



REPUBLIQUE ALGERIÈNE DÉMOCRATIQUE ET  
POPULAIRE



MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE

LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

Université Kasdi-Merbah OUARGLA

Faculté des Sciences Appliquées

Département de Génie des Procédés

Mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme de

**MASTER ACADEMIQUE**

Domaine : Sciences et Technologies

Filière : Génie des Procédés

Spécialité : Génie Chimique

Par :

**Rezzag Bedida Hala**

Thème :

---

**Etude d'une algue locale et /ou la valorisation de leur  
biomasse**

---

Soutenue publiquement le : 06 /07/2019

Devant la commission de jury :

<i>Nom et Prénom</i>	<i>Grade</i>	<i>Qualité</i>
Mr. Bebba Ahmed Abdelhafid	Pr	Président
Mr. Goudjil Mouhamed Bilel	MCB	Examineur
Mr. MESSAITFA Ammar	Pr	Encadreur
M <sup>elle</sup> . ZIGHMI Souad	MCB	Co.encadreur

Année universitaire : 2018/2019

## Remerciements

*En premier lieu, je remercie mon **DIEU**, notre Créateur pour m'avoir accordé la volonté et le courage pour élaborer ce travail.*

*Au terme de ce modeste travail je tenais tout particulièrement à témoigner mon profonde gratitude à mon encadreur **Pr. MESSAITFA Amar** qui m'a accueilli dans leur laboratoire et ma Co. Encadreur **Dr. Souad ZIGHMI** D'avoir dirigé ce travail et de me faire partager leurs connaissances qui ont été très utile et pour leurs précieux conseils et orientations.*

*Je remercie le **Dr. Mohamed Bilel GOUDJIL**, pour son aide précieux, les conseils fructueux et les encouragements tout au long de mon travail.*

*Je désire aussi, exprimer mon essentiels remerciements : Le professeur **Ladjet SEGNI**,*

*Je remercie sincèrement tous les membres de jury ; pour avoir Accepté de juger mon travail.*

*Je remercie aussi **M<sup>elle</sup> Asma Ayachi Omar** et **M<sup>elle</sup> Siham MEFLAH** pour m'aider dans ce travail, tous au long de la période de la réalisation de ce travail, et surtout pour leur hommage et leur soutient morale.*

*Enfin, je remercie tous ceux qui de près ou de la loin ont contribué à la réalisation de ce travail.*



## *Dédicaces*

*Je dédie ce modeste travail à*

*Les êtres les plus cher dans le monde, ma source de tendresse, les parent en Or :*

*Ma très chère mère et mon très cher père*

*A mes très chères frères et sœur*

*A mon très cher fiancé : Maamri Cherif*

*A ma chère tante : Dr.Necira Zoulikha*

*A l'hommage de l'esprit mon frère : Rezzag Bedida Fares*

*A toutes les familles : Rezzag Bedida, Necira et Maamri*

*A tous qui m'ont encouragé de près ou de loin.*

# RESUME

## Résumé

Les algues, des microorganismes photosynthétiques très largement utilisées dans diverses applications dont l'une est le traitement des eaux. Ce travail consiste à étudier l'absorption de certains éléments par trois différents souches algales (*Chlorella Pyrenoidosa*, *Spiruline* et *spirogyra.sp*) en présence d'un oligo-élément le Fluor en différents concentration, dans le but de l'exploiter pour le traitement biologique des eaux industrielles.

Les résultats permettent de savoir comment ce comporte ces algues envers les substances toxiques qui peuvent être trouvés dans leurs environnements. Et donc la capacité à être utilisé dans le domaine de traitement des eaux. Les résultats obtenus nous montrent que ces algues étudiées peuvent être cultivées dans les milieux contenant cet élément avec une réduction de croissance, ainsi que la présence de cet élément a certaine concentration (plus de 1mg/l) à un effet négatif sur le comportement de ces algues.

**Mots clé :** Algues, oligo-élément, *Chlorella pyrenoidosa*, *Spiruline*, *Spirogyra.sp*, Croissance, Traitement des eaux

## ملخص

الطحالب كائنات حية دقيقة ضوئية مستخدمة في نطاق واسع وفي تطبيقات مختلفة واحدة منها هي معالجة المياه، يتكون هذا العمل من دراسة امتصاص بعض العناصر المعدنية بواسطة ثلاث سلالات مختلفة من الطحالب

(*Spiruline*, *Spirogyra.sp*, *CHLORELLA pyrenoidosa*)

في وجود عنصر تتبع المتمثل في الفلورين بتركيز مختلفة وذلك لاستغلاله في معالجة المياه المستعملة.

توضح النتائج المتحصل عليها كيفية تعايش هذه الطحالب في العناصر المعدنية السامة التي يمكن العثور عليها في بيئتها، وبالتالي القدرة على استخدامها في مجال معالجة المياه. تبرز أيضا هاته الأخيرة ان هذه الطحالب يمكن زراعتها في الوسائط التي تحتوي على هذا العنصر مع انخفاض في نسبة نموها، وكذلك وجود هذا العنصر بتركيز معين (أكثر من 1 مغ/ل) له تأثير سلبي على سلوك هذه الطحالب.

## الكلمات المفتاحية:

النمو، معالجة المياه، *Chlorella pyrenoidosa*, *Spirogyra.sp*, *Spiruline*, oligo-éléments، الطحالب،

# RESUME

---

## **Abstract**

Algae, photosynthetic microorganisms widely used in various applications, one of this is water treatment. This work consists of studying the absorption of certain elements by three different algal strains (*Chlorella Pyrenoidosa*, *Spirulina* and *Spirogyra.sp*) in the presence of a trace element Fluorine in different concentrations, in order to exploit it for the waters treatment.

The results show how to incorporate these algae into the toxic substances that can be found in their environments. And therefore the ability to be used in the field of water treatment. The results obtained show us that these studied algae can be cultivated in the media containing this element with a reduction of growth, as well as the presence of this element at certain concentration (more than 1mg/l) has a negative effect on the behavior of these algae.

**Key words:** Algae, trace element, *Chlorella pyrenoidosa*, *Spirulina*, *Spirogyra.sp*, Growth, Water treatment

# SOMMAIRE

## Sommaire

Résumé.....	
Sommaire .....	I
Liste des figures .....	IV
Liste des abréviations .....	V
Introduction générale.....	1

## CHAPITRE I: SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE

I.1.Introduction.....	3
I.2. Généralités sur les algues.....	3
I.2.1. Définition .....	3
I.2.2. Classification des algues .....	3
I.2.2.1. Les algues vertes.....	3
I.2.2.2. Les algues brunes ( <i>Phéophytes</i> ) .....	3
I.2.2.3. Les algues rouges ( <i>Rhodophytes</i> ) .....	4
I.2.2.4. Les algues bleues .....	4
I.2.3. Les systèmes de cultures des algues.....	5
I.3. Traitement des eaux .....	6
I.3.1. L'eau.....	6
I.3.2. Type des eaux usées .....	6
I.3.2.1. Eaux usées domestiques .....	6
I.3.2.2. Eaux usées industrielles.....	7
I.3.2.3. Eaux de pluie .....	7
I.3.3. Méthodes de traitement des eaux .....	7
I.3.3.1. Technique de traitement .....	7
I.3.4. Les traitements biologiques.....	8
I.3.4.1. Traitement anaérobies.....	8
I.3.4.2. Traitement Aérobie.....	9
I.3.5. Le traitement des eaux usées par les algues .....	10
I.4. Conclusion .....	10

## CHAPITRE II: METHODOLOGIE OUTILS ET TECHNIQUES

II.1. Introduction .....	11
II.2. Les analyses des eaux .....	11

## SOMMAIRE

II. 2. 1. Les analyses physico-chimiques .....	11
II. 2. 1. 1. La température.....	11
II. 2. 1. 2. Le pH.....	11
II. 2. 1. 3. La Turbidité.....	12
II. 2. 1. 4. La conductivité électrique .....	12
II.2.1.5. La salinité .....	12
II. 2. 1. 6. Les solides dissous totaux (TDS).....	12
II. 2. 1. 7. Chlorures (Cl).....	12
II. 2. 1. 8. Duretés et mesure de concentrations en $\text{Ca}^{2+}$ et $\text{Mg}^{2+}$ .....	12
II. 2. 1. 9. Le sodium ( $\text{Na}^+$ ) et le potassium ( $\text{K}^+$ ) .....	13
II. 2. 1. 10. Phosphate ( $\text{PO}_4$ ) et Ammonium( $\text{NH}_4$ ) .....	14
II. 2. 1. 11. Azote total et Charbon total .....	14
II. 2. 1. 12. Alcalinité de l'eau ( $\text{HCO}_3^-$ et $\text{CO}_3^{2-}$ ) .....	14
II. 2. 1. 13. Sulfates ( $\text{SO}_4^{2-}$ ).....	15
II. 2. 1. 14. Nitrates ( $\text{NO}_3^-$ ).....	15
II. 2. 3. Analyses des ETM .....	15
II.2.3.1. Le Fluor .....	16
II.3. Conclusion .....	17
<b>CHAPITRE III: EXPERIMENTATION RESULTATS ET DISCUSSIONS</b>	
III.1. Introduction .....	18
III .2. Les modèles d'étude.....	18
III.2.1. <i>Chlorella Pyrenoidosa</i> .....	18
III.2.1.1. La composition de <i>Chlorella Pyrenoidosa</i> .....	19
III.2.1.2. Les propriétés de <i>Chlorella Pyrenoidosa</i> .....	19
III.2.2. <i>Spiruline</i> .....	19
III.2.2.1. Récolte .....	20
III.2.2.2. La composition de <i>la spiruline</i> .....	21
III.2.2.3. Les propriétés de <i>la spiruline</i> .....	22
III.2.3. La troisième souche algale .....	22
III.2.3.1. <i>Spirogyra</i> .....	22
III.2.3.2. La récolte .....	23
III.3. Matériels et Méthodes .....	24
III.3.1. Procédure expérimentale .....	24

## SOMMAIRE

---

---

III.3.1.1. Culture de <i>CHLORELLA</i> .....	24
III.3.1.2. Culture de <i>Spiruline</i> .....	25
III.3.2. Les paramètres d'analyse.....	28
III.3.2.1. Le paramètre physico-chimique.....	28
III.3.2.2. Croissance d'algue .....	29
III.3.2.3. La concentration du Fluor .....	30
III.4. Résultats et discussions .....	30
III.4.1. Croissance de l'algue.....	30
III.4.2. Le PH.....	32
III.5. Application :.....	36
III.5. 1. Résultats et discussion .....	37
III.5. 1. 1. La croissance des algues .....	37
III.5 .1 .2 le PH.....	40
III.5.1. 3 la Salinité .....	41
III.6. Conclusion.....	42
Conclusion générale .....	43
Références .....	45



## LISTE DES FIGURES

### Liste des figures

Figure	<i>Le Titre</i>	Page
<b>Figure I.1</b>	<i>Modèle d'un système de culture ouverte</i>	<b>5</b>
<b>Figure I.2</b>	<i>Modèle d'un système de culture fermé</i>	<b>6</b>
<b>Figure III.1</b>	<i>L'algue Chlorella Pyrenoidosa sous microscope</i>	<b>20</b>
<b>Figure III.2</b>	<i>L'algue spiruline sous microscope</i>	<b>22</b>
<b>Figure III.3</b>	<i>La zone d'où on a récolté la spiruline</i>	<b>23</b>
<b>Figure III.4</b>	<i>L'algue La spirogyre sous microscope</i>	<b>25</b>
<b>Figure III.5</b>	<i>Zone de récolte de la spirogyra</i>	<b>25</b>
<b>Figure III.6</b>	<i>La récolte des algues</i>	<b>26</b>
<b>Figure III.7</b>	<i>Le montage d'expérience réalisé (culture de Chlorella)</i>	<b>27</b>
<b>Figure III.8</b>	<i>Le montage d'expérience réalisé (culture de Spiruline)</i>	<b>28</b>
<b>Figure III.9</b>	<i>Exemples des échantillons (Chlorella)</i>	<b>29</b>
<b>Figure III.10</b>	<i>Exemples des échantillons (Spiruline)</i>	<b>29</b>
<b>Figure III.11</b>	<i>Multi paramètre</i>	<b>30</b>
<b>Figure III.12</b>	<i>Spectrophotomètre UV-visible</i>	<b>31</b>
<b>Figure III.13</b>	<i>Évolution de biomasse des systèmes de cultures (Chlorella)</i>	<b>32</b>
<b>Figure III.14</b>	<i>Évolution de biomasse des systèmes de cultures (Spiruline).</i>	<b>33</b>
<b>Figure III.15</b>	<i>Variation du PH dans le milieu de culture (Chlorella)</i>	<b>34</b>
<b>Figure III.16</b>	<i>Variation du PH dans le milieu de culture (Spiruline)</i>	<b>35</b>
<b>Figure III.17</b>	<i>Évolution de Fluor des systèmes de cultures (Chlorella)</i>	<b>36</b>
<b>Figure III.18</b>	<i>a-systèmes de culture au début de l'expérience</i>	<b>36</b>
<b>Figure III.18</b>	<i>b- systèmes de culture à la fin de l'expérience</i>	<b>36</b>
<b>Figure III.19</b>	<i>Évolution de Fluor des systèmes de cultures (spiruline)</i>	<b>37</b>
<b>Figure III.20</b>	<i>a-systèmes de culture au début de l'expérience</i>	<b>37</b>
<b>Figure III.20</b>	<i>b- systèmes de culture à la fin de l'expérience</i>	<b>37</b>
<b>Figure III.21</b>	<i>La zone d'expérience</i>	<b>38</b>
<b>Figure III.22</b>	<i>Les échantillons</i>	<b>39</b>
<b>Figure III. 23</b>	<i>Évolution de biomasse de système de culture de CHLORELLA Pyrenoidosa.</i>	<b>39</b>
<b>Figure III. 24</b>	<i>Évolution de biomasse de système de culture de la spiruline</i>	<b>40</b>
<b>Figure III. 25</b>	<i>Évolution de biomasse de système de culture de Spirogyra.</i>	<b>40</b>
<b>Figure III. 26</b>	<i>Variation de PH dans les milieux de cultures</i>	<b>42</b>
<b>Figure III. 27</b>	<i>Variation de la salinité dans les milieux de cultures</i>	<b>4</b>

## LISTE DES ABREVIATIONS

### Liste des abréviations

<b>EDTA</b>	Éthylène Diamine Tétra-Acétique
<b>UV</b>	Ultra-violet
<b>ETM</b>	Eléments de trace métallique
<b>PH</b>	Potentiel hydrogène
<b>TDS</b>	Les solides dissous totaux
<b>UPS</b>	Unité Pratique de Salinité
<b>g</b>	gramme
<b>L</b>	litre
<b>NTU</b>	Néphélométrie turbidité unit
<b>Kg</b>	Kilogramme
<b>h</b>	heur
<b>F</b>	Fluor
<b>°C</b>	Degré Celsius
<b>Nm</b>	Nano mètre
<b>DO</b>	Densité optique
<b>MI</b>	Millilitre
<b>J</b>	jour
<b>Réf</b>	Référence

---

# **Introduction générale**

---

# INTRODUCTION GENERALE

---

## Introduction générale

Les algues sont des êtres vivants photosynthétiques, dont le cycle de vie se déroule généralement en milieu aquatique. Comparativement aux végétaux qui se trouvent généralement en milieu terrestre. Elles constituent une part très importante de la biodiversité et sont à la base principale des réseaux trophiques des eaux douces, saumâtres et marines. Diverses espèces sont utilisées pour l'alimentation humaine, l'agriculture ou l'industrie [1].

L'industrialisation a entraîné une augmentation de la pollution des écosystèmes par des polluants métalliques qui peuvent entrer dans la chaîne alimentaire [2], les sols exploités pour la production de cultures vivrières souffrent d'une diminution de la productivité dans les zones polluées par les métaux toxiques [3] et par conséquent, l'accumulation d'éléments toxiques comme Hg, Cd, Cr et Zn peuvent causer le développement de plusieurs anomalies pour l'homme [2].

Les technologies conventionnelles appliquées pour éliminer les métaux lourds en particulier à de faibles concentrations sont inefficaces et / ou coûteuses [2]. A cet effet, le développement d'autres méthodes plus efficaces est devenu une nécessité.

Le traitement des eaux usées est un ensemble de techniques qui consistent à purifier l'eau soit pour recycler les eaux usées dans le milieu naturel, soit pour transformer les eaux naturelles en eau potable [4] ; et pour objectif de réduire le niveau de contamination en métaux lourds et en micro-organismes pour la rendre adéquate avec les normes de rejet ou utilisable en agriculture ou en industrie. Différentes méthodes sont utilisées telles que la méthode des boues activées, l'utilisation des algues fixatrices pour éliminer certains métaux lourds [5].

Les algues sont capables de fixer les métaux lourds toxiques contenus dans l'environnement [6-7]. Elles sont utilisées pour le traitement des eaux usées, cependant, certaines d'entre elles sont capables d'absorber les ions de métaux lourds tels que le Zinc le Cadmium et le Fluor des eaux polluées [8]. En effet, les algues tels que *Chlorella*, *Scenedesmus* et *Spirulina* sont les plus largement utilisées pour l'élimination des éléments nutritifs [2].

Aujourd'hui, ce dernier but devient de plus en plus important et les techniques de traitement et les stations d'épuration évoluent constamment. Les traitements usuels ont été complétés par des traitements qui visent à éliminer le plus possible de substances nocives pour les écosystèmes. L'eau, élément indispensable à la vie, doit être protégée et sa qualité doit être

## INTRODUCTION GENERALE

---

régulièrement contrôlée. Nous avons commencé à contrôler et à protéger aussi bien l'eau que l'on boit que l'eau que l'on rejette. Cependant, les lois en vigueur et les technologies d'épuration doivent encore évoluer pour répondre à l'évolution des styles de vie, car avec de nouveaux polluants arrivent de nouveaux dangers aussi bien pour les écosystèmes aquatiques que pour l'être humain. [9].

C'est dans ce cadre général de recherche, que s'inscrit notre sujet de présent travail. En effet, le but ultime de cette étude est de montrer l'importance des algues dans le domaine de traitement des eaux ; Cependant, nous allons étudier l'absorption du Fluor par trois différents types d'algues.

Dans ce contexte, la présente étude, en plus d'une introduction générale et conclusion générale, comporte trois chapitres :

- Dans le premier chapitre on présente l'étude bibliographique, les algues, le traitement des eaux plus les méthodes de traitement.
- Le deuxième chapitre, nous présentons les méthodes d'analyse des eaux.
- Le troisième chapitre, regroupe l'expérimentation réalisée, les résultats et leurs interprétations.

---

# **CHAPITRE I**

## ***Synthèse bibliographique***

---

## **I.1.Introduction**

Les algues constituent aujourd'hui un investissement majeur de développement économique. Elles sont utilisées depuis des millénaires par les populations littorales pour leurs hautes valeurs nutritives [10].

Ce chapitre introductif, comporte trois parties distinctes, la première est consacrée aux algues. Elle regroupe des généralités sur ces dernières et des identifications des micro-algues qui font l'objet de notre étude. Dans la deuxième partie, on présente un bref aperçu sur les systèmes de culture des algues et la troisième partie, est consacrée au traitement biologique des eaux usées.

## **I .2. Généralités sur les algues**

### **I .2.1. Définition**

Les algues sont des cryptogames, c'est-à-dire des végétaux dont l'appareil reproducteur est caché. Ce sont des plantes sans feuilles, tiges ou racines ; elles sont simplement constituées d'un thalle. Elles peuvent être unicellulaires ou pluricellulaires et l'eau leur est indispensable pour la reproduction. Toutes possèdent de la chlorophylle permettant la photosynthèse, l'accès à la lumière leur est donc indispensable. On peut rencontrer les algues partout, dans l'eau douce et salée et sur terre, mais à deux conditions : qu'il y ait de la lumière pour la photosynthèse et de l'eau pour la reproduction [10].

### **I.2.2. Classification des algues**

En général, les algues sont classées en quatre groupes différenciées par leur couleur.

#### **I.2.2.1. Les algues vertes**

*Les Chlorophytes* sont des plastes d'un beau vert franc et mettant de l'amidon en réserve. Cet amidon est logé dans les plastes (amidon intraplastidial). Il se colore en bleu-noirâtre, et souvent même, en noir. Les cellules nageuses possèdent habituellement deux fouets de même taille, rarement quatre ou plus. Cet embranchement comporte quatre classes : Les *Euchlorophycées*, les *Ulothricophycées*, les *Zygophycées* et les *Charophycées* [11].

#### **I.2.2.2. Les algues brunes (*Phéophytes*)**

Dites aussi « Algues brunes », comprennent environ 1000 espèces, sont souvent marines et ne sont représentées en eau douce que par quelques genres fort rares. Elles sont alors fixées aux pierres en formant des touffes de filaments. Aucune d'elles n'est unicellulaire. Elles ont des

plastés bruns, sans amidon. Les réserves sont formées par un polysaccharide très voisin de celui des Chrysophytes [11].

### **I.2.2.3. Les algues rouges (*Rhodophytes*)**

Communément appelées algues rouges et représentées par l'unique classe des *Rhodophycées*. Elles sont souvent filamenteuses ; largement distribuées dans les mers et se réduisent, en eau douce, à quelques genres ; sur environ 600 genres connus, seuls 29 se rencontrent dans les eaux douces [11].

### **I.2.2.4. Les algues bleues**

Le terme de *Cyanobactéries* signifie textuellement « bactéries bleues » ; il fait référence aux couleurs bleu-vert que présentent souvent ces organismes. Les *Cyanobactéries* ont été appelées « algues bleues » ou *Cyanophycées*. Elles comptent environ 3000 espèces dont 1300 sont dulçaquicoles [12]. Les pigments ne sont pas portés sur des plastés, comme le cas des autres embranchements, mais sont diffus, dispersés dans le cytoplasme, donnant ainsi une coloration homogène aux cellules. Quant aux réserves, elles sont constituées par un corps voisin du glycogène et qui prend une teinte acajou avec la solution iodo-iodurée. [11].

Elles sont subdivisées en deux grandes catégories en fonction de leur taille ; les macros algues visibles à l'œil nu et les micros algues qui sont des algues unicellulaires, qui ont une taille de l'ordre du micromètre [12].

Les micro-algues sont des organismes photosynthétiques unicellulaires, font partie des premiers organismes vivants apparus sur notre planète [13].

Elles sont d'excellents convertisseurs d'énergie solaire en produisant un grand nombre de composés dont les potentialités industrielles font apparaître un large spectre d'applications touchant principalement à : l'alimentation, la santé, l'environnement et l'énergie.

Les micro-algues vertes sont des micro-organismes eucaryotes et photosynthétiques que l'on retrouve dans les milieux aquatiques et terrestres. La forme et la taille des algues varient énormément. On distingue les espèces unicellulaires dont les cellules peuvent être isolées comme le genre *Chlorella*, soit de forme colonies (production d'un mucilage englobant



plusieurs cellules) comme le cas de *Palmellopsisgelatinosa*, soit encore des espèces pluricellulaires formant un thalle filamenteux tel que le genre *Klebsormidium* [14].

Dans la nature, la photosynthèse des micro-algues est de loin plus efficace que les plantes terrestres. Dans les algues, la quasi-totalité de la biomasse est photosynthétique [15], l'utilisation de la lumière est rendue possible par la présence de pigments tels que les chlorophylles a et b, qui ont permis l'utilisation de la lumière dans les longueurs d'onde bleue (430-450 nm) et rouge (640-680 nm) [15].

### I.2.3. Les systèmes de cultures des algues

La culture d'algue nécessite une source d'énergie lumineuse et des sels inorganiques au milieu de culture, les cultures peuvent être réalisées, soit en systèmes ouverts, ou systèmes fermés [16].

#### ❖ Les systèmes ouverts

Les systèmes ouverts (**Fig. I.1**) souffrent de la forte limitation de la lumière puisque l'intensité lumineuse diminue avec la profondeur. Ils ont donc une baisse de la productivité par unité de surface, techniquement sont des systèmes non contrôlés [17].



**Figure I.1 : modèle d'un système de culture ouverte [19].**

#### ❖ Les systèmes fermés

Les systèmes fermés (**Fig. I.2**) sont plus chers que les étangs ouverts en terme de construction, l'entretien et les exigences énergétiques, mais ils permettent le contrôle des

paramètres comme la température, le pH et l'injection de CO<sub>2</sub>. Par conséquent, la biomasse obtenue est d'une qualité supérieure [20].



**Figure I.2 : modèle d'un système de culture fermé [21].**

### **I.3. Traitement des eaux**

#### **I.3.1. L'eau**

L'eau, de formule H<sub>2</sub>O, est un composé chimique simple. Présente chez les êtres vivants (en effet le corps humain est composé à 70% d'eau), la terre en possède une quantité gigantesque. 97% d'eau sur Terre est salée (donc impropre à la consommation) alors qu'il n'y a que 2% d'eau douce sous forme de glace et seulement 1% d'eau douce sous forme liquide [22].

#### **I.3.2. Type des eaux usées**

Les eaux usées (ou eaux polluées) sont des eaux qui ont été altérées par l'activité humaine. Il peut ainsi s'agir d'eaux polluées provenant d'usines ou d'eau de ruissellement provenant d'un parc de stationnement. On distingue trois grandes catégories d'eaux usées : les eaux domestiques, les eaux industrielles et les eaux pluviales [22] :

##### **I.3.2.1. Eaux usées domestiques**

Essentiellement porteuses de pollution organique et se répartissant en eaux ménagères ou grises (salles de bains et cuisines) généralement chargées en détergents, en graisses, en solvant

et en débris organiques ; et en eaux vannes (rejets des toilettes) caractérisées par une importante charge en diverses matières organiques azotées et en germes fécaux et pathogènes [23].

### **I.3.2.2. Eaux usées industrielles**

Leurs caractéristiques varient d'une industrie à l'autre. En plus des matières organiques azotées ou phosphorées, elles peuvent aussi contenir des produits toxiques, des solvants, des métaux lourds, des micropolluants organiques, des hydrocarbures...etc. [23].

### **I.3.2.3 Eaux de pluie**

Elles peuvent également constituer une cause de pollution importante, pouvant se charger d'impuretés au contact de l'air (fumées industrielles), puis en ruisselant, elles se chargent des résidus déposés sur les toits, les chaussées et les sols (poussières, huiles de vidange, carburant, résidus de pneus, métaux lourds, pesticides...) [23].

## **I.3.3. Méthodes de traitement des eaux**

L'analyse est indispensable à l'élaboration d'un projet d'installation de traitement d'eaux ainsi que pour le contrôle de son fonctionnement et l'appréciation de la qualité de l'eau traité.

### **I.3.3.1. Technique de traitement**

#### **✓ Flocculation**

La flocculation est généralement utilisée de manière combinée avec la coagulation. Ces techniques sont souvent utilisées en traitement des eaux accompagnées d'une décantation et d'une élimination des floccs, souvent afin de réduire la turbidité ou par exemple dans une station d'épuration urbaine pour la pollution au phosphore [24].

#### **✓ Coagulation**

La coagulation est utilisée dans le traitement des eaux afin d'agglomérer les particules en suspension entre elles pour les récupérer ensuite par décantation. La coagulation est en fait la première étape du traitement de ces particules en suspension [24].

✓ **Osmose Inverse**

Le principe de l'osmose inverse pour le traitement de l'eau est de faire passer cette eau à travers une membrane ultrafine (jusqu'à 0.001 micron) afin de ne laisser passer que les molécules d'H<sub>2</sub>O. Ce procédé très efficace permet d'éliminer de 95% à 99% des particules présentes dans l'eau et d'en diminuer nettement la dureté. L'eau passant à travers cette membrane doit être au préalable bien filtrée afin de ne pas saturer l'osmoseur [24].

✓ **Filière boues**

La filière boues est aussi importante que la filière eau. Le devenir des boues est une des clés de l'épuration [24].

✓ **Les traitements biologiques**

Dans le traitement des eaux industrielles ou le traitement des eaux domestiques on utilise souvent les traitements biologiques afin d'éliminer les éléments organiques comme les graisses, sucres, protéines, etc. La dégradation de ces éléments organiques est assurée par des microorganismes (bactéries) qui consomment les matières organiques en présence d'oxygène (méthode aérobie) ou sans oxygène (méthode anaérobie) [24].

### **I.3.4. Les traitements biologiques**

Le traitement biologique est utilisé pour détruire les composés organiques contenus dans l'eau. On distingue 2 types de traitements :

#### **I.3.4.1. Traitement anaérobies**

Les Traitement anaérobies font appel à des bactéries n'utilisant pas de l'oxygène, en particulier, aux bactéries mitogènes qui conduisent, comme leur nom l'indique, à la formation du méthane à partir de la matière organique, et à un degré moindre CO<sub>2</sub>. Ce type de fermentation est appelé digestion en hydrologie. C'est une opération délicate qui demande une surveillance importante. En effet, la température doit être maintenue à un niveau très stable et suffisamment élevé. Il faut aussi éviter les écarts brutaux de pH et les substances inhibitrices du développement bactérien, à titre d'exemple : les cyanures, les sels de métaux lourds et les phénols [25].

### I.3.4.2. Traitement Aérobie

Les micro-organismes utilisés exigent un rapport périssant d'oxygène. On distingue  
Cinq méthode essentielles :

✓ **Les cultures fixes (lits bactériens et disques biologiques) :**

Leur principe de fonctionnement quelques fois appelé filtre bactérien ou filtre percolateur, qui consiste à faire ruisseler l'eau à traiter, préalablement décantée, sur une masse de matériau de grande surface spécifique servant de support aux micro-organismes épurateurs, qui forment un feutrage ou un film plus ou moins épais, sous lequel une couche anaérobie peut se développer sous la couche aérobie, si son épaisseur est importante [25].

✓ **Les cultures libres (boues activées)**

Les boues activées consistent le traitement biologique aérobie le plus répandu. Le procédé consiste au développement d'une culture bactérienne dispersée sous forme de flocons (boue activées), dans un bassin brassé et aéré et alimenté en eau à épurer. Dans ce bassin, le brassage a pour but d'éviter les dépôts et d'homogénéiser le mélange des flocons bactériens et de l'eau usée ; l'aération peut se faire à partir de l'oxygène de l'eau, du gaz enrichi en oxygène par l'injection d'air comprimé, voire même d'oxygène pur), a pour but de dissoudre ce gaz dans la liqueur mixte, afin de répondre aux besoins des bactéries épuratrice aérobies [25].

✓ **Le lagunage**

Le lagunage est un système biologique d'épuration extensive, qui consiste à déverser les eaux usées dans plusieurs bassins successifs de faible profondeur, où des phénomènes naturels de dégradation font intervenir la biomasse qui transforme la matière organique. La matière polluante, soustraite aux eaux usées, se retrouve en grande partie dans la végétation et les sédiments accumulés, et en faible partie dans l'atmosphère sous forme de méthane et d'azote gazeux [25].

✓ **Filtration**

La filtration consiste à traiter l'eau par l'intermédiaire du sol ou d'un massif filtrant. On filtre les effluents à raison de quelque litre d'effluent par mètre carré de massif filtrant et par jour. Les techniques de filtration permettent l'élimination des (gros) micro-organismes par filtration au début du massif filtrant. L'élimination des virus et des bactéries est fonction du milieu poreux, de la vitesse de percolation, de l'épaisseur du massif filtrant et du niveau d'oxydation de l'eau filtrée [25].

### ✓ Filtration par le sol et le plantes (filtres plantés)

Le sol et les rivières, ont été depuis toujours le réceptacle naturel de la pollution engendrée par l'activité humaine. Les techniques sophistiquées actuellement mises en œuvre dans les stations d'épuration des eaux résiduaire urbaines, ne constituent qu'une optimisation de l'auto épuration naturelle qui s'exerce dans ces deux milieux [26].

### **I.3.5. Le traitement des eaux usées par les algues**

Les algues sont utilisées pour le traitement des eaux usées [26] :

- ✓ Elles opèrent comme pourvoyeur d'oxygène par le biais du processus photosynthétique. Ainsi, elles favorisent l'oxydation de la matière organique en s'associant sous forme symbiotique aux bactéries. Elles peuvent même contribuer directement à l'élimination de certains dérivés organiques.
- ✓ Elles assurent l'élimination, en partie, des sels nutritifs excédentaires dans les eaux résiduaires.
- ✓ Elles agissent comme bioabsorbants contribuant à l'élimination des métaux lourds et autres produits toxiques véhiculés par ces eaux.
- ✓ Par leur activité biologique, elles influencent négativement les conditions de vie de certaines bactéries pathogènes, conduisant ainsi à leur réduction en nombre et même leur disparition.

### **I.4. Conclusion**

Les algues sont des organismes aquatiques, elles peuvent être micro ou macro-cellulaires, utilisées dans plusieurs applications, une de ces applications est le traitement des eaux, vu qu'elles sont capables d'absorber des éléments toxiques présentés dans l'eau.

---

# **CHAPITRE II**

## *Méthodologies outils et techniques*

---

### II.1. Introduction

Ce chapitre expose les méthodes d'analyse utilisées dans cette étude telles que, l'analyse physico-chimique et les analyses ETM de l'eau.

### II.2. Les analyses des eaux

La caractérisation qualitative des eaux nécessite un certain nombre des analyses à savoir : les analyses physico-chimiques et les analyses ETM ; dans ce qui suit une description sur ces diverses méthodes d'analyse des eaux.

#### II. 2. 1. Les analyses physico-chimiques

##### II. 2. 1. 1. La température

La température a une grande importance dans l'étude et la surveillance des eaux souterraine ou superficielles. La mesure de la température de l'eau et même de l'air sur le lieu du prélèvement de l'échantillon est une partie de l'analyse des eaux, car de cette température dépend la solubilité de gaz et les vitesses des réactions dans l'eau [27].

##### II. 2. 1. 2. Le pH

Le pH exprime le niveau d'acidité de l'eau. Il se mesure sur une échelle de 0 à 14. Un pH neutre se situe à 7,0. Il est à noter qu'un pH de 6,0 est dix (10) fois plus acide qu'un pH de 7,0 et un pH de 6,0 est cent (100) fois plus acide qu'un pH de 8.0. Un pH acide dans l'eau aura pour effet de corroder la tuyauterie et le chauffe-eau causant des dommages irréversibles [28].

Le pH des eaux naturelles varie entre 6,5 et 8,2 en moyenne. Les solutions de bases fortes comme la soude ont un pH variant entre 12 (à 0,4 g /l) et 14 (à 40 g/l). Le pH est l'un des paramètres importants influençant la tendance entartrant ou agressive d'une eau naturelle : d'une manière générale une baisse du pH favorisera la tendance agressive et une élévation du pH, le caractère entartrant [27].



**II. 2. 1. 3. La Turbidité**

La turbidité de l'eau est liée à sa transparence elle donne une idée de la teneur en matières en suspension, les eaux troubles chargées de substance finement divisées (grains de silice, matière organique, ...) forment parfois d'importants dépôts dans les tuyauteries et dans les réservoirs. Pour sécurité de l'eau de boisson il faut maintenir une turbidité inférieure à 5 NTU [29].

**II. 2. 1. 4. La conductivité électrique**

La conductivité est la mesure de la capacité de l'eau à conduire un courant électrique. Elle varie en fonction de la présence d'ions, de leur concentration et de la température. Le point de repère utilisé est à 20 °C [28].

**II.2.1.5. La salinité**

La salinité est la quantité de sels secs dissous dans l'eau. Elle est donnée en partie par milliers notée aussi ‰ ou UPS (Unité Pratique de Salinité) [24]. Elle correspond à la masse de sels contenue dans 1kg d'eau de mer. On l'évalue maintenant la conductivité et on l'exprime en UPS, qui équivaut approximativement à 1 mg/g de sel. La salinité de l'eau de mer en moyenne de 35 UPS, soit 35g/kg, celle des eaux saumâtres est de 5 à 18 UPS et celle des eaux douces est inférieure de 0,5 UPS [25].

**II. 2. 1. 6. Les solides dissous totaux (TDS)**

Les solides dissous totaux représentent une évaluation totale des sels minéraux contenus dans l'eau (en solution). Cette valeur traduit une évaluation totale sur le taux de minéraux qui ont été dissous dans l'eau [26].

**II. 2. 1. 7. Chlorures (Cl)**

Les chlorures sont des anions inorganiques importants contenus en concentrations variables dans les eaux naturelles, généralement sous forme de sels de Sodium (NaCl) et de Potassium (KCl). Ils sont souvent utilisés comme un indice de pollution. Ils ont une influence sur la faune et la flore aquatique ainsi que, sur la croissance des végétaux [30].

**II. 2. 1. 8. Duretés et mesure de concentrations en  $\text{Ca}^{2+}$  et  $\text{Mg}^{2+}$** 

Les concentrations en  $\text{Ca}^{2+}$  et  $\text{Mg}^{2+}$  ont été obtenues par la mesure des duretés totale et calciques. La dureté ou titre hydrotimétrique d'une eau correspond à la somme des concentrations des cations métalliques à l'exception de ceux des métaux alcalins et de l'ion hydrogène. Dans la plupart des cas la dureté est surtout due aux ions Calcium et Magnésium

auxquels s'ajoutent, des fois, les ions : Fer, Aluminium, Manganèse et Strontium (RODIER, 2009). Ce titre était mesuré selon la méthode complexométrie, décrite en RODIER (2009), en utilisant une solution d'EDTA (N/50) en milieu basic, avec le noir d'Eriochrome comme colorant [31].

Le Calcium (Ca) est un métal alcalino-terreux, extrêmement répandu dans la nature et en particulier dans les roches calcaires sous forme de carbonates. Composant majeure de la dureté de l'eau, le calcium est généralement l'élément dominant des eaux potables. Il existe surtout à l'état d'hydrogénocarbonates et en quantité moindre, sous forme de sulfate, chlorure, ...etc.

Le Magnésium (Mg) est un des éléments les plus répandus dans la nature, il constitue 2.1% de l'écorce terrestre, son abondance géologique, sa grande solubilité, sa large utilisation industrielle (réducteur chimique batteries sèches...) font que les teneurs dans l'eau peuvent être importantes [32].

Ces éléments chimiques ont été déterminés grâce à la méthode titrimétrique à l'EDTA. La méthode de détermination du Calcium est la complexométrie. Elle consiste à doser l'échantillon en pH basic, avec une solution EDTA di-sodique (N/50) en utilisant le murexide comme indicateur coloré. Pour le magnésium, il était déterminé grâce à la différence du volume de titration de la dureté et du volume de titration du calcium [33].

### II. 2. 1. 9. Le sodium (Na<sup>+</sup>) et le potassium (K<sup>+</sup>)

Le Sodium est un élément dont la concentration dans l'eau varie d'une région du globe à une autre. Le sodium dans l'eau provient des formations géologiques. Il est nécessaire à l'homme pour maintenir l'équilibre hydrique de l'organisme. Le sodium est aussi nécessaire pour le fonctionnement des muscles et des nerfs. Mais trop de sodium peut augmenter le risque d'hypertension artérielle [32].

Le Potassium (K) est l'élément le moins abondant dans l'eau, malgré sa forte présence dans les formations ignées. Une forte concentration de cet élément dans l'eau est souvent causée par les mines de potasse ou la pulvérisation de forte quantité d'engrais [31].

Ces ions ont été dosés à l'aide d'un spectrophotomètre. Cette méthode est basée sur le fait qu'un sel métallique qui traverse une flamme s'ionise et émet une longueur d'onde

caractéristique. Connaissant la longueur d'onde du sodium et du potassium, on peut, avec un appareil correctement étalonné, déterminer leurs concentrations [31].

### **II. 2. 1. 10. Phosphate (PO<sub>4</sub>) et Ammonium(NH<sub>4</sub>)**

Un phosphate est un produit chimique inorganique, un sel ou un ester de l'acide phosphorique, résultant de la combinaison avec une base, de formule chimique PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>. Les phosphates ont en commun un atome de phosphore entouré par quatre atomes d'oxygène dans un tétraèdre. Les phosphates secondaires et tertiaires sont insolubles dans l'eau, à l'exception de ceux de Sodium, Potassium et Ammonium [33]. L'ion ammonium de formule brute NH<sub>4</sub><sup>+</sup> est un ion polyatomique de charge électrique positive.

L'ion ammonium est présent dans de nombreux produits nettoyants et désinfectants, à commencer par l'ammoniaque. Avant la découverte de sa véritable structure par les chimistes, il était l'analogue d'un métal alcalin ou d'un alcali [33].

### **II. 2. 1. 11. Azote total et Charbon total**

#### **a) Azote (N) :**

C'est un élément qui se trouve sous forme ammoniacale ou organique ou inorganique (ammoniaque, nitrate, nitrite) ; il constitue la majeure partie de l'Azote total. L'Azote contenu dans les eaux résiduaires domestiques a essentiellement une origine urinaire. On estime à environ 13mg/jour la quantité d'Azote rejetée par un adulte. L'Azote est l'un des éléments qui favorisent la prolifération d'algues, par conséquent la réduction de sa teneur avant le rejet des eaux est plus que nécessaire [34].

#### **b) Charbon (C) :**

Le Carbone organique total est la quantité de Carbone lié dans un composant organique (qu'elles soient dissoutes ou en suspension). Il est souvent utilisé comme indicateur non spécifique de la qualité de l'eau [35].

### **II. 2. 1. 12. Alcalinité de l'eau (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> et CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>)**

L'alcalinité d'une eau est la capacité de celle-ci à accepter les ions H<sup>+</sup>. Elle est déterminée à l'aide d'une titration acide : Titre Alcalimétrique (TA) et le Titre alcalimétrique Complet (TAC). Ces titres permettent de déduire la concentration en HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> et en CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>. L'alcalinité est mesurée selon la méthode décrite par RODIER (2009). Cette méthode consiste à doser 25 ml

d'échantillon, en utilisant l'acide chlorhydrique (N/50) et en présence de la phénolphthaléine pour le TA ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) et le vert de Bromocrésol pour le TAC ( $\text{HCO}_3^-$ ) comme indicateur coloré. A noter qu'aucun des échantillons ne contient les anions bicarbonates ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) [31].

### **II. 2. 1. 13. Sulfates ( $\text{SO}_4^{2-}$ )**

Les sulfates ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) sont la forme la plus oxydée du soufre. Ils sont présents dans presque toutes les eaux naturelles. Leurs origines sont diverses, mais ces éléments proviennent souvent de la dissolution du gypse, de l'oxydation des sulfures qui se trouvent en abondance dans les déchets miniers. Les sulfates sont déterminés par la méthode néphélométrie. Elle consiste à mesurer à l'aide d'un spectrophotomètre, l'absorbance d'une prise d'eau de 39 ml d'échantillon. La prise est acidifiée par l'ajout d'un 1ml de HCl (N/10), afin de la stabiliser et on ajoute 5ml de la solution de chlorure de baryum ( $\text{BaSO}_4^{2-}$ ) stabilisé par le Tween 20. La mesure est effectuée à une longueur d'onde de 650 nm [31].

### **II. 2. 1. 14. Nitrates ( $\text{NO}_3^-$ )**

Les nitrates ( $\text{NO}_3^-$ ) sont la forme la plus oxydée de l'Azote. Ils sont indispensables aux développements des végétaux. La plupart des eaux naturelles contient normalement des nitrates à des doses faibles (quelques milligrammes par litre). Cependant de nombreuses eaux souterraines et de surfaces ont une concentration élevée en nitrate du fait de l'enrichissement des sols par les engrais ou par les rejets d'eaux usées domestiques ou industrielles [31].

La détermination des nitrates était effectuée par la méthode de la réduction par colonne cadmium traité au cuivre. Cette méthode consiste à faire passer un volume de 50 ml par la colonne. Ce volume contient 5 ml d'échantillon, 5 ml de la solution tampon et 40 ml d'eau distillée. Le volume versé dans la colonne sera récupéré mais uniquement les derniers 25 ml. L'eau récupérée contenant des nitrites (résultats de la réduction des nitrates par la colonne), qui seront transformés en sel de diazonium par l'ajout du réactif de diazotation. La solution finale est mesurée par un spectrophotomètre à une longueur d'onde de 537 nm [31].

### **II. 2. 3. Analyses des ETM**

L'analyse des métaux était réalisée à l'aide d'un spectrophotomètre UV-visible DR 6000. Une partie de notre étude a été consacré à doser et suivre la croissance d'un de ces éléments minéraux à différentes concentrations et dans différents milieux de culture algale c'est le Fluor.

### II.2.3.1. Le Fluor

#### II.2.3.1.1. Carte d'identité

Le Fluor est le treizième élément en abondance de la croûte terrestre, de symbole F, de numéro atomique  $Z = 9$ , de poids atomique  $A = 19$ . C'est le premier élément de la famille des halogènes. Le Fluor doit sa très forte réactivité à l'absence d'un électron sur une orbitale proche du noyau, lui procurant un niveau énergétique élevé et des propriétés chimique et biologiques très remarquables [36]. Sa forme la plus stable est l'état ionique  $F^-$ . Il est largement utilisé dans l'industrie de l'Aluminium, mais aussi celles de la céramique et de verres, ainsi que dans la production de matières plastiques et isolantes [36].

#### II.2.3.1.2 Sources naturelles de Fluor

On trouve les ions fluorure dans de nombreux sites [37] :

- ✓ Certains gisements minéraux, au voisinage des roches volcaniques et dans les poussières environnantes. Les principaux minerais contenant du fluor sont : la fluorine ( $CaF_2$ ) ou spath-fluor, la fluorapatite ( $Ca_5(PO_4)_3F$ ) et les phosphates.
- ✓ Sous forme de particules détachées des sols et entraînées dans l'atmosphère par les vents ambiants. Ces particules contenant du fluor seront véhiculées dans les eaux naturelles.
- ✓ Dans l'eau de mer.
- ✓ Dans les sources d'eau qui traversent les roches à forte teneur en Fluor. La concentration en fluorure augmente de la superficie à la profondeur. Elle augmente aussi au voisinage des exploitations minières et dans les zones à forte pollution industrielle.
- ✓ Dans les aliments d'origine végétale comme les fruits, le thé ou animale comme les produits de la mer.

#### II.2.3.1.3 Fluorure dans l'eau et norme

Le Fluor est un constituant habituel des aliments et de l'eau, la quantité moyenne de fluorures ingérés quotidiennement chez l'adulte à partir de l'eau et de l'alimentation varie de 1 à 4mg. L'eau contient des fluorures en proportion variable, généralement moins de 0,5 mg. L<sup>-1</sup>, jusqu'à plus de 10 à 15 mg. L<sup>-1</sup> dans certaines zones d'endémie [37].

Il est estimé qu'une absorption journalière de 20 à 80 mg de fluorures pendant 10 à 20 ans peut provoquer une fluorose très invalidante. Les premiers signes d'hyperminéralisation peuvent cependant apparaître après deux à quatre ans d'exposition [37].

La contamination des eaux et des végétaux est attribuée à la présence de gisements de phosphates (calcaires phosphatés pouvant contenir des proportions importantes de fluoroapatite) [38].

### **II.3. Conclusion**

Pour but d'apparaître la qualité physicochimique des eaux, il est indispensable de procéder à des analyses des paramètres de pollution.

---

# **CHAPITRE III**

## ***Expérimentation résultats et discussions***

---

### III.1. Introduction

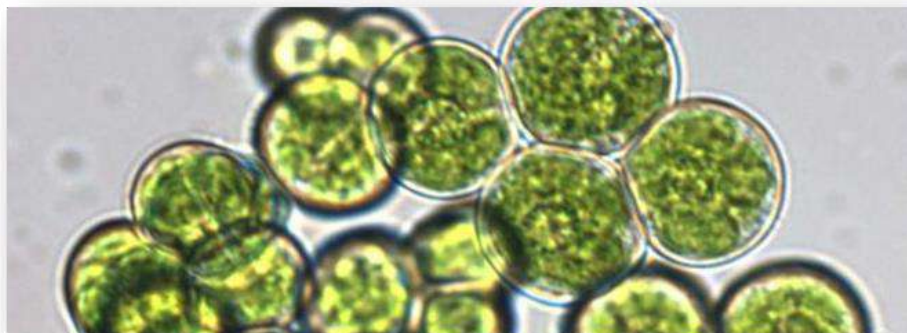
L'analyse est indispensable à l'élaboration d'un projet d'installation de traitement des eaux. Elle l'est également pour le contrôle de son fonctionnement ainsi que pour l'appréciation de la qualité de l'eau traitée. Les essais ont été effectués au sein du laboratoire de "Génie de l'eau et de l'Environnement en milieu Saharien" de l'Université Kasdi Merbeh de Ouargla.

Dans ce chapitre seront présentés, les souches algales utilisé dans ce travail ; le matériel, les procédés et les méthodes d'analyses choisies pour cette étude, ainsi que les résultats obtenus et les discussions. Dans le but de connaître la croissance des algues identifier, dans divers milieux contenant du Fluor en différents concentrations et leur efficacité pour le traitement des eaux usées, on regroupe les diverses analyses effectuées.

### III .2. Les modèles d'étude

#### III.2.1. *CHLORELLA Pyrenoidosa*

*Le Chlorella* (Figure III. 1), est une algue unicellulaire verte d'eau douce, Elle est de forme ronde ou ellipsoïde, d'un diamètre moyen de 5  $\mu\text{m}$  [39]. Une seule cellule de *chlorella* peut se diviser en quatre cellules chaque 16 à 20 h, en utilisant la lumière du soleil pour la photosynthèse [40]. Elle est riche en vitamines, acides gras et sels minéraux [40]. Cette algue, est une source riche en antioxydants, ce qui lui réserve une place importante pour des utilisations dans les domaines médicinal et alimentaire et dans la nourriture. Elle a retenu l'attention des bio technologistes comme étant une source importante de biomasse. Elle est largement utilisée dans diverses applications comme : le traitement des eaux, l'élimination des métaux lourds ... etc.



**Figure III.1:** *L'algue Chlorella sous microscope [41].*



### **III.2.1.1. La composition de *CHLORELLA Pyrenoidosa***

Cet micro-organisme est composé de [42] :

- ✓ La *Chlorella* est très riche en vitamine ;
- ✓ Riche en bêta-carotène ;
- ✓ Riche en vitamine B12 et en fer ;
- ✓ Elle contient une multitude d'acides aminés ;
- ✓ Elle contient toutes les vitamines B, la vitamine C, le calcium, le magnésium, le zinc, le cuivre, l'iode et les acides gras insaturés ;
- ✓ Elle détient le record de concentration en chlorophylle de tout le règne végétal ;
- ✓ Elle est extrêmement riche en cellulose.

### **III.2.1.2. Les propriétés de *CHLORELLA Pyrenoidosa***

*Chlorella Pyrenoidosa* contient plus de *chlorophylle* par gramme que tout autre aliment d'origine végétale qui nous est connu. Ce pigment vert est effectif contre un grand nombre de bactéries pathogènes. Il stoppe le développement des calculs rénaux, renforce le muscle cardiaque, stabilise la tension artérielle, soulage les douleurs, élimine les toxines, balance la flore intestinale, etc. La haute teneur en *chlorophylle* dans la *Chlorella* aide la purification du sang et la biosynthèse de nouveaux globules rouges. Une part de la magie de la chlorophylle provient de la quantité de magnésium qu'elle contient. Le fait que le magnésium participe aux 325 systèmes enzymiques humains, le rend l'un des bio activateurs enzymiques les plus importants [42].

Une des propriétés les plus importantes de la *Chlorella* est sa force détoxifiante. Il est scientifiquement prouvé que sa paroi cellulaire possède la remarquable capacité de se lier aux toxines et les éliminer du corps. De plus la *Chlorella* purifie l'organisme des métaux lourds et des éléments radioactifs.

### **III.2.2. SPIRULINE**

La Spiruline (*Figure III. 2*) est un micro-organisme appartenant au groupe des *Cyanobactéries* (groupe comprenant l'ensemble des bactéries autotrophes), c'est-à-dire capables d'utiliser l'énergie de la lumière pour la photosynthèse.

Contrairement aux algues et aux plantes également dotées de ce pouvoir photosynthétique, elle appartient à l'embranchement des procaryotes, car elle n'a pas de noyau bien individualisé. Elle a été longtemps classée parmi les « algues bleu-vert » pour ces raisons [43] :

- Sa morphologie proche de celle des algues,
- Sa couleur liée à sa teneur en pigments bleu (phycocyanine) et vert (chlorophylle).



**Figure III.2** : *L'algue spiruline sous microscope.*

### III.2.2.1. Récolte

La spiruline a été récoltée au près d'une ferme d'algues à *Hassi Benabdallah Ouargla* (*Figure III.3*).



*Figure III.3: La zone d'où on a récolté la spiruline.*

### III.2.2.2. La composition de *la SPIRULINE*

*La spiruline* est composée de [43] :

- Son taux de protéine est supérieur à celui de tous les autres aliments ;
- Elle contient 8 acides aminés essentiels : isoleucine, leucine, lysine, méthionine, Phénylalanine, thréonine, tryptophane et valine.
- Elle possède une grande quantité d'acides aminés non essentiels ;
- La spiruline est également une grande source de vitamine A (béta- carotène) ;
- Des vitamines du groupe B (B1, B2, B3, B5, B6, B7, B8, B9, B12) ;
- Des Vitamines D, E et K ;
- Elle est riche en minéraux et oligo-éléments : fer, magnésium, phosphore, potassium, calcium, sélénium, sodium ... ;
- Très peu calorique, elle ne contient pas de graisses ni de cholestérol.

### **III.2.2.3. Les propriétés de la *SPIRULINE***

La spiruline contient 15 pigments dont notamment la chlorophylle qui est connue pour son pouvoir détox et son effet bénéfique sur l'anémie. *La spiruline* est l'une des meilleures sources de chlorophylle [43].

Elle contient de la phycocyanine 15%, il s'agit d'un complexe protéinique inédit puisque la spiruline et le seul aliment à en contenir [43].

Elle contient aussi des caroténoïdes qui sont des antioxydants naturels puissants, des polysaccharides qui sont des glucides complexes facilement absorbés par le corps avec une intervention minimale d'insuline [43].

### **III.2.3. La troisième souche algale**

Échantillons de fleurs d'algues cultivés sous condition naturelle sans ajouter de spécifique, les milieux nutritifs ont été recueillis à "*Mih Salah Guemmar*" dans un bassin de ferme. La biomasse d'algues a été triée à la main des corps d'eau douce et immédiatement après collection ; des échantillons ont été apportés au laboratoire. Outre les échantillons d'algues fraîches, examinées pour identification et identifiées comme *Spirogyra.sp.*

#### **III.2.3.1. *SPIROGYRA***

Est une algue verte filamenteuse commune dans les fossés et les mares d'eau suffisamment pure. Longue de plusieurs décimètres, elle est formée par un filament non ramifié, fait d'un enchaînement linéaire de cellules rectangulaires pourvues chacune d'un ou de plusieurs chloroplastes en forme de ruban spiralé (**Figure III.4**). Ces longs filaments ondulent très lentement dans l'eau, ce qui permet le rapprochement des individus, chose nécessaire à la reproduction sexuée [44].

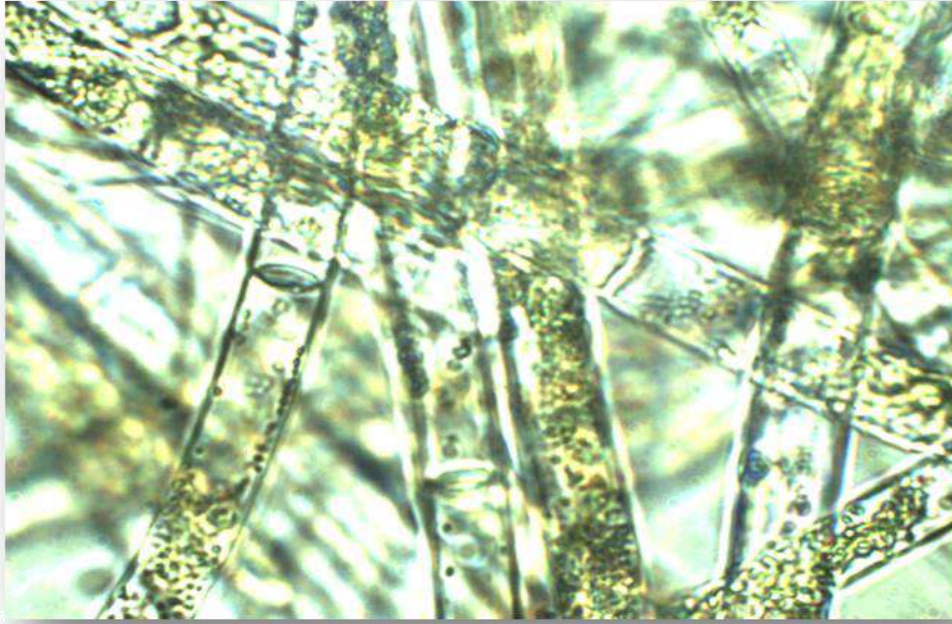


Figure III.4: L'algue *spirogyre* sous microscope.

### III.2.3.2. La récolte

La souche de *spirogyre* utilisée dans le travail a été récoltée de (*Mih Salah, Guemmar, oued souf*) d'un bassin de ferme (Figure III.5 et Figure III.6).



Figure III.5: Zone de récolte de *la spirogyra*.



Figure III. 6 : La récolte des algues

### III.3. Matériels et Méthodes

#### III.3.1. Procédure expérimentale

##### III.3.1.1. Culture de *CHLORELLA*

Des cultures de *CHLORELLA Pyrenoidosa* en continu, ont été réalisées dans six systèmes de culture notés de A1 + 0,5 F à A1 + 2,5 F (**Figure III.7**), le premier est choisi comme référence, les systèmes (0,5 F, 1,5 F, 5 F, 2 F et 2,5 F) sont enrichis, respectivement, par le Fluor (F) en différentes concentration. Les cultures sont exposées à une lumière artificielle assurée par quatre lampes pour chaque système de culture. Les températures, durant l'expérience, varient de 25 à 27 °C. L'aération et l'agitation sont assurées par une arrivée d'air continu.



**Figure III.7:** *Le montage expérimental réalisé (culture de Chlorella).*

### III.3.1.2. Culture de *SPIRULINE*

Aux mêmes conditions opératoires, on a effectué des cultures des souches algales nommées *Spiruline* dans six systèmes de culture notés A2 + 0,5 F à A2 +2,5 F (**Figure III.8**) le premier est choisi comme référence, les systèmes (0,5 F, 1F, 1,5 F ,2 F et 2,5 F) sont enrichis, respectivement, par le Fluor (F) en différentes concentrations.



**Figure III.8 :** *Le montage expérimental réalisé (culture de Spiruline).*

La concentration en cellules d'une suspension est déterminée en mesurant l'absorbance à 680 nm pour les échantillons de *Chlorella* et 663 nm, 750 nm respectivement pour cette dernière (*Spiruline*), en utilisant un spectrophotomètre (voir annexe).

Les prélèvements des échantillons, pour les diverses analyses, sont effectués les matins dans des éprouvettes stérilisées de 5 ml (**Figure III. 9** et **Figure III. 10**).





**Figure III.9:** *Exemples des échantillons (Chlorella).*



**Figure III.10. :** *Exemples des échantillons (Spiruline).*

### III.3.2. Les paramètres d'analyse

#### III.3.2.1. Le paramètre physico-chimique

##### A- pH :

Le pH est en relation avec la concentration des ions hydrogène  $[H^+]$  présent dans l'eau ou les solutions [38].

Chaque jour après 24 h, avec un grand soin et pour chaque système de culture de l'expérience, la mesure de pH est effectuée avec un multi paramètre de type HANNA (*Figure III.10*) qui est utilisé pour mesurer les paramètres physiques tels que le pH, la température, les solides dissous totaux (TDS), la salinité...etc.



**Figure III.10 :** *Multi paramètre.*

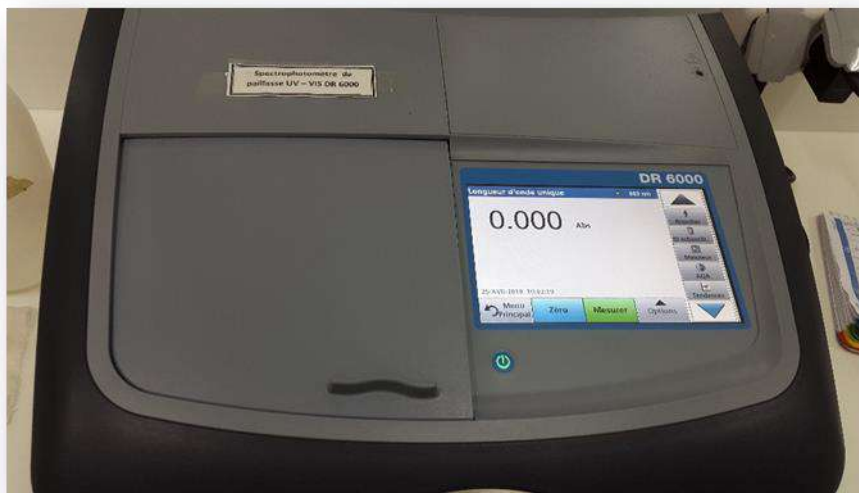
##### B- Salinité

Il n'existe pas une mais plusieurs définitions de la salinité : une définition purement théorique et plusieurs définitions pratiques, liées aux méthodes de mesure. La salinité est la quantité totale des résidus solides (en grammes) contenu dans 1Kg d'eau. Unité : la salinité est exprimée en ‰ ou en g/Kg ou en PSU (Practical Salinity Unit) [22-31].

### III.3.2.2. Croissance d’algue

#### A- CHLORELLA Pyrenoidosa

Après 24 heures de mise en contact des échantillons, la croissance de l'algue cultivée est suivie par la mesure de la concentration en biomasse par un Spectrophotomètre UV-Visible, type HACH, DR6000 (*Figure III.11*), du Laboratoire de recherche : Génie de l'Eau et de l'Environnement en Milieu Saharien, à l'Université de Ouargla et à une longueur d'onde de 680 nm. La concentration est en mg/L et se fait par une lecture directe.



**Figure III.11:** Spectrophotomètre UV-visible.

#### B- SPIRULINE

La croissance des Spirulines a été déterminée selon la méthode décrite par Pearson (1987), par mesure de densité optique à 663 nm et 750 nm à l’aide d’un spectrophotomètre de type UV-visible. La concentration de la chlorophylle est déterminée selon la formule suivante [47] :

$$Chl (\mu/l) = \frac{160}{89} \frac{(DO_{663nm} - DO_{750nm}) \times Volume\ du\ solvant\ (ml)}{Volume\ de\ l'échantillon\ (ml)}$$

Do : densité optique

160/89 : constant de l’équation

Nm : nano mètre

**C- SPIROGYRA.SP**

La croissance de la souche algale à l'aide d'un spectrophotomètre de type UV-visible a une absorbance de 664 nm [43], La concentration est en mg/L et se fait par une lecture directe.

**III.3.2.3. La concentration du Fluor**

- **Mode opératoire**

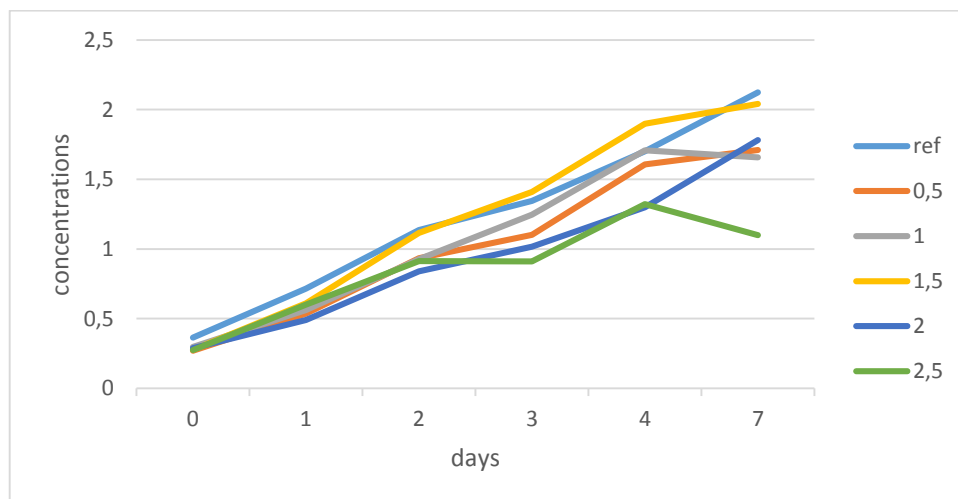
La suivie de la concentration du Fluor a été effectuée, chaque matin avec le spectrophotomètre UV-visible. La lecture des mesures des échantillons été réalisée après une dilution de 1 ml du milieu dans 40 à 60 ml du solvant, puis ont rempli la cuvette de 10 ml de la solution diluée et la dosé avec 2ml du réactif de fluor SPNADNS (voir l'annexe).

**III.4. Résultats et discussions**

**III.4.1. Croissance de l'algue**

**A- CHLORELLA Pyrenoidosa**

Le résultat de la croissance de l'algue *CHLORELLA Pyrenoidosa* est présenté dans la figure suivante (**Figure III. 12**) :



**Figure III.12 :** Evolution de la biomasse des systèmes de cultures (*Chlorella*).

L'analyse de résultat cité en figure ci-dessus, nous indique que l'allure des graphes est la même pour tous les systèmes de cultures, avec un faible écart entre ces derniers (du système 0,5 jusqu'au système 2,5) et ce au premier jour de l'expérience.

La croissance de l'algue *CHLORELLA* augmente en fonction de temps pour tous les systèmes jusqu'au 4<sup>ème</sup> jour.

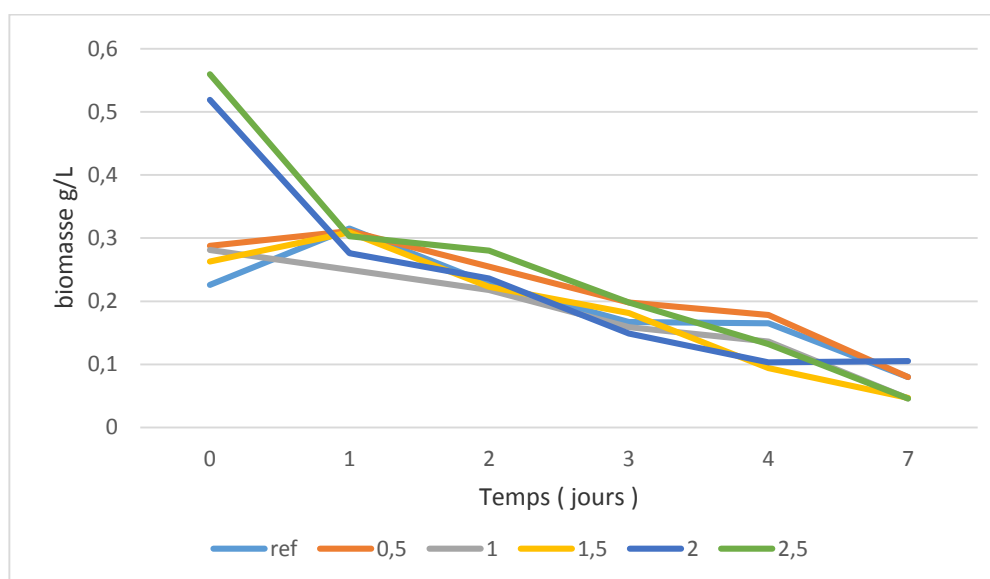
A partir du 4<sup>ème</sup> jour on remarque la croissance continue pour tous les systèmes sauf le système 2,5 qui marque une décroissance. Ceci peut être due à la concentration élevée de fluor qui est 2,5mg/L.

L'analyse de ces résultats, nous a montré que la croissance de l'algue *Chlorella* est influencée par les différents paramètres dépendants du milieu de culture (la présence du Fluor à différentes concentrations), ainsi que les paramètres indépendants du milieu de culture.

En ce qui concerne l'étude de l'effet de la présence du Fluor, on a réalisé des tests à différente concentration du Fluor ; de 0,5 jusqu'à 2,5 mg/L selon les graphes de la (figure III.12). On a remarqué que la présence de cet élément a un effet positif sur la croissance de l'algue étudiée. Cependant, on a observé que, pour les quatre milieux, les rendements varient selon la variation de la concentration du Fluor.

**B- Spiruline**

Le résultat de la croissance de l'algue *Spiruline* est présenté dans la figure suivante (Figure III. 13) :



**Figure III.13:** Evolution de biomasse des systèmes de cultures (*Spiruline*).

L'analyse des résultats de la **figure III. 13**, nous indique que l'allure des graphes est presque là même pour tous les systèmes de cultures, avec un faible écart entre eux à l'exception, les systèmes 0,5 et 2,5 qui montrent une chute remarquable entre J0 et J1.

Il est très remarquable que l'algue spiruline à marquer une décroissance durant tout la durée de l'expérience.

Les valeurs maximales en été enregistrer pour les systèmes 2 et 2,5 au deux premier jours de 0,56 g/L puis, la décroissance continue jusqu'au dernier jour et la valeur minimale de l'expérience est noté pour le système 2,5 qui est 0,046 g/L

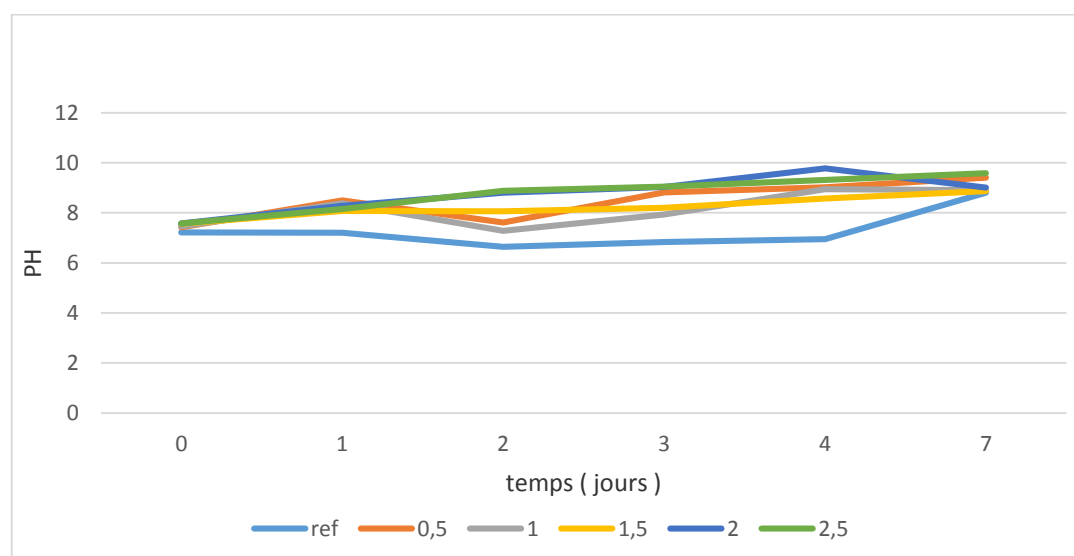
L'analyse de ces résultats, nous montre que la croissance de l'algue *Spiruline* est influencée par les différents paramètres dépendant du milieu de culture (la présence du Fluor en différents concentrations). Ainsi que les paramètres indépendants de milieu de culture.

Les cultures de *Spiruline* réalisées, montrent une diminution rapide de la croissance et de la teneur en chlorophylle qui s'annule au 7<sup>ème</sup> jour de culture, ce qui montre l'effet négatif de la forte concentration du Fluor enrichis sur l'algue.

### III.4.2. Le pH

#### A- *CHLORELLA Pyrenoidosa*

Les résultats d'analyses de pH de la Souche *Chlorella* est présenté dans la figure III.14 suivante :

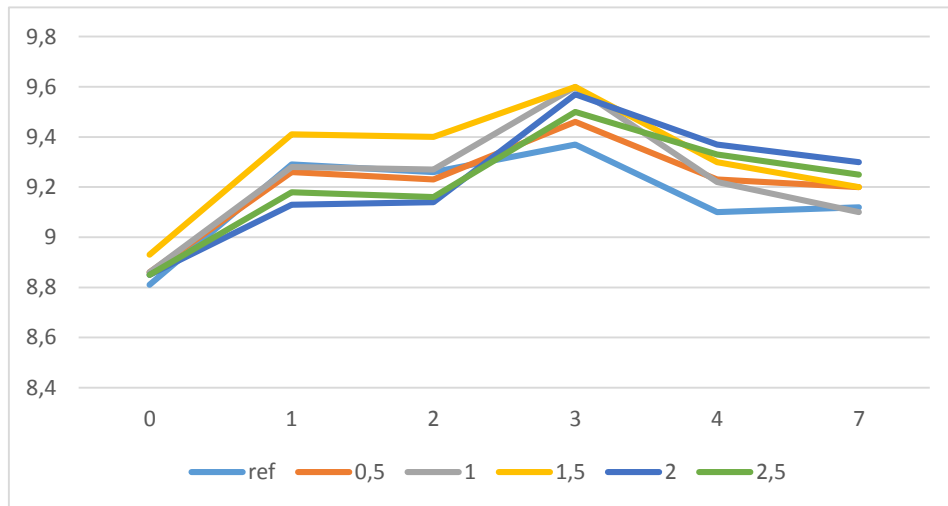


**Figure III.14 :** Variation du pH dans le milieu de culture (*Chlorella*).

D'après les courbes de la **figure III. 14**, on remarque que pour les deux premiers jours d'expérience, la valeur du pH est entre 7,58 à 8,88. D'autre part, on remarque une stabilité relative de la valeur du pH de 8.80 à 9.85 dans tous les systèmes de culture à partir du 7<sup>ème</sup> jour.

**B- SPIRULINE**

Les analyses de PH de l'algue *Spiruline* est présenté dans la figure III.15 suivante :



**Figure III.15 :** Variation du pH dans le milieu de culture (*Spiruline*).

D'après les courbes de la **figure III.15**, on remarque que, pour les deux premiers jours d'expérience, la valeur du pH est entre 8.93 à 9.4. D'autre part, on observe une augmentation symétrique au deuxième jusqu'au troisième jour pour tous les systèmes qui atteint une valeur maximale (9,57). En remarque la stabilité relative dans tous les systèmes de culture à partir de 4<sup>ème</sup> jour où la valeur de pH est de 9,1 jusqu'à 9,3.

### III.4.3. La concentration du Fluor

#### A- CHLORELLA Pyrenoidosa

L'analyse d'évolution en concentration de Fluor pour l'algue Chlorella est présenté ci-dessous (Figure III.16) :

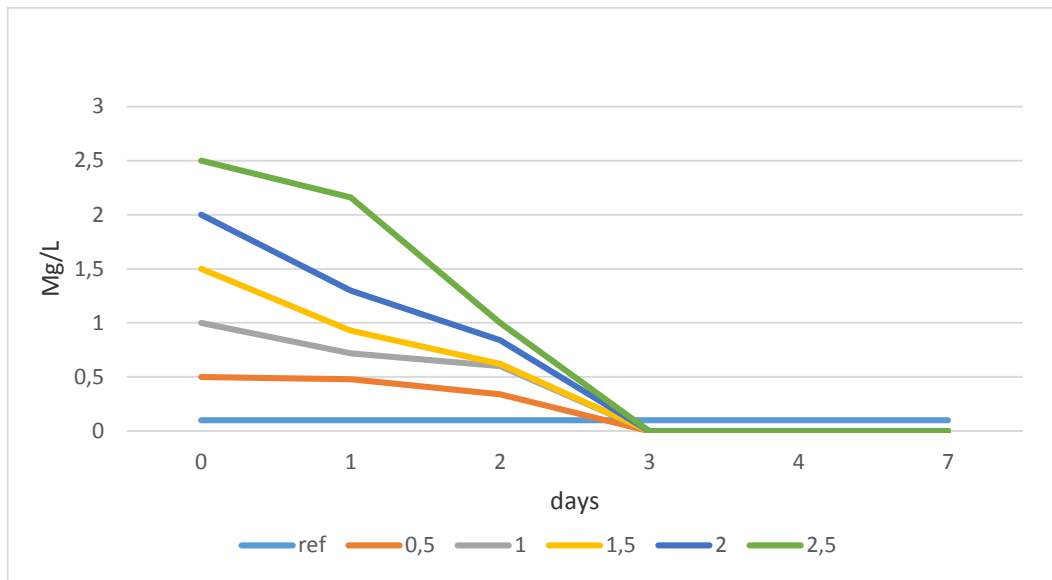


Figure III.16 : Evolution de Fluor des systèmes de cultures (Chlorella).



b



a

Figure III.17 : a-Systèmes de culture au début de l'expérience

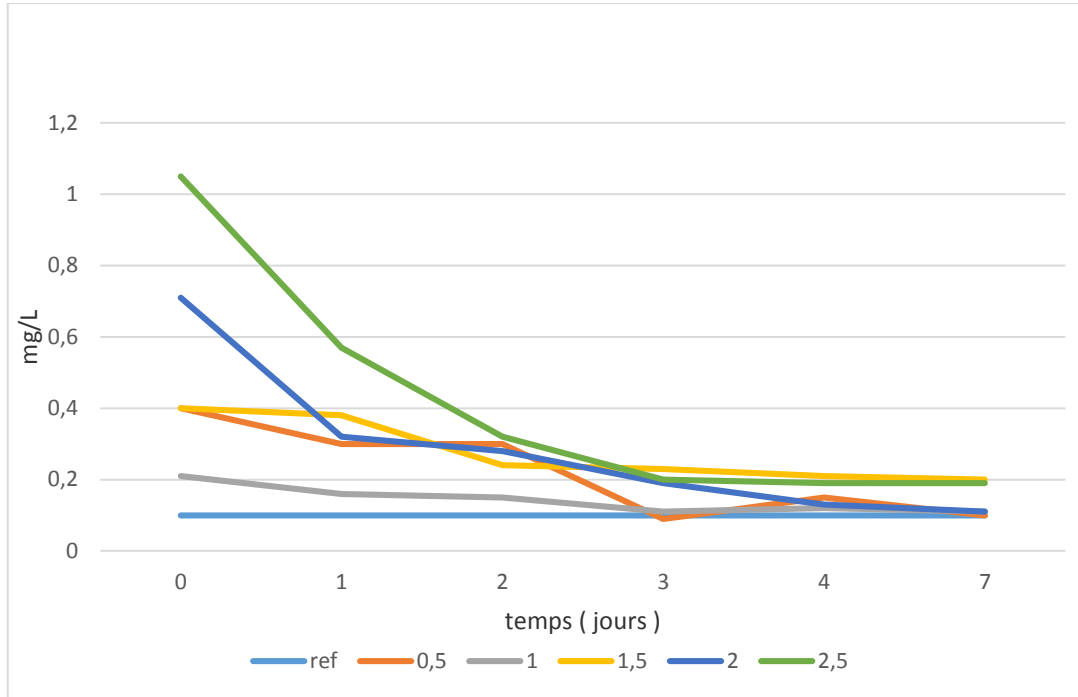
b- Systèmes de culture à la fin de l'expérience

L'analyse de la **figure III. 16** nous montre qu'il y a une symétrie de l'allure des courbes pour tous les systèmes de culture en fonction de leur concentration, du 1<sup>er</sup> jusqu'au 3<sup>ème</sup> jour. Au début de l'expérience les différents milieux ont une variation de concentration du Fluor de 0,5 jusqu'à 2,5. Après seulement trois jours, on remarque la consommation totale du Fluor par les cellules cultivées (**figure III.17**).



**B- SPIRULINE**

L'évolution de la concentration en fluor pour la *Spiruline* est présentée dans le graphe suivant (Figure III.18) :



**Figure III.18 :** Evolution de Fluor des systèmes de cultures (*spiruline*).

La *figure III. 18* nous montre l'allure décroissante des courbes des systèmes de culture en fonction de leur concentration et ça du 1<sup>er</sup> jusqu'au 3<sup>ème</sup> jour, qui s'annule au 3<sup>ème</sup> jour symétriquement dans tous les systèmes. Au début de l'expérience les différents milieux en une variation de concentration de Fluor de 0,5 jusqu'à 2,5 mg/l. Après seulement trois jours, on remarque la consommation presque totale du Fluor par les cellules cultivées (**Figure III.19**).



**b**



**a**

**Figure II.19 :** a- Systèmes de culture au début de l'expérience  
b- Systèmes de culture à la fin de l'expérience.

**III.5. Application :**

Dans le but de suivre la croissance des trois souches algale dans différents milieux, on a effectué des cultures continues des algues (*CHLORELLA Pyrenoidosa*, *Spiruline*, *spirogyra.sp*) dans six systèmes (**Figure III.20**). Deux systèmes sont effectués pour chaque algue, où l'une est cultivé dans son milieu de référence et la deuxième dans de l'eau usée (voir annexe) notés comme suit : (ref1, usée1) pour *CHLORELLA Pyrenoidosa*, (ref2, usée 2) pour *Spiruline* et (ref3, usée3) pour *Spirogyra*. Les cultures sont exposées à une lumière artificielle assurée par six lampes et sous une température de  $25 \pm 2$  °C. L'aération et l'agitation sont assurées par une arrivée d'air continue.



**Figure III.20:** La zone d'expérience.

La concentration en cellules d'une suspension est déterminée en mesurant l'absorbance de chaque algue en utilisant un spectrophotomètre (**Tableau III.1**).

**Tableau III.1 :** Longueur d'onde ionique pour chaque algue.

<b>Algue</b>	<b>Absorbance (nm)</b>
<i>CHLORELLA Pyrenoidosa</i>	<b>680</b>
<i>Spiruline</i>	<b>663, 750</b>
<i>Spirogyra.sp</i>	<b>664</b>

Les prélèvements des échantillons sont effectués tous les matins dans des flacons stérilisés de 100 ml (Figure III. 21).



Figure III.21 : les échantillons.

### III.5. 1. Résultats et discussion

#### III.5. 1. 1. La croissance des algues

##### a) *CHLORELLA Pyrenoidosa*

Les résultats de la croissance de l'algue *CHLORELLA Pyrenoidosa* sont présentés dans la figure III.22.

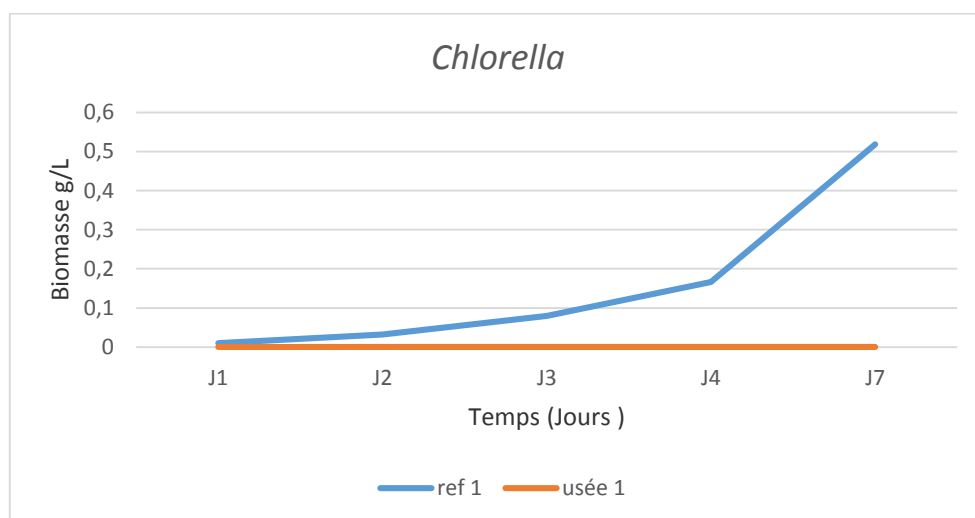


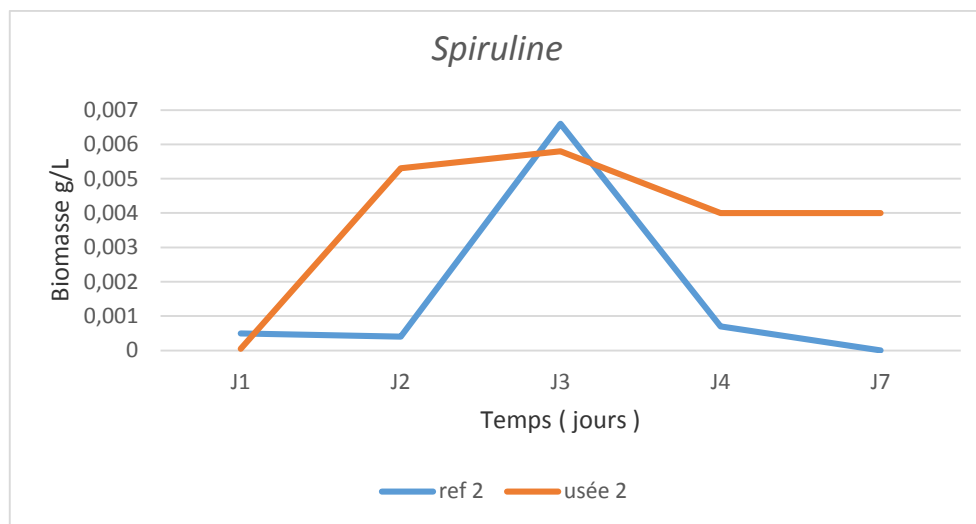
Figure III. 22 : Evolution de biomasse du système de culture de *CHLORELLA Prenoidosa*.

D'après cette figure, on a constaté une évolution continue du système de référence du premier au dernier jour de l'expérience. Par contre, aucune évolution de la souche cultivée dans l'eau usée n'est constatée durant tout le séjour.

Il est très important de noter que le système de culture de référence est passé par une phase d'adaptation de 0,01 g/L à 0,08 g/L du 1<sup>er</sup> au 3<sup>ème</sup> jour, puis il a augmenté pour atteindre 0,518 g/L au 7<sup>ème</sup> jour. L'absence de réaction de l'algue cultivée dans l'eau usée revient à la composition riche en éléments toxiques qui ont réagi négativement à la croissance de cette micro-algue.

### **b) SPIRULINE**

Les résultats de la croissance de l'algue *Spiruline* sont présentés dans la (figure III.23) :



**Figure III. 23** : Evolution de biomasse du système de culture de la spiruline.

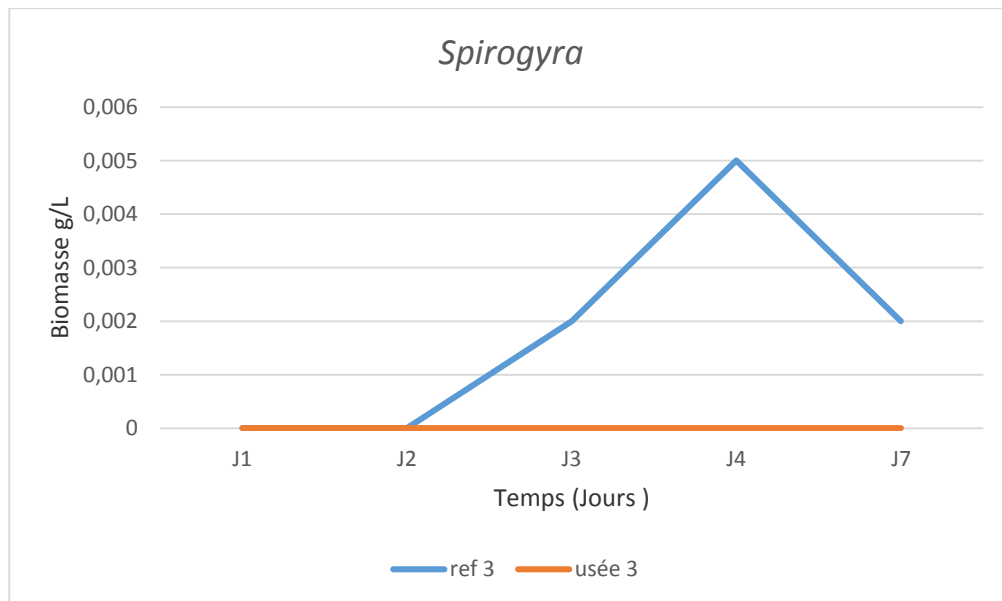
La figure **III.23**, nous indique une différence remarquable entre les deux systèmes, mentionnée par l'allure de leurs graphes.

Il est à noter que, la biomasse des deux systèmes passe par une phase d'adaptation les deux premiers jours, la plus grande valeur est enregistrée pour le système noté (usée2) et elle est de l'ordre de 0,0053 g/l. La plus faible valeur, concerne le système (ref2) et elle est de l'ordre de 0,0004 g/l, puis la croissance des algues augmente. Ainsi, pour les deux systèmes, la croissance atteint sa valeur maximale durant le 3<sup>ème</sup> jour où, la plus grande valeur atteinte qui est de l'ordre de 0,0066 g/l est signalée pour le système (ref2) alors que, la plus faible concerne le système (usée2) et elle est de l'ordre de 0,0058 g/l. Par la suite, les deux systèmes subissent une diminution remarquable jusqu'au 7<sup>ème</sup> jour.

L'analyse de ces résultats, nous montre que la croissance de l'algue *Spiruline* est influencée par les différents paramètres dépendants du milieu de culture (richesse en éléments contenus dans le milieu d'eau usée), ainsi que les paramètres indépendants de ce milieu.

### c) *SPIROGYRA.SP*

Les résultats de la croissance de l'algue *Spirogyra.sp* sont présentés dans la figure suivante.



**Figure III. 25** : évolution de biomasse du système de culture de *Spirogyra*.

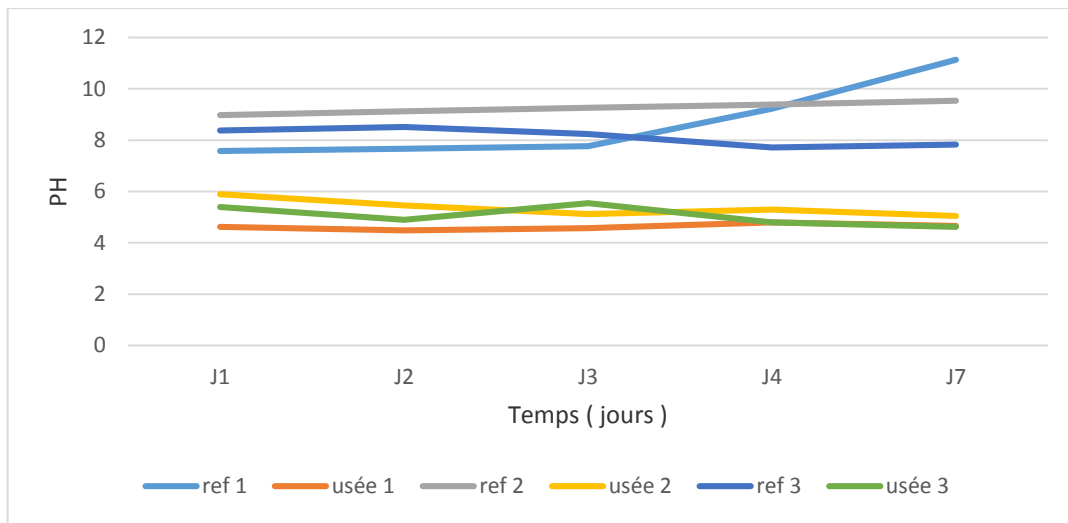
L'analyse des résultats de la **figure III.25** montrent une évolution en continu du système de référence à partir du deuxième jour de l'expérience, par contre la souche cultivée dans l'eau usée n'a subi aucune augmentation durant tout le séjour.

Il est très remarquable que le système de culture de référence est passé par une phase stationnaire du 1<sup>er</sup> au 3<sup>ème</sup> jour de 0g/L à 0,002 g/L, puis il a augmenté symétriquement, la plus grande valeur 0,005 g/L est notée au 4<sup>ème</sup> jour. A partir de ce jour-là, la croissance diminue jusqu'au 7<sup>ème</sup> jour 0,002 g/l.

L'absence de réaction de l'algue cultivée dans l'eau usée revient à la composition riche en éléments toxiques qui ont réagi négativement contre la croissance de cette macro-algue.

### III.5 .1 .2 le pH

L'évolution du pH des milieux aquatiques est présentée dans la figure suivante :

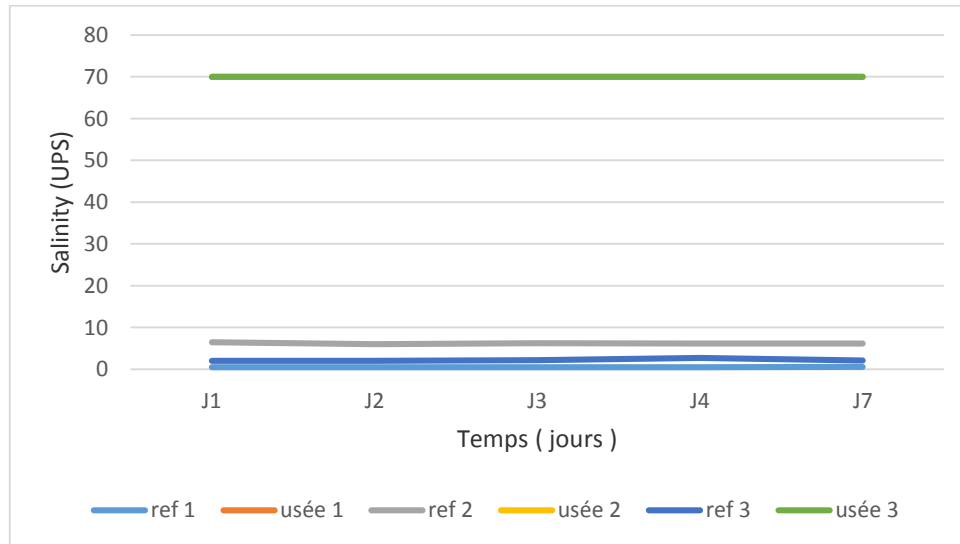


**Figure III. 26** : Variation du pH dans les milieux de culture.

L'analyse des courbes de la **figure III.26**, montre une allure de graphe symétrique durant tout le séjour de l'expérience. On remarque une stabilité relative des valeurs du pH entre 4.62 à 5,55 pour les systèmes d'eau usées et des valeurs entre 7,58 et 9,54. D'autre part, on remarque que les systèmes d'eau usée sont des milieux plus riches en acides que les systèmes de référence et cette acidité revient à la diversité des éléments inclus dans cette eau usée domestique.

### III.6.1. 3 La Salinité

Les variations des salinités des différents milieux aquatiques sont présentées dans la figure suivante :



**Figure III.27:** Variation de la salinité dans les milieux de culture.

L'analyse des résultats illustrés dans la **figure III.27**, montre une stabilité relative entre tous les systèmes durant toute l'expérience. Les systèmes d'eau usée marquent la plus grande valeur 70 PSU et les systèmes de références enregistrent les plus faibles valeurs, entre 0,52 UPS et 6,14 UPS.

La stabilité de la salinité du 1er au jour 7, montre que les souches d'algues absorbent des sels dans ces milieux de culture.

### **III.6. Conclusion**

D'après tous ces résultats, on peut conclure que :

- ✓ L'algue *Chlorella* a la capacité de vivre dans des différents milieux.
- ✓ L'algue *Spiruline* est très délicate et elle exige certaines conditions opératoires pour vivre
- ✓ L'algue *Chlorella* peut vivre dans des milieux contenant des éléments toxiques comme le Fluor, avec différentes concentrations et qu'elle peut éliminer.
- ✓ L'algue *Spiruline* à éliminer le Fluor contenant dans les milieux par contre elle n'a pas pu vivre.
- ✓ Les trois types d'algues sont très importants dans le domaine de traitement des eaux industrielles.



---

# **Conclusion générale**

---

## CONCLUSION GENERALE

---

### Conclusion générale

Les algues sont des microorganismes photosynthétiques très largement utilisées dans diverses applications, dont l'une est le domaine de traitement des eaux. Les algues vont absorber naturellement les métaux lourds et les corps minéraux toxiques avant que les eaux soient rejetées. Les algues sont classées actuellement, comme nouvelle technique de traitement des eaux. Elles sont donc très importantes pour la protection de l'environnement.

L'eau constitue un élément essentiel dans la vie et dans toute activité humaine. C'est une composante fondamentale du monde minéral et organique. Aujourd'hui, l'eau participe à toutes les activités quotidiennes notamment, domestiques, industrielles et agricoles, ce qui la rend un élément récepteur, exposé à tous les genres de pollution. Le phénomène pollution contribue de façon considérable à la limitation des ressources en eau potable.

L'objet de ce travail, est d'étudier la croissance des algues *Chlorella Pyrenoidosa*, *Spiruline* et *Spirogyra.sp* dans divers milieux de culture, en se basant sur leurs milieux standards et enrichis par un élément minéral à différentes concentrations (le Fluor). Une autre étude a été également effectuée, dont l'objet est la validation des résultats obtenus, elle est réalisée sur l'eau industrielle de déshuilage de l'unité de Guellalela.

D'après les résultats *Chlorella Pyrenoidosa* à une grande capacité d'éliminer le Fluor en comparant par les deux autres types d'algues. Cependant, la concentration du Fluor a été totalement éliminé à partir du troisième jour, par contre la *Spiruline* a diminué la concentration de cet élément dans une période plus longue. Mais, elle n'a pas pu résister à sa toxicité et ce dernier a causé une diminution de la biomasse de cette algue.

D'après cette étude, nous avons montré que l'utilisation des algues permet d'absorber progressivement les éléments existants dans l'eau. En présence de cet élément, la croissance est variable d'un milieu à un autre selon la concentration de cet élément présent dans le milieu. Notons que la forte concentration de ce dernier est nocive pour la santé humaine et l'environnement, on peut considérer, donc que le traitement de l'eau par les algues est une méthode moderne, facile et la moins chère dans ce domaine. C'est pour ça qu'elle peut être appliquée comme une alternative pour la plupart des machines et des produits chimiques.

## CONCLUSION GENERALE

---

### **Perspectives**

Suite aux résultats de cette étude des points importants sont à souligner comme perspectives :

- Il est important de signaler l'intérêt que présentent les algues dans le domaine de traitement des eaux, par l'étude d'accumulation des éléments minéraux toxiques et des métaux lourds.
- Il est impératif de compléter cette étude, par l'étude de la capacité d'autres genres d'algues d'éliminer le Fluor.

---

# Références

---

## REFERENCES

---

### Références

- [1].Lagnika et al. Journal of Applied Biosciences 79:6887 – 6897, Caractéristiques physico-chimiques de l'eau des puits dans la commune de Pobè, Benin, 2014, p6888.
- [2].Seema Dwivedi, Bioremediation of Heavy Metal by Algae: Current and Future Perspective, *Journal of Advanced Laboratory Research in Biology*, Volume III, Issue III, July 2012, ISSN 0976-7614
- [3].Gosavi, K., Sammut, J., Gifford, S. and Jankowski, J., 2004. Macroalgal bio-monitors of trace metal contamination in acid sulfate soil aquaculture ponds. *Sci. Total Environ.*, 324: 25-39.
- [4].BEN CHEHEM MERIEM ET BOUAZZA HANANE , Inventaire des études scientifiques relatives à laréutilisation des eaux usées dans le domaine piscicole . RICHARD C. (1996).p7
- [5].TFYECHÉ LYES,Suivi de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux usées d'Ouargla au cours de leur traitement,2014, p3
- [6].Megharaj M, Avudainayagam S, Naidu R, 2003 Toxicity of hexavalent chromium and its reduction by bacteria isolated from soil contaminated with tannery waste. *Curr Microbiol* 47:51-54.
- [7].Shamsuddoha A S M, Bulbul, A & IMAMUL HUQ S M. 2006. Accumulation of arsenic in green algae and its subse-quent transfer to the soil–plant system, *Bangladesh J. Microbiol.*, 22 (2): 148–151.
- [8].<http://www.fao.org/docrep/007/y5600f/y5600f07.htm>, Situation mondiale des pêches et de l'aquaculture, consulter le : 16/05/2016
- [9].BASMA KHADRO, conception et réalisation de biocapteurs pour le suivi de polluants dans leseaux naturelles, N° d'ordre 284-2008, p3
- [10]. Gaël RUIZ; Extraction, Détermination Structurale et Valorisation Chimique de Phycocolloïdes d'Algues Rouges; Thèse de doctorat N°: 58-2005 de l'Université de Limoges; (2005) PP: 3, 9 et 27.
- [11]. Ouafa EL HACHEMI traitement des eaux usées par lagunage naturel en milieu désertique (oasis de Figuig) : performances épuratoires et aspect phytoplanctonique thèse-doctora ,10 Novembre 2012.

## REFERENCES

---

- [12]. Mme Hela Ben Amor Ben Ayed, " Etude et optimisation de la bioaccumulation de magnésium dans les microalgues « *Chlorella vulgaris* »", Thèse de doctorat, université d'Paris-Saclay et l'université de Sfax, (2015), PP: 06.
- [13]. Stéphanie Godet, Isolement et caractérisation de trois gènes codant une lipase et deux estérases hypothétiques chez la microalgue marine *Isochrysis galbana* (Prymnesiophyceae, Haptophyta ); Thèse de Doctorat de l'Université du Maine ; (2008) PP.38.
- [14]. Fabien BORDERIE; utilisation du rayonnement UV-C comme méthode alternative aux produits chimiques dans la lutte et le contrôle de la prolifération des microorganismes sur les matériaux du patrimoine; thèse de Doctorat; Université de Franche-Comté; (2014); PP : 34, 35, 69, 70 et 72.
- [15]. Joanna Claire Rooke,<sup>a</sup> Alexandre Leonard,<sup>a</sup> Hugo Sarmento,<sup>c</sup> Christophe F. Meunier,<sup>a</sup> Jean-Pierre Descy<sup>b</sup> and Bao-Lian Su<sup>\*ad</sup>; Novel photosynthetic CO<sub>2</sub> bioconverter based on green algae entrapped in low-sodium silica gels; *J. Mater. Chem.*, 21 (2011), 951–959
- [16]. IKUKO SHIHIRA, ROBERT W. KRAUSS ; *CHLORELLA* Physiology and Taxonomy of Forty-one Isolates; Type designated in Shihira, I. & Krauss, R.W. (1965). *Chlorella*. Physiology and taxonomy of forty-one isolates. pp. 1-97. Maryland: University of Maryland, College Park.
- [17]. <http://www.spiform.fr/wp-content/uploads/2015/09/SPIFORM-Bassin-de-Culture-Spiruline.jpg> 2016
- [18]. Production de biodiesel et optimisation des paramètres. Doctorat. Souad Zighmi 2016-2017
- [19]. [http://www.cea-tech.fr/cea-tech/Publishing/Images/v2/photos-regions/pfa\\_micro-algues.jpg](http://www.cea-tech.fr/cea-tech/Publishing/Images/v2/photos-regions/pfa_micro-algues.jpg) 2016
- [20]. C. Fuentes-Grünwald & E. Garcés & E. Alacid & S. Rossi & J. Camp; Biomass and Lipid Production of Dinoflagellates and Raphidophytes in Indoor and Outdoor Photobioreactors; *Mar Biotechnol* (2013) 15:37–47.
- [21]. Mr METAHRI Mohammed Saïd, élimination simultanée de la pollution azotée et phosphatée des eaux usées traitées, par des procédés mixtes. cas de STEP Est De la ville de Tizi-Ouzou 01/07/2012
- [22]. Goudjil Med Bilal, Bencheikeh Salah Eddine, Mémoire master, Etude de la pollution minérale et organique des eaux souterraines de la cuvette d'Ouargla, sud-est algérien, 18/06/2011

## REFERENCES

---

- [23]. [experteau.com/services/analyse-deau.php](http://experteau.com/services/analyse-deau.php), Analyse d'eau potable, analyse qualité de l'eau - EXPERTEAU
- [24]. Mme ALI ABBOU SARAH , Mlle BENMLOUKA MAMA Caractéristique physico-chimiques des eaux embouteillées algérienne et vérification d'étiquetage, 2014, p35
- [25]. Frédéric BOUCHAR, Mesure de Salinité Réalisation d'un conductimètre, Novembre 2010,p03
- [26]. LEMKEDDEM Chems el houda, TELLI Nor el houda, Mesure des paramètres physico-chimiques de l'eau du lac lala fatma (Méggarine), 2014, p04
- [27]. Université des Sciences et de la Technologie d'Oran Mohamed Boudiaf Faculté de Chimie Département de Génie Chimique, Chimie des eaux -Dr. BENMOUSSA Hasnia 2017 / 2018
- [28]. Etude et contrôle physico-chimiques des mélanges d'eaux brutes du barrage de Tichy-haf et du puit de forage d'Ibourassen (Oued Ghir) pour la production de l'eau ultra-pure. Master Génie des Procédés Spécialité : Génie Chimique Université A.MIRA de Bejaia 2015-2016
- [29]. MAKHOUKH.M : Contribution à l'étude physico-chimique des eaux superficielles de l'oued Moulouya. Maroc (2011).
- [30]. Noura LKEBIR, Comportement hydro-chimique, qualité des eaux et cartographie de quelques minéralisations au voisinage de la mine de Hajjar (Plaine du Haouz, Maroc). 28 juin 2013
- [31]. GUERD Hadjera, MESGHOUNI Asma, Performance de la station de dessalement des eaux dans la région d El-Oued, 2007, p32
- [32]. carbone-organique-total<https://www.vetofish.com/definition/carbone-organique-total>, consulter le 27/04/2018
- [33]. carbone-organique-total<https://www.vetofish.com/definition/carbone-organique-total>, consulter le 27/04/2018
- [34]. Performances des procédés physico-chimiques et membranaires pour l'élimination des ions fluorure dans les eaux de forage : application aux eaux tunisiennes Anis Ben Nasr P13
- [35]. Performances des procédés physico-chimiques et membranaires pour l'élimination des ions fluorure dans les eaux de forage : application aux eaux tunisiennes Anis Ben Nasr P 14
- [36]. des procédés de culture des microorganismes Aly Eldeen Eltayeb, Omar Khalil, Said Al-Hallaj, Fouad Teymour\*; Design and modeling of optical modules for use in the —Emerald

## REFERENCES

---

- Forestl algae photobioreactors; Computers and Chemical Engineering 34 (2010) 1323–1340. 18/06/2011
- [37]. : <https://www.spirulinefrance.fr/la-compositon-record-de-la-spiruline>
- [38]. Doctorat de l'universite paris-saclay et de l'universite de sfaxpreparee a l'ecole centralesupelec paris école doctorale n° 579 doctorat : génie des procédés parmme hela ben amor ben ayed etude et optimisation de la bioaccumulation de magnésium dans les microalgues« chlorella vulgaris »
- [39]. Université mohamed kheider Biskra faculté des sciences exactes et sciences de la nature et de la vie Département de SNV
- [40]. <https://www.greenbloom.com/wp-content/uploads/2017/11/chlorella-1-e1509639186456.jpg>
- [41]. Performances des procédés physico-chimiques et membranaires pour l'élimination des ions fluorure dans les eaux de forage : application aux eaux tunisiennes Anis Ben Nasr 2013 P15
- [42]. Culture et production de spirulina platensis dansles eaux usees domestiques ould bellahcen t.1, bouchabchoub a.1, massoui m., el yachioui m.2 institut agronomique et vétérinaire hassan ii, b.p.6202, rabat, maroc.2u.f.r d'agro -ressources et chimie fine, Laboratoire de biotechnologie microbienne,faculté des sciences, B.P.133, Kenitra, Maroc. P4
- [43]. MANUEL physico-chimie, Le ADE d'Ouargla, 22/02/2011



---

# **Annexe**

---

## ANNEXES

---

### A- Milieu d'usage général pour algues vertes unicellulaires (Bold, 1967)

- Solutions stocks (pour chaque solution stock, masse à dissoudre dans un litre d'eau distillée)

1. **NaNO<sub>3</sub>** : 25 g
2. **CaCl<sub>2</sub>, 2H<sub>2</sub>O** : 2, 5 g
3. **K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>** : 7, 5 g
4. **KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>** : 17, 5 g
5. **MgSO<sub>4</sub>, 7H<sub>2</sub>O** : 7, 5 g
6. **NaCl** : 2,5 g
7. **EDTA**

Dissoudre 50 g d'acide éthylène-diamine-tétra-acétique et 31 g de potasse (KOH) dans un litre d'eau distillée

8. Solution de fer

Dissoudre 4,98 g de sulfate de fer heptahydrate (FeSO<sub>4</sub>, 7H<sub>2</sub>O) dans un litre d'eau acidifiée préparée en ajoutant 1 ml d'acide sulfurique à 999 ml d'eau distillée.

9. Solution de bore

Dissoudre 11,42 g d'acide borique (H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>) dans un litre d'eau distillée.

10. Microéléments

Dissoudre les sels suivants dans un litre d'eau acidifiée :

**ZnSO<sub>4</sub>, 7 H<sub>2</sub>O**: 8, 82 g

**MnCl<sub>2</sub>, 4 H<sub>2</sub>O**: 1, 44 g

**MoO<sub>3</sub>**: 0, 71 g

**CuSO<sub>4</sub>, 5 H<sub>2</sub>O**: 1, 57 g

**Co (NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>, 6 H<sub>2</sub>O**: 0, 49 g

Pour préparer un litre de milieu de culture à partir des 10 solutions stocks préparées à l'avance, mélanger 10 ml de chacune des solutions 1 à 6, 1 ml de chacune des solutions 7 à 10 et compléter à un litre avec de l'eau distillée.

## ANNEXES

---

Voici quelques photos prises lors de la préparation du milieu de culture **Figure 1**



**Figure 1** : *préparation du milieu de culture*

**B-** Les souches algales sont identifiées à l'aide d'un microscope au laboratoire (**Figure2**)



**Figure 2** : *microscope*

**C-** Le dosage des milieux de cultures avec du **Fe** a été effectué en pesant les grains du sodium Fluoride (**FNa**) selon chaque concentration que nous voulons (**figure3**)

- 0,5mg/l est l'équivalent de 0,005 mg dans 100 ml du milieu
- 1mg/l est l'équivalent de 0,1 mg dans 100 ml du milieu
- 1,5 mg/l est l'équivalent de 0,15 mg dans 100 ml du milieu
- 2 mg/l est l'équivalent de 0,2 mg dans 100 ml du milieu
- 2,5 mg/l est l'équivalent de 0,25mg dans 100 ml du milieu

## ANNEXES

---



**Figure 3,4,5 : dosage de fluor**

**D-** Le réactif utilisée pour la mesure de la concentration du Fe est de type SPADNS (**Figure 6**)



**Figure 6 : Réactif pour le Fluorure**

## ANNEXES

E- Les tableaux ci-dessous représentent les paramètres physico-chimiques des milieux de cultures utilisés dans ce travail

**Tableau 1 : les paramètres physico-chimiques des milieux de cultures**

Les paramètres	Chlorella MC	Spiruline MC	Spirogyra.sp
<b>PH</b>	7.85	8.18	7.22
<b>ORP (Mv ORP)</b>	191,4	234.3	269.9
<b>DO% Saturation</b>	48,7	9.3	26.0
<b>DO concentration (PpmDO)</b>	4.70	0.86	2.34
<b>Conductivité</b>	897	10.55	23.99
<b>Conductivité Absolue</b>	0,753	9.016	19.78
<b>Résistivité</b>	0.0011	0.0001	0
<b>TDS (Ppm.TDS)</b>	448	5282	12.01
<b>Salinité UPS</b>	0,44	6.01	14.64
<b>T<sup>ure</sup>(C°)</b>	16,45	17.29	15.75
<b>ATM pression ( Psi)</b>	14.614	14.637	14.607
<b>Mv (OH<sup>-</sup>)PH</b>	-46	-64.3	-11
<b>Sea water</b>	0.2	3.3	10.2

## ANNEXES

**F-** Les eaux industrielles prélevées de la station de traitement des eaux de la zone de Barkaoui utilisée pour le dessalement de pétrole brute, l'eau industrielle unité de Guellala section déshuilages a été obtenue le 13/02/2019 à 18h15 et encore mesurés les paramètres suivants (**Tableau 2**) :

**Tableau 2** : les paramètres physico-chimiques mesurés pour l'eau usée domestique utilisée

Les paramètres	Eau usée
Mv PH	86,8
PH	5,55
ORP (Mv ORP)	101,6
% O <sub>2</sub>	25,6
DO concentration (PpmDO)	1,13
Conductivité	151,9
Conductivité Absolue	127,1
Résistivité	00
TDS (Ppm.TDS)	76
Salinité (UPS )	70
Sea water	50
T <sup>ure</sup> (°C)	16,41
ATM Pression (PSI)	14,766