminatus	102,24
06/06/2011	boukourdene	0,5m	chlorophycée	cosmarium	depressum	22,72
06/06/2011	boukourdene	0,5m	chlorophycée	scenedesmus	ecornis	11,36
06/06/2011	boukourdene	0,5m	chlorophycée	golenkinia	radiata	11,36
06/06/2011	boukourdene	0,5m	chlorophycée	staurastrum	cingulum	17,04
06/06/2011	boukourdene	0,5m	cyanophycée	microcystis	aeruginosa	17,04
06/06/2011	boukourdene	0,5m	bacillariophycée	synedra		113,6
06/06/2011	boukourdene	0,5m	bacillariophycée	fragillaria		142

**Tableau A.18** : microalgues répertoriées au niveau du barrage Boukerdène (mois de Juillet)

Date	Nom	Profondeur	Classe	Genre	Espece	Densité
10/07/2011	boukourdene	0,5m	chlorophycée	cosmarium	depressum	79,52
10/07/2011	boukourdene	0,5m	chlorophycée	tetraedron	minimum	34,08
10/07/2011	boukourdene	0,5m	chlorophycée	scenedesmus	quadricauda	17,04
10/07/2011	boukourdene	0,5m	chlorophycée	staurastrum	cingulum	11,36
10/07/2011	boukourdene	0,5m	chlorophycée	coelastrum	microsporum	22,72
10/07/2011	boukourdene	0,5m	bacillariophycée	synedra		204,48
10/07/2011	boukourdene	0,5m	bacillariophycée	cyclotelle		45,44
10/07/2011	boukourdene	0,5m	dinophycée	peridinium	sp	51,12

**Tableau A.19** : microalgues répertoriées au niveau du barrage Boukerdène (mois d'Août)

Date	Nom	Profondeur	Classe	Genre	Espece	Densité
09/08/2011	boukourdene	0,5m	chlorophycée	scenedesmus	ecornis	5,44
09/08/2011	boukourdene	0,5m	chlorophycée	cosmarium	depressum	6,8
09/08/2011	boukourdene	0,5m	chlorophycée	coelastrum	microsporum	4,08
09/08/2011	boukourdene	0,5m	chlorophycée	staurastrum	cingulum	2,72
09/08/2011	boukourdene	0,5m	chlorophycée	scenedesmus	quadricauda	2,72
09/08/2011	boukourdene	0,5m	bacillariophycée	synedra		204
09/08/2011	boukourdene	0,5m	dinophycée	peridinium	sp	13,6
09/08/2011	boukourdene	0,5m	chrysophycée	monas	sp	20,4

**Tableau A.20** : Valeurs totales du dénombrement algal recensé au niveau du barrage Lakhal

<b>Mois</b>	<b>Densité <math>\mu</math>algues (Lakhal)</b>
<b>Janvier</b>	1618,8
<b>février</b>	1748,97
<b>Mars</b>	1789,2
<b>Avril</b>	1806,24
<b>Mai</b>	1022,4
<b>Juin</b>	6802,6
<b>Juillet</b>	1607,44
<b>Août</b>	3203,52

**Tableau A.21** : Valeurs totales du dénombrement algal recensé au niveau du barrage Boukerdène

<b>Mois</b>	<b>Densité <math>\mu</math>algues (Boukerdène)</b>
<b>Janvier</b>	193,12
<b>février</b>	1317,76
<b>Mars</b>	272,64
<b>Avril</b>	2130
<b>Mai</b>	783,84
<b>Juin</b>	488,48
<b>Juillet</b>	465,76
<b>Août</b>	259,76

## ANNEXE B

### 1. Expériences de la coagulation classiques et de la coagulation améliorée

#### 1.1 Choix du coagulant

##### 1.1.1 Coagulation classique en utilisant le coagulant : $Al_2(SO_4)_3$ et $Fe(Cl)_3$ (Barrage Lakhal Bouira) (Mois de Février)

**Tableau B.1** Analyses de la Turbidité, du pH, de la CE et des  $\mu$ . Algues en fonction des différentes concentrations du coagulant  $Al_2(SO_4)_3$

C du coagulant (mg/l)	Eau brute	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
Turbidité (NTU)	30,28	15,48	6,01	3,22	1,89	1,23	0,69	0,56	0,69	0,80	1,62
pH	7,88	7,75	7,60	7,51	7,22	7,19	7,08	7,05	7,03	7,01	7,00
C ( $\mu$ s/cm)	789	715	710	709	708	703	701	698	692	690	670
$\mu$ algues* $10^3$ (algues/ml)	174,89	40,93	39,06	29,94	15,73	5,87	6,25	38,66	32,97	25,93	22,74
% R (Turbidité)	0	48,87	80,15	89,36	93,76	95,93	97,72	98,15	97,72	97,35	94,64
%algues	0	76,6	77,66	82,9	91,0	96,64	96,42	77,9	81,14	85,17	86,9

**Tableau B.2** Analyses de la Turbidité, du pH, de la CE et des  $\mu$ . Algues en fonction des différentes concentrations du coagulant  $Fe(Cl)_3$

C du coagulant (mg/l)	Eau brute	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
Turbidité (NTU)	21,77	12,24	7,24	8,20	6,30	5,5	2,67	0,50	0,62	1,69	2,22
pH	7,88	7,53	7,35	7,26	7,15	7,09	7,02	7,00	6,95	6,80	6,77
C ( $\mu$ s/cm)	789	716	718	684	670	650	644	640	638	637	620
$\mu$ algues* $10^3$ (algues/ml)	174,89	19,90	20,66	15,73	14,94	8,90	6,66	40,25	38,66	28,80	18,74
% R (Turbidité)	0	43,77	66,74	62,33	71,06	74,73	87,73	97,70	97,15	92,24	89,80
%algues	0	88,62	88,19	91,00	91,46	94,91	96,19	76,98	77,90	83,53	89,28

#### 1.2 Résultats de la coagulation classique (Trouver l'optimum du coagulant)

##### 1.2.1 Résultats de la coagulation classique (Barrage Ghrib Ain Defla) (Mois de Février)

**Tableau B.3** Analyses de la Turbidité, du pH, de la CE et des  $\mu$ . Algues en fonction des différentes concentrations du coagulant  $Al_2(SO_4)_3$  (Barrage Ghrib mois de Février)

C du coagulant (mg/l)	Eau brute	5	10	15	20	25	<b>30</b>	35	40	45
Turbidité (NTU)	4,5	2,64	1,86	1,27	1,25	0,94	0,7	0,54	0,55	0,84
pH	7,80	7,71	7,65	7,58	7,34	7,27	7,10	7,19	7,25	7,19
C ( $\mu$ s/cm)	2800	2600	2590	2590	2450	2440	2180	2100	2002	2000
$\mu$ algues* $10^3$ (algues/ml)	37,15	3,411	3,032	00	00	00	7,58	3,6	0,379	00
%T	0	41,33	58,67	71,78	72,22	79,11	<b>84,44</b>	88	87,78	81,33
% $\mu$ algues	0	90,81	91,83	100	100	100	<b>79,60</b>	90,31	98,97	100

#### 1.2.2 Résultats de la coagulation classique (Barrage Ghrib Ain Defla) (Mois de Mars)

**Tableau B.4** Analyses de la Turbidité, du pH, de la CE et des  $\mu$ . Algues en fonction des différentes concentrations du coagulant  $Al_2(SO_4)_3$  (Barrage Ghrib mois de Mars)

C du coagulant (mg/l)	Eau brute	5	10	15	20	25	30	<b>35</b>	40
Turbidité (NTU)	2,7	2,27	1,71	1,56	1,14	1,09	1,06	0,88	1,56
pH	7,90	7,69	7,58	7,48	7,45	7,38	7,31	7,26	6,74
C ( $\mu$ s/cm)	2800	2590	2580	2560	2559	2553	2500	2450	2420
$\mu$ algues (algues/ml)	37145,92	1326,64	758,08	568,57	568,56	379,04	189,52	189,52	568,56
% R (Turbidité)	0	15,93	36,67	42,22	57,78	59,63	60,74	<b>67,40</b>	42,22
% $\mu$ algues	0	96,42	97,95	98,45	98,46	98,97	99,48	<b>99,48</b>	98,46

#### 1.2.3 Résultats de la coagulation classique (Barrage Ghrib Ain Defla) (Mois d'Avril)

**Tableau B.5** Analyses de la Turbidité, du pH, de la CE et des  $\mu$ . Algues en fonction des différentes concentrations du coagulant  $Al_2(SO_4)_3$  (Barrage Ghrib mois d'Avril)

C du coagulant (mg/l)	Eau brute	5	10	15	20	25	30	<b>35</b>	40	45
Turbidité (NTU)	4,00	1,10	0,539	0,470	0,236	0,238	0,222	0,206	0,233	0,386
pH	8,03	7,84	7,79	7,74	7,40	7,42	7,37	7,32	7,31	7,25
C ( $\mu$ s/cm)	2660	2620	2600	2550	2500	2480	2460	2450	2410	2360
$\mu$ algues* $10^3$ (cellules (algues)/ml)	25,78	1,114	0,57	0,4	0,19	00	00	0,4	0,19	00
% R (Turbidité)	0	72,5	86,525	88,25	94,1	94,05	94,45	<b>94,85</b>	94,175	90,35
% $\mu$ algues	0	95,68	97,79	98,45	99,27	100	100	<b>97,79</b>	99,26	100

#### 1.2.4 Résultats de la coagulation classique (Barrage Ghrib Ain Defla) (Mois de Mai)

**Tableau B.6** Analyses de la Turbidité, du pH, de la CE et des  $\mu$ . Algues en fonction des différentes concentrations du coagulant  $Al_2(SO_4)_3$  (Barrage Ghrib mois d'Avril)

C du coagulant (mg/l)	Eau brute	5	10	15	20	25	30	<b>35</b>	40	45
Turbidité (NTU)	2,05	1,10	0,539	0,470	0,236	0,238	0,222	0,206	0,233	0,386
pH	8,09	7,85	7,70	7,68	7,55	7,50	7,44	7,40	7,39	7,26
C ( $\mu$ s/cm)	2750	2730	2705	2700	2670	2665	2660	2650	2620	2600
$\mu$ algues* $10^3$ (cellules (algues)/ml)	25,78	0,76	0,57	0,4	0,19	00	00	0,95	0,57	0,19
% R (Turbidité)	0	46,34	73,71	77,07	88,49	88,39	89,17	<b>89,95</b>	88,63	81,17
% $\mu$ . algues	0	97,05	97,79	98,45	99,26	100	100	<b>96,31</b>	97,79	97,79

### 1.3 Résultats de la coagulation améliorée (Trouver l'optimum du pH)

#### 1.3.1 Résultats de la coagulation améliorée (Barrage Ghrib Ain Defla) (Mois de Février)

**Tableau B.7** Analyses de la Turbidité, du pH, de la CE et des  $\mu$ . Algues en fonction des différentes valeurs du pH + la concentration optimal du coagulant  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 + \text{H}_2\text{SO}_4$  (Barrage Ghrib mois de Février)

pH de $\text{H}_2\text{SO}_4$ 30 (mg/l)	Eau brute	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6	6,5
Turbidité (NTU)	4,2	2,97	1,57	1,49	1,19	0,98	0,97	1,06	1,65
pH	7,66	3,14	3,49	3,80	4,47	4,84	5,30	5,78	6,37
C ( $\mu\text{s}/\text{cm}$ )	2800	2840	2830	2820	2750	2660	2690	2640	2540
$\mu$ algues (algues/ml)	26343,28	2274,24	758,08	379,04	00	00	00	189,52	379,04
% R (Turbidité)	0	29,28	62,62	64,52	71,67	76,67	<b>76,90</b>	74,76	60,71
% $\mu$ algues	0	91,36	97,12	98,56	100	100	<b>100</b>	99,28	98,56

**Tableau B.8** Analyses de la Turbidité, du pH, de la CE et des  $\mu$ . Algues en fonction des différentes valeurs du pH + la concentration optimal du coagulant  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 + \text{HCl}$  (Barrage Ghrib mois de Février)

pH de $\text{HCl}$ 30 (mg/l)	Eau brute	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6	6,5
Turbidité (NTU)	4,2	1,98	1,22	1,23	1,02	1,01	1,00	0,65	0,78
pH	7,30	2,98	3,46	3,90	4,45	4,69	5,47	5,83	6,04
C ( $\mu\text{s}/\text{cm}$ )	2800	2790	2650	2640	2550	2460	2345	2320	2300
$\mu$ algues (algues/ml)	26343,28	1895,2	568,56	189,52	189,52	00	00	00	189,52
% R (Turbidité)	0	52,86	70,95	70,71	75,71	75,95	76,19	84,52	81,43
% $\mu$ algues	0	92,80	97,84	99,28	99,28	100	100	100	99,28

### 1.3.2 Résultats de la coagulation améliorée (Barrage Ghrib Ain Defla) (Mois de Mars)

**Tableau B.9** Analyses de la Turbidité, du pH, de la CE et des  $\mu$ . Algues en fonction des différentes valeurs du pH + la concentration optimal du coagulant  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 + \text{HCl}$  (Barrage Ghrib mois de Mars)

pH de $\text{HCl}$ 35 (mg/l)	Eau brute	5	6	6,5
Turbidité (NTU)	4,2	2,7	1,72	1,09
pH	7,94	4,92	5,84	6,31
C ( $\mu\text{s}/\text{cm}$ )	2750	2630	2530	2420
$\mu$ algues (algues/ml)	37145,92	1895,2	00	379,04
% R (Turbidité)	0	35,71	59,05	74,05
% $\mu$ algues	0	94,89	100	98,97

**Tableau B.10** Analyses de la Turbidité, du pH, de la CE et des  $\mu$ . Algues en fonction des différentes valeurs du pH + la concentration optimal du coagulant  $Al_2(SO_4)_3 + H_2SO_4$  (Barrage Ghrib mois de Mars)

pH de $H_2SO_4$ 35 (mg/l)	Eau brute	5	<b>6</b>	6,5
Turbidité (NTU)	4,2	2,12	0,84	1,05
pH	7,94	4,80	5,94	6,28
C ( $\mu$ s/cm)	2750	2650	2550	2450
$\mu$ algues (algues/ml)	37145,92	1895,2	00	00
% R (Turbidité)	0	21,48	<b>68,88</b>	61,11
% $\mu$ algues	0	94,89	<b>100</b>	100

### 1.3.3 Résultats de la coagulation améliorée (Barrage Ghrib Médéa) (Mois d'Avril) :

**Tableau B.11** Analyses de la Turbidité, du pH, de la CE et des  $\mu$ . Algues en fonction des différentes valeurs du pH + la concentration optimal du coagulant  $Al_2(SO_4)_3 + H_2SO_4$  (Barrage Ghrib mois d'Avril)

pH de $H_2SO_4$ 35 (mg/l)	Eau brute	4	5	5,5	6	<b>6,3</b>	6,5	7	7,5
Turbidité (NTU)	4,00	3,38	1,82	1,3	0,968	0,300	0,391	0,663	0,737
pH	7,99	3,53	4,98	5,10	5,95	6,02	6,23	6,60	6,75
C ( $\mu$ s/cm)	2790	2720	2640	2680	2670	2650	2620	2590	2550
$\mu$ algues* $10^3$ (cellules (algues)/ml)	25,78	0,76	0,19	00	00	00	0,19	0,76	0,95
% R (Turbidité)	0	15,5	54,5	67,5	75,8	<b>92,5</b>	90,22	83,42	81,56
% $\mu$ algues	0	97,05	99,26	100	100	<b>100</b>	99,26	97,05	<b>96,31</b>

**Tableau B.12** Analyses de la Turbidité, du pH, de la CE et des  $\mu$ . Algues en fonction des différentes valeurs du pH + la concentration optimal du coagulant  $Al_2(SO_4)_3 + HCl$  (Barrage Ghrib mois d'Avril)

pH de HCl 35 (mg/l)	Eau brute	4	5	<b>5,5</b>	6	6,3	6,5
Turbidité (NTU)	4,00	0,395	0,798	<b>0,219</b>	0,279	0,322	0,322
pH	8,10	3,74	4,16	<b>5,46</b>	5,15	6,23	6,47
C ( $\mu$ s/cm)	2880	2830	2730	<b>2710</b>	2660	2640	2610
$\mu$ algues* $10^3$ (cellules (algues)/ml)	25,78	0,19	0,4	<b>00</b>	00	0,4	0,4
% R (Turbidité)	0	90,125	80,05	<b>94,525</b>	93,025	91,95	91,95
% $\mu$ algues	0	99,26	98,45	<b>100</b>	100	98,45	98,45



### 1.3.4 Résultats de la coagulation améliorée (Barrage Ghrib Ain Defla) (Mois de Mai)

**Tableau B.13** Analyses de la Turbidité, du pH, de la CE et des  $\mu$ . Algues en fonction des différentes valeurs du pH + la concentration optimal du coagulant  $Al_2(SO_4)_3 + H_2SO_4$  (Barrage Ghrib mois de Mai)

pH de $H_2SO_4$ 35 (mg/l)	Eau brute	5	6	<b>6,5</b>
Turbidité (NTU)	2,05	1,82	0,888	0,734
pH	7,94	4,92	5,84	6,31
C ( $\mu$ s/cm)	2750	2630	2530	2420
$\mu$ algues* $10^3$ (cellules (algues)/ml)	25,78	0,19	00	00
% R (Turbidité)	0	11,22	56,69	<b>64,19</b>
% $\mu$ algues	0	99,26	100	<b>100</b>

**Tableau B.14** Analyses de la Turbidité, du pH, de la CE et des  $\mu$ . Algues en fonction des différentes valeurs du pH + la concentration optimal du coagulant  $Al_2(SO_4)_3 + HCl$  (Barrage Ghrib mois de Mai)

pH de $HCl$ 35 (mg/l)	Eau brute	5	<b>6</b>	6,5
Turbidité (NTU)	2,05	0,798	<b>0,279</b>	0,322
pH	7,94	4,16	<b>5,15</b>	6,47
C ( $\mu$ s/cm)	2750	2730	<b>2640</b>	2660
$\mu$ algues (algues/ml)	25,78	0,4	<b>00</b>	0,4
% R (Turbidité)	0	80,05	<b>93,025</b>	91,95
% $\mu$ algues	0	98,45	<b>100</b>	98,45

## REFERENCES

- [1] I. Bouaichi, Qualité des eaux de barrages en exploitation. ANBT, Département de la protection des plans d'eau. EQSEAATN, (2010). PO.23.
- [2] M. S. Hamaidi, F. Zoubiri, A. Hamaidi, F. Benouaklil, Y. Dhan, Etude de la Dynamique des Populations Phytoplanctoniques et Résultats Préliminaires sur les Blooms Toxiques à Cyanobactéries dans le Barrage de Ghrib (Ain Defla-Algérie. European Journal of Scientific Research, (2009). 369-380.
- [3] N. Benamar, N. Mouadhi, A. Benamar, Etude de la biodiversité et de la pollution dans les canaux de l'Ouest algérien : le cas de l'Oued de Cheliff. Université de Provence, Janvier (2011). 2-3
- [4] C. Stigter, Sédimentation control of réservoirs. Bulletin de la commission internationale des grands barrages. (C.I.G.B), (1989). 159.
- [5] J. Feuillade, Les toxines des cyanobactéries: revue de synthèse. Rev. Sc. de l'Eau, (1992). 5: 489 - 508.
- [6] W. Carmichael, The water environment: algal toxins and health. Plenum Press NY, (1981). 491.
- [7] V. Bonnelye, J. Moles, P. Mouchet, Elimination des algues toxiques et de leurs toxines 'Efficacité des filières de traitement, (2002). 5.
- [8] P. Roche, C. Semler, Elaboration d'une stratégie de traitement d'algues sur une filière d'eau potable, (2005). 4.
- [9] M. Achak, N. Ouazzani, A. Yaacoubi, L. Yaacoubi, Caractérisation des margines issues d'une huilerie moderne et essais de leur traitement par coagulation-floculation par la chaux et le sulfate d'aluminium. MandiRevue des sciences de l'eau / Journal of Water Science, vol. 21, n° 1. (2008). 53-67.
- [10] M. Kissi, Étude des eaux résiduaires des huileries d'olives (margines) : Caractérisation et traitement. Thèse de doctorat, faculté des sciences El Jadida, Maroc, (2002). 74-84.
- [11] A. Jaouani, M. Vanthourhout, M. J. Penninckx, Olive oil mill wastewater purification by combination of coagulation-floculation and biological treatments. Environ. Technol. 26(6). (2005). 633-41.

- [12] R. Sarika, N. Kalogerakis, D. Mantzarinos, Treatment of olive mill eluents. Part II. Complete removal of solids direct loculation with poly-electrolytes, *Environ. Int.* 31, (2005). 297-304.
- [13] E. S Aktas, S. Imer, L. Ersoy, Characterization and lime treatment of olive mill wastewater. *Wat. Res.* 35, (2001). 2336-2340.
- [14] F. Flouri, D. Sotirchos, S. Iounnidou, C. Balis, Decolorization of olive mill liquid wastes by chemical and biological means, *Int. Biodeterior. Biodegrad.* (1996). 38, 189-192.
- [15] S. Khoufi, F. S. Aloui, S. Anaerobidigestion of olive mill wastewater after  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  pretreatment and reuse adapted, *Proc. Internat. Conf. On wastewater treatment and reuse adapted to Mediterraneanarean (WATRAMA)*, (2000). 85-89.
- [16] A. Ranalli, L'effluent des huileries d'olive : propositions en vue de son épuration. Références aux normes italiennes en la matière. Troisième partie. *Olivae*, (1991). 39, 18-34.
- [17] I. Inan, A. Dimoglo, H. Simsek, M. Karpuzcu, Olive mill wastewater treatment by means of electro-coagulation. *Sep. Pur. Technol.* (2004). 36, 23-31.
- [18] L. Ersoy, E. G. Gonzales, S. Eserm, S. Imer, Preparation of active carbons from OMW residua. *Science and technology of carbon congress 257*, Strasbourg, France (1998).
- [19] C. Morino-Castillo, F. Carrasco-Marin, M.V Lopez-Ramon, M. A. Alvarez-Merino Chemical and physical activation of olive mill wastewater to produce actived carbons, *Carbon*, 39. 2001. 1415-1420, (2001).
- [20] K. AL-Mallah, M.O. J. Azzam, N. I. Abu-lailm, N.I., Olive mill effluent (OME) wastewater post-treatment using actived clay, *Sep. Pur. Technol.* 20, (2000). 225-234.
- [21] R. Azzouzi, Traitement physico-chimique des margines par l'utilisation des sols argileux, mémoire d'ingénieur d'état option : industrie agro-alimentaires. I.A.V. Hassan II, Rabat, Maroc, (1997). 73-102.
- [22] A. Kettab, Modélisation des paramètres physico-chimiques de la coagulation floculation pour le traitement des eaux de surface. *Laboratoire de Recherches des Sciences*

de l'EAU : LRS-EAU/ENP Ecole Nationale Polytechnique – Alger- Algérie EQSEAATN, (2010). PO.21.

[23] G. De Marsily, Les eaux continentales. Académie des sciences, (2006).

[24] J. C. Boeglin, Propriétés des eaux naturelles. Techniques de l'Ingénieur, (2008). G 1110. 2.

[25] B. Dussart, L'étude des eaux continentales. 2<sup>ème</sup> éditions, Limnologie, Boubée, (1992). 736.

[26] A. Morette, Précis d'hydrologie. Éditions Masson, (1964).

[27] F. Bontoux, Introduction à l'étude des eaux douces, eaux naturelles, eaux usées. 2<sup>ème</sup> édition CEBEDOC. Diffusion Lavoisier, (1993). 170.

[28] Le Point De Vue De FNE, « Pour une eau vivante : la fin des barrages ? » de la Lettre eau N°2 (juin 1996). « Rapport de la Commission Mondiale des Barrages : les clés d'un développement soutenable, équitable et durable » de la Lettre eau N°17-18 (mars 2002) » « Les nuisances des barrages dans le détail » de la Lettre eau N°2 (juin 1996).

[29] O. Berge, C. Monteil, C. Glaux, C. Guilbaud, F. Rimet, E.C. Morris, Biodiversité microbienne dans les cours d'eau du bassin de la Durance : conséquences de la présence de bactéries phytopathogènes dans les biofilms, INRA-PACA, Pathologie végétale, Montfavet, France, INRA, Thonon-les-bains, France, (2011).

[30] P. Bourrely, Les algues d'eau douce, Tome I : les algues vertes, N. BOUBEE & Cie (Paris VI<sup>e</sup>), (1966), 124-125, 208, 216-218.

[31] P. Bourrely, Les algues d'eau douce, Tome II : les algues bleues et rouges, les Eugléniens, Peridiniens, Cryptomonadines, N. BOUBEE & Cie (Paris VI<sup>e</sup>), (1970), 432.

[32] F. Franck, La production de biodiésel à partir de microalgues : une technologie immature mais prometteuse, Laboratoire de Biochimie Végétale et de Photobiologie, Université de Liège, (2010).

[33] L. Dabbadie, Cultures intensives de microalgues sur lisier de porc : performances, contraintes, utilisation des biomasses, France, (1992).

[34] M. Cavalla, Algues-Microalgues, (2000).

- [35] Memotec n°10, Les cyanobactéries, (2006). 1.
- [36] Entretiens Science et éthique, Histoire d'algues Journées Science Et Ethique Découverte 2009, Lanildut et au Conquet, 25 septembre (2009).
- [37] M. Prados, D. Belotte, Impact de la présence d'algues sur les filières de production d'eau potable, Rapport, Anjou Recherche, (2002).
- [38] P. Bourrelly, Les algues d'eau douce. Initiation à la systématique. Tome 1: les algues vertes, Collect. Faunes et Flores actuelles, Editions N. Boubée, Paris, (1966), 572.
- [39] P. Bougis, Ecologie du plancton marin. Tome 1: le phytoplancton, Collect. Ecol. 2, Masson, Paris, (1974), 196.
- [40] J. Briand, L'euglène, une cellule singulière, Biofutur 151, décembre (1995).
- [41] J. P. Callegari, Feu vert pour les microalgues, Biofutur 76, février (1989).
- [42] L. Prescott, Les Algues. Microbiologie, De Boeck Université, (1995), chap. 27
- [43] P. Bourrelly, Les algues d'eau douce, Boubée : Algues jaunes, algues vertes et algues bleues, (1987).
- [44] W. J. Garnett, Freshwater microscopy, CONSTABLE, London, (1972).
- [45] J. Sevrin-Reyssac, M. Pletikotic, Cyanobacteria in fish ponds, Aquac, (1990). 88: 120.
- [46] V. Bonnelye, J. Moles, P. Mouchet, Elimination des algues toxiques et de leurs toxines. Efficacité des filières de traitement, 18 Juin (2011).
- [47] J. F. Briand, S. Jacquet, C. Bernard, J. F. Humbert, Health hazards for terrestrial vertebrates from toxic cyanobacteria in surface water ecosystems, Veterinary Res. 34, (2003). 361- 377.
- [48] A. Boulanger, G. Favreau, H. Thébault, J. F. Briand, Evaluation du potentiel d'élimination des cyanotoxines dans les stations d'eau potable dans les départements limitrophes du Limousin, Ecole Nationale Supérieure d'Ingénieurs de Limoges, (2004-2005). 10.
- [49] C. Saint, K. Fergusson, P. Monis, B. Neilan, Early detection of cyanobacterial toxins using genetic methods, Part 1. Literature review, AWWA Research Foundation Project 2881 and Cooperative Research Centre for Water Quality and Treatment Project 2.3.0.4, Australia, (2003).

- [50] J. House, L.G. Newcombe, M. Burch, Management strategies for toxic blue-green algae: a guide for water utilities water treatment, Australian Water Quality Centre and Cooperative Research Centre for Water Quality and Treatment, Salisbury, South Australia, (2004).
- [51] E. M. Jochimsen, W. W. Carmichael, J. An, et *al.* Liver failure and death after exposure to microcystins at a hemodialysis center in Brazil, *New Engl. J. Med.* 338, (1998). 873-878.
- [52] W.W. Carmichael, S.M.F.O. Azevedo, J.S. An, R.J.R. Molica, E.M. Jochimsen, S. Lau, K.L. Rinehart, G.L. Shaw, G.K. Eaglesham, Human fatalities from cyanobacteria : chemical and biological evidence for cyanotoxins, *Environ. Health Perspectives.* 109, (2001). 663.
- [53] L. S. Pilotto, R.M. Douglas, M.D. Burch, S. Cameron, M. Beers, G.R. Rouch, P. Robinson, M. Kirk, C.T. Cowie, S. Hardiman, C. Moore, R.G. Attwell, Health effects of exposure to cyanobacteria (blue-green algae) due to recreational water-related activities, *Australian and New Zealand J. Public Health*, 21, (1997). 562– 566.
- [54] J. Duan, J. Gregory, Coagulation by hydrolysing metal salts, *Adv. Colloid Interface Sci.* (2003). 100-102. 475-502.
- [55] P. K. Holt, G. W. Barton, M. Wark, C. A. Mitchelle, A quantitative comparison between chemical dosing and electrocoagulation, *Colloids Surf.* (2002). A 211. 233- 248.
- [56] V. Pallier, Elimination de l'arsenic par coagulation floculation et electrocoagulation d'eaux faiblement minéralisées, Thèse de doctorat, Université de Limoges, 2008. 14.
- [57] K. F. Dennett, A. Amirtharajah, T. F. Morgan, J. P. Gould, Coagulation: its effect on organic matter, *J. American Water Works Association* 88 (1996). 129- 141.
- [58] R. Desjardins, *Traitement des eaux*, (1997).
- [59] M. Tardat-Henry, Évolution des dérivés de l'aluminium utilisés comme agents coagulants, *Sciences et Techniques de l'eau* 22, (1989). 297-304.
- [60] F. Carbonnier, F. Nauleau, Elimination des algues dans l'eau de boisson : Traitement des algues : détection des blooms-Elimination par clarification, *Technique Sciences Méthodes*, 10, (1995). 743-746.

- [61] J. Hart, J. K. Fawell, B. Croll, Algal toxins in surface waters: origins and removal during drinking water treatment processes. The Fate of Both intra- and extracellular toxins during drinking water treatment, *Water Supply*, 16, (1998). 611-623.
- [62] P. Mouchet, A propos des algues toxiques..., *L'Eau et l'Industrie*, n°33, mars (1979), 36-42 et 50-54.
- [63] R. C. Cheng, S. W. Krasner, I. F. Green, K. L. Wattier, Enhanced Coagulation: A Preliminary Evaluation. *J.AWWA*, 9, (1995). 87(2), 91–103.
- [64] 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, *Umgeni Water*, P.O. Box 9, Pietermaritzburg, 3200, South Africa, (2001). 33-41.
- [65] G. Crozes, P. White, M. Marshall, Enhanced Coagulation: Its Effect on NOM Removal and Chemical Costs. *J. AWAA*, 87(1), (1995). 78–89.
- [66] E. S. Hall, R. F. Packham, Coagulation of organic color with hydrolyzing coagulants. *J. AWWA*, 57(9), (1965). 1149–1163.
- [67] S. J. Randtke, Organic Contaminant Removal by Coagulation and Related Process Combinations. *J. AWWA*, 80(5), (1988). 40–56.
- [68] S. R. Quasim, et al, TOC Removal by Coagulation and Softening. *Jour. Env. Eng., ASCE*, 118 (3), (1992). 432.
- [69] S. D. Freese, D. J. Nozaic, M. J. Pryor, R. Rajagopaul, R. A. Smith, D. L. Trollip, Is Enhanced Coagulation An Economically Attractive Alternative To Advanced Treatment Processes?, Presented at WISA 2000, Sun City, South Africa, 28 May – 1 June (2000). 2-9.
- [70] P. C. Singer, G. W. Harrington, Coagulation of DBP Precursors: Theoretical and Practical Considerations in the Proceedings of the J. AWWA Conference on Water Quality Technology, Miami, (1993).
- [71] G. L. Amy, P. A. Chadik, Cationic Polyelectrolytes as Primary Coagulants for Removing Trihalomethane Precursors. *J. AWWA*, 75(10), (1983). 527–531.

- [72] D. S. Babcock, P. C. Singer, Chlorination and Coagulation of Humic and Fulvic Acids. *J.AWWA*, 71(3), (1979). 149–163.
- [73] D. A. Reckhow, P. C. Singer, The Removal of Organic Halide Precursors by Preozonation and Alum Coagulation. *J. AWWA*, 76(4), (1984). 151–157.
- [74] Conception d'installation de traitement de l'eau, *Water Treatment Plant Design* (1978), Edited by Sanks, R. L. Butterworth Publishers.
- [75] S. J. Randtke, Organic Contaminant Removal by Coagulation and Related Process Combinations. *J.AWWA*, 80(5), (1988). 40–56.
- [76] S. W. Krasner, G. Amy, Jar-test evaluations of enhanced coagulation. *J. AWWA*, 87(10), (1995). 93–107.
- [77] E. Amy, Childress, M. E. Vrijenhoek, E. Menachem Elimelech, T. S. Tanaka, M. D. Beuhler, Particulate And Thm Precursor Removal With Ferric Chloride, *Journal Of Environmental Engineering*, November (1999). 1054- 1061.
- [78] F. Khemici, Etude hydrobiologique du barrage Lakhel 2008, ANRH, DRC, Soumâa, Blida, (2008).
- [79] F. Hamaidi, M. S. Hamaidi, Recherche des indicateurs bactériens de contamination fécale dans les eaux du barrage de Lakhel (Bouira Algérie), *Rev. Microbiol. Ind. San et Environn.* 3, (2009) 76-95.
- [80] M. Touazi, J. P. Laborde, Modélisation pluie-débit à l'échelle annuelle en Algérie du Nord, *Rev. Sci. Eau.* 17, (2004) 503-516.
- [81] M. S. Hamaidi, F. Hamaidi, A. Zoubiri, F. Benouaklil, Y. Dhan, Etude de la dynamique des populations phytoplanctoniques et résultats préliminaires sur les blooms toxiques à cyanobactéries dans le Barrage de Ghrib (Ain-Defla, Algérie), *European J. Sci. Res.* (2009), 369-380.
- [82] N. Benamar, N. Mouadih, A. Benamar, Etude de la biodiversité et de la pollution dans les canaux de l'Ouest Algérien : le cas de l'Oued de Cheliff, Université de Provence, Janvier (2011). 2-3.
- [83] J. Beauchamps, *L'Eau et Le Sol*, Université de Picardie, Jules Verne, (2006).



- [84] J. Rodier, L'analyse de l'eau: eaux naturelles, eaux résiduaires, eaux de mer, 8<sup>ème</sup> édition, Ed. DUNOD, Paris, (1996).
- [85] M. Tardat-Henry, J.-P. Beaudry, Chimie des eaux, Québec, Ed. Le Griffon d'Argile, INC. (1984).
- [86] ANB, Cahier d'instruction du barrage de Lakhal, (2000). 30.
- [87] M. Bouchenaki, Cités antiques d'Algérie, collection Art et Culture n° 12, Alger, Ministère de l'Information et de la Culture, (1978). 114.
- [88] J. Heurgon, Nouvelles recherches à Tipasa, ville de la Maurétanie césarienne », Mélanges d'archéologie et d'histoire. (1930), 47. 182-201.
- [89] C. Lepelley, Rome et l'intégration de l'Empire, 44 av. J.-C. – 260 ap, Tome 2, Approches régionales du Haut-Empire romain, (1998).
- [90] R. Rebuffat, Enceintes urbaines et insécurité en Maurétanie Tingitane », Mélanges de l'Ecole française de Rome. Antiquité. (1974), 86 - 1, 501-522.
- [91] AFNOR, Recueil des normes françaises, eaux, méthodes d'essais, (1994). 342.
- [92] H. Utermohl, Zur vervollkommung der quantitative phytoplankton-Methoik, Mitt. Intern. Ver. Limnol 9, (1958) 1-38.
- [93] L. Legendre, W. D. Watt, On rapid technique for enumeration, Ann. Inst. Oceanogr., Paris, (1971-1972). 58: 173-17.
- [94] Foundation for Water Research (FWR), Review of the toxicology of aluminum with special reference to drinking water, (1990). FR- 0068.
- [95] United States Environmental Protection Agency Enhanced coagulation and enhanced precipitative softening guidance manual. Office of Water (4607). (May 1999). 3-3.
- [97] A. Amirtharajah, K. Mills, Rapid-mix design for mechanisms of alum coagulation, J. AWWA, 74, (1982) 210-216.
- [98] C. Le Gressus, Microscopie électronique à balayage, Centre d'Études de Bruyères-le-Châtel, France, Technique de l'ingénieur, (1995). Doc PE 865-1.

- [99] Azar, Caractérisation et mise en forme de la poudre, Chapitre 2, Lyon, (2009).
- [100] Organisation mondiale de la santé (OMS), Guidelines for drinking-water rd. Quality, Vol. 1. Recommandations, 3 Ed. World Health Organization, Geneva, (2004).
- [101] N. Harrat, Qualité des eaux de surface de l'Est Algérien et leur réactivité vis-à-vis du chlore, Mémoire de Magister, Université d'Annaba, (2007).
- [102] D. C. O. Thornton, L. F. Dong, G. J. C. Underwood, D. B. Nedwel, Factors affecting microphyto-benthic biomass, species composition and production in the clone estuary (UK). *Aquatic Microbial Ecology* 27, (2002). 285-300.
- [103] R. Billard. Introduction à l'aquaculture. Edition tec et doc, (2005). 38.
- [104] R. Billard. Les Câpres. Edition Quaec. (1995). 64.
- [105] K. Chausse, D. Phaneuf, P. Levallois, Nitrates/Nitrites dans fiche de synthèse sur l'eau potable et la santé humaine, Institut National de santé public, Québec, Contamination of the Gangetic river system righth at its source, *Ecological Indicators*, (2003). 5: 49.
- [106] I. Sukop, *Ekologie vodniho prostredi*, Brno. Mendelova zemedelska a lesnicka universita v Brne, (2006). 199.
- [107] C. H. Burton, C. Turner, Manure management. Treatment Strategie for Sustainable Agriculture. 2nd edition. Bedford: Silsoe Research Institute, (2003). 451.
- [108] J. Figala, P. Hanak, *Nauka o zivotnim prostredi Praha: Vysoka skola zemedelska Praha*, Videopress MON, (1986). 63- 79.
- [109] T. H. Debieche, Evolution de la qualité des eaux sous l'effet de la pollution saline, agricole et industrielle: La basse plaine Seybousse, Thèse de doctorat, Université Franche-Comté des sciences et techniques, (2004). 199.
- [110] Cornaz, Evaluation du statut trophique d'un canal de drainage sous l'impact des pollutions d'origines diffuses et ponctuelles, le cas du grand canal de plaine de Rhône, (2004). 10-19.

- [111] M. Cherbi, Contribution à l'étude des peuplements zooplanctoniques de trois lacs: Hamiz, Ghrib et Boughzoul, Thèse de l'Université d'Alger, (1984). 154.
- [112] N. Maurin, D.C. Amblard, G. Bourdier, Phytoplanktonic excretion and bacterial reassimilation in an oligomesotrophic lake, *J. Plankton Res.*, (1997). 1045-1068.
- [113] P. Servais, G. Billen, J. V. Rego, Rate of bacterial mortality in aquatic environments, *Appl. Environ. Microbiol.* 49, (1985). 1448-1458.
- [114] A. G. Murray, P. M. Eldridge, Marine viral ecology: incorporation of bacteriophage into the microbial planktonic food web paradigm, *J. Plankton Res.* (1994). 627-641.
- [115] E. Madigou, Influence du statut trophique de cours d'eau sur les fonctionnalités microbiens des biofilms, Thèse de l'Université Claude Bernard, Lyon, (2005). 27-47.
- [116] A. Deniel, S. Cado, A. Miletie, J. Glisie, Physical-chemical characteristics and phytoplankton composition of the Sava River on its lower flow stretch through Serbia, Environmental control department, (2006), 188.
- [117] V. Goubier, Influence de la fertilisation sur certains compartiments de l'étang de pisciculture, Thèse de doctorat, Univ. C. Bernard, Lyon, (1989), 240.
- [118] T. Mechahed, F. Yakoubi, F. Suivi hydrobiologique du Barrage de Keddara durant l'année 2009. EQSEAATN, (2010). CO.7.
- [119] Lettre de l'ARET, La rue vers l'eau en Algerie, Maroc et Tunisie, Association pour la recherche en toxicologie, Décembre, 2002.
- [120] Atlas des algues dans les retenues de barrage au Maroc, 1995.
- [121] J. E. Van Benschoten, J.K. Edzwald, Measuring aluminum during water treatment: methodology and application, *J. Am. Water Works Assoc.* 82, (1990). 71-78.
- [122] A. Lam, E.E. Prepas, D. Spink, S.E. Hrudey, Chemical control of hepatotoxic phytoplankton blooms: implications for human health, *Water Res.* 29, (1995). 1845-1854.
- [123] R. Velzeboer, M. Drikas, C. Donati, M. Burch, D. Steffensen, Release of geosmin by *Anabaena circinalis* following treatment with aluminium sulphate, *Water Sci. Technol.* 31, (1995). 187-194.

- [124] H. James, J.K. Fawell, Detection and removal of cyanobacterial toxins from freshwaters, Foundation for Water Research report, ref. FR-0211, 1991. 35.
- [125] 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.
- [126] 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.
- [127] W. R. Bernhard, S. Thoma, J. Botella, C. R. Somerville, Isolation of a cDNA clone for spinach lipid transfer protein and evidence that the protein is synthesized by the secretory pathway. *Plant Physiol* 95, (1991). 164-170].
- [128] A. Pieterse, A., *et al*, Algal cells and coagulation, flocculation and sedimentation processes, *Water Sci. Tech.* 36, (1997). 111-118.
- [129] P. Mouchet, V. Bonnelye, Solving algae problems: French expertise and world-wide applications, *J. Water Suppl. Res. Technol - Aqua* 47, (1998). 125- 141.
- [130] H. Konno, Settling and coagulation of slender type diatoms, *Water Sci. Tech.* 27, (1993). 231- 240.
- [131] Hutson *et al*, *Algal Interference With Water Treatment Processes*, Progress Phycological Res. 5. Biopress Ltd, 1987.
- [132] N. Drouiche, M. Hecini, *Traitement Chimique Et Electrochimique Des Effluents Fluores Générés Par L'industrie Photovoltaïque*, 2007.
- [133] A. Shui, Z. Kato, *et al*. Sintering deformation caused by particle orientation in uniaxially and isostatically pressed alumina compacts, *Journal of the European Ceramic Society*, 22(3), (2002). 311-316.
- [134] S. Tanaka, A. Makiya, *et al*. Particle orientation distribution in alumina compact body prepared by the slip casting method, *Journal of the Ceramic Society of Japan*, 112(5), 2004. 276-279.
- [135] Y. Takao, T. Hotta, *et al*. Microstructure of alumina compact body made by slip casting, *Journal of the European Ceramic Society*, 22(4), 2002. 397-401.