



République Algérienne Démocratique Et Populaire  
Ministère De L'enseignement Supérieur Et De La  
Recherche Scientifique  
Université Echahid Hama Lakhdar D'el-Oued  
Faculté Des Sciences De La Nature Et De La Vie  
Département De Biologie Cellulaire et Moléculaire



**MEMOIRE DE FIN D'ETUDE**

En vue de l'obtention du diplôme de Master Académique

**Filière :** Biologie cellulaire et moléculaire

**Spécialité :** Toxicologie Fondamental et appliqué

**THEME**

**Contribution à la bioremédiation des polluants  
organique par *Arthrospira platensis* dans les STEP  
N°1 Kouinine**

Soutenue publiquement le : 17/06/2021.

**Présenté par :** AHMIMID Hania  
HIMA Inasse  
BENTICHA Maria

Devant le jury composé de :

**Président :** ZAETTAL H.

**Examineur :** DJAHRA ALI B.

**Promoteur :** Mr : KIRAM A.

**Année universitaire 2020/2021**

## **Remerciements**

Je tiens à exprimer toute ma reconnaissance à mon directeur de mémoire, Mr KIRAM A. Je le remercie de m'avoir encadré, orienté, aidé et conseillé.

J'adresse mes sincères remerciements à tous les professeurs, intervenants et toutes les personnes qui par leurs paroles, leurs écrits, leurs conseils et leurs critiques ont guidé mes réflexions et ont accepté de me rencontrer et de répondre à mes questions durant mes recherches.

Je remercie mes très chers parents, qui ont toujours été là pour moi. Je remercie mes sœurs et mon frère, pour leurs encouragements.

Enfin, je remercie mes amis qui ont toujours été là pour moi. Leur soutien inconditionnel et leurs encouragements ont été d'une grande aide.

À tous ces intervenants, je présente mes remerciements, mon respect et ma gratitude.

## Résumé

Notre étude est basée et visée à l'étude le taux d'élimination des polluants organiques de les eaux usées par *Arthrospira platensis* dans les STEP N°1 Kouinine, différente technique de culture spiruline, différente technique de traitement d'eaux usées et apprendre les différentes analyses physico-chimiques. Notre travail est organisé selon une approche scientifique des données références et expériences de laboratoire. Les étapes sont résumées comme suit : augmentation la biomasse de la souche pendant une période de deux semaines ; puis culture de la souche dans les eaux usées de la station de Kouinine-El-Oued après l'avoir filtrée et stérilisée ; en plus de fournir toutes les conditions nécessaires à la survie de la souche vivante. Pendant les deux semaines de la bioremédiation ; nous avons analysé les paramètres physicochimiques et enregistré les résultats obtenus ; qui sont les suivants la température était constante à 32 C ° ; Ph en augmentation ; là où il était de 8,2 le premier jour, pour atteindre 9,9 au dernier jour. Conductivité diminué de 6,3 ms/cm à 5,3 ms/cm. Et pour les polluants organiques NH<sub>3</sub>, NO<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub>, NT *Arthrospira platensis* a pu réduire ces polluants des pourcentages suivants, respectivement (76,4 %), (39,5%), (80%), (55,5%), Ce qui correspond avec a été enregistré Mostafa M. El-Sheekh, et K. Chojnacka. De là, nous voyons que *Arthrospira platensis* est capable d'éliminer les polluants organiques des eaux usées, avec mérite et une grande efficacité.

Mots clés : spiruline, cyanobactérie, *Arthrospira platensis*, biomasse, milieu de culture, bioremédiation, eaux usées, polluants organiques.

## المخلص

تستند دراستنا وتهدف إلى دراسة معدل التخلص من الملوثات العضوية من مياه الصرف الصحي بواسطة *Arthrospira platensis* من محطة كوينين رقم 1 بالوادي، وتقنية استنبات سبيرولينا المختلفة، وتقنيات معالجة مياه الصرف الصحي المختلفة، وتعلم التحليلات الفيزيائية والكيميائية المختلفة. يتم تنظيم عملنا وفق منهج علمي للبيانات المرجعية والتجارب المعملية. يتم تلخيص الخطوات على النحو التالي: زيادة الكتلة الحيوية للسلالة على مدى أسبوعين. ثم استزراع السلالة في مياه الصرف الصحي بمحطة كوينين الوادي بعد تصفيته وتعقيمها. بالإضافة إلى توفير كافة الشروط اللازمة لبقاء السلالة الحية. خلال أسبوعين من المعالجة البيولوجية؛ قمنا بتحليل المعلمات الفيزيائية والكيميائية وسجلنا النتائج التي تم الحصول عليها؛ وهي كما يلي، كانت درجة الحرارة ثابتة عند 32 درجة مئوية؛ زيادة PH حيث كان 8.2 في اليوم الأول، ليصل إلى 9.9 في اليوم الأخير. انخفضت الموصلية من 6.3 مللي ثانية / سم إلى 5.3 مللي ثانية / سم. وبالنسبة للملوثات العضوية NH<sub>3</sub>، NO<sub>3</sub>، NO<sub>2</sub>، NT، كانت *Arthrospira platensis* قادرة على تقليل هذه الملوثات بالنسب التالية، على التوالي (76.4 %)، (39.5 %)، (80 %)، (55.5 %)، ما يتوافق مع ما سجله الشيخ مصطفى م وشوجناكا. ك. من هذا، نرى أن *Arthrospira platensis* قادرة على إزالة الملوثات العضوية من مياه الصرف بجدارة وكفاءة عالية.

**الكلمات المفتاحية:** سبيرولينا، البكتيريا الزرقاء، *Arthrospira platensis*، الكتلة الحيوية، وسط المزرعة، المعالجة الحيوية، مياه الصرف الصحي، الملوثات العضوية.

**Liste de tableau**

**Tableau 1** : Diversité des micro-algues eucaryotes et procaryotes, marines et d'eau douce. .... 17  
**Tableau 2** : composition chimique du milieu de culture. .... 57

### Liste des figures

<b>Figure 1</b> : Diversité morphologique des micro-algues .....	17
<b>Figure 2</b> : Phases lumineuse et obscure de la réaction de photosynthèse .....	18
<b>Figure 3</b> : Courbe de croissance d'une micro-algue en fonction de temps .....	19
<b>Figure 4</b> : Spirulines observées au microscope : spiruline platensis .....	21
<b>Figure 5</b> : Morphologie typique d'A. platensis .....	23
<b>Figure 6</b> : la morphologie de dix souches d'A. Platensis. Les barres d'échelle, 100 µm .....	24
<b>Figure 7</b> : Cycle biologique de reproduction de la spiruline .....	25
<b>Figure 8</b> : Composition chimique de la spiruline .....	25
<b>Figure 9</b> : Les eaux usées dans le cycle de l'eau .....	33
<b>Figure 10</b> : Schéma de principal des étapes de prétraitement des eaux usées .....	35
<b>Figure 11</b> : Lit bactérien .....	36
<b>Figure 12</b> : Schéma de traitement des eaux usées par boues activées .....	36
<b>Figure 13</b> : Illustration graphique des procédés aérobie et anaérobie .....	37
<b>Figure 14</b> : Schématisation des interactions entre métaux et bactéries .....	42
<b>Figure 15</b> : Structure de la membrane plasmique .....	43
<b>Figure 16</b> : Transport passif et transport actif .....	44
<b>Figure 17</b> : Canaux ioniques à ouverture contrôlée par le ligand .....	45
<b>Figure 18</b> : Canaux ioniques à ouverture contrôlée par la tension .....	45
<b>Figure 19</b> : Bioaccumulation de métaux par des organismes aquatiques .....	46
<b>Figure 20</b> : Carte de situation de STEP 01 Kouinine .....	49
<b>Figure 21</b> : Schéma présenté station de lagunage aéré de STEP de kouinine N°01 .....	50
<b>Figure 22</b> : Dégrillage. ....	51
<b>Figure 23</b> : Dessablage. ....	51
<b>Figure 24</b> : Répartiteur vers les bassins d'aération. ....	52
<b>Figure 25</b> : Lagune aéré. ....	52
<b>Figure 26</b> : Aérateur. ....	53
<b>Figure 27</b> : Lagune de finition. ....	53
<b>Figure 28</b> : Lit de séchage des boues. ....	54
<b>Figure 29</b> : la région de prélèvement de la souche. ....	56
<b>Figure 30</b> : La souche d'Arthrospira platensis. ....	56
<b>Figure 31</b> : Milieu de culture. ....	58
<b>Figure 32</b> : Dispositif expérimental. ....	59
<b>Figure 33</b> : Température de la souche. ....	60

## Liste de Figures

---

<b>Figure 34</b> : observation microscopique en <b>G×10</b> .....	62
<b>Figure 35</b> : <i>Arthrospira platensis</i> en <b>G×40</b> . ....	62
<b>Figure 36</b> : Histogramme de variation de température T°C dans milieu Zarrouk. ....	69
<b>Figure 37</b> : Histogramme de variation potentiel hydrique (PH) dans milieu Zarrouk.....	70
<b>Figure 38</b> : Histogramme de variation biomasse dans milieu Zarrouk.....	71
<b>Figure 39</b> : Histogramme de variation conductivité dans milieu Zarrouk. ....	72
<b>Figure 40</b> : Histogramme de variation des valeurs de NH <sub>3</sub> , NO <sub>2</sub> et NO <sub>3</sub> dans milieu Zarrouk.....	73
<b>Figure 41</b> : Histogramme de variation des valeurs de l'azote totale dans milieu Zarrouk. ....	74
<b>Figure 42</b> : Histogramme de variation de température T°C dans milieu ordinaire.....	75
<b>Figure 43</b> : Histogramme de variation potentiel hydrique (PH) dans milieu ordinaire. ....	76
<b>Figure 44</b> : Histogramme de variation biomasse dans milieu ordinaire. ....	77
<b>Figure 45</b> : Histogramme de variation conductivité dans milieu ordinaire. ....	78
<b>Figure 46</b> : Histogramme de variation des valeurs de NH <sub>3</sub> , NH <sub>2</sub> et NO <sub>3</sub> dans milieu ordinaire. ...	79
<b>Figure 47</b> : Histogramme de variation des valeurs de NT dans milieu ordinaire. ....	80

## Liste d'abréviation

---

### Liste d'abréviation

**ONA** : Office National de l'Assainissement

**STEP** : Station d'épuration

**PH** : Potentiel hydrogène

**T** : Température

**NO<sub>3</sub>** : Nitrates (mg/l)

**NO<sub>2</sub>** : Nitrites (mg/l)

**NH<sub>4</sub>** : Ammonium (mg/l)

**NT** : Azote total

**°C** : Degré Celsius

## Sommaire

---

### Partie I : Synthèse bibliographique

Introduction.....	12
Chapitre I : Généralités sur les micro-algues	
1. Définition des micro-algues .....	16
2. Classification des micro-algues .....	17
3. Mécanisme de la photosynthèse chez les micro-algues .....	18
4. Croissance des micro-algues.....	19
Chapitre II : Généralité sur la spiruline	
1. Définition de la spirulina.....	21
2. Historique.....	21
3. Classification et taxonomie.....	22
4. Morphologie des différentes souches d' <i>Arthrospira platensis</i> .....	22
5. Cycle biologique de reproduction .....	24
6. Composition et valeur nutritionnelle .....	25
7. Conditions de croissance.....	27
8. Production de la spiruline .....	27
9. Essais de culture de la spiruline en Algérie .....	28
10. Principales applications de la spiruline.....	29
Chapitre III : Généralité sur les eaux usées	
1. Définition des eaux usées.....	33
2. Origine .....	33
2.1. Eaux usées domestiques .....	33
2.2. Eaux usées industrielles.....	34
2.3. Eaux agricoles .....	34
2.4. Eaux pluviales .....	34
3. Traitements des eaux usées .....	34
3.1. Prétraitement.....	34
3.1.1. Le dégrillage.....	34
3.1.2. Le dessablage.....	35
3.1.3. Le déshuilage.....	35
3.2. Traitements physico-chimiques (traitements primaires).....	35
3.3. Traitements biologiques (traitements secondaires) .....	36
3.3.1. Les procédés biologiques extensifs .....	37
3.3.2. Les procédés biologiques intensifs .....	37
3.4. Traitements tertiaires .....	38
Chapitre IV : La bioremédiation	
1. Définition La bioremédiation.....	40

## Sommaire

---

2. Les processus de la bioaccumulation .....	40
2.1. La bio-sorption (absorption).....	40
2.2. L'adsorption .....	40
3. Réactivité des bactéries vis à vis des métaux.....	41
4. Réactivité des champignons vis à vis des métaux .....	42
5. Biosorption des métaux lourds par les micro-algues .....	43
5.1. Caractères biochimiques des micro-algues .....	43
5.2. Potentiel de la membrane .....	43
5.2.1. Diffusion simple .....	44
5.2.2. Diffusion facilitée .....	45
5.3. Mécanisme de bioaccumulation des métaux lourds par les micro-algues .....	45

### Partie pratique

#### Chapitre I : Présentation de la station STEP 1

1. Présentation de la station d'épuration STEP1 .....	48
2. Situation géographique de la station d'épuration.....	48
3. Objectif de traitement de la station .....	49
4. Description de STEP1 .....	49
5. Procédés d'épurations des eaux usées dans la station.....	50

#### Chapitre II : Matériels et Méthodes

1. Matériel d'étude .....	56
1.1. Matériel biologique .....	56
1.2. Matériel non biologique .....	57
2. Méthodes d'étude .....	57
2.1. Suivi de croissance d' <i>Arthrospira platensis</i> par milieu Zarrouk.....	57
2.1.1. Préparation du milieu de culture .....	57
2.1.2. Dispositif expérimental.....	59
2.1.3. Évolution de la croissance d' <i>Arthrospira platensis</i> .....	59
2.1.3.1. Étude de l'évolution des paramètres physico-chimiques .....	59
2.1.3.2. Étude des caractéristiques d' <i>Arthrospira platensis</i> .....	61
2.2. Bioremédiation par <i>Arthrospira platensis</i> .....	62
2.2.1. Analyses des paramètres physico-chimiques des eaux usées.....	62
2.2.1.1. Analyses des paramètres physico-chimiques des eaux polluées .....	62
2.2.1.2. Analyse des paramètres physico-chimiques des eaux traitées .....	65
2.2.2. Suivi de bioremédiation des polluants organiques par <i>Arthrospira platensis</i> .....	65
2.2.2.1. Préparation du milieu ordinaire .....	65
2.2.2.2. Bioremédiation .....	65

## Sommaire

---

2.2.2.3. Étude de l'évolution des paramètres physico-chimiques .....	65
Résultats et discussion	
1. Suivi la croissance de <i>Arthrospira platensis</i> dans le milieu Zarrouk .....	69
1.1. Température (T°C) .....	69
1.2. Potentiel hydrique (PH) .....	70
1.3. Biomasse.....	71
1.4. Conductivité.....	72
1.5. Ammoniac, Nitrate et Nitrite.....	73
1.6. L'Azote totale.....	74
2. Suivi la bioremédiation des polluants organiques par <i>Arthrospira platensis</i> .....	75
2.1. Température (T°C) .....	75
2.2. Potentiel hydrique (PH) .....	76
2.3. Biomasse.....	77
2.4. Conductivité.....	78
2.5. Ammoniac, Nitrate et Nitrite.....	78
2.6. L'Azote totale.....	80
Conclusion .....	82
Références Bibliographiques .....	83
Annexe .....	89

# Introduction

### Introduction

L'eau est un élément précieux indispensable à la vie, cette ressource naturelle recouvre les trois quarts de notre planète, avec seulement 0,014% d'eau douce (**Nehme, 2014**), il s'agit des eaux superficielles (rivières, lacs et étangs). De plus, sa répartition étant non homogène à la surface du globe, cette ressource représente à la fois un enjeu politique, économique et stratégique. En effet, l'eau a un rôle fondamental dans de nombreux domaines comme la potabilisation, l'agriculture, l'industrie, la production d'électricité ainsi que les usages domestiques.

D'après des études récentes réalisées par l'Organisation des Nations Unies (ONU), près de la moitié de la population des pays méditerranéens se trouvera en situation de tension ou de pénurie d'eau en 2025 (**Rais, 1999**). Aujourd'hui, les ressources en eau douce sont exposées à diverses pollutions d'origine multiples : industrielle, urbaine et agricole, générant des dommages pour l'homme et pour son environnement (la faune et la flore). Cette menace a déclenché une prise de conscience dans le monde entier, et a poussé les chercheurs à s'intéresser à l'étude de l'état de contamination des milieux aquatiques.

Il y a différentes méthodes pour la dépollution par lesquelles la bioremédiation, les bactéries peuvent interagir avec les métaux via différents mécanismes. On peut observer une transformation des métaux par des processus d'oxydation/réduction. Ces modifications modifient généralement la toxicité et la mobilité du métal d'origine. Ou par réactivité des champignons vis à vis des métaux, l'absorption des métaux lourds par les champignons est conditionnée par de nombreux facteurs physico-chimiques tels que le pH, la température, la matière organique, la nature des cations et des anions, la forme chimique du polluant, sa concentration, ses interactions possibles avec d'autres éléments constituent des paramètres essentiels déterminants l'interaction entre les métaux lourds et les champignons.

La bioremédiation est un processus métabolique actif de l'absorption des toxiques par les cellules vivantes. Les métaux ou d'autres substances sont transportés à l'intérieur des cellules, puis accumulés intracellulaires (**Inga et Liliana, 2016**). C'est le processus par lequel un organisme vivant absorbe une substance à une vitesse plus grande que celle avec laquelle il l'excrète ou la métabolise. Elle désigne donc la somme des absorptions d'un élément par voie directe et alimentaire par les espèces animales aquatiques ou terrestres (**Ramade, 1992 ; Stello, 2005 ; Benguedda, 2012**).

La bioremédiation par les micro-algues trois mécanismes de prise en charge des métaux ont été identifiés pour les algues, transport facilité du cation, impliquant, soit un transporteur transmembranaire protéique, soit un canal transmembranaire. C'est la voie qui prédomine transport facilité d'un complexe métallique anionique, impliquant un transporteur d'anions relativement peu sélectif c'est un transport " accidentel ", qui sert normalement à transporter les éléments essentiels

## Introduction

---

transport passif par simple diffusion d'un complexe métallique neutre ces complexes peuvent traverser les membranes biologiques directement, sans devoir emprunter les systèmes (canaux) impliqués dans le transport membranaire.

Les micro-algues sont des microorganismes unicellulaires photosynthétiques .Bien qu'essentiellement eucaryotes ; un groupe procaryote représenté par les cyanobactéries figure dans cette grande famille des micro-algues.

La spiruline est une algue microscopique de forme spiralée. En effet, elle se présente sous la forme d'un filament pluricellulaire (appelé trichome) bleu-vert, mobile, non ramifié et enroulé en spirale. Ce filament de forme hélicoïdale et observable uniquement en milieu liquide au microscope caractérise le genre.

Les dernières années ont été marquées en Algérie par un effort important et croissant consacré à la lutte contre la pollution, surtout dans le domaine de la protection et de la valorisation des ressources en eau, cet effort s'est matérialisé par un large développement d'installation des stations d'épuration des eaux usées et par un suivi plus efficace de leurs performances (**Benelmouaz, 2015**). Le traitement des eaux est indispensable pour la préservation de notre environnement. Il permet de limiter l'impact de la diverse pollution liée à l'activité humaine (**Abouzlam, 2006**). L'eau usée épurée qui peut être réutilisée en secteur agricole ou rejetée dans la nature sans effet nocif sur les sols, les plantes et l'être humain donc sur l'environnement (**Khemic, 2014**), malgré il contient 51 sites de zones humides dans la convention de RAMSAR mais il n'y a pas des études sur la bioremédiation par des micro-algues et la spiruline.

Dans cette étude, on va étudier la capacité de bioremédiation par la souche Arthrospira platensis dans les STEP N°1 Kouinine, alors quel est la capacité de bioremédiation des polluants organiques par la souche Arthrospira platensis dans les STEP N°1 Kouinine d'EL-OUED ?

Notre travail, vise à l'étude le taux d'élimination des polluants organiques de les eaux usées par Arthrospira platensis dans les STEP N°1 Kouinine, différente technique de culture spiruline, différente technique de traitement d'eaux usées et apprendre les différentes analyses physico-chimiques. Ce manuscrite est divisé en une deux parties : une partie bibliographique et une partie expérimentale.

La première partie comportera 04 chapitres, le premier chapitre est une généralité sur les micro-algues, le deuxième chapitre est une généralité sur la spiruline. Le troisième est une généralité sur les eaux usées et la quatrième est une généralité sur les bioremédiation. La deuxième partie contiendra un chapitre est consacré à la présentation de STEP et les étapes de traitement et l'épuration des eaux

## **Introduction**

---

usées la deuxième contiendra un chapitre qui résume l'échantillonnage et la préparation des milieux de cultures et le milieu ordinaire et les méthodes d'analyse des paramètres physicochimiques, ainsi qu'un deuxième chapitre qui va regrouper les résultats et les discussions.

# **Chapitre I : Généralités sur les micro-algues**

## Chapitre I : Généralités sur les micro-algues

### 1. Définition des micro-algues

Les micro-algues sont des microorganismes unicellulaires photosynthétiques. Bien qu'essentiellement eucaryotes ; un groupe procaryote représenté par les cyanobactéries figure dans cette grande famille des micro-algues. La taille des micro-algues est très variable ; allant du micromètre (pico-plancton) à plusieurs centaines de microns (**Fig.1**). Les micro-algues sont responsables de 20 % de la fixation de carbone et de 40 % de la production primaire en milieu marin (**Fiel et al., 1999**). Elles sont également à la base des chaînes alimentaires aquatiques et constituent un élément important du régime alimentaire des organismes marins ; en particulier des bivalves (**borowtzaka, 1997**).

Deux cent milles à plusieurs milliers d'espèces répertoriées (**Norton et al., 1996**) colonisent différents types d'habitats présentant une hygrométrie minimal ; telle que les habitats aquatiques ; marins ; saumâtres ou d'eau douce et peuvent même se trouver dans des environnements hostiles à la vie tels que les déserts ou les glaciers. Elles seraient présentes sur les plumes d'oiseaux (**Croll et Holmes, 1942**) ; éponges et autres carapaces de tortues de mer (**Wetzel et al., 2010**) ; cordages de navires. Des biofilms de micro-algues peuvent se former sur différents supports marins causant des dégâts importants.

Des blooms de micro-algues observés sur les différents milieux aquatiques témoignent de l'état d'insalubrité de se milieu et rendent les micro-algues l'un des moyens de surveillance de l'environnement. Les espèces *Chlorella vulgaris* et *Chlamydomonas Reinhardt* sont utilisées dans surveillance des milieux sensibles (**Ferro et al., 2012**). Des suivis d'images satellitaires font l'objet de nombreux travaux d'observation de l'état de la méditerranée. Les micro-algues présentent de larges applications en aquaculture pour l'alimentation des larves de mollusques bivalves ; de poissons ; de crevettes ; des huiles (**Sarakov et al., 2015**).

Leurs métabolites à grande valeur ajoutée font l'objet d'utilisation dans différents domaines. Médicale ; pharmaceutiques ; cosmétiques ; et autres (**De Jesus Raposo et al., 2013**).

La reproduction chez les micro-algues peut être asexuée par mitose ; ou sexuée par l'union de gamètes.

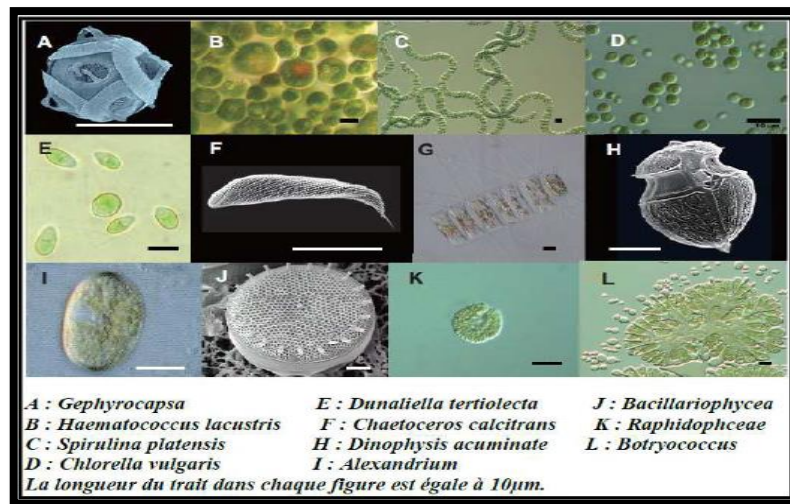


Figure 1 : Diversité morphologique des micro-algues (SUMI, 2009 in FILLALI, 2012).

## 2. Classification des micro-algues

Les micro-algues constituent un groupe extrêmement hétérogène rassemblé autour d'une cohérence physiologique : la photosynthèse oxygénique (Andersen, 1992). Cette famille rassemblerait de plusieurs centaines de milliers à plusieurs millions d'espèces selon les estimations, parmi lesquelles 47000 espèces sont décrites (Andersen et al., 1997).

La classification (Tab.1) de cette diversité est complexe et la taxonomie est sujette à de fréquents bouleversements du fait notamment de l'utilisation des techniques de phylogénie moléculaire (Sharma et Rai, 2011).

Tableau 1: Diversité des micro-algues eucaryotes et procaryotes, marines et d'eau douce (d'après, Jeffrey et al., 1997; Sharma et Rai, 2011).

Règne	Embranchement \ classe
Procaryotes	Cyanophytes
	Prochlorophytes
Eucaryotes	Bacillariphytes
	Charophytes
	Chlorophytes
	Chrysophytes
	Cryptophytes
	Dinophytes
	Euglenophytes

	Glaucophytes
	Haptophytes
	Phaeophytes
	Phodophytes

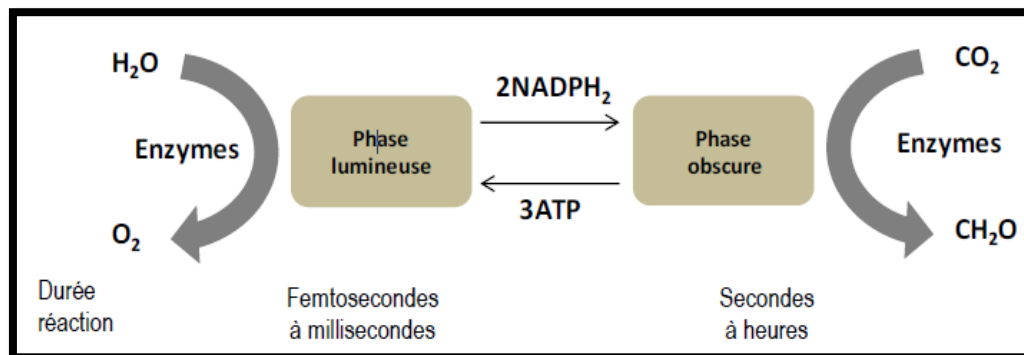
### 3. Mécanisme de la photosynthèse chez les micro-algues

Les micro-algues eucaryotes et procaryotes ont en commun la photosynthèse oxygénique. Cette réaction assure la transformation du carbone inorganique en énergie chimique en captant l'énergie lumineuse. C'est dans le chloroplaste que se réalise cette conversion.

Ce sont dans les chloroplastes que se déroule la réaction de photosynthèse. Ce mécanisme consiste en une réaction d'oxydoréduction catalysée par l'énergie lumineuse et qui convertit le dioxyde de carbone et l'eau en sucre simples et en oxygène.



Cette réaction globale se réalise en deux étapes (phase lumineuse et phase obscure) séparées dans l'espace et dans le temps (**Fig.2**).



**Figure 2** : Phases lumineuse et obscure de la réaction de photosynthèse (Sialve et Steyer, 2013).

- **Phase lumineuse**

Cette réaction rapide est réalisée dans la membrane du chloroplaste. Elle permet la conversion de l'énergie lumineuse en énergie chimique pour produire du NADPH<sub>2</sub> et de l'ATP. L'oxygène libéré résulte de la dissociation de la molécule d'eau consommée. Cette réaction est particulièrement rapide (Sialve et Steyer, 2013).

- **Phase « obscure » ou sombre**

Le siège de la réaction est situé dans le stroma (**Fig.2**) où les produits de la phase claire vont participer à la réduction du CO<sub>2</sub> en glucides. Cette étape est significativement plus lente que la précédente (**Sialve et Steyer, 2013**).

#### 4. Croissance des micro-algues

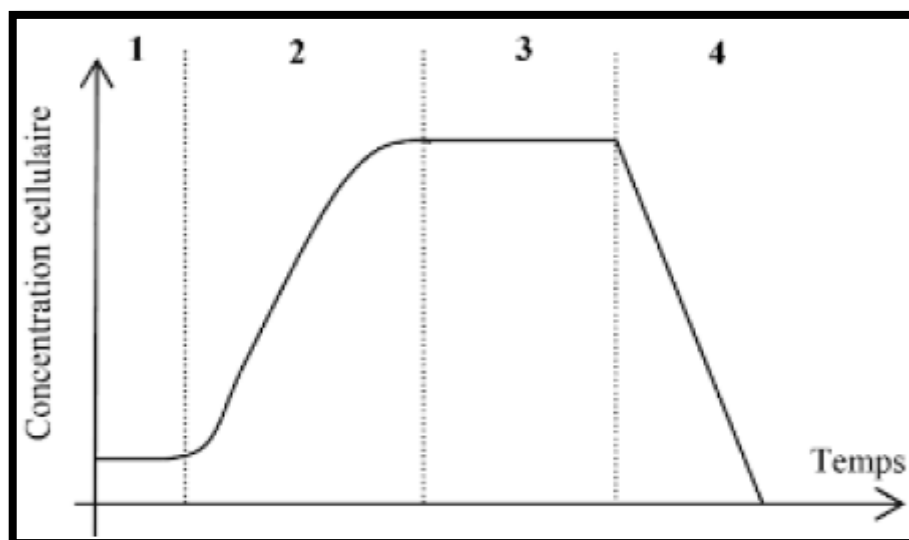
Similaire à celle des bactéries la courbe de croissance des micro-algues se caractérise par la présence de quatre phases (**Fig.3**).

**Phase de latence (1) :** phase d'adaptation aux conditions de culture. La croissance lente (**Andersen, 2005**).

**Phase exponentielle (2) :** les cellules se multiplient très vite. Cette phase est définie de par le caractère exponentiel de la croissance. La vitesse de croissance de la culture est optimale dans les conditions optimales du milieu (**Andersen, 2005**).

**Phase stationnaire (3) :** est une phase de réduction de nutriments. Le taux de morbidité est égal au taux de croissance. Les microorganismes ont tendance à accumuler de métabolites au lieu de croître. Cette phase est idéale pour l'accumulation de la matière lipidique ainsi que des métabolites secondaires. En effet, lors de la valorisation des métabolites de micro-algues cette phase est choisie pour la production en masse de ces métabolites (**Andersen, 2005**).

**Phase de déclin (4) :** dite aussi de sénescence, est due à un épuisement des nutriments provoquant la mort cellulaire (**Andersen, 2005**).



**Figure 3 :** Courbe de croissance d'une micro-algue en fonction de temps (**Grobbelar, 2004**).

## **Chapitre II : Généralités sur la spiruline**

## Chapitre II : Généralités sur la spiruline

### 1. Définition de la spirulina

La spiruline est une algue microscopique de forme spiralée. En effet, elle se présente sous la forme d'un filament pluricellulaire (appelé trichome) bleu-vert, mobile, non ramifié et enroulé en spirale (**Fig.4**). Ce filament de forme hélicoïdale et observable uniquement en milieu liquide au microscope caractérise le genre. (**Zissis, 2017**).



**Figure 4** : Spirulines observées au microscope : spiruline platensis (**Zissis, 2017**).

La taille de la spiruline varie suivant la souche et les conditions de culture. Cependant, on observe une longueur moyenne du filament de l'ordre de 250  $\mu\text{m}$  et avec un diamètre d'environ 10  $\mu\text{m}$  (**Zissis, 2017**).

### 2. Historique

Lorsque les Espagnols envahirent l'Amérique Centrale, les Aztèques, peuple originel du Mexique. Ils constatèrent qu'ils se nourrissaient essentiellement de maïs et d'une sorte de boue bleue verte ou le Tecuiltat à haute valeur nutritive extraite du lac Tex coco. Ce Tecuiltat considérée par les colons comme d'origine minérale, et consommé par les indigènes après avoir été séchée et broyée, était en fait de la spiruline (**Paniagua et al., 1993**).

En Afrique, lors d'une expédition franco-belge basée au Tchad (1964-1965), le botaniste belge, J.Léonard avait constaté que les Kanembous (habitants du royaume Kanouris du sud Kanem) écumaient la surface des mares aux environs du lac Tchad, mares riches en carbonates de sodium, à la recherche de la fameuse algue abondante sur ce lac et récoltée sous forme d'une purée bleu-vert.

Cette purée était ensuite utilisée dans la préparation de galettes vendues dans la région et appelées (Dihé) (**Girardin-Andreani, 2005**).

*Arthrospira platensis* communément appelée (spiruline) et considérée à l'origine comme une algue, a été décrite pour la première fois par Wittrock et Nordsted en 1844 sous le nom de spirulina jenneri platensis Nordeste. En 1960 une claire distinction entre procaryote et eucaryote a été définie, sur la base de la différence d'organisation cellulaire. En 1962, Stanier et Van Niel constataient que cette algue bleu verte était dépourvue de compartiments cellulaires et donc faisait partie des procaryotes (**Stanier et Van, 1962**). Ils proposèrent de considérer ce microorganisme comme étant une Cyanobactérie. Cette nouvelle désignation est finalement acceptée et figure pour la première fois au (**Bergey's Mnuel of Determinative Bacteriology en 1974**) (**Castenholz, 1989**).

### 3. Classification et taxonomie

La spiruline est classée selon Ripley Fox (**Fox, 1999**) comme suit :

Règne : Monera

Sous Règne : Procaryotes

Phylum : Cyanophyta

Class : Cyanophyceae

Ordre : Nostocales (ou Oscillatoriales)

Famille : Oscillatoriaceae

Genre : Arthrospira

### 4. Morphologie des différentes souches d'*Arthrospira platensis*

La Spirulina a une longueur moyenne de 250  $\mu\text{m}$  lorsqu'elle possède de 7 spires. Elle est composée de filaments mobiles (de 10 à 12  $\mu\text{m}$  de diamètre), no ramifiés, enroulés en spirales, qui la font ressembler à un ressort à boudin, d'où le nom de "spiruline" (**Zarrouk, 1966**). La largeur des trichomes, composée de cellules cylindriques plus courts que larges, varie d'environ 6 à 12  $\mu\text{m}$ .

Pour la forme spiralée, la hauteur de l'hélice : h est déterminée par l'équation (1.1) (**Vonshak, 2002**).

$$h = 2 \cdot \pi \cdot r \cdot \cos\alpha$$

(Équation 1.1)

R est le rayon de la surface cylindrique, représente la pente de la courbe en hélice.

Les facteurs environnementaux physiques principalement la température et la condition chimiques, peuvent affecter la génératrices du cylindre, représente la pente de la courbe en hélice.

Les facteurs environnementaux physiques principalement la température et la condition chimique, peuvent affecter la géométrie de l'hélice (Jeeji, 1985).

En effet, en plus de la forme de spiruline spiralée classique, on trouve parfois des formes ondulées ou droites. Selon son origine, de nombreuses souches (Paracas, lonar... etc.) ont pu être décrites (Fig.5) (Jeeji, 1985).

Selon Jourdon (2011), les souches droites sont génétiquement de vraies spirulines mais elles présentent des inconvénients liés le plus souvent, à la difficulté d'être récoltées. Toutes les souches droites ne sont pas intéressées, les "longues" sont faciles à récolter et les "endémiques" qui cohabitent avec les Paracas (souche ondulée) sans les envahir ce qui ne rend pas le récolte très difficile. Zhou et al. (2013) ont caractérisé également différentes souches d'*Arthrospira platensis* présentant différentes formes (fig.6).

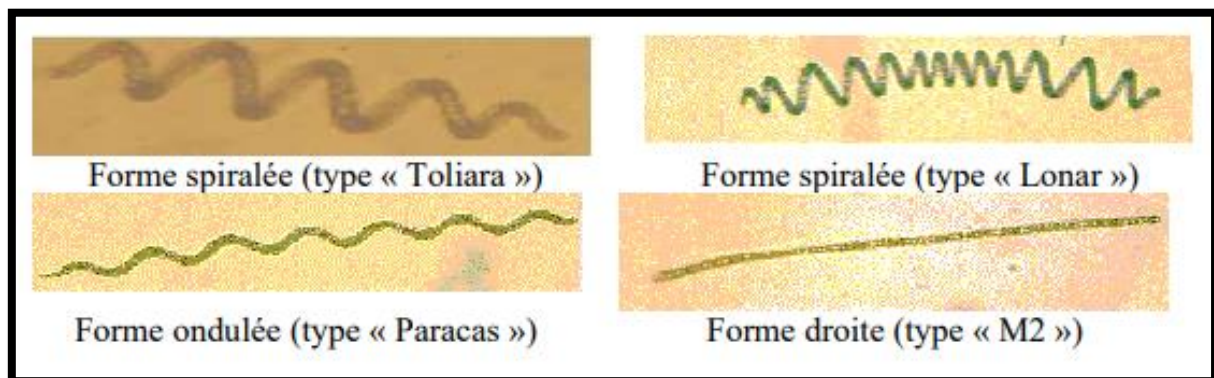
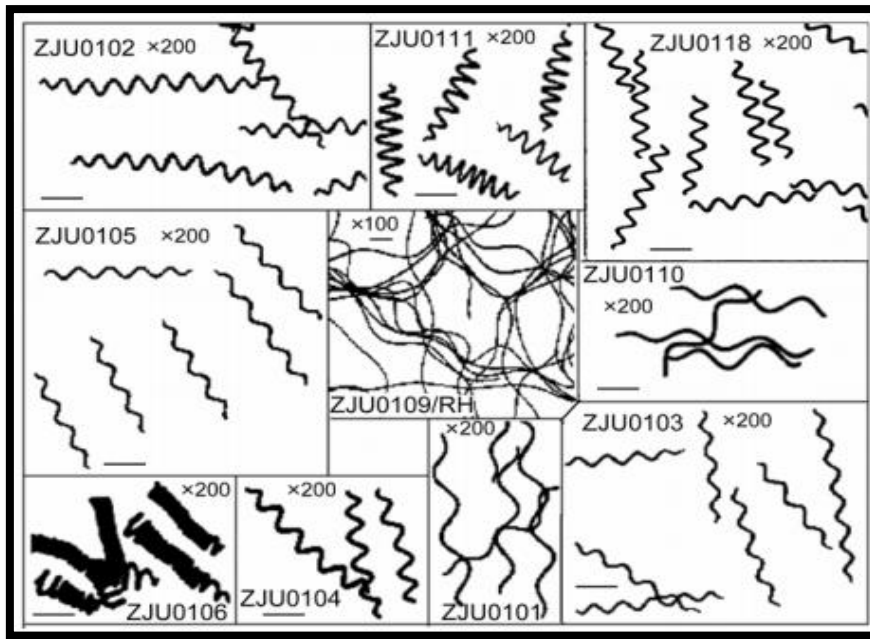


Figure 5 : Morphologie typique d'*A. platensis* (Falquet et Hurnl, 2006).



**Figure 6 :** la morphologie de dix souches d'*A. Platensis*. Les barres d'échelle, 100  $\mu\text{m}$  (Zhou et al., 2013).

## 5. Cycle biologique de reproduction

La spiruline se reproduit suivant un mode végétatif, une multiplication asexuée qui suit le principe de la bipartition par scission simple. C'est donc une segmentation des filaments qui s'effectue en plusieurs étapes.

- Une fois la maturité atteinte, les filaments de la spiruline forment des nécriides, des cellules ayant un aspect concave.
- Il s'ensuit une fragmentation du trichome à partir des nécriides aboutissant à de nouveaux filaments constitués de 2 à 4 cellules appelées hormogonies. Ces derniers croissent par division binaire et prennent la forme typique hélicoïdale, chacune des cellules donne deux cellules par scissiparité (Fig.7) (Manet, 2016).

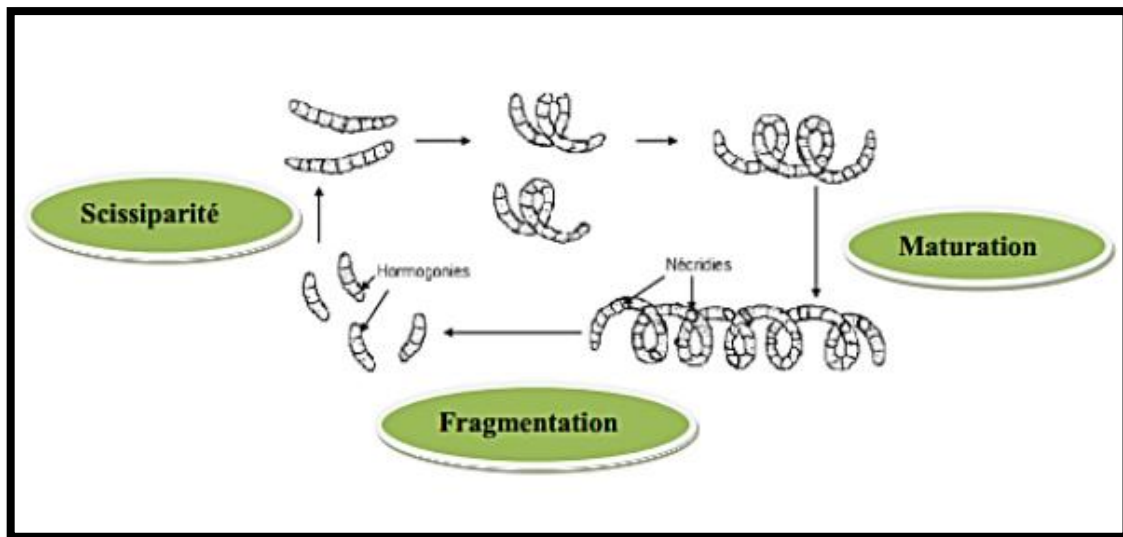


Figure 7 : Cycle biologique de reproduction de la spiruline (Charpy et al., 2008).

## 6. Composition et valeur nutritionnelle

La spiruline comprend dans sa composition entre 60 et 70% de protéines, 15% de glucides, 6% de lipides, 7% de minéraux et de 3 à 6% d'eau (Fig.8) (Niangoren, 2017).

- **Les protéines**

Les protéines présentes sont considérées comme le principal atout de cette algue, car aucun aliment n'en concentre autant (Barth et Léo, 2019). Cependant cette composition peut varier selon les conditions de culture, la période de récolte, l'origine géographique ainsi que plusieurs autres paramètres (Niangoren, 2017).

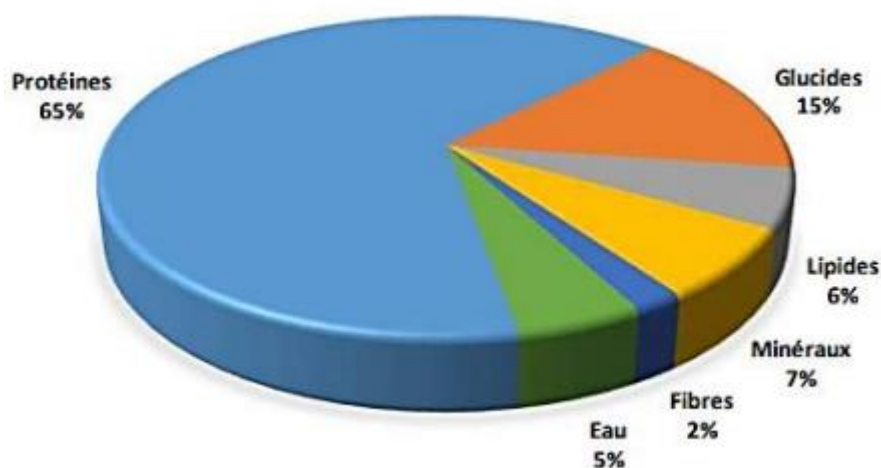


Figure 8 : Composition chimique de la spiruline (Lecointre, 2017).

- **Les glucides**

Les glucides présents à hauteur d'environ 15% dans la spiruline sèche, sont principalement apportés sous forme de glycogène et de rhamnose. Le glucose, le fructose, le saccharose et les quelques polyols comme le glycérol, le mannitol et le sorbitol, ne sont présents qu'en très faibles quantités (**Niangoran, 2017**).

- **Les lipides**

Les lipides de la spiruline qui représentent environ 5 à 6% de son poids total dévoilent un équilibre optimal entre les oméga-3 et 6 (**Sall et al., 1999**).

- **Les minéraux**

Les minéraux spécialement intéressants dans la spiruline sont le fer, le zinc, le magnésium, le calcium, le phosphore et le potassium (**Dansou, 2002**).

- **Les vitamines**

La spiruline offre de nombreuses vitamines des vitamines du groupe B (vitamines B1, B2 et B12) qui participent au métabolisme énergétique et au fonctionnement du système nerveux et la  $\beta$  carotène, précurseur de la vitamine A, qui joue un rôle essentiel dans la vision, la reproduction des cellules et le fonctionnement normal du système immunitaire (**Miranda, 1998**).

- **Les enzymes**

De nombreuses enzymes entrent aussi dans la composition de la spiruline, sortes de « facilitateurs » biologiques, dont l'exceptionnel SOD (superoxyde dismutase), qui représente une arme majeure contre l'oxydation ou le vieillissement cellulaire (**Ahounou, 2018**).

- **Les pigments**

Les trois principaux pigments, contenus dans la spiruline, responsables de sa couleur sont la chlorophylle, la phycocyanine et la  $\beta$  carotène (**Sguera, 2008**).

#### **a. La chlorophylle**

Le taux de chlorophylle contenu dans la spiruline est d'environ 1%, l'un des plus élevés que l'on puisse trouver dans la nature (**Ahounou, 2018**).

#### **b. La phycocyanine**

La phycocyanine, quant à lui, est le plus exceptionnel pigment faisant partie de la composition de la spiruline, responsable de sa couleur bleutée (**Sguera, 2008**).

#### **c. La Bêta-carotène**

La bêta-carotène, pigment orange, précurseur de la vitamine A, aussi présent dans la spiruline en grande quantité, joue un rôle important dans le renouvellement des cellules et dans les défenses immunitaires (**Charpy et al., 2008**).

## **7. Conditions de croissance**

Pour se développer, la Spiruline a besoin d'éléments minéraux simples tels l'eau, les sels minéraux, le CO<sub>2</sub> et l'O<sub>2</sub> qu'elle puise directement dans son milieu tout en utilisant la lumière solaire comme source d'énergie grâce à son système pigmentaire (**Dansou, 2002; Charpy et al., 2008**).

La Spiruline croît dans des milieux naturels caractérisés par des eaux saumâtres, chaudes, alcalines (8 < pH < 11,5) et natronées (fortement concentrées en carbonates et bicarbonates) de la zone intertropicale. En règle générale les phosphates, les carbonates, les nitrates et le fer, sont les éléments limitant de la production phytoplancton que dans les milieux aquatiques (**Dansou, 2002 ; Charpy et al., 2008**).

Dans les gisements naturels, ces éléments sont apportés par les bassins versants. La spiruline se développe dans des eaux chaudes (28 à 40°C) et bénéficiant d'une intensité lumineuse élevée. Le vent joue un rôle important en créant une agitation qui favorise une dispersion homogène de la Spiruline dans le milieu, et donc son exposition à la lumière (**Dansou, 2002 ; Charpy et al., 2008**).

En milieu naturel, lorsque les conditions sont optimales, les Spirulines peuvent se développer en grande quantité et entrent alors en compétition avec d'autres organismes, lors des efflorescences, la consommation des carbonates et bicarbonates entraîne une augmentation du pH limitant ainsi la croissance des autres microorganismes (**Dansou, 2002 ; Charpy et al., 2008**).

## **8. Production de la spiruline**

La spiruline est produite dans plusieurs Pays des quatre continents que sont l'Afrique, l'Asie, l'Amérique et l'Europe. Les modes et moyens de production varient d'un Pays à l'autre selon les paramètres climatiques mais aussi les moyens, ce qui explique la diversité dans les dimensions des moyens mis en œuvres pour la réalisation des fermes et bassins de production (**Sguera, 2008**).

La production de la spiruline se réalise presque exclusivement dans des bassins de culture, bien que certaines compagnies utilisent des photo-bioréacteurs qui permettent un meilleur contrôle de la croissance de l'algue (**Jimenez et al., 2003**).

Cette micro-algue peut être obtenue en milieu naturel (**Benahmed et al., 2013**) ou semi-naturel et en culture synthétique (**Zarouk, 1966**), contrôlée pour une production à diverses échelles : artisanale, semi-industrielle et industrielle (**Gneclie, 2006**).

**a. Production artisanale**

La spiruline est consommée depuis des siècles par différents peuples à travers le monde. Aujourd'hui de nombreux pays la cultivent artisanalement pour une consommation locale. Ainsi, des fermes artisanales se sont créées un peu partout dans le monde principalement dans les pays où sévissent la famine et la malnutrition (Burkina Faso, Burundi Cameroun, Kenya...) (**Charp, 2002**).

Les fermes artisanales de spiruline (**Fig.3**) sont des systèmes d'exploitation nécessitant un faible apport en énergie. La surface des bassins est très variable, n'excédant pas la centaine de m<sup>2</sup> pour une surface totale d'exploitation inférieure à 3000 m<sup>2</sup> (**Gneclie, 2006**).

**b. Productions semi-industrielle et industrielle**

Les systèmes de production semi-industrielle et industrielle se différencient par l'ordre de grandeur de l'investissement, la surface des bassins de culture, le tonnage de production, et la sophistication des techniques de production.

**c. Production semi-industrielle**

Ces fermes sont constituées de bassins généralement de 200 à 1000 m<sup>2</sup> avec une surface totale exploitée entre 3000 m<sup>2</sup> et 1 hectare. Leur capacité de production annuelle est de 10 à 50 tonnes (**Gneclie, 2006**).

Dans les pays en voie de développement, les fermes semi-industrielles utilisent les mêmes technologies que les fermes artisanales (**Gneclie, 2006**).

**d. Production industrielle**

Industriellement, la spiruline n'a connu qu'un réel essor dans les années 70 lorsque sa culture a été reprise sur le lac Texcoco au Mexique en 1976 par la société Sosa Texcoco (**Fox ,1999**) Une exploitation industrielle, d'une surface totale de plusieurs hectares, peut produire entre 50 et 500 tonnes de spiruline sèche par an et même aller au-delà. Les bassins ont une surface de 1000 à 5000 m<sup>2</sup> (**Gneclie, 2006**).

**9. Essais de culture de la spiruline en Algérie**

Des essais de culture de spiruline ont été réalisés dans le lac d'El Goléa (au niveau d'une station qui reçoit les rejets domestiques de la ville d'El Goléa). Pour cela, deux bacs en polystyrène remplis avec de l'eau de cette station, ont été inoculés avec de la spiruline. L'un des 2 bacs ayant été enrichi avec de la fiente de volaille asséchée et filtrée. Les résultats obtenus un mois plus tard ont montré que, la souche s'est bien adaptée et que la biomasse obtenue est 2,5 fois plus importante dans le bac enrichi (environ 1,6 g/l) (**Hacène et al., 2001**).

La culture de la spiruline dans un milieu naturel à base de l'eau de mer, cendres de bois (figuier et olivier) et la saumure de fromage a été réalisée et réussie par Benahmed Djilali et al. (2013). Il s'avère que ce milieu donne un rendement en biomasse très intéressant ( $0.305 \pm 3,05$ )g MF/100 ml.

L'Algérie a aussi développé la culture artificielle de spiruline au sud algérien précisément à la région de Tamanrasset. Cependant la spiruline produite localement ne couvre pas les besoins des consommateurs (**Benahmed, 2012**).

## **10. Principales applications de la spiruline**

### **❖ En alimentation humaine**

Grace à son excellent profil nutritionnel, la spiruline peut générer plusieurs Performances.

En enrayant la malnutrition, elle est utilisée par des humanitaires et des médecins sous forme de poudre afin de la mélanger à des céréales ou à de l'eau, pour sauver des enfants atteints de malnutrition sévère. Elle se révèle plus efficace que les médicaments pour pallier toutes les carences et traiter les effets des maladies qui découlent de la famine comme le marasme ou la kwashiorkor (**Fox, 1999**).

Pour les sportifs, sa consommation facilite l'effort et permet une meilleure récupération.

Considérer comme une excellente source de vitamines B9 et B12 ainsi que de fer, la spiruline est bien adaptée aux femmes enceintes car elle leur permet d'accéder à tous les nutriments essentiels. Grâce à la phycocyanine qui augmente l'oxygénation des muscles et limite les crampes utérines, ces femmes peuvent mieux se préparer à l'accouchement et mieux récupérer par la suite après avoir pallié la fatigue causée par l'allaitement (**Evoli, 2014**).

Par sa composition, la spiruline convient très bien aux enfants et adolescents ainsi qu'au bébé en âge de consommer des protéines. Son apport en éléments essentiels de qualité, ainsi que sa haute assimilabilité, sont idéaux pour les organismes en développement. Trois à cinq grammes par jour suffisent pour éviter les carences et éliminer les toxines liées à la restauration rapide adorée des ados. Elle apporte également un plus sur la qualité de la peau (**Vidalo, 2015**).

Sous la loupe de la diététique, la spiruline est utilisée comme complément protéique bénéfique pour la santé. Agissant comme un produit coupe faim, elle réduit l'appétit et optimise l'apport énergétique (**Tremblin et Moreau, 2017**).

En agroalimentaire, elle est utilisée comme colorant naturel (la phycocyanine est un des rares pigments naturels de couleur bleue) dans les chewing-gums, sorbets sucreries, produits laitiers,

boissons non alcoolisées. Elle apparaît également dans une gamme de produits algaux mélangée à du sel, des tagliatelles etc. En Suisse et au Japon, il existe depuis longtemps du pain à la Spiruline **(Boudaoud, 2016)**.

#### ❖ **En alimentation animale**

Comme pour l'homme, la spiruline renforce aussi les défenses naturelles de l'animal elle joue un grand rôle dans le maintien de son système immunitaire, lui permet de lutter contre certaines maladies et agit contre son vieillissement et sa fatigue.

Les chiens, les chats, les poissons et les chevaux sont les animaux pour lesquels la spiruline est couramment utilisée. Chez les chevaux, sa consommation est très courante pendant la phase de croissance, de compétition ou de convalescence.

Notons aussi que les bons éleveurs de poules n'hésitent pas à ajouter de la spiruline à leur alimentation. C'est une pratique de connaisseur qui participe à la ponte d'œuf d'une qualité nettement supérieure **(Casal, 2019)**.

#### ❖ **En cosmétique.**

L'analyse quantitative et qualitative des éléments qui composent la spiruline furent formelles. Autant d'actifs naturels retrouvés (acides aminés, oligoéléments, anti oxydants minéraux, vitamines, acides nucléiques (composants de l'ADN), protéines, acides gras essentiels) dont bénéficient ceux qui la consomment dans l'assiette et que certains laboratoires de soins cosmétiques ont introduits dans des crèmes, des shampoings ou des sérums **(Banks, 2007)**.

Grâce à ses propriétés anti-oxydantes qui empêchent la formation de radicaux libres, la spiruline améliore la souplesse et l'élasticité de la peau et donc retarde son vieillissement et apporte brillance et résistance aux ongles et aux cheveux par les nutriments et les oligoéléments qu'elle concentre **(Banks, 2007)**.

Considéré comme un aliment « beauté » d'exception, la spiruline est utilisée aujourd'hui dans les soins anti-âges à connotation marine, dans la préparation de produits de soins en spa et thalasso (masques visage, enveloppements corporels), comme soins réparateurs et fortifiants des cheveux et des ongles, en cataplasme et enveloppement marins, comme soin revitalisant pour le corps ou masque minéralisant du visage **(Casal, 2019)**.

#### ❖ **En thérapeutique.**

De la valeur nutritionnelle exceptionnelle de la spiruline, découlent de multiples applications thérapeutiques dont les plus importantes sont le traitement des carences nutritionnelles (malnutrition

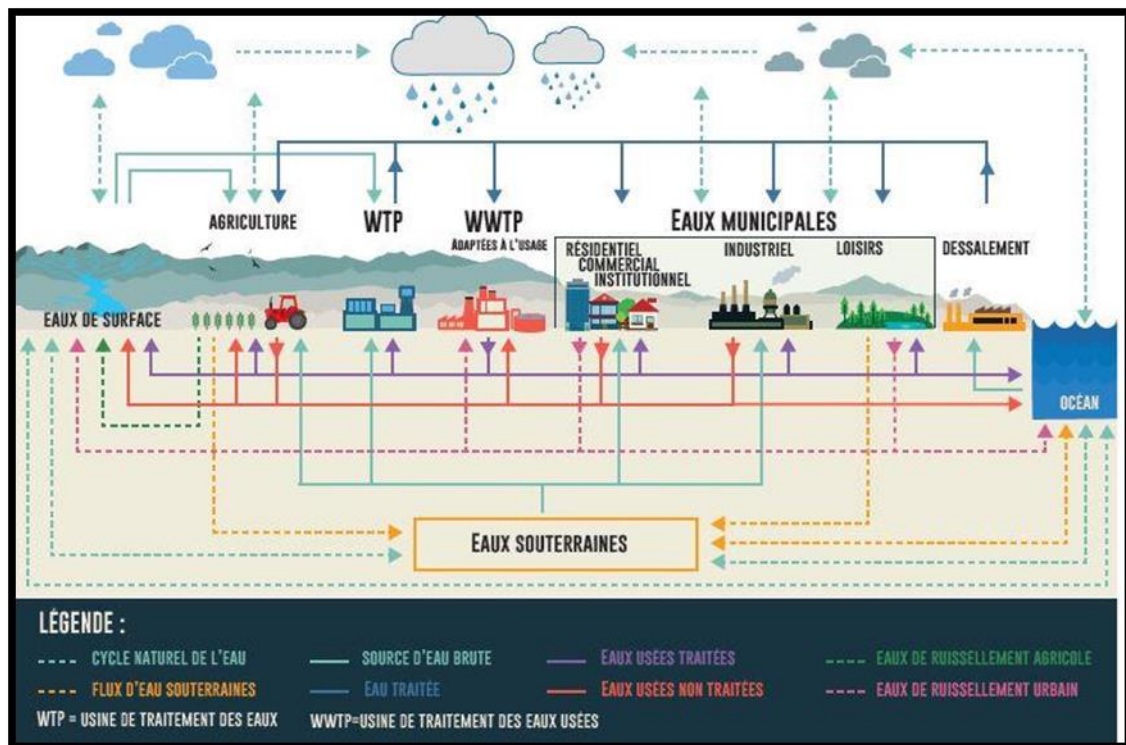
protéino-énergétique-anémie ferriprive et hypovitaminose) le renforcement des défenses immunitaires (une opportunité pour lutter contre les maladies opportunistes) et le traitement de certaines affections dermatologiques elle constitue également un partenaire efficace pour calmer les douleurs rhumatismales et l'arthrose, la lutte contre l'ostéoporose, l'excès de cholestérol l'hypertension, et les allergies. Elle protège le cœur et augmenterait la régénération des cellules cérébrales (Evoli, 2014).

# **Chapitre III : Généralités sur les eaux usées**

## Chapitre III : Généralités sur les eaux usées

### 1. Définition des eaux usées

Selon Rejsek (2002), les eaux usées, sont des eaux chargées de polluants, solubles ou non, provenant essentiellement des activités domestiques, agricoles et industrielles. Ces eaux englobent également les eaux de pluies et leur charge polluante, elles engendrent au milieu récepteur toutes sortes de pollution et de nuisance (**Fig.9**) (**Metahri, 2012**).



**Figure 9** : Les eaux usées dans le cycle de l'eau (**WATER, 2017**).

### 2. Origine

Suivant l'origine et la qualité des substances polluantes, on distingue quatre catégories d'eaux usées :

#### 2.1. Eaux usées domestiques

Elles proviennent des différents usages domestiques de l'eau. Elles sont essentiellement porteuses de pollution organique (**Metahri, 2012**). Elles se répartissent en eaux ménagères, qui ont pour origine les salles de bains et les cuisines, et sont généralement chargées de détergents, de graisses, de solvants et de débris organiques, et en eaux de vannes ; il s'agit des rejets des toilettes, chargés de diverses matières organiques azotées et de germes fécaux (**El Hachemi, 2012**).

## 2.2. Eaux usées industrielles

Ce sont les eaux usées qui proviennent de locaux utilisés à des fins industriels, commerciales, et artisanales (Aba Aaki, 2012). Elles sont très différentes des eaux usées domestiques. Leurs caractéristiques varient d'une industrie à l'autre. En plus de matières organiques, azotées ou phosphorées, elles peuvent également contenir des produits toxiques, des solvants, des métaux lourds, des micropolluants organiques et des hydrocarbures (Metahri, 2012).

## 2.3. Eaux agricoles

Ces eaux proviennent des terres cultivées après lessivages et ruissellement. Elles sont riches en éléments fertilisants (azote et phosphore) et en polluants organiques (pesticides) (Aba Aaki, 2012).

## 2.4. Eaux pluviales

C'est une eau qui provient des précipitations atmosphériques (Aba Aaki, 2012). Elle se charge d'impuretés au contact de l'air (fumées industrielles), puis, en ruisselant, des résidus déposés sur les toits et les chaussées des villes (huiles de vidange, carburants, résidus de pneus et métaux lourds...) (El Hachemi, 2012).

# 3. Traitements des eaux usées

Le traitement des eaux usées est nécessaire à la préservation de notre environnement altéré par de nombreuses pollutions. Il est ainsi indispensable de traiter les eaux usées urbaines et industrielles avant leur rejet dans le milieu naturel. Les méthodes utilisées et les filières de traitement définies dépendent de l'origine des eaux à traiter et de l'objectif du traitement lié à la qualité du milieu récepteur. Les principales techniques mises en œuvre en traitement des eaux sont de nature physique, chimique, physico-chimique ou biologique (Abouzlam, 2006).

## 3.1. Prétraitement

Les prétraitements sont une phase d'épuration grossière. Au cours des quels, on élimine tous les éléments solides volumineux et grossiers (sables, corps gras) qui pourraient d'ailleurs endommager les installations par la suite. Notons qu'on retire alors environ 35% des éléments polluants (Moulin et al., 2013). Parmi les étapes de prétraitements on peut citer : le dégrillage, le dessablage, déshuilage et le dégraissage.

### 3.1.1. Le dégrillage

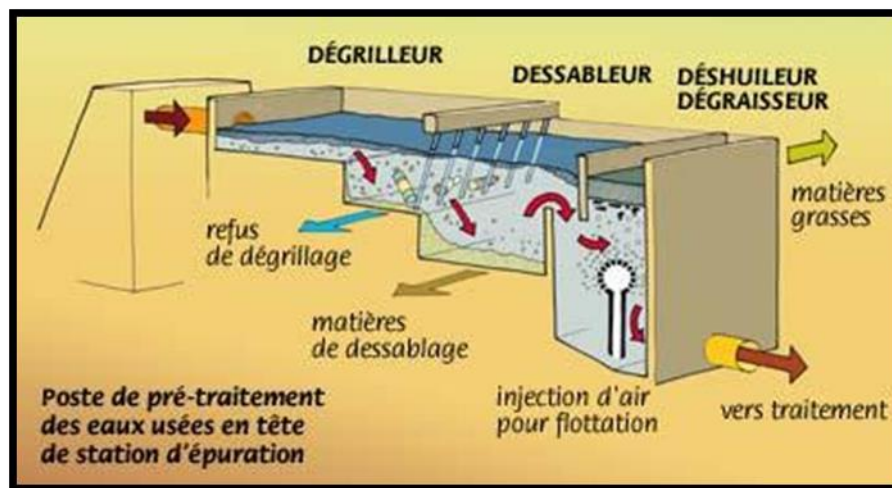
Il s'agit de séparer les eaux brutes des matières les plus volumineuses (gros débris solides), en faisant passer l'effluent d'entrée à travers des barreaux dont l'espacement est déterminé en fonction de la nature de l'effluent (Merair et Salmi, 2014).

### 3.1.2. Le dessablage

Le dessablage a pour but d'extraire des effluents bruts les graviers, le sable et les particules minérales plus ou moins fines, de façon à éviter les dépôts dans les canaux et conduites, ainsi pour protéger les pompes et autres appareils contre l'abrasion et à éviter de surcharger les stades de traitements ultérieurs (Merair et Salmi, 2014).

### 3.1.3. Le déshuilage

Est le dégraissage le déshuilage est une opération de séparation liquide-liquide, alors que le dégraissage est une opération de séparation solide-liquide (à condition que la température de l'eau soit suffisamment basse, pour permettre le piégeage des graisses). Ces deux procédés visent à éliminer la présence des corps gras dans les eaux usées, qui peuvent gêner l'efficacité de traitement biologique qui intervient par la suite (Fig.10) (Metahri, 2012).



**Figure 10** : Schéma de principal des étapes de prétraitement des eaux usées (Collet, 2012).

## 3.2. Traitements physico-chimiques (traitements primaires)

Le traitement primaire au sens strict est un traitement physico-chimique. Il est possible d'ajouter dans l'eau des agents coagulants et flocculants. On peut alors récupérer un grand nombre de particules en suspension par décantation ou floculation (Boues physico-chimiques) (Moulin et al., 2013). Les performances de la décantation peuvent être améliorées par l'ajout des produits chimiques (sulfate d'alumine, chlorure ferrique...) qui neutralisent les particules chargées, en augmentant ainsi la probabilité de collision entre les particules (coagulation et floculation), ainsi que la formation des floccs par la suite facilement décantables (Aba Aaki, 2012). Cette étape permet d'éliminer 90% des particules et objets en suspension (Moulin et al., 2013).

### 3.3. Traitements biologiques (traitements secondaires)

Ces traitements sont biologiques et permettent d'éliminer les polluants dissous. Pour cela on utilise des populations de micro-organismes capables de les consommer (Moulin et al., 2013). Ces procédés, basés sur l'activité bactérienne dégradant les composés organiques, sont classés en deux groupes selon le genre de bactéries présentes dans l'eau (Fig.11, 12) (Abouzlam, 2006) :

- Les procédés aérobies nécessitant la présence d'oxygène (Fig.13),
- Les procédés anaérobies se développant en absence d'oxygène (Fig.13).

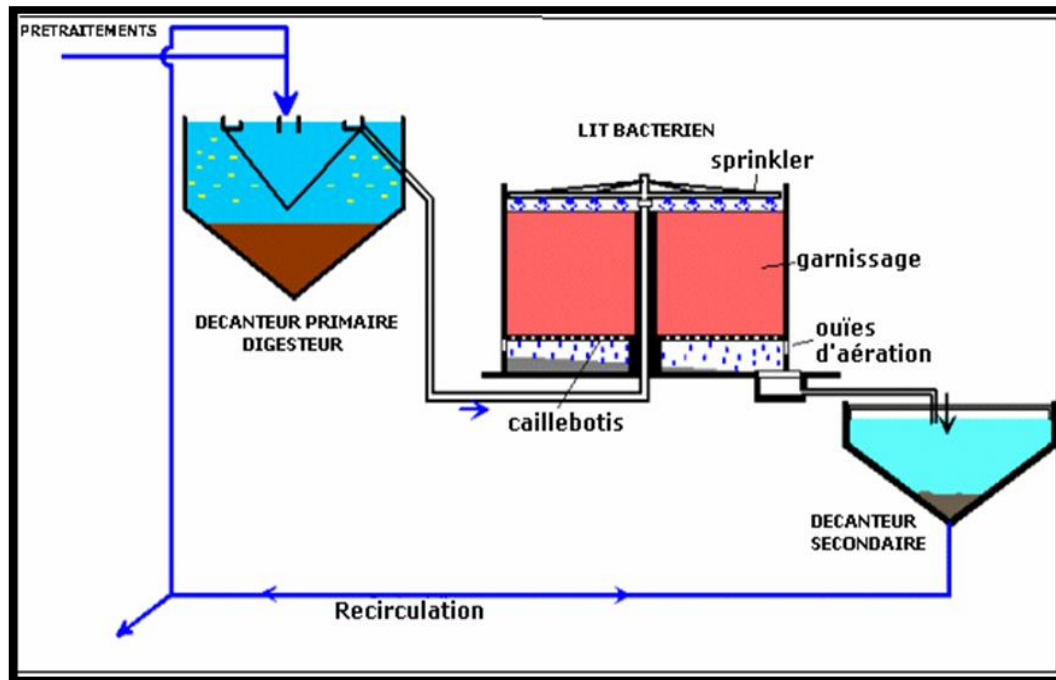


Figure 11 : Lit bactérien (Bettach, 2013).

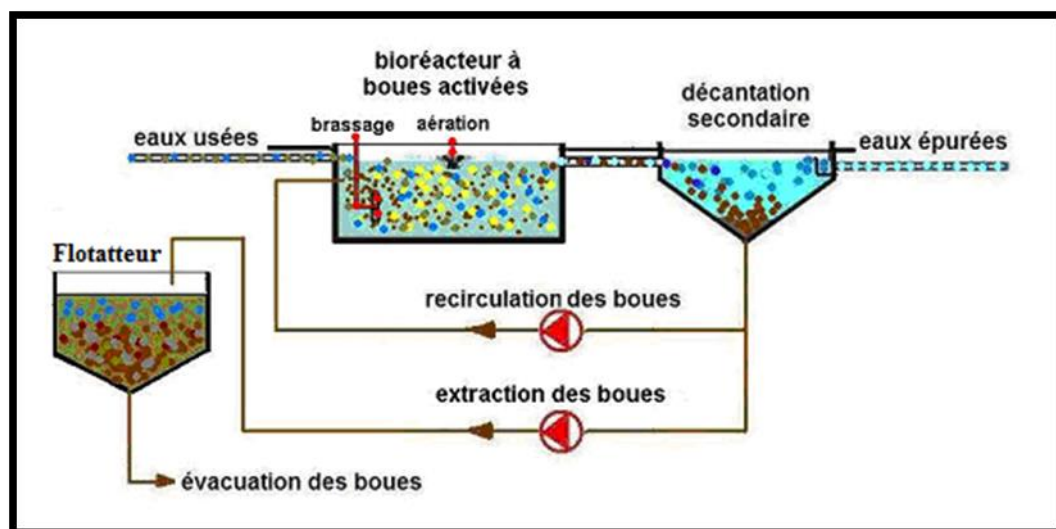
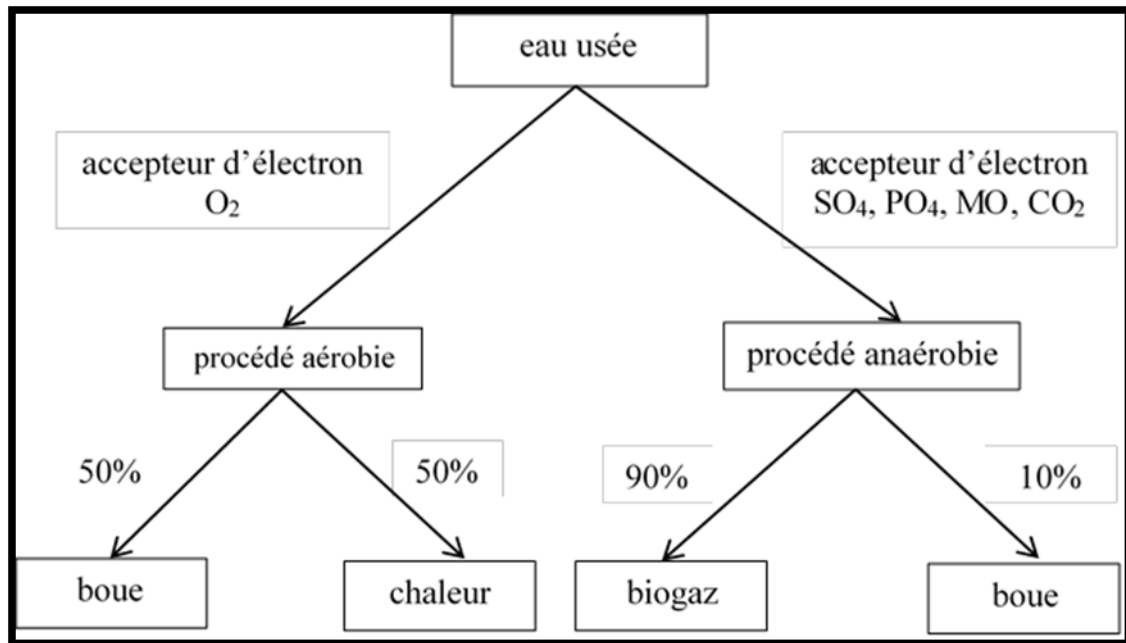


Figure 12 : Schéma de traitement des eaux usées par boues activées (Telli, 2013).



**Figure 13 :** Illustration graphique des procédés aérobie et anaérobie (Simata et al., 2011).

Il existe plusieurs procédés biologiques d'épuration. On distingue souvent les procédés biologiques extensifs et les procédés biologiques intensifs.

### 3.3.1. Les procédés biologiques extensifs

Dans ces procédés, tout se passe naturellement sans intervention artificielle et mécanique. Parmi ces procédés, on peut citer : Épuration par le sol → Ce procédé compte sur les propriétés de filtration et la capacité du sol à assimiler une masse bactérienne active (Abouzlam, 2006). Lagunage naturel → Les eaux usées sont stockées dans des plans d'eau peu profondes : les lagunes. L'activité microbienne se fait naturellement : échange avec l'atmosphère, photosynthèse... Des aérateurs peuvent être utilisés pour brasser l'air et optimiser l'activité des bactéries. Ces processus induisent à la formation de boues de lagunage au fond des bassins qui sont récupérées (Moulin et al., 2013).

### 3.3.2. Les procédés biologiques intensifs

La prolifération des bactéries est activée artificiellement dans ces procédés. Ils peuvent appartenir à deux grandes catégories :

Les procédés biologiques à "culture libre" → Pour ce procédé les bactéries sont en suspension (boues activées) et en contact permanent avec les matières organiques. L'oxygène est diffusé par agitation ou injection d'air (Abouzlam, 2006). Les procédés biologiques à "culture fixe" → Les bactéries ici ne sont pas en suspension dans l'eau à traiter. Ces micro-organismes se développent sur un support comme des cailloux, du plastique, En effet, le film bactérien développé sur les

surfaces du support constitue ce qu'on appelle le biofilm et permet la dégradation des matières organiques (Abouzlam, 2006).

### **3.4. Traitements tertiaires**

Ces traitements sont à la fois physico-chimiques et biologiques. On les réalise après les traitements primaires et secondaires afin d'éliminer des éléments nutritifs résiduels, des polluants organiques résistants, des métaux, des pigments... . Par exemple, on peut utiliser des traitements biologiques avancés pour éliminer le phosphore par le Déplacement Nutritif Biologique (DNF). On fait passer l'eau par différents réservoirs avec des bactéries et dans des conditions environnementales différentes (différence de concentration en dioxygène par exemple). On récupère ensuite les boues lors d'un nouveau passage dans un clarificateur (Moulin et al., 2013). Un autre type de traitement que l'on pourrait classer comme tertiaire est le traitement aux UV. On dénature alors des molécules, comme les œstrogènes, sensibles à ces rayons (Moulin et al., 2013).

# **Chapitre IV : Généralités sur les bioremédiation**

## Chapitre IV : Généralités sur les bioremédiation

### 1. Définition La bioremédiation

Est un processus métabolique actif de l'absorption des toxiques par les cellules vivantes. Les métaux ou d'autres substances sont transportés à l'intérieur des cellules, puis accumulés intracellulaires (**Inga et Liliana, 2016**). C'est le processus par lequel un organisme vivant absorbe une substance à une vitesse plus grande que celle avec laquelle il l'excrète ou la métabolise. Elle désigne donc la somme des absorptions d'un élément par voie directe et alimentaire par les espèces animales aquatiques. C'est un phénomène capital au niveau de l'organisme terrestres (**Ramade, 1992 ; Stelio, 2005 ; Benguedda, 2012**).

### 2. Les processus de la bioaccumulation

De manière générale, deux processus principaux interviennent lors de l'internalisation d'un minéral ou métal dans le milieu intracellulaire, après le transfert de l'espèce de la source vers la surface cellulaire.

#### 2.1. La bio-sorption (adsorption)

La bio-sorption est un processus physicochimique qui se produit naturellement dans une certaine biomasse. Il s'agit d'un événement métaboliquement passif, qui ne nécessite pas de consommation d'énergie et consiste en une concentration passive et une liaison des contaminants sur la structure cellulaire. La bio-sorption se produit naturellement dans toutes les cellules vivantes et mortes. Le processus est déterminé par un certain nombre d'événements passifs dans la paroi cellulaire. Les mécanismes, responsables de l'absorption des polluants, dépendent du type de biomasse (**Inga et Liliana, 2016**). Le transport de l'espèce à travers la membrane plasmique et sa diffusion dans la cellule représente, ces phénomènes dépendent notamment des concentrations extra- et intra-cellulaires, L'adsorption physique est rapide dès que l'algue vient en contact avec le métal. (**Om Kalthoum, 2007**). La bio-sorption est un processus rapide et réversible de récupération des métaux des solutions, rappelant l'adsorption ou même l'échange d'ions (**Gavrilescu, 2004 ; Inga et Liliana, 2016**).

#### 2.2. L'adsorption

##### ❖ Mécanismes généraux

Le transfert des éléments/molécules du milieu de culture à la cellule à travers la membrane plasmique est souvent considéré comme l'étape limitant, les phases de transfert externe à la cellule et de complexations à la surface cellulaire étant beaucoup plus rapides et complexes.

Il existe plusieurs types de transport :

\* Le transport passif : réalisé par simple diffusion en fonction du gradient électrochimique à travers des canaux ioniques ou à travers la bicouche phospholipidique, sans que la cellule dépense de l'énergie.

\* Le transport facilité : la prise en charge de la molécule à transférer se fait par l'intermédiaire d'un transporteur membranaire, sans dépense d'énergie.

\* Le transport actif : ce transport est assisté via un transporteur membranaire, contre le gradient de concentration, avec dépense d'énergie. Les prises en charge faisant intervenir des transporteurs membranaires suivent en général un modèle similaire au modèle de Michaelis-Menten.

#### ❖ Cas des éléments anioniques

Dans le cas des anions, le potentiel transmembranaire étant négatif (de  $-100$  à  $-200$  mV), il est peu probable que la diffusion passive intervienne dans le transport. Pour expliquer la présence d'anions dans la cellule, on suppose des phénomènes de Co transport avec des protons ou autres cations. (**Barbier et al, 2000**). Par exemple, la prise en charge du phosphate et du sulfate se fait via un mécanisme de symport du sodium ( $\text{Na}^+$ ) (**Weiss et al., 2001**).

#### ❖ Cas d'éléments cationiques

Les groupes fonctionnels de la surface cellulaire possèdent des charges négatives qui attirent les cations, et peuvent créer des liaisons électrostatiques avec les métaux cibles (**Andrade et al., 2005**). Les métaux lourds (cadmium, zinc, plomb, chrome,...) sont considérés comme des micropolluants. Ils n'en demeurent pas moins des composés dangereux pour les êtres vivants, de par leur toxicité mais également leur persistance. En milieu aquatique, de nombreux paramètres influencent la spéciation des métaux lourds, notamment la présence de ligands, d'ions compétiteurs tels que  $\text{Ca}^{2+}$  et  $\text{Mg}^{2+}$ , les conditions redox, la température, le pH, la force ionique (**Campbell et al., 1987**).

### 3. Réactivité des bactéries vis à vis des métaux

Les bactéries, peuvent interagir avec les métaux via différents mécanismes. On peut observer une transformation des métaux par des processus d'oxydation/réduction. Ces modifications modifient généralement la toxicité et la mobilité du métal d'origine.

Les métaux peuvent également être accumulés par des phénomènes d'adsorption passive (indépendante du métabolisme) et donc de l'état physiologique des cellules (vivantes ou mortes), ils sont rapides et réversibles, Ils ont lieu à l'interface cellule/solution et mettent en jeu des mécanismes tels que l'échange ionique, la complexations de surface ou la précipitation. Elles peuvent aussi être accumulés par transport actif à l'intérieur de la cellule (dépendante du métabolisme) et sont donc spécifiques à chaque souche bactérienne.

Il a également été observé la production par les microorganismes de substances telles que des composés organiques ou des sulfites, par exemple, qui modifient la solubilité, et donc la mobilité des

métaux. De plus, de par leur participation aux cycles biogéochimiques, les microorganismes modifient les caractéristiques de la matière organique dans leur environnement, ce qui peut modifier le comportement des métaux via des mécanismes de chélation ou complexations. Enfin les bactéries peuvent influencer de manière indirecte la mobilité des métaux par des modifications du milieu, par exemple par acidification. Ces différents mécanismes sont résumés dans la Fig.14 (Iedin, 2000).

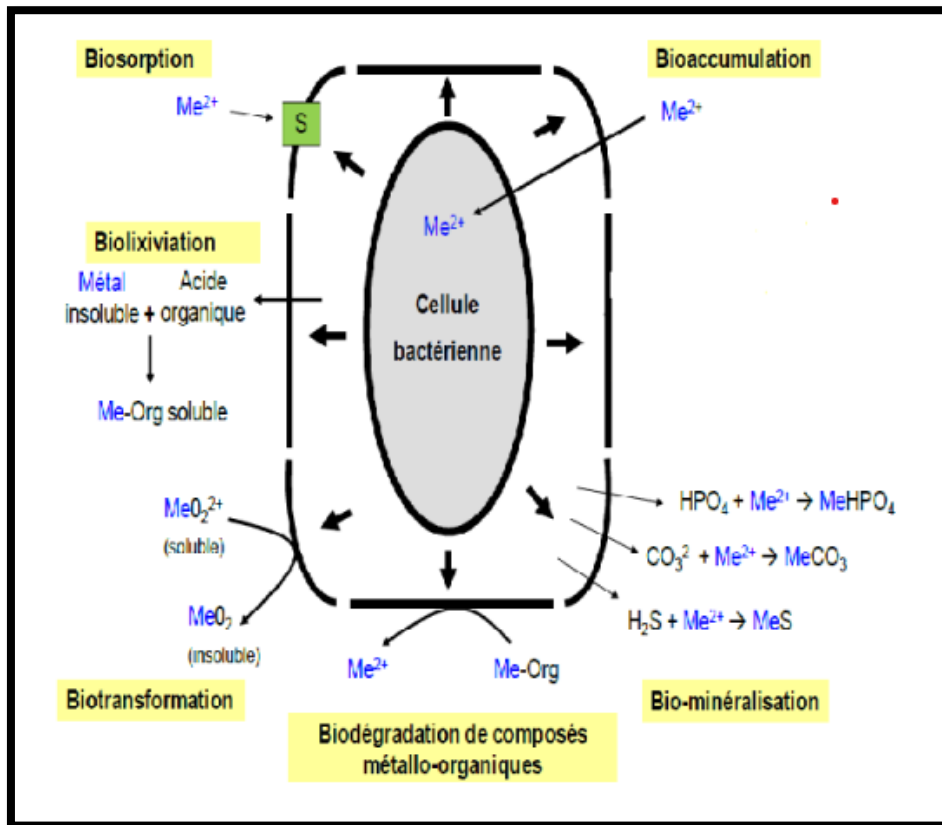


Figure 14 : Schématisation des interactions entre métaux et bactéries (Iedin, 2000).

#### 4. Réactivité des champignons vis à vis des métaux

L'absorption des métaux lourds par les champignons est conditionnée par de nombreux facteurs physico-chimiques tels que le pH, la température, la matière organique, la nature des cations et des anions, la forme chimique du polluant, sa concentration, ses interactions possibles avec d'autres éléments constituent des paramètres essentiels déterminants l'interaction entre les métaux lourds et les champignons (Campell et Reece, 2004).

Les champignons absorbent des métaux lourds en deux phases, actives et passives, dépendantes ou indépendantes du métabolisme. (Gadd, 1986).

La fixation directe des métaux par les champignons se produit au niveau des parois grâce à la chitine qui portent de nombreux groupement anioniques qui sont un véritable piège pour les cations métalliques.

L'accumulation des métaux lourds se fait aussi grâce à des biomasses mortes, en effet les expériences faites par Tobin et al (1986), qui consistaient à utiliser la biomasse morte de *Rizopus*, pour éliminer le cuivre, et ils ont trouvé une accumulation de 210 mmol De  $Cu^{2+}$  par Kg de matières sèches, ce qui est un résultat très prometteurs.

Il existe plusieurs champignons qui ont la capacité d'accumuler les métaux lourds parmi eux ont cité : *R. Arrhizus*, *Aspergillus sp*, *Pleurotus Ostreratus*, *P. Chrysogenum*, *Penicillium sp*, ainsi que les levures (Gadd, 1986).

## 5. Biosorption des métaux lourds par les micro-algues

### 5.1. Caractères biochimiques des micro-algues

Les micro-algues se caractérisent par une paroi cellulaire de nature pecto-cellulosique qui protège la cellule de son environnement et une membrane plasmique qui se compose principalement de 40% de lipides (Phospholipides ; Glycolipides) et de 60% de protéines (intra- membranaires et périphériques) et accessoirement de glucides (Fig.15) (Campell et Reece, 2004).

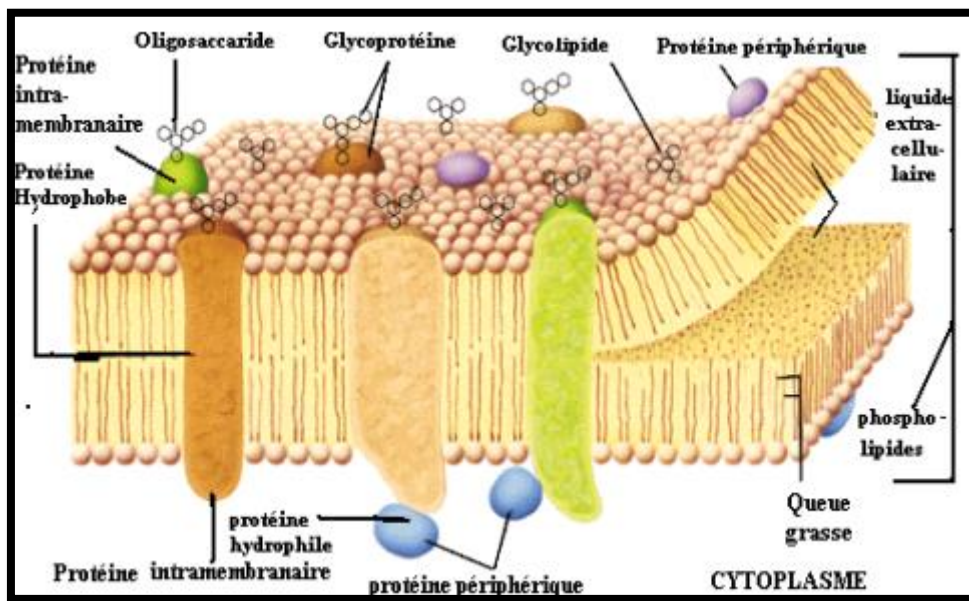


Figure 15 : Structure de la membrane plasmique (Campell et Reece, 2004).

### 5.2. Potentiel de la membrane

La membrane plasmique détermine une différence de potentiel électrique entre le milieu extracellulaire et le cytoplasme. Ce dernier porte une charge négative par rapport au liquide extracellulaire, car les anions et les cations sont inégalement répartis entre les deux milieux. La différence de potentiel électrique existant de part et d'autre d'une membrane, appelée potentiel de membrane, varie entre  $-50$  et  $-200$  mv selon le type de cellule. Le potentiel de membrane se comporte comme une pile, et il influe sur le passage de toutes les substances chargées à travers la membrane, favorisant l'entrée des cations et la sortie des anions : les ions diffusent suivant leur

gradient électrochimique, un gradient qui combine l'influence de la force électrique (potentiel de membrane) et celle de la force chimique (gradient de concentration). La plus grande partie des échanges trans-membranaire se fait par un transport passif, qui ne nécessite aucune dépense d'énergie de la part de la cellule, et il se produit même si la cellule est morte : diffusion passive et diffusion facilitée (Fig.16) (Hilali, 1999).

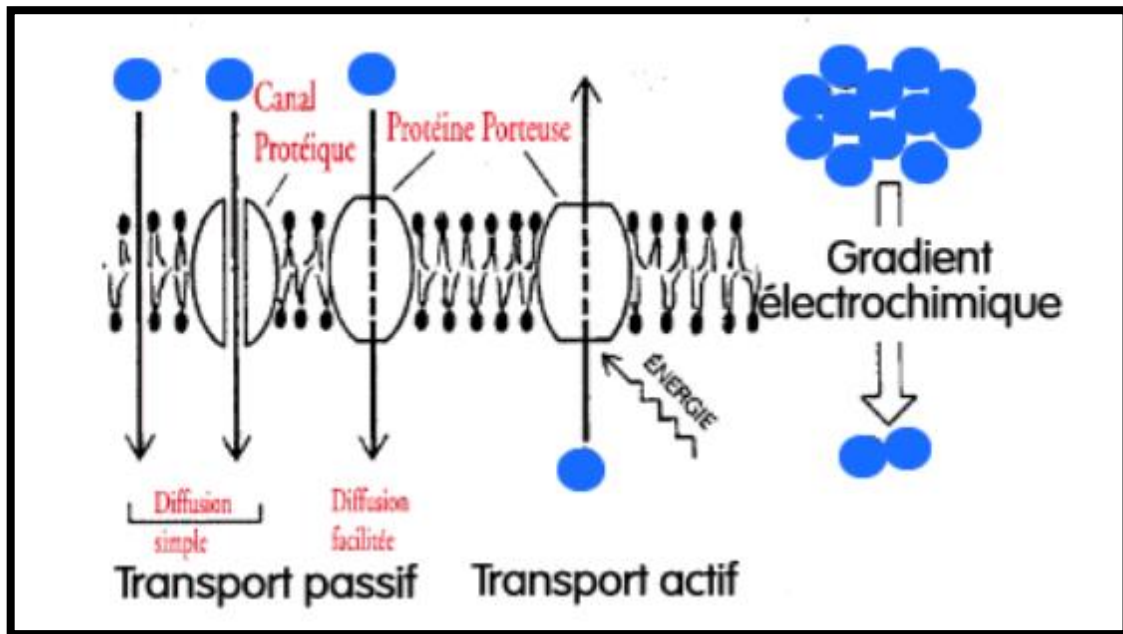


Figure 16 : Transport passif et transport actif (Hilali, 1999).

### 5.2.1. Diffusion simple

C'est le processus par lequel une substance passe librement sans l'aide d'une protéine de transport, d'un compartiment à un autre au travers d'une membrane sous la seule action des forces thermodynamiques ou à travers des canaux ioniques à ouverture contrôlée. Le flux à travers la membrane est proportionnel au gradient électrochimique (= potentiel électrochimique). C'est le cas des petites molécules comme l'eau, l'oxygène ou le gaz carbonique et des substances solubles dans les gras.

#### ✓ Canaux ioniques à ouverture contrôlée

Ils existent des canaux protéiques qui normalement sont fermés. Ils ne s'ouvrent que de manière provisoire dans des conditions particulières. En s'ouvrant, ces canaux laissent passer un ion ou un groupe d'ion particulier. On en distingue deux types:

- **Canaux réglés par le ligand**

Ils ne permettent le passage des ions dans le sens du gradient de concentration qu'après la fixation du ligand (Fig.17) (Hilali, 1999).

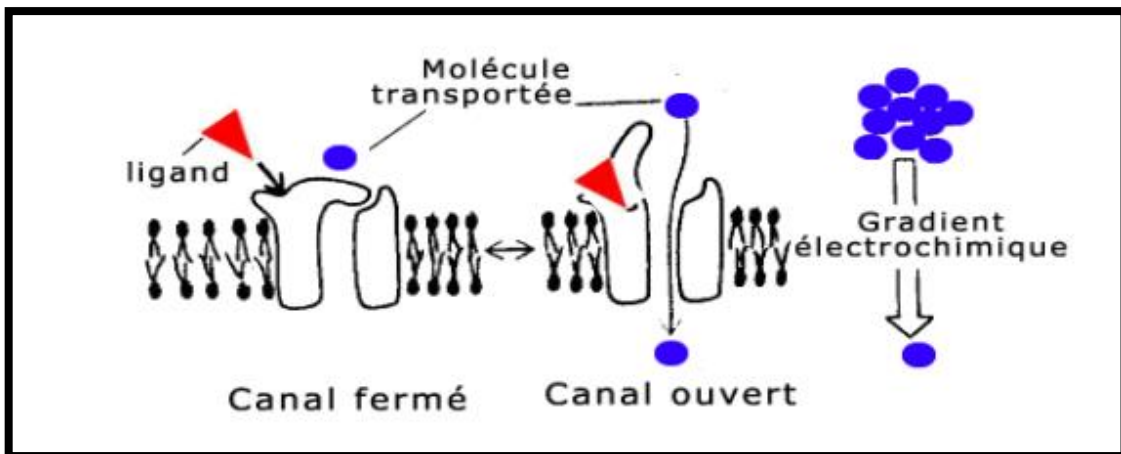


Figure 17 : Canaux ioniques à ouverture contrôlée par le ligand (Hilali, 1999).

- **Canaux réglés par la tension**

Ils ne permettent le passage des ions dans le sens du gradient de concentration qu'après une petite variation de la différence de potentiel (ddp) de la membrane (Fig.18) (Hilali, 1999).

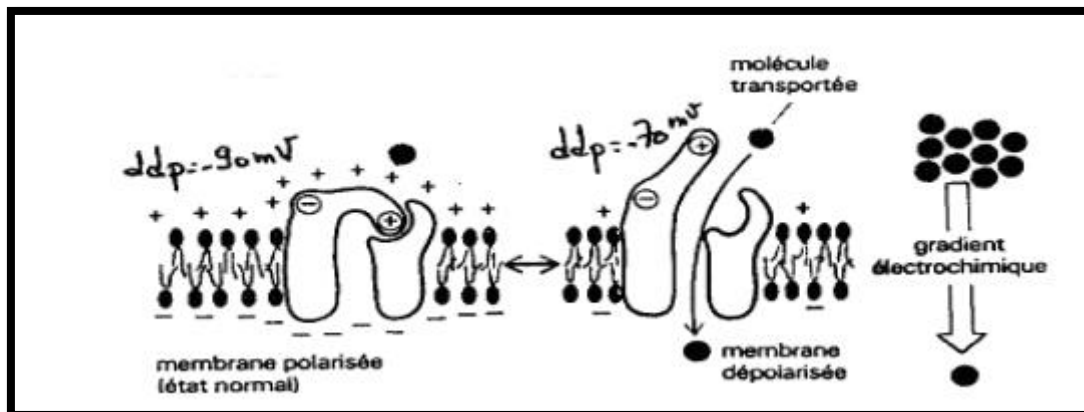


Figure 18 : Canaux ioniques à ouverture contrôlée par la tension (Hilali, 1999).

### 5.2.2. Diffusion facilitée

Elle concerne la perméabilité de diverses molécules (oses, ions, acides aminés) qui passent à travers la membrane plasmique sous l'effet du gradient électrochimique. Ces substances sont prises en charge par des protéines porteuses, qui les délivrent à l'intérieur de la cellule.

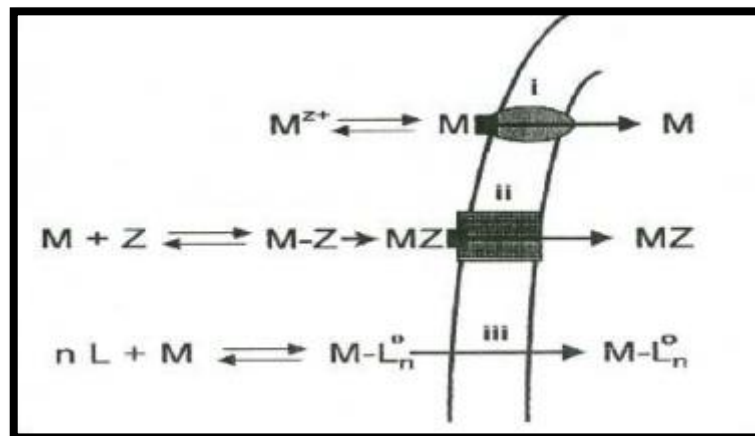
### 5.3. Mécanisme de bioaccumulation des métaux lourds par les micro-algues

Trois mécanismes de prise en charge des métaux ont été identifiés pour les algues (Campell, 1995) :

- Transport facilité du cation. impliquant soit un transporteur transmembranaire protéique, soit un canal transmembranaire (Fig.19) : C'est la voie qui prédomine, aussi bien pour les métaux essentiels (pour lesquels, il existe des systèmes de transport facilité conçus pour assurer et/ou contrôler la prise en charge de ces oligo-éléments nutritifs essentiels) que pour les métaux

non-essentiels comme le cadmium (Cd) ou le plomb (Pb), qui réussissent à " tromper " les systèmes de transport cationique présents à l'interface membranaire.

- Transport facilité d'un complexe métallique anionique, impliquant un transporteur d'anions relativement peu sélectif (**Fig.19**) : c'est un transport " accidentel ", qui sert normalement à transporter les éléments essentiels, et il peut s'accommoder non seulement du ligand libre Z-, mais également du complexe M-Z. Ce transport offre donc au métal une voie additionnelle pour atteindre l'intérieur de la cellule.
- Transport passif par simple diffusion d'un complexe métallique neutre (**Fig.19**) : ces complexes peuvent traverser les membranes biologiques directement, sans devoir emprunter les systèmes (canaux) impliqués dans le transport membranaire des métaux essentiels comme le cuivre (Cu) et le Zinc (Zn) (**Campell, 1995**).



**Figure 19** : Bioaccumulation de métaux par des organismes aquatiques (**Campell, 1995**).

# **Chapitre I : Présentation de la station STEP 1**

## Chapitre I : Présentation de la station STEP 1

### 1. Présentation de la station d'épuration STEP1

La station d'épuration des eaux usées N°1 (STEP1) est celle de type lagunage aérée. Qui composée de six lagunes aérées réparties en deux étages de traitement et de trois lagunes de finition (3ème étage), d'un ouvrage de prétraitement (Dégrillage, dessablage), de 14 lits de séchage des boues d'épuration et de bâtiments d'exploitation, ainsi que le montage des équipements hydromécaniques et électriques.

Notre étude permettra notamment de déterminer le pouvoir épurateur physico-chimique des eaux usées de la ville d'El-Oued par la station d'épuration de Kouinine (STEP1) (ANRH, 2004).

### 2. Situation géographique de la station d'épuration

La station d'épuration des eaux usées sert à collectée les eaux usées des communes d'El-Oued, Robbah, Bayadha et Kouinine, elle est située au Nord-est de Kouinine.

Kouinine est la maire de l'une des municipalités qui appartiennent au groupe et de la vallée sera oasis, le désert au sud de l'Atlas et se situe sur zone de 116 Km<sup>2</sup> elle est situé au centre de la route national N°48, donc loin du siège du département d'état, environ sept kilomètres, elle est située sur niveau de 97 m au-dessus de la mer, et d'augmenter l'élévation vers le sud, tandis que la baisse dans la Nord (**Fig.20**).

Kouinine est une municipalité située au Nord de la vallée, représente la gestion administrative de la vallée est leur localisation comme se suit :

- Au Nord : commune Taghzout.
- Au Sud : commune d'El-Oued et Sud l'Ouest Oued Alanda.
- Au l'Est : commune de Hassani Abed Alkarime.
- Au l'Ouest : Ouermase. (DUC).

Cette station occupe une superficie de l'ordre de 100 hectares, permet de répondre aux besoins fonciers. La forme géométrique du site s'apparente à un rectangle, orienté sud-nord, dont les dimensions sont :

- Largeur : 500 à 800 m.
- Longueur : 500 à 1400 m.

Actuellement, le site est occupé. A l'avenir, il conviendra de veiller à ce qu'aucun développement de l'occupation du sol n'ait lieu sur cette zone compte tenu de leur utilisation ultérieure (ONA, 2009).

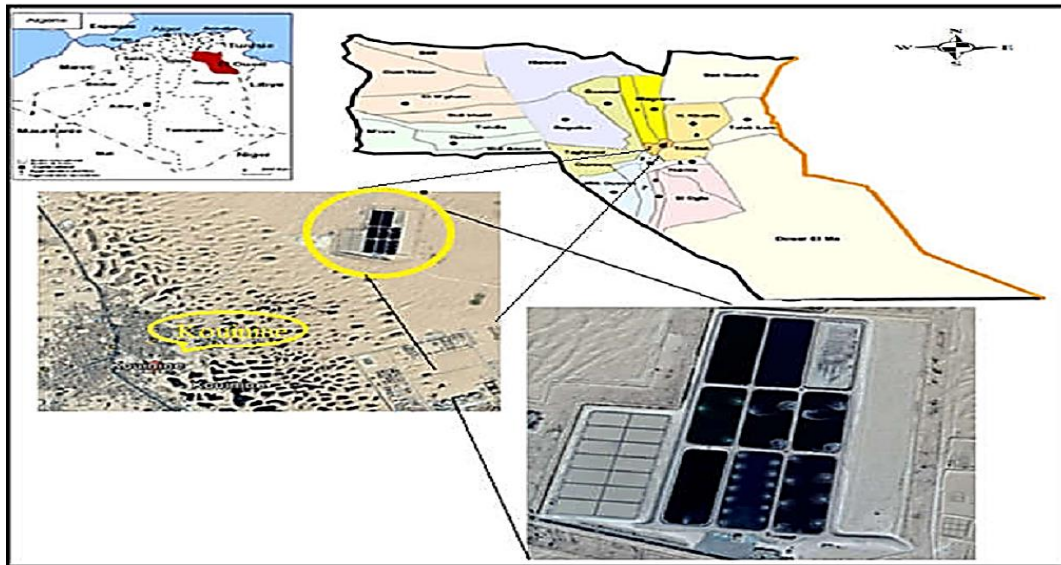


Figure 20 : Carte de situation de STEP 01 Kouinine (ZOBEDI, 2017).

### 3. Objectif de traitement de la station

- Supprimer les nuisances et les risques actuels de contamination au niveau des zones urbanisées.
- Protéger le milieu récepteur.
- Supprimer les risques de remontée des eaux en diminuant le niveau de la nappe phréatique.
- Se garder la possibilité de réutiliser les effluents épurés.

### 4. Description de STEP1

Station d'épuration des eaux usées à lagunage aéré est conçue pour desservir les communautés de : El-Oued, Bayadha, Kouinine et Robbah. La population totale de ces communautés actuellement d'environ 486170 habitants. La pleine capacité de la station d'épuration sera atteinte en 2030.

Le processus de traitement des eaux usées se base sur des lagunes aérées, et comprend les étapes principales ci-après :

- Prétraitement avec dégrillage et dessablage longitudinal.
- Bassins d'activation primaire (étape 1 avec 3 lagunes aérées parallèles).
- Bassins d'activation secondaire (étape 2 avec 3 lagunes aérées parallèles).
- Bassins de traitement d'affinage ou maturation (3 lagunes de post-traitement parallèles).

- Traitement de boues (14 lits de séchage des boues).

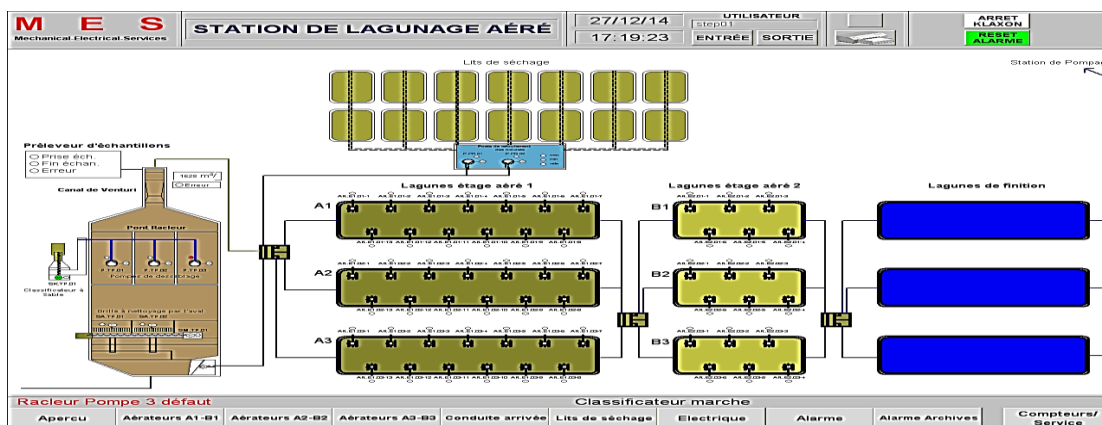


Figure 21 : Schéma présenté station de lagunage aéré de STEP de kouinine N°01 (ONA, 2011).

## 5. Procédés d'épurations des eaux usées dans la station

### a. Prétraitement

Le prétraitement comporte les éléments suivants :

- **Dégrillage** : Construit en béton, avec deux chambres et dégrillage grossier dans le courant principal de l'eau usée ainsi qu'une chambre pour le by-pass de secours lors des pannes du dégrillage.

Les eaux usées traversent d'une grille dont les barreaux, plus ou moins espacés, l'espacement entre barreaux 15 mm retiennent les éléments les plus grossiers. après les grilles nettoyer par un système à racleur motorisé dont l'action automatisée est déclenchée par un capteur de niveau spécialement conçu qui surveille en permanence, la différence entre le niveau d'eau en amont et en aval sur la grille, une fois que les débris ont été recueillis et soulevés par le racleur, ils sont chargés dans une cuve horizontale, au moyen d'un transporteur à vis horizontal et sans arbre, ces débris sont ensuite déposés dans un conteneur à débris.



**Figure 22 :** Dégrillage.

- **Dessablage :** Construit en béton, avec trois chambres. Dans cette zone, le sable contenu dans les eaux usées est décanté grâce à une réduction de la vitesse d'écoulement et grâce à la force gravitaire. Ces particules sont ensuite aspirées par un racleur avec moteur électrique et des pompes d'aspiration avec suspension flexible (pompes à moteur submersibles), le mélange sable eau s'écoule par les conduites en acier du pont racleur vers le conduit en acier, monté sur la paroi extérieure du dessablage et puis vers la classification à sable pour la déshydratation.



**Figure 23 :** Dessablage.

- **Ouvrage de répartition :** Disposé en tête de station en aval des ouvrages de prétraitement, il permet de répartir les eaux usées vers les lagunes du premier étage.

Cette répartition est assurée par six seuils déversant identiques, de 1,50 m de largeur, munis de obstacles pour pouvoir au besoin mettre une lagune quelconque hors service (ONA, 2009).



Figure 24 : Répartiteur vers les bassins d'aération.

### b-Traitement secondaire des eaux usées

A la suite de ces prétraitements, les eaux à traiter subissent un traitement par le système de lagunage aéré. Cette étape est constituée de deux étages d'aération et d'un étage de finition.

#### ✓ Lagunes d'aération (première étape) :

Suite à l'alignement des vannes des conduites du répartiteur, l'eau usée à traiter biologiquement s'écoule par les conduites et répartie de manière homogène. Le traitement biologique d'eau consiste des trois lagunes aérées (A1, A2, A3) de la même taille et conception.

Pour assurer une réduction efficace de la pollution biologique (DBO) et chimique (DCO). A l'intervention des micro-organismes et l'oxygénation que fournir par 13 aérateurs dans chaque lagune, pour attendre dégradation de pollution organique entre 70-80 %. Selon le bilan global suivant :

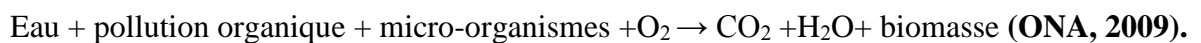


Figure 25 : Lagune aéré.

#### ✓ Lagunes d'aération (deuxième étape) :

Le fonctionnement de la deuxième étape d'aération est identique à la première. Mais pour la dégradation de la charge restante d'environ 20-30 % assuré par 6 pièces d'aérateurs ont été installées dans chaque lagune (ONA, 2009).



**Figure 26 : Aérateur.**

✓ **Traitement complémentaire (lagune de finition) :**

Les lagunes de finition ont été conçues et construites selon le même système que les lagunes aérées 1 et 2.

Les lagunes de finition ou de traitement final, ont été construites pour améliorer la qualité de l'eau usée traitée biologiquement, en majeure partie des matières dégradables est retenue dans les lagunes de l'étape 1 et 2. Voilà pourquoi le dépôt des boues dans les lagunes de traitement de finition augmente juste lentement. Les écarts de temps jusqu'au raclage des boues peuvent ainsi être prolongés par rapport aux lagunes aérées. Selon une estimation approximative, on peut assurer une fréquence de raclage de 8-10 ans. L'eau usée clarifiée biologiquement est dirigée vers l'émissaire (ONA, 2009).



**Figure 27 : Lagune de finition.**

## ✓ Décharge des boues :

## • Lit de séchage des boues :

Construire 14 lits de séchage dans 2 lignes avec 7 lits par ligne en est remplis des graviers de différente granulométrie et couverts du sable comme couche de couverture.

Conçues comme bâches terrestres avec revêtement en feuille, tuyaux perforé de drainage pour la déshydratation et des rampes d'accès pour la décharge de la boue sèche.

Pour le raclage de la boue déposée au radier des lagunes d'eau usée, un racleur de boue avec une pompe à piston rotatif aspire le mélange boue-eau et le transmet par une conduite de refoulement flexible, la boue pompée s'écoule par la suite vers les lits de séchage. Elle stockée dans les lits de séchage et déshydratée dans les conditions naturelles. Dans les conditions climatiques locales on peut assumer un temps de séjour d'environ 15-18 jours. Ainsi, on atteint un taux de matière sèche de 400-450kg/m<sup>3</sup> (ONA, 2009).



**Figure 28** : Lit de séchage des boues.

# **Chapitre II : Matériels et Méthodes**

## Chapitre II : Matériels et Méthodes

### 1. Matériel d'étude

#### 1.1. Matériel biologique

La souche de la Spiruline utilisée dans notre travail est *Arthrospira platensis*. La souche (Spiruline) a été isolée de pond (23°06' 11", N5° 49' 01"E) dans la région de Tamanrasset (Algérie). Les échantillons d'eau prélevés ont été traités selon les protocoles microbiologiques standards (Stanier et al., 1971 ; Rippka et al., 1979), puis la souche purifiée a été identifiée selon aux clés et à la description établies par Komèrak et al. (Komárek et al., 1998).

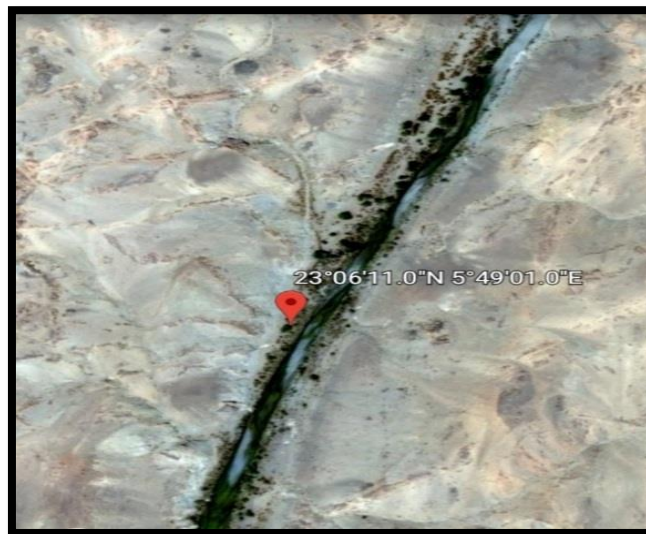


Figure 29 : la région de prélèvement de la souche.

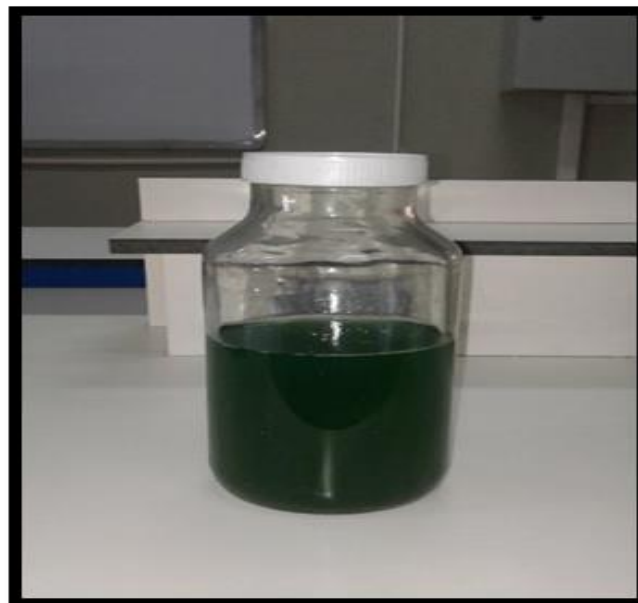


Figure 30 : La souche d'*Arthrospira platensis*.

**1.2. Matériel non biologique**

- Pompe air aquarium ;
- Résistance aquarium ;
- Lampe ;
- Minuteur ;
- Balance ;
- PH mètre ;
- Conductimètre ;
- Microscope ;
- Thermomètre numérique ;
- Spectrométrie ;
- Mélangeur magnétique (agitateur) ;
- Autoclavage.

**2. Méthodes d'étude****2.1. Suivi de croissance d'Arthrospira platensis par milieu Zarrouk****2.1.1. Préparation du milieu de culture**

- Pour 2 litres du milieu de culture nous avons pesé chaque composant séparément du milieu de culture et nous l'avons dissous dans un flacon de 150 ml en ajoutant 50 ml d'eau distillé (la quantité de chaque composant est dans le **tableau 2**).
- Nous avons mélangé les composants dissous dans un béccher de 2 litres sous agitation continue par d'agitateur.
- Nous avons ajouté 1 ml de la solution A5 pour chaque 1litre du milieu de culture.
- Nous avons ajouté de l'eau distillée jusqu'à ce qu'elle atteigne le volume à préparer (2litres).
- Le milieu de culture est placé dans un flacon en verre de 2 litres. Le flacon est scellé et placé dans l'autoclavage pendant 20 minutes dans une température 121° C pour une stérilisation.
- Après stérilisation, le milieu de culture est conservé au réfrigérateur jusqu'à son utilisation.
- Pour notre expérimentation nous avons préparé 20 litres du milieu de culture.

**Tableau 2** : composition chimique du milieu de culture (Zarrouk, 1966).

Elément	Quantité g/l
NaHCO <sub>3</sub>	16,8 g/l

K <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	0,5 g/l
NaNO <sub>3</sub>	2,5 g/l
K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	1,0 g/l
NaCl	1,0 g/l
MgSO <sub>4</sub> , 7H <sub>2</sub> O	0,2 g/l
CaCl <sub>2</sub>	0.04 g/l
FeSO <sub>4</sub> , 7 H <sub>2</sub> O	0,01 g/l
EDTA	0,08 g/l
Solution A5	1,0 g/l
Composition de la « solution A5 »	
H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	2,86 g/l
MnCl <sub>2</sub> , 4 H <sub>2</sub> O	1,81 g/l
ZnSO <sub>4</sub> , 7 H <sub>2</sub> O	0,222 g/l
CuSO <sub>4</sub> , 5 H <sub>2</sub> O	0,079 g/l
MoO <sub>3</sub>	0,015 g/l



**Figure 31** : Milieu de culture.

### 2.1.2. Dispositif expérimental

Le dispositif expérimental est installé sur une paillasse au laboratoire (Fig.32). On a filtré 350 mg de la souche contenue dans 1 litre par papier filtre puis on a fait cultiver la souche dans des bidons de 5 litres contenant 1 litre du milieu de culture testé (Tab.2) est utilisé pour l'ensemencement du volume de la souche. Une température constante (24/24h) de 32°C ; L'énergie lumineuse en jour pour les cultures est fournie par un lompe(l'intensité lumineuse est de 5000) ; elle est nécessaire pour la croissance de la souche et l'agitation assurée par une pompe d'air aquarium pour assurer une bonne aération et pour permettre aux cellules l'accès aux nutriments et à la lumière, Une pompe d'air aquarium que nous avons actionné (15munite/1h) pendant toute la période de l'expérimentation.



Figure 32 : Dispositif expérimental.

### 2.1.3. Évolution de la croissance d'*Arthrospira platensis*

#### 2.1.3.1. Étude de l'évolution des paramètres physico-chimiques

La culture de Spiruline est nécessitée de contrôler plusieurs paramètres à chaque deux jours.

#### ➤ Détermination des pH et Température

##### ▪ Mode opératoire (PH)

- Pendre environ = 100 ml d'échantillon à analyser ;
- Allumer le pH mètre ;
- Rincer l'électrode avec de l'eau distillée ;
- Tremper l'électrode de pile dans la solution tampon pH=7 ;
- Laisser stabiliser un moment jusqu'à affichage du standard ;
- Enlever l'électrode et la rincer abondamment avec l'eau distillée ;

- **Mode opératoire (température)**

- Laver l'électrode du Thermomètre numérique par l'eau distillée afin d'éviter la contamination ; la mettre dans l'échantillon et lire le résultat directement sur l'écran du Thermomètre numérique.



**Figure 33** : Température de la souche.

- **Détermination de la conductivité électrique, salinité**

- **Mode opératoire**

- Vérifier le calibrage de l'appareil ;
- Plonger l'électrode dans la solution à analyser ;
- Lire la conductivité et la salinité et la température lorsqu'il stabilise ;
- Bien rincer l'électrode après chaque usage et conserver l'électrode toujours dans l'eau déminéralisée.

- **Détermination du nitrate (N-NO<sub>3</sub><sup>+</sup>)**

- **Définition de nitrate**

Est un composé inorganique, ion de charge négative, composé d'un atome d'azote et trois molécules d'oxygène. Sa formule chimique est NO<sub>3</sub><sup>-</sup>. L'ion nitrate est la base conjuguée de l'acide nitrique (HNO<sub>3</sub>), acide très fort. Bien que de structure covalente, il présente une grande stabilité chimique. Le nitrate est un oxydant ; leur réduction ménagée conduit à la formation du nitrite et d'oxyde nitrique (NO) (**Robert B, 1987**).

- **Mode opératoire**

- Ouvrez le couvercle du tube de réactif ;
- Ajouter 1 ml de l'échantillon ;
- Ajouter 0,2 de la solution A ;
- Fermer le tube de réactif ;
- Bien mélanger le tube de réactif ;
- Laisser reposer pendant 15 minutes ;

- En mettez tube de réactif à essai dans le Spectrophotomètre HACK et lire le résultat.

➤ **Détermination de l'azote total NT**

▪ **Définition de l'azote**

L'azote est un élément chimique très répandu dans la nature. L'ensemble des réactions biologiques de croissance requiert la présence de cet élément. La forme azotée la plus abondante et la plus stable (N<sub>2</sub>), représentant 79 % de l'atmosphère terrestre (**Martin, 1979**). En effet il constitue entre 16 et 23 % de protéines cellulaires et environ 12 % des acides nucléiques (**Patureau, 1995**).

▪ **Mode opératoire**

- Dans un tube à essai mis 0.2 ml d'échantillon avec 2.3 ml de solution A et une capsule de B ;
- Laisser reposer pendant 15 min, puis le mettre dans le thermo-réacteur à 100°C pendant 1 heure ;
- En sortez le tube à essai de la machine, puis le laisser refroidir le tube à la température ambiante dans le support d'éprouvettes et puis en ajoute 1 capsule C dans le tube d'essai ;
- Bien mélanger le tube à essai ;
- Prenez 0.5 ml de la mélange et de les mettre dans le tube de réactif ;
- Ajouter 0.2 ml de la solution D ;
- Bien mélanger le tube de réactif ;
- Laisser reposer pendant 15 minutes ;
- En mettez tube à essai dans le Spectrophotomètre HACK et lire le résultat ;
- Expression des résultants ;
- Les résultats sont donnés directement en mg/l.

➤ **Mesure de l'absorbance**

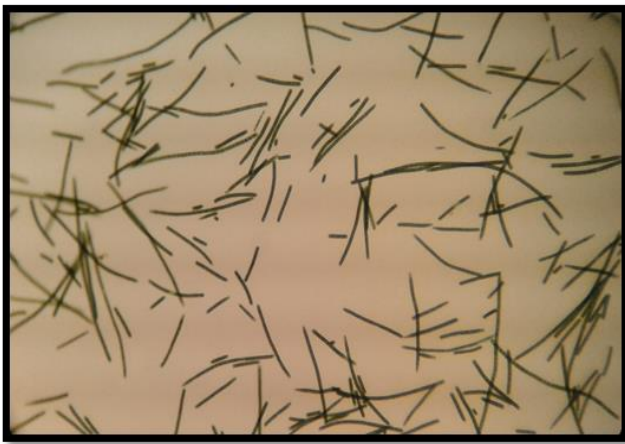
▪ **Mode opératoire**

- Allumer l'appareil
- Régler le spectrophotomètre sur la longueur d'onde que vous souhaitez utiliser (dans on notre expérimentation elle est égale **625 nm**)
- Placer une cuve contenant une solution témoin (milieu de culture) à l'endroit désigné .fermer le capot ; cliquer sur zéro.
- Placer une cuve contenant 3 ml d'échantillon (culture de spiruline) à l'endroit désigné fermer le capot ; cliquer sur mesure ; la valeur de l'absorbance s'affiche.

### 2.1.3.2. Étude des caractéristiques d'Arthrospira platensis

### a. L'étude morphologique par observation microscopique

La forme et la couleur de la Spiruline varient en fonction du caractère physique et chimique du milieu de culture environnant dans lequel vit la Spiruline. L'observation microscopique nous permet de contrôler les contaminations éventuelles des cultures et s'assurer de la morphologie de spiruline.



**Figure 34** : observation microscopique en  $G \times 10$ . **Figure 35** : *Arthrospira platensis* en  $G \times 40$ .

### b. Mesure de l'absorbance

On a mesuré l'absorbance régulièrement pour avoir une estimation de la concentration de la biomasse. Elle consiste en une lecture, à l'aide d'un spectrophotomètre, de la densité optique de la culture à une longueur d'onde de **625 nm**.

## 2.2. Bioremédiation par *Arthrospira platensis*

### 2.2.1. Analyses des paramètres physico-chimiques des eaux usées

#### 2.2.1.1. Analyses des paramètres physico-chimiques des eaux polluées

##### ➤ Détermination des pH et Température

###### ▪ Mode opératoire (PH)

- Pendre environ = 100 ml d'eaux polluée à analyser ;
- Allumer le pH mètre ;
- Rincer l'électrode avec de l'eau distillée ;
- Tremper l'électrode de pile dans la solution tampon pH=7 ;
- Laisser stabiliser un moment jusqu'à affichage du standard ;
- Enlever l'électrode et la rincer abondamment avec l'eau distillée ;

➤ **Détermination de la conductivité électrique, salinité**

▪ **Mode opératoire**

- Vérifier le calibrage de l'appareil ;
- Plonger l'électrode dans la solution à analyser (l'eau polluée) ;
- Lire la conductivité et la salinité et la température lorsqu'il stabilise ;
- Bien rincer l'électrode après chaque usage et conserver l'électrode toujours dans l'eau déminéralisée.

➤ **Détermination du nitrate (N-NO<sub>3</sub><sup>+</sup>)**

▪ **Mode opératoire**

- Ouvrez le couvercle du tube de réactif ;
- Ajouter 1 ml de l'eau polluée ;
- Ajouter 0,2 de la solution A ;
- Fermer le tube de réactif ;
- Bien mélanger le tube de réactif ;
- Laisser reposer pendant 15 minutes ;
- En mettez tube de réactif à essai dans le Spectrophotomètre HACK et lire le résultat.

➤ **Mesure le nitrite (N-NO<sub>2</sub><sup>-</sup>)**

▪ **Définition de nitrite**

Comme le nitrate mais composé de deux atomes d'oxygène. Sa formule chimique est NO<sub>2</sub><sup>-</sup>. L'ion nitrite est la base conjuguée de l'acide nitreux (HNO<sub>2</sub>). Il est instable et très réactif. Il agit parfois comme réducteur, mais, le plus souvent, il se comporte comme un oxydant énergétique. Il réagit sur l'hémoglobine pour donner la méthémoglobine (la raison essentielle de la toxicité directe des nitrites) (**Robert B, 1987**).

▪ **Mode opératoire**

- Ouvrez le couvercle du couvercle du tube de réactif ;
- Ouvrez le couvercle du de réactif ;
- Ajouter 2 ml de l'eau polluée ;
- Tournez le couvercle et fermer le tube de réactif ;
- Bien mélanger le tube de réactif ;
- Laisser reposer pendant 10 minutes ;
- En mettez tube de réactif dans le Spectrophotomètre HACK et lire le résultat.

➤ **Détermination de l'ammoniac NO<sub>3</sub>**

**▪ Définition de l'ammoniac**

L'ammoniac est un composé inorganique caractérisable par son odeur âcre. Il peut être trouvé sous forme gazeuse ou dissous en solution aqueuse (ammoniaque  $\text{NH}_4\text{OH}$  ou ion ammonium  $\text{NH}_4^+$ ). L'ammoniac est formé de manière naturelle au cours du cycle de l'azote ou bien par hydrolyse de l'urée selon l'équation (Benkirat, 2017).

**➤ Mesure l'ammoniac  $\text{NH}_3$** **▪ Mode opératoire****➤ Pour l'échantillon d'eau brute, utilisée le boit de réactif de 302 en gamme (47-130 mg/l ; 60-167 mg/l)**

- Ouverture le tube de réactif et ajouter 0.2 ml de l'eau brute puis agiter le tube ;
- Laisser le tube repose pendant 15 minutes ;
- Mettre le tube en spectrophotomètre, le résultat est donné directement en mg/l.

**➤ Pour l'échantillon d'eau épurée, utilisée le boit de réactif de 303 en gamme (2-47 mg/l ; 2,5-60 mg/l)**

- Ouverture le tube de réctif et ajouter 0.2 ml de l'eau épurée puis agiter le tube ;
- Laisser le tube repose pendant 15 minutes ;
- Mettre le tube en spectrophotomètre, le résultat est donné directement en mg/l.

**➤ Détermination de l'azote total NT****▪ Mode opératoire**

- Dans un tube à essai mis 0.2 ml d'eau polluée avec 2.3 ml de solution A et une capsule de B ;
- Laisser reposer pendant 15 min, puis le mettre dans le thermo-réacteur à  $100^\circ\text{C}$  pendant 1 heure ;
- En sortez le tube à essai de la machine, puis le laisser refroidir le tube à la température ambiante dans le support d'éprouvettes et puis en ajoute 1 capsule C dans le tube d'essai ;
- Bien mélanger le tube à essai ;
- Prenez 0.5 ml de la mélange et de les mettre dans le tube de réactif ;
- Ajouter 0.2 ml de la solution D ;
- Bien mélanger le tube de réactif ;
- Laisser reposer pendant 15 minutes ;
- En mettez tube à essai dans le Spectrophotomètre HACK et lire le résultat ;
- Expression des résultants ;
- Les résultats sont donnés directement en mg/l.

### 2.2.1.2. Analyse des paramètres physico-chimiques des eaux traitées

La méthode des analyse des paramètres physico-chimiques d'eaux traitée (pH, Température, nitrite, nitrate, ammoniac, azote totale) par même méthode des analyse des paramètres physico-chimiques d'eaux polluées.

### 2.2.2. Suivi de bioremédiation des polluants organiques par *Arthrospira platensis*

#### 2.2.2.1. Préparation du milieu ordinaire

Il se compose d'eau polluée ; filtrée et stérilisée plus carbonate de sodium (8 g pour 1litre).

#### 2.2.2.2. Bioremédiation

On commence la bioremédiation par filtration 350 mg/l d'*Arthrospira platensis* par papier filtre puis nous avons mis cette quantité dans 1 litre de milieu ordinaire .La durée de la bioremédiation des polluants organiques 15 jours avec la présence toutes les conditions nécessaires de la bioremédiation par *Arthrospira platensis* et encore nous avons déterminé les paramètres physico-chimiques avec l'écrivassions des résultats lors cette phase.

#### 2.2.2.3. Étude de l'évolution des paramètres physico-chimiques

La bioremédiation des polluants organiques par Spiruline est nécessitée de contrôler plusieurs paramètres à chaque deux jours.

#### ➤ Détermination des pH et Température

##### ▪ Mode opératoire (PH)

- Pendre environ = 100 ml d'échantillon à analyser ;
- Allumer le pH mètre ;
- Rincer l'électrode avec de l'eau distillée ;
- Tremper l'électrode de pile dans la solution tampon pH=7 ;
- Laisser stabiliser un moment jusqu'à affichage du standard ;
- Enlever l'électrode et la rincer abondamment avec l'eau distillée ;
- Etalonner dans la même manière avec les solutions tampon pH=10 ou pH=4

##### ▪ Mode opératoire (température)

- Laver l'électrode du Thermomètre numérique par l'eau distillée afin d'éviter la contamination ; la mettre dans l'échantillon et lire le résultat directement sur l'écran du Thermomètre numérique.

#### ➤ Détermination de la conductivité électrique, salinité

**▪ Mode opératoire**

- Vérifier le calibrage de l'appareil ;
- Plonger l'électrode dans la solution a analysé ;
- Lire la conductivité et la salinité et la température lorsqu'il stabilise ;
- Bien rincer l'électrode après chaque usage et conserver l'électrode toujours dans l'eau déminéralisée.

**➤ Détermination du nitrate (N-NO<sub>3</sub><sup>+</sup>)****▪ Mode opératoire**

- Ouvrez le couvercle du tube de réactif ;
- Ajouter 1 ml de l'échantillon ;
- Ajouter 0,2 de la solution A ;
- Fermer le tube de réactif ;
- Bien mélanger le tube de réactif ;
- Laisser reposer pendant 15 minutes ;
- En mettez tube de réactif à essai dans le Spectrophotomètre HACK et lire le résultat.

**➤ Mesure le nitrite (N-NO<sub>2</sub><sup>-</sup>)****▪ Mode opératoire**

- Ouvrez le couvercle du couvercle du tube de réactif ;
- Ouvrez le couvercle du de réactif ;
- Ajouter 2 ml de l'échantillon ;
- Tournez le couvercle et fermer le tube de réactif ;
- Bien mélanger le tube de réactif ;
- Laisser reposer pendant 10 minutes ;
- En mettez tube de réactif dans le Spectrophotomètre HACK et lire le résultat.

**➤ Mesure l'ammoniac NH<sub>3</sub>****▪ Mode opératoire****➤ Pour l'échantillon d'eau brute, utilisée le boit de réactif de 302 en gamme (47-130 mg/l ; 60-167 mg/l)**

- Ouverture le tube de réactif et ajouter 0.2 ml de l'eau brute puis agiter le tube ;
- Laisser le tube repose pendant 15 minutes ;
- Mettre le tube en spectrophotomètre, le résultat est donné directement en mg/l.

**➤ Pour l'échantillon d'eau épurée, utilisée le boit de réactif de 303 en gamme (2-47 mg/l 2,5-60 mg/l)**

- Ouverture le tube de réactif et ajouter 0.2 ml de l'eau épurée puis agiter le tube ;
- Laisser le tube repose pendant 15 minutes ;
- Mettre le tube en spectrophotomètre, le résultat est donné directement en mg/l.

➤ **Détermination de l'azote total NT**

▪ **Mode opératoire**

- Dans un tube à essai mis 0.2 ml d'échantillon avec 2.3 ml de solution A et une capsule de B ;
- Laisser reposer pendant 15 min, puis le mettre dans le thermo-réacteur à 100°C pendant 1 heure ;
- En sortez le tube à essai de la machine, puis le laisser refroidir le tube à la température ambiante dans le support d'éprouvettes et puis en ajoute 1 capsule C dans le tube d'essai ;
- Bien mélanger le tube à essai ;
- Prenez 0.5 ml de la mélange et de les mettre dans le tube de réactif ;
- Ajouter 0.2 ml de la solution D ;
- Bien mélanger le tube de réactif ;
- Laisser reposer pendant 15 minutes ;
- En mettez tube à essai dans le Spectrophotomètre HACK et lire le résultat ;
- Expression des résultants ;
- Les résultats sont donnés directement en mg/l.

# **Chapitre III : Résultats et discussion**

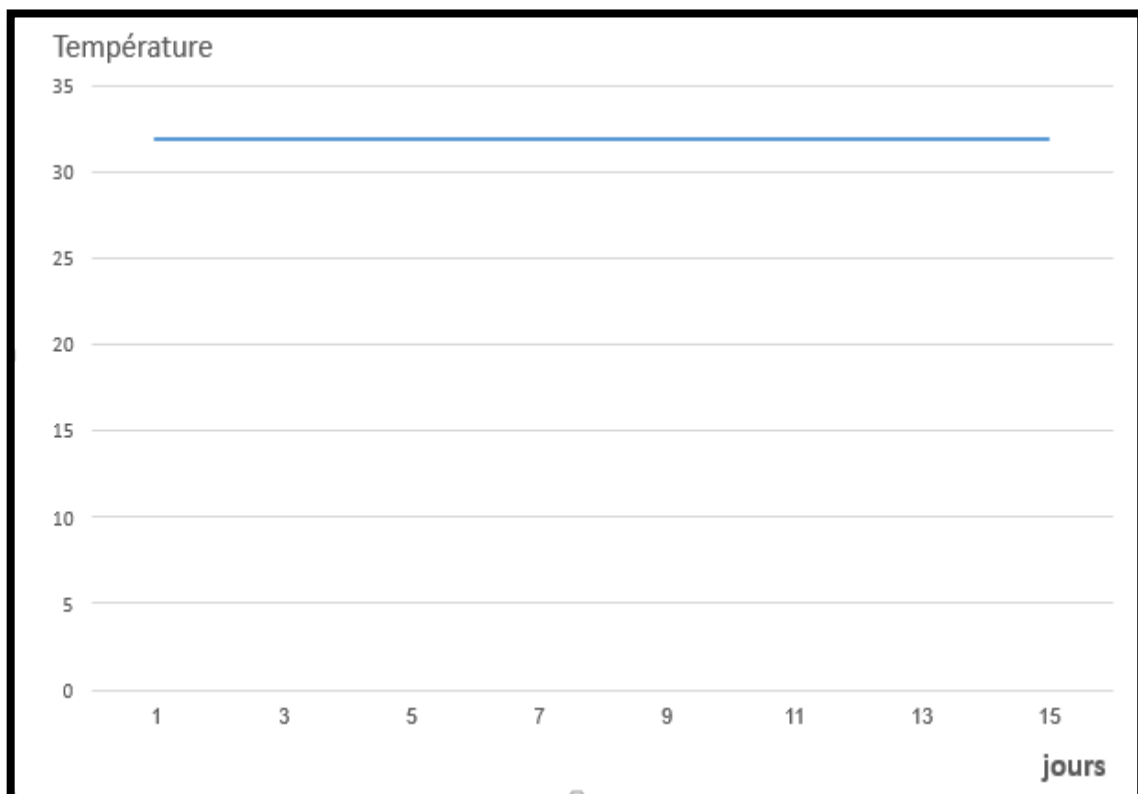
## Chapitre III : Résultats et discussion

Dans cette partie nous suivons la croissance de Arthrospira platensis dans le milieu Zarrouk et dans milieu ordinaire +8g Bicarbonate de sodium, nous avons effectué sur les analyses de paramètres physico-chimiques de pollution.

### 1. Suivi la croissance de Arthrospira platensis dans le milieu Zarrouk

#### 1.1. Température (T°C)

Les résultats que nous avons obtenus de la température sont rassemblés dans la Histogramme (Fig.36).



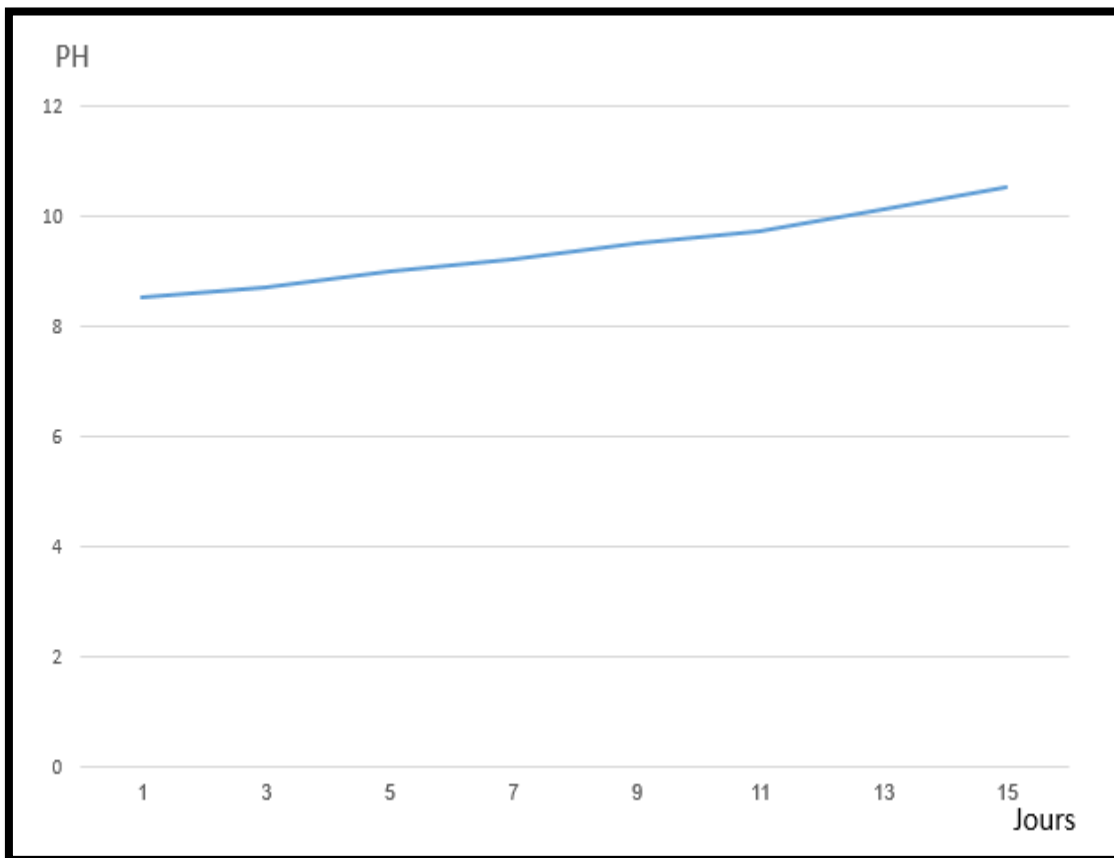
**Figure 36 :** Histogramme de variation de température T°C dans milieu Zarrouk.

On observe les valeurs de température fixée à 32° C.

Cette stabilisation de température assurée par résistance électrique pour aquarium réglée à 32°C.

### 1.2. Potentiel hydrique (PH)

Les résultats journaliers d'analyse le potentiel hydrique pH sont traduit comme Histogramme (Fig.37).



**Figure 37 :** Histogramme de variation potentiel hydrique (PH) dans milieu Zarrouk.

On observe une augmentation dans les valeurs de PH de 8.5 jusqu'à 10.5.

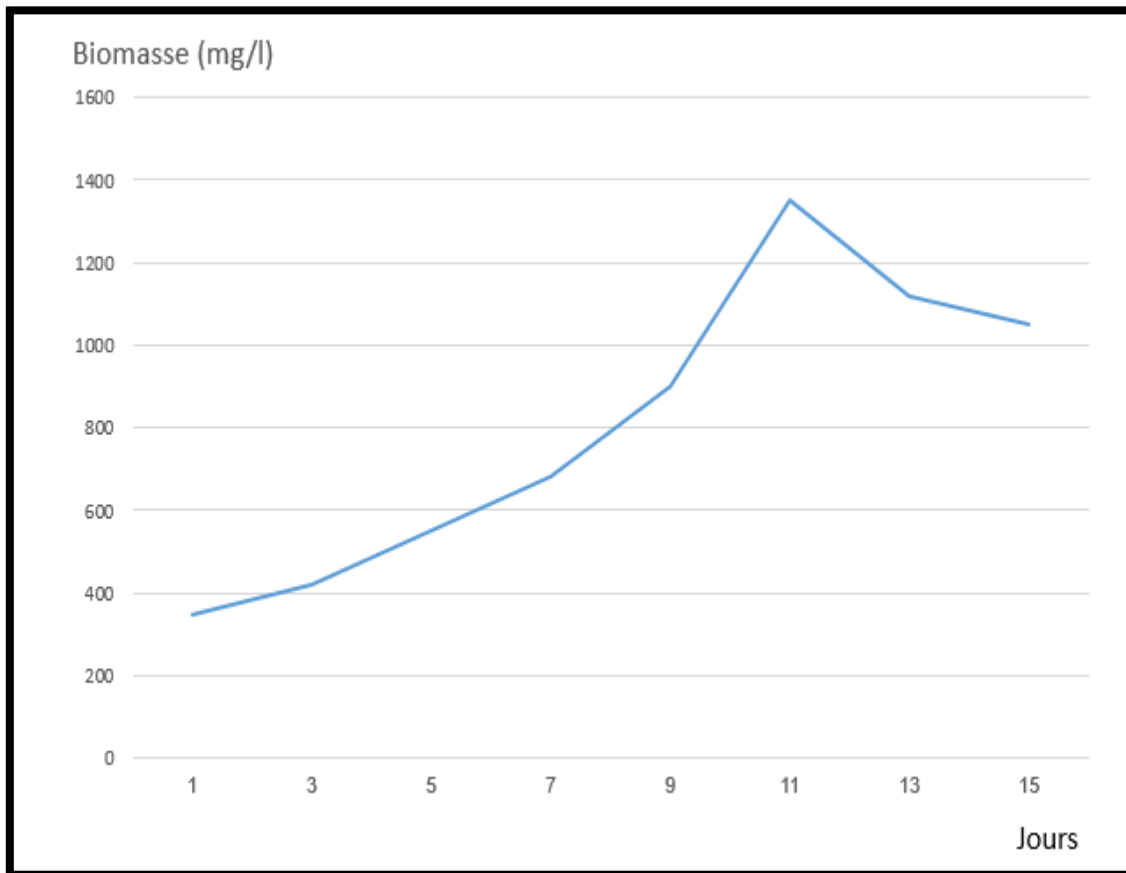
Parmi les compositions de milieu culture existe les bicarbonates sodiums qui transissent à CO<sub>2</sub> liquide (consommer par les micro-algues) avec NaOH.



L'augmentation de Ph liée à la consommation de CO<sub>2</sub> liquide (plus la photosynthèse est élevée plus la consommation de CO<sub>2</sub> est élevée et plus Ph.

### 1.3. Biomasse

Les résultats que nous avons obtenus de la biomasse sont rassemblés dans la Histogramme (Fig.38).



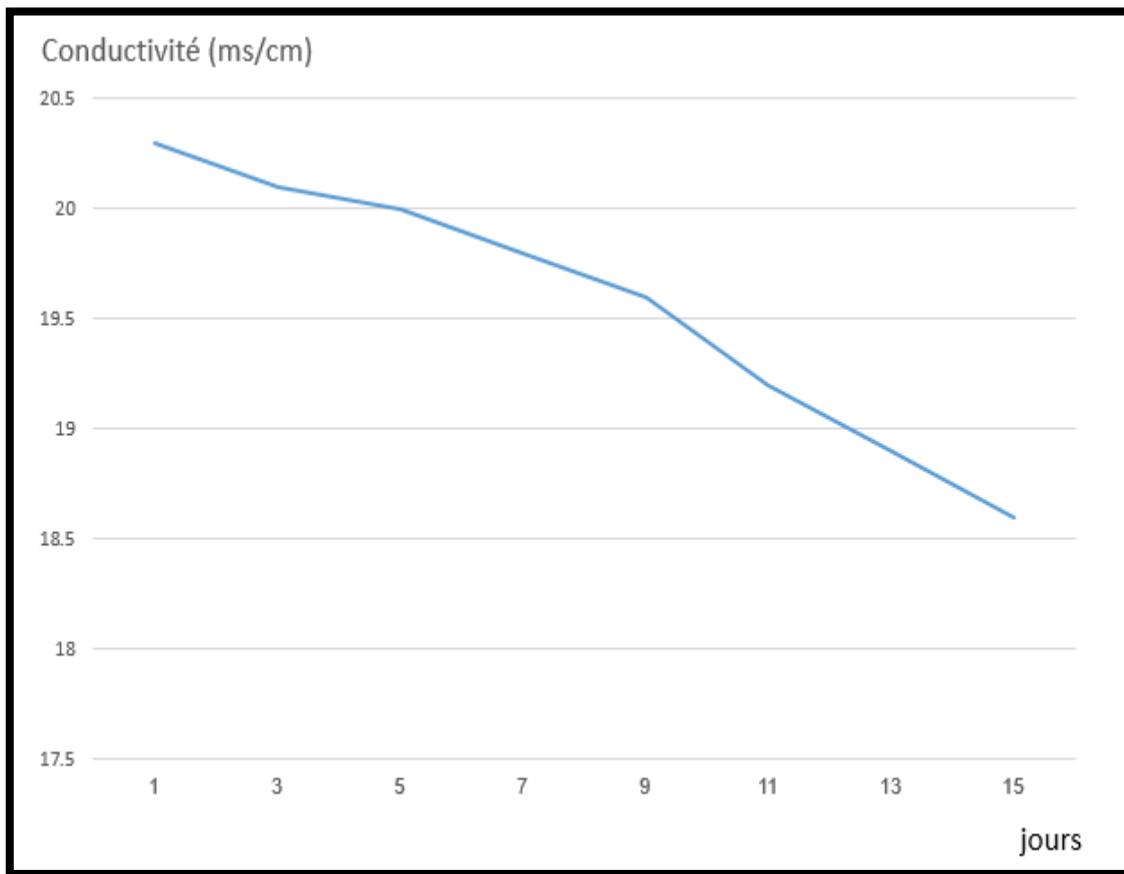
**Figure 38** : Histogramme de variation biomasse dans milieu Zarrouk.

On observe augmentation de biomasse de premier jour jusqu'à jour 11 suivie par diminution.

L'augmentation de la biomasse s'est produite en raison de sa obtention des quantités optimales de nutriment et des conditions appropriées pour sa croissance, et sa diminutions en raison d'une diminution des quantités de nutriments dans le milieu de culture.

### 1.4. Conductivité

Les résultats que nous avons obtenus de la Conductivité sont rassemblés dans la Histogramme (Fig.39).



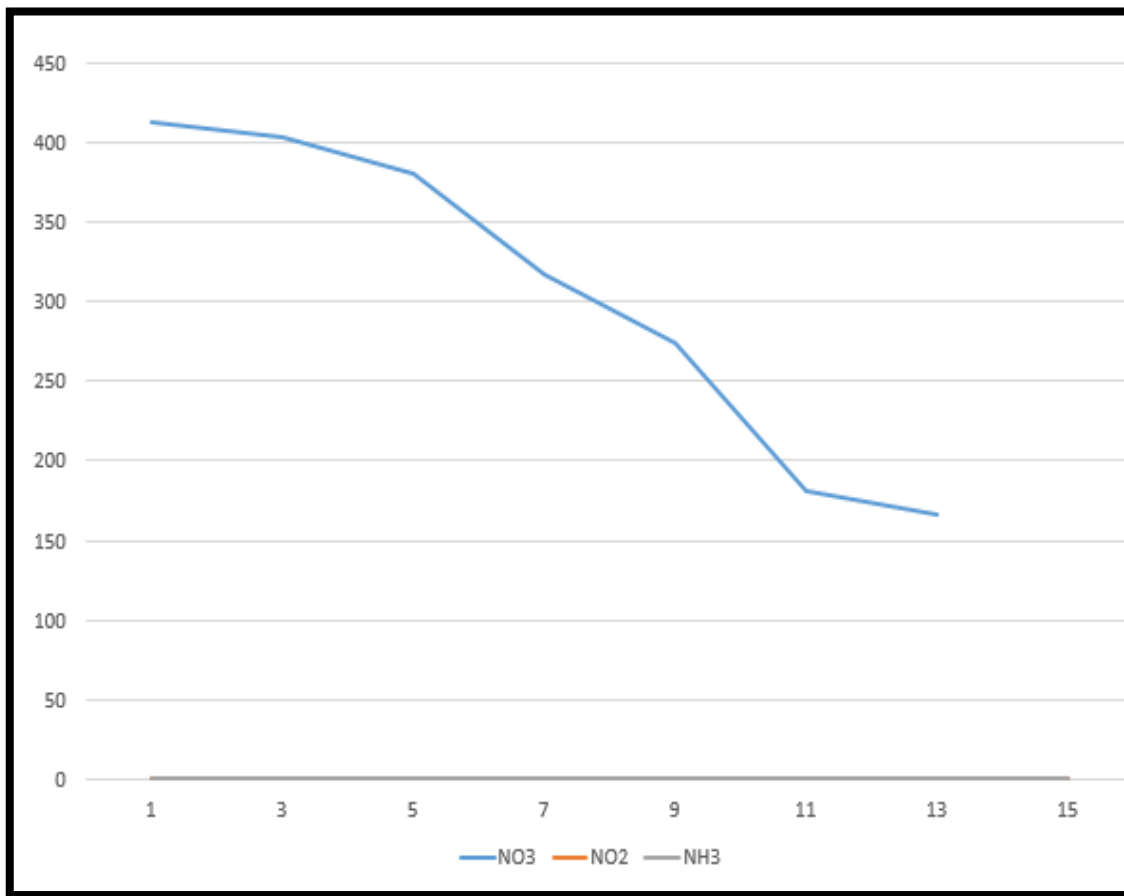
**Figure 39 :** Histogramme de variation conductivité dans milieu Zarrouk.

On observe une diminution des valeurs de conductivité.

La consommation des micro-algues pour les sels minéraux entraîne une diminution de la conductivité.

### 1.5. Ammoniac, Nitrate et Nitrite

Les résultats que nous avons obtenus de la Ammoniac, Nitrate et Nitrite sont rassemblés dans la Histogramme (Fig. 40; 41).



**Figure 40 :** Histogramme de variation des valeurs de NH<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub> et NO<sub>3</sub> dans milieu Zarrouk.

On observe un manque de NH<sub>3</sub> et NO<sub>2</sub>, avec une diminution de NO<sub>3</sub>.

La manque de NH<sub>3</sub> et NO<sub>2</sub> se référer au manque de présence dans les composant du milieu culture,

La diminution de NO<sub>3</sub> se référer à la capacité de spiruline à l'absorption de NO<sub>3</sub> dans les PH inférieur 10.5.

1.6. L'Azote totale

Les résultats que nous avons obtenus de l'azote total sont rassemblés dans la Histogramme.

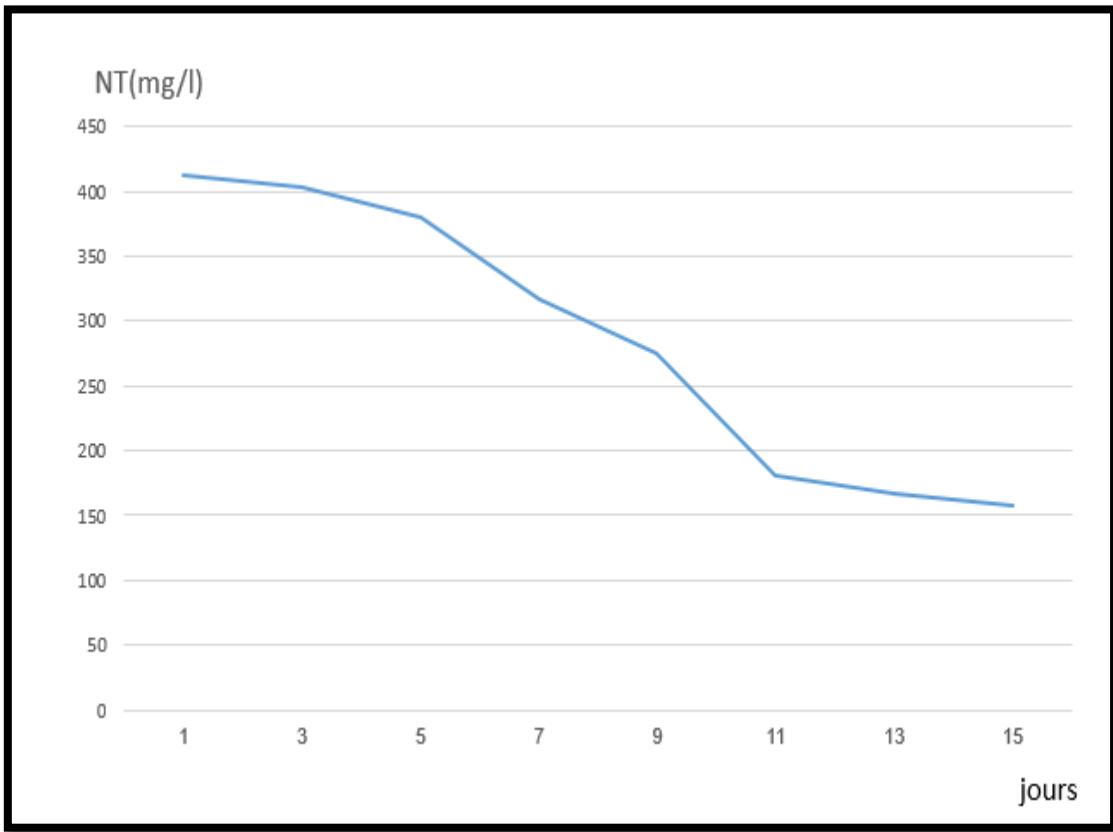


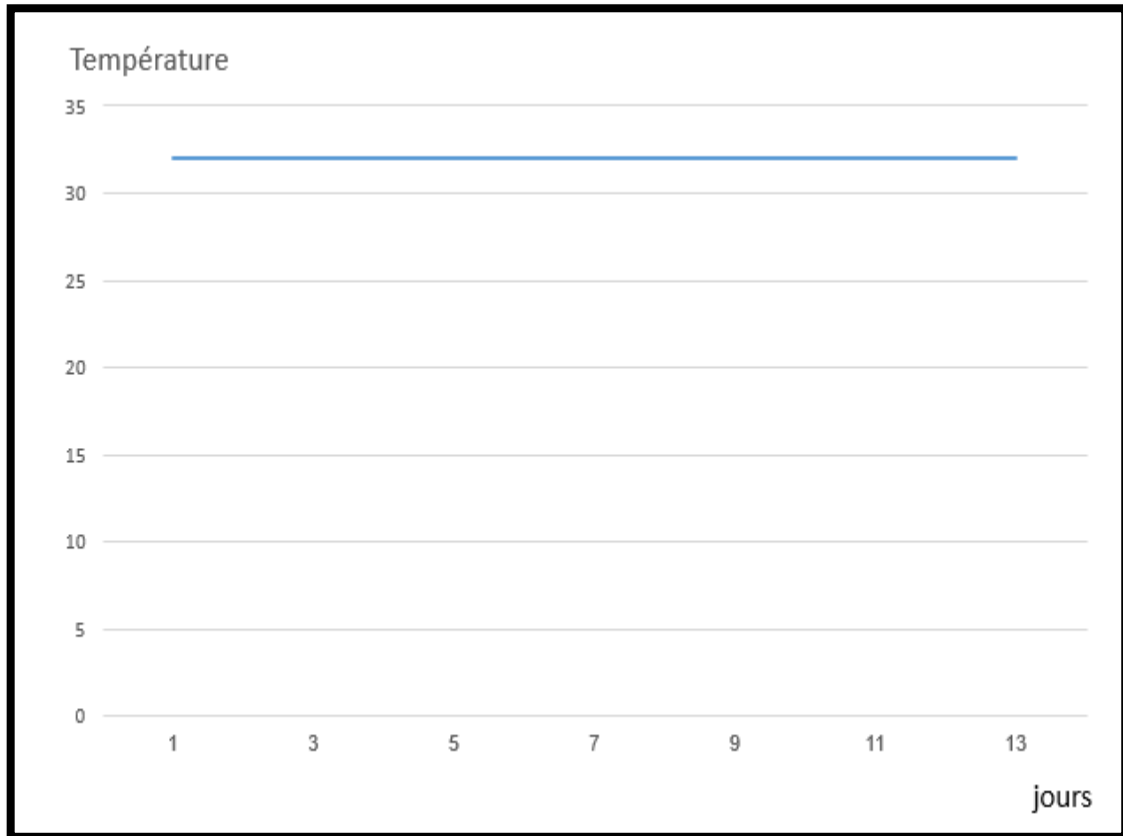
Figure 41 : Histogramme de variation des valeurs de l'azote totale dans milieu Zarrouk.

On observe diminution de NT Référé à la consommation de spiruline à l'azote.

## 2. Suivi la bioremédiation des polluants organiques par *Arthrospira platensis*

### 2.1. Température (T°C)

Les résultats que nous avons obtenus de la température sont rassemblés dans la Histogramme (Fig.42).



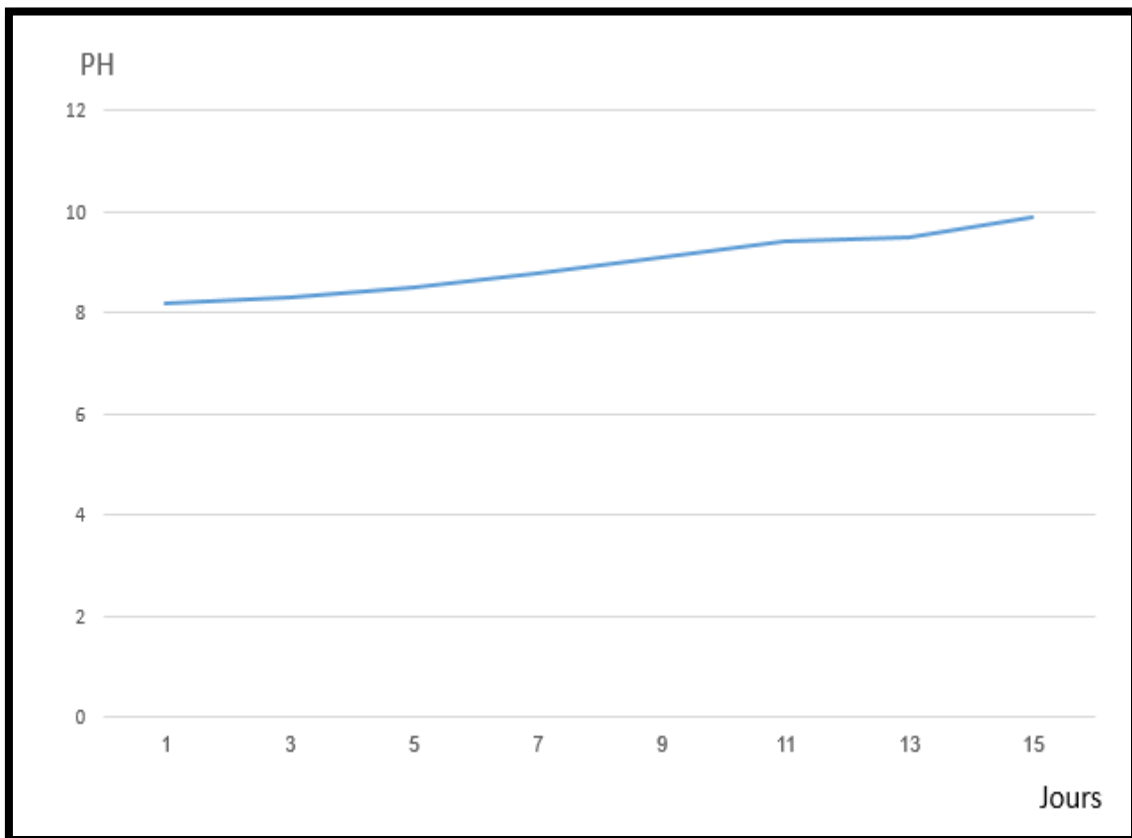
**Figure 42** : Histogramme de variation de température T°C dans milieu ordinaire.

On observe les valeurs de température fixée à 32° C

Cette stabilisation de température assurée par résistance électrique pour aquarium réglée à 32°C.

## 2.2. Potentiel hydrique (PH)

Les résultats journaliers d'analyse le potentiel hydrique pH sont traduit comme Histogramme (Fig.43).



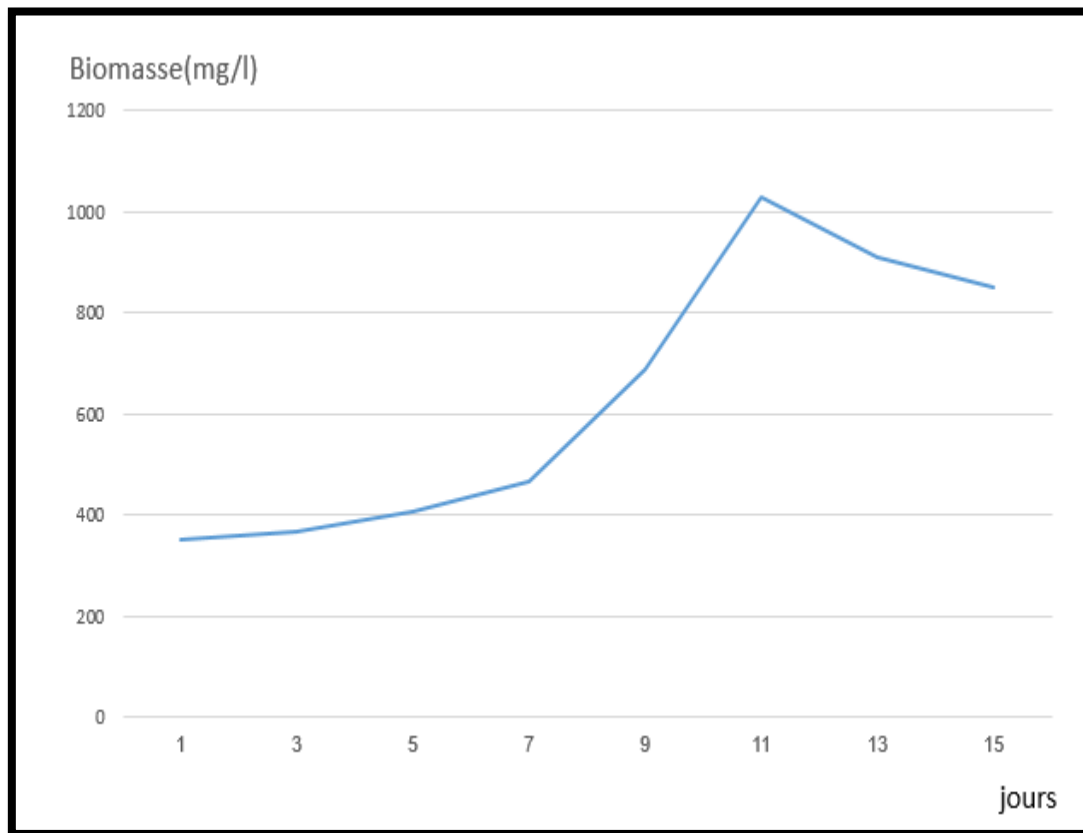
**Figure 43** : Histogramme de variation potentiel hydrique (PH) dans milieu ordinaire.

On observe augmentation de valeur PH, et cette augmentation inférieure à la présence dans le milieu Zarrouk, référer à la présence quantité optimale de besoin nutritionnels dans milieu Zarrouk.

Nos résultats ne sont pas en accord avec (**Mostafa et El-sheekh, 2016**) qui utilisent les souches *C.vulgaris* et *C.salina* qui obtiennent aussi augmentation des valeurs ph, chez *C.Salina* de 7.1 jusqu'à 7.2 et chez *C.Vulgaris* de 6.9 jusqu'à 7, mais nos résultats sont bien supérieurs à ces derniers.

### 2.3. Biomasse

Les résultats que nous avons obtenus de la biomasse sont rassemblés dans la Histogramme (Fig.44).



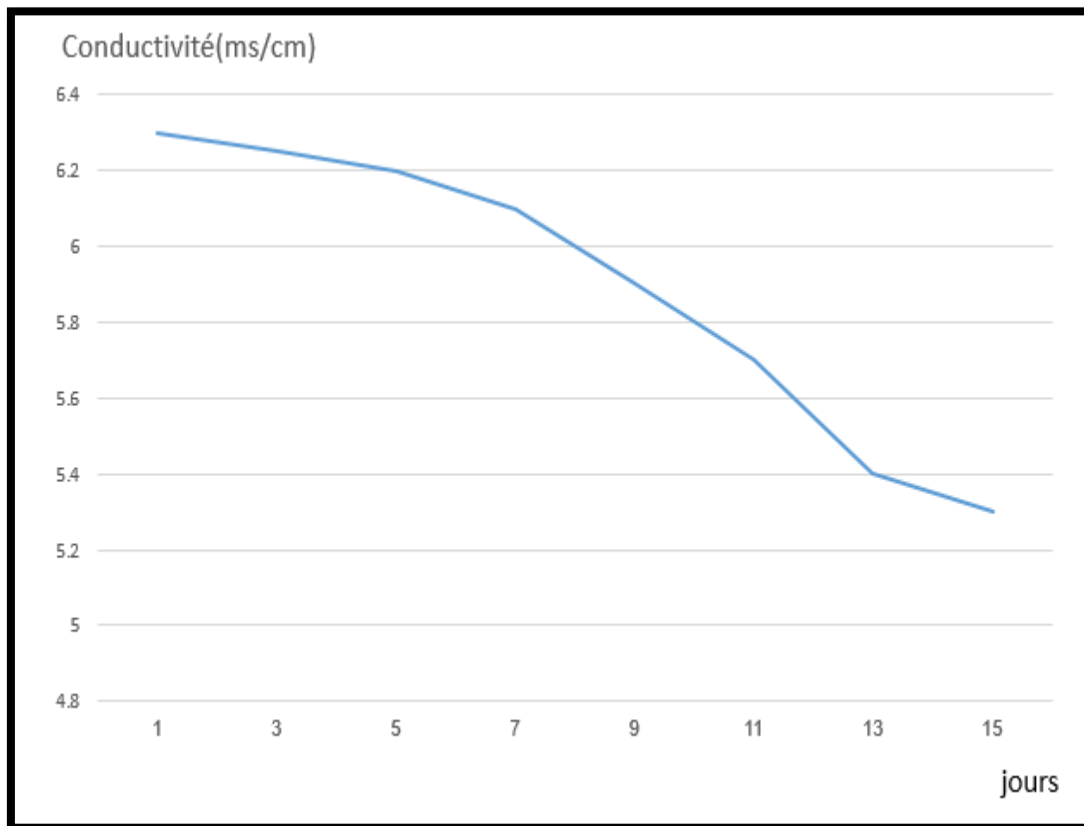
**Figure 44 :** Histogramme de variation biomasse dans milieu ordinaire.

On observe augmentation de biomasse référer à la présence de besoin nutritionnel de spiruline dans l'eau usée filtré suivie par diminué en raison de carences en nutriments. Il s'agit d'une augmentation inférieure à celle du milieu Zarrouk, en raison de la présence des quantités optimales de nutriments dans celui-ci.

Nos résultats sont en accord avec (Chojnka, 2003) qui obtiennent aussi augmentation de la biomasse où atteint à 770 mg/l alors qu'elle était 350 mg/l au début, mais nos résultats sont bien supérieurs à ces derniers.

## 2.4. Conductivité

Les résultats que nous avons obtenus de la Conductivité sont rassemblés dans la Histogramme (Fig.45).



**Figure 45 :** Histogramme de variation conductivité dans milieu ordinaire.

On observe une diminution des valeurs de conductivité, référer à la consommation des micro-algues pour les sels minéraux, Il s'agit d'une diminution inférieure à celle du milieu Zarrouk, en raison de la présence des quantités optimales de sels minéraux dans celui-ci.

2.5. Ammoniac, Nitrate et Nitrite

Les résultats que nous avons obtenus de la Ammoniac, Nitrate et Nitrite sont rassemblés dans la Histogramme (Fig.46).

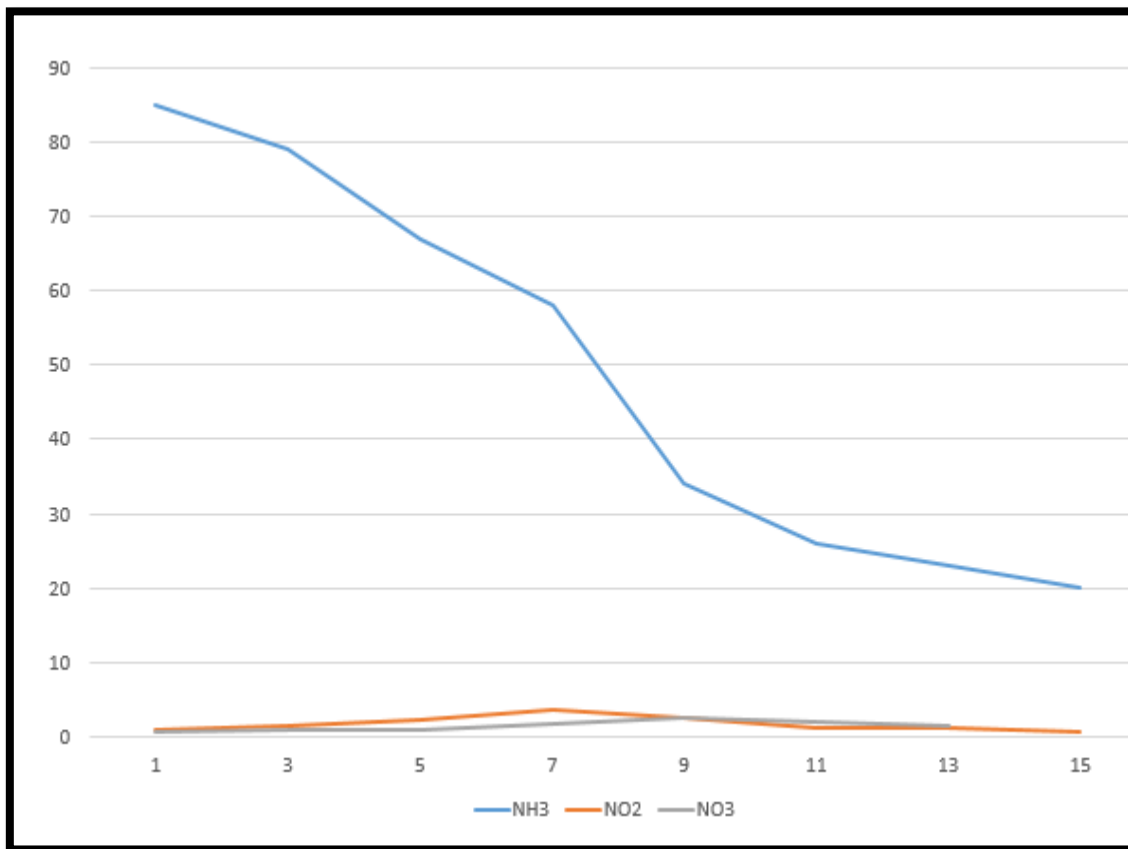
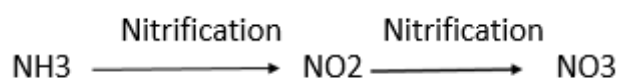


Figure 46 : Histogramme de variation des valeurs de NH3, NH2 et NO3 dans milieu ordinaire.

On observe augmentation de NO2 synchronisé avec diminution de NH3 (de 1 jours jusqu'à 3 jours) suivie par diminution de NO2 et NH3 (de 3 jours jusqu'à 5 jours) avec augmentation de NO3 et suivie par manque de NO2, diminution de NH3 et augmentation de NO3.

Dans milieu ordinaire se déroule :



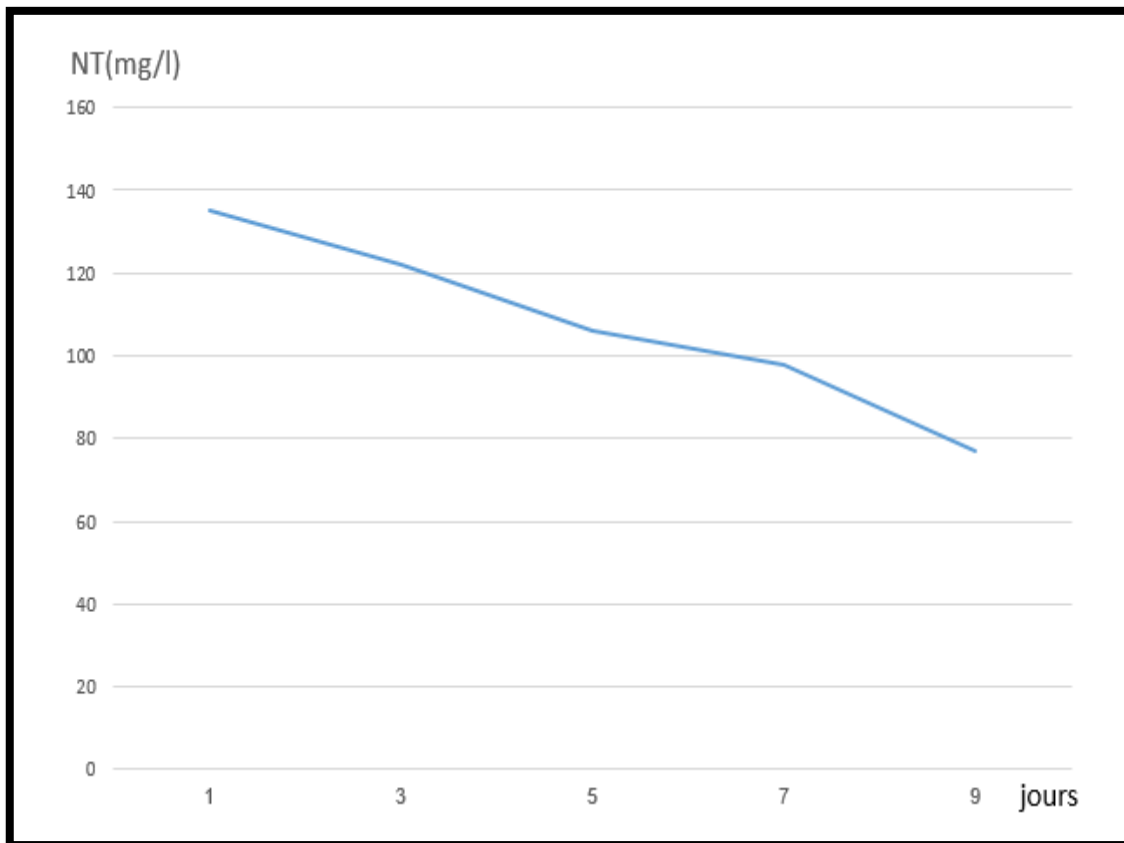
Il s'agit d'une diminution de NO3 inférieure à celle du milieu Zarrouk, en raison de la dénitrification de NO3.



Nos résultats sont en accord avec (Mostafa et EL-Sheekh, 2016) qui utilisent les souches *C. Vulgaris* et *C. Salina* et qui obtiennent aussi diminution des valeurs de  $\text{NO}_2$ ,  $\text{NH}_3$  et  $\text{NO}_3$ . mais cette diminution a été inférieure à celle de la spiruline.

## 2.6. L'Azote totale

Les résultats que nous avons obtenus de l'azote total sont rassemblés dans la Histogramme (Fig. 47).



**Figure 47 :** Histogramme de variation des valeurs de NT dans milieu ordinaire.

On observe diminution de valeur d'azote totale référée à la consommation de spiruline d'azote.

Il s'agit d'une diminution inférieure à celle du milieu Zarrouk, en raison de la présence des quantités optimales d'azote totale dans celui-ci.

Nos résultats sont en accord avec (Mostafa et EL-Sheekh, 2016) qui utilisent les souches *C. Vulgaris* et *C. Salina* et qui obtiennent aussi diminution de valeur de NT. Mais cette diminution a été inférieure à celle de la spiruline.

# Conclusion

### Conclusion

La bioremédiation est un processus métabolique actif de l'absorption des toxiques par les cellules vivantes. Les métaux ou d'autres substances sont transportés à l'intérieur des cellules, puis accumulés intracellulaires. Cette caractéristique se retrouve dans un certain nombre de microorganismes tels que les bactéries, les champignons et les virus, sans oublier les micro-algues, notamment la spiruline, qui a la capacité d'absorber des substances toxiques telles que les métaux lourds et les polluants organiques.

Dans notre étude, nous avons utilisé la spiruline dans la bioremédiation des eaux usées, et elle a été divisée en deux étapes, et les résultats de chaque étape étaient les suivants :

La première étape est la biomasse de la souche : Les valeurs de température fixée à 32° C. Cette stabilisation de température assurée par résistance électrique pour aquarium réglée à 32°C. Une augmentation dans les valeurs de PH de 8,5 jusqu'à 10,5. Une augmentation de biomasse de premier jour jusqu'à jour 11 suivie par diminution. Une diminution des valeurs de conductivité. Un manque de NH<sub>3</sub> et NO<sub>2</sub>, avec une diminution de NO<sub>3</sub>. Une diminution de NT.

La deuxième étape est la bioremédiation : Les valeurs de température fixée à 32° C. Une augmentation de valeur PH. Augmentation de biomasse. Une diminution des valeurs de conductivité. Augmentation de NO<sub>2</sub> synchronisé avec diminution de NH<sub>3</sub> (de 1 jour jusqu'à 3 jours) suivie par diminution de NO<sub>2</sub> et NH<sub>3</sub> (de 3 jours jusqu'à 5 jours) avec augmentation de NO<sub>3</sub> et suivie par manque de NO<sub>2</sub>, diminution de NH<sub>3</sub> et augmentation de NO<sub>3</sub>. Diminution de valeur d'azote totale, (%), Ce qui correspond avec a été enregistré (Mostafa M. El-Sheekh, 2016) et (K. Chojnacka, 2003). Les recherches en cours ont montré que ce type de micro-algues a une bonne capacité à réduire le niveau de toxicité pour tous les paramètres physico-chimiques. Ces expériences confirment que la spiruline peut être considérée comme un décapant efficace des polluants organiques.

Nous appelons à fournir l'équipement nécessaire pour pouvoir utiliser cette technologie dans le traitement de l'eau pour réduire la pollution de l'environnement. Et fournir les matériels pour réaliser des analyses d'autres paramètres (métaux lourds), plus augmentation de biomasse et obtenir bon résultat.

### Références Bibliographiques

- Aba Aaki R., (2012). Élimination des métaux lourds (Cd, Pb, Cr, Zn et As) des eaux usées industrielles et naturelles par le procédé d'infiltration-percolation. Thèse pour l'obtention de grade de Docteur en Matériaux et Environnement. Université Ibnou Zohr, Agadir, 149 p.
- Abouzlam M., (2006). Optimisation d'un procédé de traitement des eaux par ozonation catalytique. Thèse de Doctorat. Université de Poitiers, 157 p.
- Abouzlam M., (2006). Optimisation d'un procédé de traitement des eaux par ozonation catalytique. Thèse de Doctorat. Université de Poitiers, 157 p.
- AHOUNOU M. N., 2018 : La spiruline : Un complément alimentaire en conseil à l'officin Enquête d'utilisation. Thèse pour l'obtention d'un Diplôme d'Etat de Docteur en Pharmacie Université de Rouen, UFR de Médecine et de Pharmacie, p 17-27, 40.
- Andersen et al. In sialve B, steyer J.P, 2013. les micro-algues, promesses et défis. Innovations agronomiques ; 26 : 26.
- Andersen R.A, 1992.Diversity of eukaryotalgae. Biodiversity and conservation; 1(4): 267-292.
- BARTH AND LEO, 2019 : Le Guide Complet de la Spiruline, Article scientifique <https://naturalathleteclub.com/blog/savoir-spiruline-bienfaits>
- Benahmed Djilali A., Slimani D.J., Bensara A., Nabiev M., Bouksaim M., Benamara S) 2013 Nouvelle méthode de production de Spirulina platensis en utilisant un milieu naturel à base de l'eau de mer, cendres de bois et la saumure de fromage. Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, 10 p.
- Benkirat Hadjer, Hadjadji Imane. Contrôle et simulation dynamique sous matlab de la stabilité thermique du catalyseur de convertisseur d'ammoniac FERTIAL-Annaba. Mémoire de master, Université 8 Mai 1945 de Guelma 2017.
- Borowitzka Ma (1997) microalgae for aquaculture: opportunities and constraints. journal of applied phycology 9:393-401.
- BOUDAUD S., 2016 : l'Incorporation de la Spiruline sur les Qualités Nutritionnelles Organoleptiques et Technologiques du Couscous Artisanal, Mémoire de Master en Agronomie Université Abou Bakr Belkaid, Tlemcen, p 35.
- CAMPBELL et J. B. REECE, Biologie, adaptation et révision scientifique de Richard Mathieu, 2éme édition, édition De Boeck, 2004. P : 143-159.

## Références

---

- CASAL A., 2019 : l'Aliment Idéal et le plus Complet de Demain, Site web [www.spirulinefrance.fr](http://www.spirulinefrance.fr).
- Charpy L., (2002). Compte rendu du mini colloque sur la production de spiruline artisanale Colloque. p 1-7.
- CHARPY L., LANGLADE M. J., ALLIOD R., 2008 : La Spiruline peut-elle être un Atout pour la Santé et le Développement en Afrique ? Institut de recherche pour le développement Marseille, p 6, 16t.
- Ciferri O., (1983). Spirulina, the edible microorganism. Microbiological Reviews. Vol 47, p578-551.
- Ciferri O., (1983). Spirulina, the edible microorganism. Microbiological Reviews. Vol 47, p578-551.
- Croll DA ; Holmes RW (1982) A note on the occurrence of diatoms on the feathers of diving seabirds. A quarterly journal of ornithology 99:765-766.
- Croll DA; Holmes RW (1982) A note on the occurrence of diatoms on the feathers of diving seabirds. A quarterly journal of ornithology 99:765-66.
- Cruchot H., (2008). La spiruline bilan et perspectives. Diplôme d'état de Docteur en Pharmacie. Université de Franche-comté, 323 p.
- De Jesus Raposo MF ; DE Morais RM ; DE Morais AM (2013) Health application of bioactive compounds from marine microalgae. Life Science 93:479-486.
- De Jesus Raposo MF ; De Morais RM ; De Morais AM (2013) Health application of bioactive compounds from marine microalgae. Life sciences 93:479-486.
- Dellignette Kuller, M. L. Rosso, L. et Flandrois, J. P. (1995) Accuracy of microbial growth prediction with square root and polynomial models. International Journal of Food Microbiology. 27, 139-146.
- El Hachemi O., (2012). Traitement des eaux usées par lagunage naturel en milieu désertique l'obtention de grade de Docteur en Production végétale. Université Mohammed Premie d'Oujda, 122 pr (Oasis de Figuig) : performances épuratoires et aspect phytoplanctonique.
- Falquet J. et Hurni J.P., (2006). Spiruline : aspects nutritionnels. Antenna Technologies Girardin-Andréani C., (2005). Spiruline : Système Sanguine, Système Immunitaire et Cancer. Phytother. Vol 4, p 158–161.

## Références

---

- Ferro Y; Perullini M; Jobbagy M; Bimes SA ;Durrieu C (2012) Development of a biosensor for environmental monitoring based on microalgae immobilized in silica hydrogels. *Sensors* 12:16879-16891.
- Field CB, Behrenfeld MJ, Randerson JT, Falkowski P (1998) Primary production of the biosphere, integrating terrestrial and oceanic components. *Science* 281: 237-40.
- Fox, RD., 1999 : La spiruline (Technique, pratique et promesse), Édition sud, Aix-en Provence.
- Gadd: copper adsorption by rhizopus arrhizus, cladosprium racinae and pericillium italicum, springer, Berlin. 1986. P : 84-90.
- Gneclie Mahi A., (2006). Utilisation des normes qualités comme outils de pérennisation des fermes de spiruline dans les pays en voie de développement.
- Grobbelaar JU 2004 Algae nutrition. In: richmond a ed .hqnbook of microalgal culyure :Biotechnology and applied phycology. blackwell publishing Ltd,107pp.
- H. BABICH; G. STOTZKY: Sensitivity of varies bacteria including actrinomycetes and fungi to cadmium and influence of thon sensitivity, environ, microbial, 1977. P : 681-685
- H.HILALI, Perméabilité membranaire, Département de physiologie et thérapeutique IAV, Hassan II, Rabat, Maroc, 1999.
- Hacène H., Brahim R., Benaicha S., Ouahrani E.K., Chebhouni N., Siga A., (2001 Essais de Production de Protéines d'organismes Unicellulaires (P.O.U.) par des Souches de Spirulina. *Rev. Energ. Ren. : Production et Valorisation – Biomasse*, p 65-68.
- J. Komárek, H. Kling, J. Komárková, Filamentous cyanobacteria, In *John D. Wehr & Robert G. Sheath* (ed), *Freshwater Algae of North America: Ecology and Classification*, New York, 1998, pp. 117-196.
- Jeffrey S.W, Brown M.R, Volkman J.K, Dustan GA, 1997.Nutrition properties of microalgae for mariculture; *Aquaculture*; 151(1) : 315-331.
- Jiménez C., Cossio B.R., Labella D. et Niell F.X., (2003). The feasibility of industrial production of Spirulina in southern Spain. *Aquaculture*. Vol 217, p 179–190.
- Jourdan J.P., (2006). Cultivez votre spiruline. Manuel de culture artisanale pour la production de spiruline. Antenna Technologie.
- M. LEDIN: Accumulation of metals by micro-organisms-processes and importance for soil systems, *Earth science, reviews*, 2000. P: 1-31.

## Références

---

- MANET A., 2016 : La spiruline : Indications Thérapeutiques, Risques Sanitaires et Conseils à l'Officine, Thèse présentée pour l'obtention du titre de Docteur en pharmacie, Diplôme d'état Université Grenoble Alpes, Faculté de Pharmacie de Grenoble, p 12.
- Metahri M.S., (2012). Élimination simultanée de la pollution azotée et phosphatée des eaux usées traitées, par des procédés mixtes. Cas de la STEP Est de la ville Tizi-Ouzou. Thèse pour l'obtention de grade de Docteur en Génie des procédés. Université de Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, 148 p.
- MIRANDA M. S., CINTRA R. G., BARROS S. B., 1998: Antioxydant Activity of the Micoalga *Spirulina maxima*, Braz J Med Biol Res, 1998; 31: 1075-9.
- Moulin S., Rozen-rechels D. et Stankovic M., (2013). Traitement des eaux usées Environmental Research and Teaching InstituteMoulin S., Rozen-rechels D. et Stankovic M., (2013). Traitement des eaux usées Environmental Research and Teaching Institute.
- NIANGORAN N'GORAN U. F., 2017 : Optimisation de la culture de la spiruline en milieu contrôlé : Eclairage et Estimation de la Biomasse, Thèse de Doctorat de l'Université de Toulouse, Université Toulouse 3, Paul Sabatier, p 39.
- Norton TA ; Melkonian M ; Andersen RA (1996) Algal biodiversity. *phycologia* 35:308-326.
- Ogbonda K.H., Aminigo R.E. et Abu G.O., (2007). Influence of temperature and pH on biomasse production and protein biosynthesis and putative *Spirulina* sp. *Bioresource Technology*. Vol 98, p 2207-2211.
- P.G.C.CAMPBELL, Interactions between trace metals and organisms: critique of the free-ion activity model, dans A. Tessier et D. Turner (edit.), *Metal Speciation and Bioavailability in Aquatic Systems*, Chichester, UK, J.Wiley and Sons Ltd., 1995. P: 45-102.
- R. Rippka, J. Deruelles, J.B. Waterbury, M. Herdman, R.Y. Stanier, Generic assignments, strain histories and properties of pure cultures of cyanobacteria, *J.Gen. Microbio.*111 (1979) 1–6.
- R.Y. Stanier, R. Kunisawa, M. Mandel, G. Cohen-Bazire, Purification and properties of unicellular blue-green algae (order Chroococcales). *Bacterio. Rev.*35 (1971) 171–205.
- Robert,B., (1987). Analyse des risques mutagenes et cancerogenes : nitrates, nitrites,Composes n-nitroses. Confrontationavec les risques radioactif. Rapport CEA R- 5403 ; 174p.

## Références

---

- SALL M.G., DANKOKO B., BADIANE M., EHUA E., KUWAKUWI N., 1999 : La Spiruline, Une Source Alimentaire à Promouvoir, Laboratoire de Chimie Thérapeutique, Dakar Sénégal, Article 46.
- Sguera S., (2008). Spirulina platensis et ses constituants intérêts nutritionnels et activités thérapeutiques. Diplôme d'État de Docteur en Pharmacie. Université Henri Poincaré Nancy, 162 p.
- Sguera S., (2008). Spirulina platensis et ses constituants intérêts nutritionnels et activités thérapeutiques. Diplôme d'État de Docteur en Pharmacie. Université Henri Poincaré Nancy, 162 p.
- SGUERA S., 2008 : Spirulina Platensis et ses Constituants, Intérêts Nutritionnels et Activités Thérapeutiques, Thèse pour obtenir le Diplôme d'Etat de Docteur en Pharmacie, Université Henri Poincaré - Nancy 1, Faculté de Pharmacie, p 15.
- Sharma N.K et Rai A.K, 2011.biodiversity and biogeography of mirco-algue. Progress and pitfalls; 19 : 1-15.
- Sialve B.1, Steyer J-P. 1.2013. Les micro-algues, promesses et défis *nnovations Agronomiques* 26, 25-39.
- Sirakov I ; Velichkova K ; Stoyanova S ;Staykov Y (2015) the importance of microalgae for aquaculture industry. International Journal of Fisheries and Aquatic Studies 2:81-84.
- TREMBLIN G., MOREAU B., 2017 : La Spiruline sera-t-elle l'Aliment Miracle du XXIème siècle Article, Le Mans Université.
- VIDALO J. L., 2015 : Spiruline, l'algue bleue de santé et de prévention, Livre, Chapitre 3 Cancer et Spiruline, p 101, Chapitre 16 / Universelle spiruline. A chacun son profil p. 240/
- VONSHAK A., 2002: Spirulina platensis (Arthrospira): Physiology, Cell-biology and Biotechnology, p 1-17.
- Wetzel CE ; Van de Vijver B ; Ector L (2010) Luticola deniseae sp. Nov. A new epizoic diatom from the Rio Negro (Amazon hydrographic basin). Vie et Milieu 60:177-184.
- Zarrouk C. "Contribution à l'étude d'une cyanophycée : influence de divers facteurs physiques et chimiques sur la croissance et la photosynthèse de Spirulina maxima (Setch et Gardner) Geitler", Thèse de doctorat, Faculté des Sciences de l'Université de Paris, 06/12/1966.
- Zarrouk C., (1966). Contribution à l'étude d'une cyanophycée : influence de divers facteurs physiques et chimiques sur la croissance et la photosynthèse de Spirulina maxima (Setch et Gardner) Geitler. Thèse Doctorat. Université de Paris Becker E.W. et Venkataraman L.V.,

## Références

---

- (1984). Production and Utilization of the Blue-green Algae *Spirulina* in India. *Biomass*. Vol 4, p 105-125.
- Zarrouk C., (1966). Contribution à l'étude d'une cyanophycée : influence de divers facteurs physiques et chimiques sur la croissance et la photosynthèse de *Spirulina maxima* (Setch et Gardner) Geitler. Thèse Doctorat. Université de Paris
  - BANKS J., 2007 : Etude de la Spiruline au Palacret, Etudier la Faisabilité de la Mise en Place d'une Filière Spiruline sur le site du Palacret, dans les Côtes d'Armor, Manuel, p 10, 11.

Annexe

1. Les matériels

		
Microscope	Conductimètre	Agitateur
		
Balance	PH mètre	Spectrométrie
		
Autoclavage.	Minuteur	Lampe
		
Pompe air aquarium	Résistance aquarium	<i>Arthrospira platensis</i>



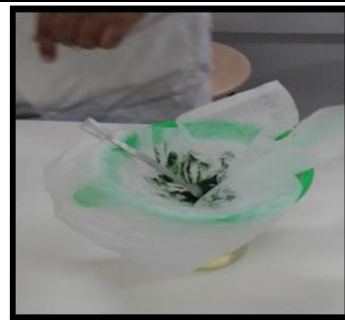
Thermomètre numérique

## 2. Méthode


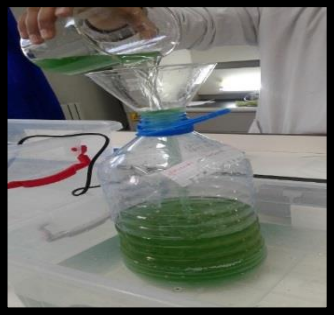

### 2.1. Méthode de préparation du milieu culture



### 2.2. Encensement et biomasse






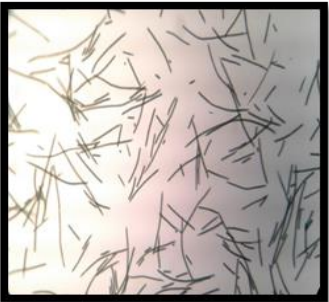


La filtration de la souche

		
L'encensement		La biomasse de la souche

2.3.bioremédiation

		
--	--	---

2.4.Les analyses des paramètres physicochimiques

		
Température	PH	L'absorbance
		
Observation microscopique en <b>G×10</b>	Observation microscopique en <b>G×40</b>	Test en cuve LATON LCK (138/338) A : Test entrée, B : Test sortie

**3. Sites géographiques où pousse naturellement la Spiruline (Fox, 1999)**

**Afrique**

<b>Algérie</b>	Tamanrasset
<b>Tchad</b>	Région du Kanem : lacs Latir, Ouna, Borkou, Katam, Yoan,  Leyla, Bodou, Rombou, Moro, Mombolo, Liwa, Iseirom,  Ounianga kebir
<b>Ethiopie</b>	Lacs Aranguadi, Lesougouta, Nakourou, Chiltu, Navasha, Rodolphe
<b>Kenya</b>	Lacs Nakuru, Elmenteita, Cratère, Natron
<b>Madagascar</b>	Beaucoup de petits lacs près de Toliara

**Asie**

<b>Inde</b>	Lacs Lonar et Nagpur
<b>Myanmar</b>	Lacs Twyn Taung, Twyn Ma et Taung Pyank
<b>Pakistan</b>	Mares près de Lahore

**Amérique**

<b>Pérou</b>	Réservoir d'eau près de Paracas  Près de l'île d'Amantani dans le lac Titicaca
<b>Mexique</b>	Lac Texcoco ; lac Cratère
<b>Californie</b>	Oakland ; Del Mar Beach
<b>Haïti</b>	Lac Gonâve

**Europe**

<b>France</b>	Camargue
---------------	----------