



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 l'évaluation de capacité épuratrice des
polluants organiques par *Arthrospira platensis* dans la
région d'ELOUED**

Présenté par:

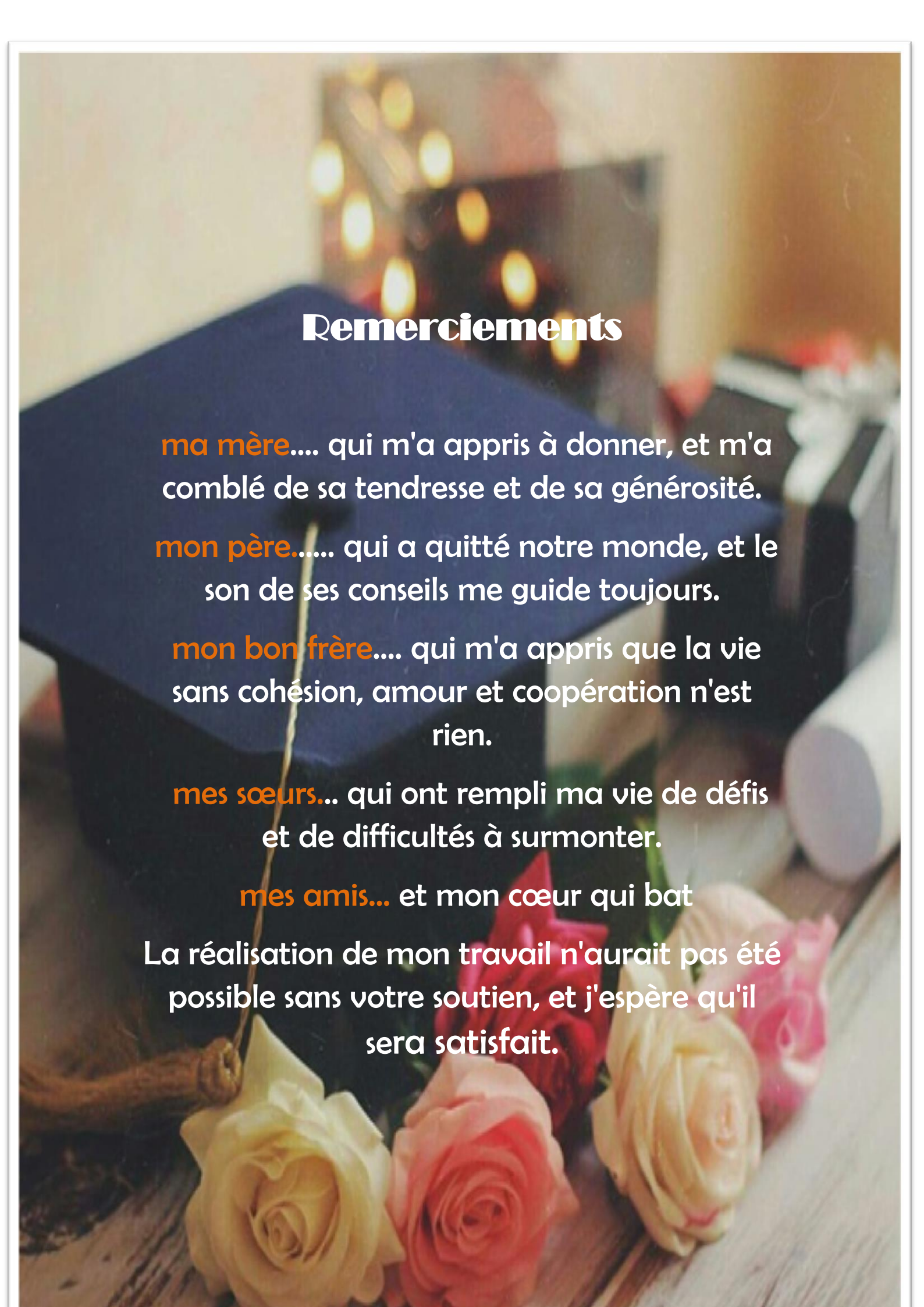
AYACHI AMOR mari
BEKKOUCHA mehammed tedjani
RAZZAG ZAHAF fatima zohra
SAYAH nadjet

Devant le jury composé de :

Président : SAADI Hamza
Examinatrice : BOUKHARI Dalal
Promoteur : KIRAM Abderazzak

M.C.B. Université d'El oued
M.A.A. Université d'El oued
M.A.A. Université d'El oued

Année universitaire :2021/2022



Remerciements

ma mère.... qui m'a appris à donner, et m'a comblé de sa tendresse et de sa générosité.

mon père..... qui a quitté notre monde, et le son de ses conseils me guide toujours.

mon bon frère.... qui m'a appris que la vie sans cohésion, amour et coopération n'est rien.

mes sœurs... qui ont rempli ma vie de défis et de difficultés à surmonter.

mes amis... et mon cœur qui bat

La réalisation de mon travail n'aurait pas été possible sans votre soutien, et j'espère qu'il sera satisfait.

Résumé

Cette étude a pour but d'estimer et de démontrer la capacité d'épuration des eaux usées par certains types de microalgues (*Arthrospira platensis*) isolées dans le secteur de la vallée (Station de kuinine n°1). Elle apprend les différentes techniques de culture de la spiruline, les différentes techniques de traitement des eaux usées, et les différents types d'analyses physiques et chimiques.

Après avoir purifié l'eau usée par la méthode physique et s'en être débarrassée de la matière organique, on la laisse deux jours et demi dans un milieu contenant de la spiruline avec apport de soleil et du pH nécessaire. Le pH alcalin et température modérée sont des conditions idéales pour la croissance des microalgues. la conductivité a diminué de 3.6 milliseconde / cm à 3,5 milliseconde / cm, et avec une note dans la diminution des éléments chimiques (NH₃, NO₃, NO₂, NT), on voit qu'*Arthrospira platensis* est capable d'éliminer les polluants organiques des eaux usées avec mérite et haute efficacité.

Mots clés : des eaux usées, microalgues, des polluants organique, l'analyses physiques et chimiques, *Arthrospira platensis*, la matière organique, Le pH, température, des éléments chimiques, STEP kouinine

الملخص

تهدف هذه الدراسة الى تقدير وإظهار قدرة تنقية مياه الصرف الصحي بواسطة بعض انواع الطحالب الدقيقة (ارثوسبيرا بلاتنسيس) المعزولة في منطقة الوادي (محطة كوينين رقم 1). وتعلم تقنية استنبات سبيروлина المختلفة، وتقنيات معالجة مياه الصرف الصحي المختلفة، وأنواع التحاليل الفيزيائية والكيميائية المختلفة.

بعد تنقية مياه الصرف الصحي بالطريقة الفيزيائية والتخلص من المواد العضوية منها، نتركها لمدة يومين ونصف في وسط به السبيروлина مع توفير الشمس ودرجة الحموضة اللازمة، واثناء دراستنا لهذه المياه الداخلة والخارجة من التصفية خلال اسبوعين من المعالجة البيولوجية، اظهرت التحاليل الفيز-كيميائي لعينات المياه ان الاس الهيدروجيني القلوي ودرجة الحرارة المعتدلة يشكلان ظروفًا مثالية لتكاثر الطحالب الدقيقة. انخفضت الموصلية من 6.3 مللي ثانية / سم الى 5.3 مللي ثانية / سم ومع ملاحظة في انخفاض العناصر الكيميائية (NH₃، NO₃، NO₂، NT)، من هذا نرى ان ارثوسبيرا بلاتنسيس قادرة على ازالة الملوثات العضوية من مياه الصرف بجدارة وكفاءة عالية. الكلمات المفتاحية: مياه الصرف الصحي، الطحالب الدقيقة، الملوثات العضوية، التحاليل الفيزيائية والكيميائية. ارثوسبيرا بلاتنسيس، سبيروлина، المواد العضوية، الاس الهيدروجيني، ودرجة الحرارة، العناصر الكيميائية، محطة التصفية بكوينين

Liste de tableau

Liste de tableau

Tableau 1	Diversité des microalgues eucaryotes et procaryotes, marines et d'eau douce	07
Tableau2	Profil nutritionnel de la poudre d' <i>Arthrospira platensis</i> par 100 gramme	17
Tableau 3	Impact des constituants chimiques et biologiques qui peuvent être présents dans le sol	23
Tableau 04	Composition chimique du milieu de culture	53

Liste des Figures

Liste des Figures

Figure 01	Arthrospira platensis	09
Figure02	Cycle de vie	13
Figure03	Variables pour la production et le traitement des eaux usées utilisées	25
Figure04	Exemple des eaux usées - Schéma d'une station utilisant les traitements primaires ("plusieurs écrans"), secondaires ("bassin principal") et tertiaires (DNF au niveau du "bioréacteur")	28
Figure 5	: principes de la phytoremédiation	34
Figure 6	Les différents types de phytoremédiation	35
Figure 07	Représentation schématique de simulations de traitement des eaux usées avec culture de biomasse de microalgues	36
Figure 8	Dégrillage	42
Figure 9	Dessablage	43
Figure 10	Répartiteur vers les bassins d'aération	43
Figure11	Lagune aérée	44
Figure 12	Aérateur	45
Figure 13	Lagune de finition	45
Figure 14	Lit de séchage des boues	46
Figure15	la région de prélèvement de la souche	48
Figure 16	La souche d'Arthrospira platensis	48
Figure 17	Milieu de culture	54
Figure 18	Dispositif expérimental	54
Figure 19	Température de la souche	55
Figure 20	observation microscopique en G×10	57
Figure 21	Arthrospira platensis en G×40	57
Figure 22	Histogramme de variation de potentiel hydrique (PH) mois janvier 2022	64
Figure23	Histogramme de variation de température T°C mois janvier 2022	65
Figure 24	Histogramme de variation de O2 mois janvier 2022	66
Figure 25	Histogramme de variation de CE mois janvier 2022	67

Liste des Figures

Figure 26	Histogramme de variation de sal mois janvier 2022	68
Figure 27	Histogramme de variation de TURB mois janvier 2022	69
Figure 28	Histogramme de variation de DBO5 mois janvier 2022	70
Figure 29	Histogramme de variation de DCO mois janvier 2022	71
Figure 30	Histogramme de variation de MES mois janvier 2022	72
Figure 31	Histogramme de variation de température T°C dans milieu Zarrouk	73
Figure 32	Histogramme de variation potentiel hydrique (PH) dans milieu Zarrouk	73
Figure 33	Histogramme de variation biomasse dans milieu Zarrouk	74
Figure 34	Histogramme de variation conductivité dans milieu Zarrouk	75
Figure 35	Histogramme de variation des valeurs de NH3, NO2 et NO3 dans milieu Zarrouk	75
Figure 36	Histogramme de variation des valeurs de l'azote totale dans milieu Zarrouk	76
Figure 37	Histogramme de variation de température T°C dans milieu ordinaire	77
Figure 38	Histogramme de variation potentiel hydrique (PH) dans milieu ordinaire	77
Figure 39	Histogramme de variation biomasse dans milieu ordinaire	78
Figure 40	Histogramme de variation conductivité dans milieu ordinaire	79
Figure 41	Histogramme de variation des valeurs de NH3, dans milieu ordinaire	79
Figure 42	Histogramme de variation des valeurs de NO2 dans milieu ordinaire	80
Figure 43	Histogramme de variation des valeurs de NO3 dans milieu ordinaire	80
Figure 44	Histogramme de variation des valeurs de NT dans milieu ordinaire	81

Liste des abréviations

DBO5:	Demande biologique en oxygène
DCO:	Demande chimique en oxygène
MES:	matière en suspension
NH4:	ammonium.
NO2:	nitrite
NO3:	Nitrate
pH:	potentiel hydrogène
STEP:	Station de Traitement d'Eaux Pollués
T:	Température
CE:	Contictivité électrique
Sal:	Salinité
Turb:	Turbidité

sommaire

Synthèse bibliographique	
Introduction générale	02
CHAPITRE I Généralité de la Arthrospira platensis	
1- Microalgae	05
1-1 Caractéristiques de base des microalgues	05
1-2-CLASSIFICATION DES ALGUES	06
2-Définition Spirulina platensis	07
3-HISTOIRE	09
4-Répartition géographique de la spiruline	09
5- Morphologie	11
6-Taxonomie	12
7- CYCLE DE VIE	12
8- Facteurs efficaces sur la croissance de la spiruline	13
8-1- Température	14
8-2- Qualité de l'eau	14
8-3-ondes lumineuses	14
8-4-pH	15
8-5- Nutriments	16
9- Composition nutritionnelle	16
10-application de spiruline	17
CHAPITRE II: les eaux usées et leur traitement	
1. Définition Les eaux usées	21
2.Sources Les eaux usées	21
2.1. eaux usées industrielles	21
2.2. eaux usées domestiques	21
2.3. eaux usées agricoles	22
2.4. eaux usées commerciales	22
3 . composition des eaux usées	23
3-1- composition des eaux usées Composition chimique	23
3-2- composition des eaux usées Composition biologique	23
3-3- composition des eaux usées Composition physique	24

sommaire

4-Definition Traitement des eaux uses	24
4-1-Traitement des eaux usées	24
4-2-Techniques de traitement pour la réutilisation des eaux usées	25
4-2-1-Traitement primaire	25
4-2-2 - Traitement secondaire	26
4-2-3-Traitement tertiaire	27
CHAPITRE: III Bioremédiation par des microalgues	
1- définition de la biorémédiation	30
1-1-Principe de la bioremédiation	30
1-2-Types de bioremédiation	30
A-En fonction de la stratégie de bioremédiation	30
B-En fonction de l'endroit où se fait la bioremédiation	31
C-En fonction des organismes utilisés pour la bioremédiation	31
1-3-Exemples de bioremédiation	31
1-4-Avantages et inconvénients de la bioremédiation	32
2- définition de la phytoremédiation	33
2-1-Principe de phytoremédiation	34
2-2-Défférents types de phytoremédiation	34
3-Principe de la mycoremédiation	35
4- définition de la Phycoremédiation	36
5-Importance des micro-algues dans le traitement des eaux usées	37
Partie II: Partie pratique	
Chapitre I : Présentation de la station STEP	
1.Présentation de la station d'épuration STEP1	40
1.1.Situation géographique de la station d'épuration	40
1.2. Objectif de traitement de la station	41
1.3. Description de STEP1	41
1.4. Procédés d'épurations des eaux usées dans la station	41
1.4.1. Prétraitement	41
a) Dégrillage	41
b) Dessablage	42
c) Ouvrage de répartition	43

sommaire

1.4.2. Traitement secondaire des eaux usées	43
1.4.3. Décharge des boues	46
Chapitre II: <i>Matériels et Méthodes</i>	
1 .Matériel d'étude	48
1.1. Matériel biologique	48
1.2. Matériel non biologique	49
2. Méthodes d'étude	49
2.1. Le but général de la manipulation	49
2.2. Prélèvement	49
.2.2.1. Echantillonnage	49
2.2.2. Lieu de prélèvement	50
2.3. Méthodes d'analyses	50
2.3.1. Détermination des pH et Température	50
2.3.2. Détermination de l'oxygène dissous	51
2.3.3. Détermination de la conductivité électrique, salinité	51
2.3.4. Détermination de la demande chimique en oxygène DCO	51
2.3.5. Détermination des matières en suspension (MES)	52
2.3.6. Détermination de la demande biochimique en oxygène (DBO5)	52
2.4. Suivi de croissance d'Arthrospira platensis par milieu Zarrouk	52
2 .4. 1. Préparation du milieu de culture	52
2.4.2. Dispositif expérimental	54
2.4.3. Évolution de la croissance d'Arthrospira platensis	55
2.4.3.1. Étude de l'évolution des paramètres physico-chimiques	55
2.4.3.2. Étude des caractéristiques d'Arthrospira platensis	57
2.5. Bioremédiation par Arthrospira platensis	58
2.5.1. Analyses des paramètres physico-chimiques des eaux usées	58
2.5.1.1. Analyses des paramètres physico-chimiques des eaux polluées	58
2.5.1.2. Analyse des paramètres physico-chimiques des eaux traitées	60
2.5.2. Suivi de bioremédiation des polluants organiques par Arthrospira platensis	60
2.5.2.1. Préparation du milieu ordinaire	60
2.5.2.2. Bioremédiation	60

sommaire

2.5.2.3. Étude de l'évolution des paramètres physico-chimiques	60
Chapitre III: Résultats et discussion	
1.Résultats physicochimiques du mois de janvier	64
1.1.potentiel hydrogène (ph)	64
1.2. Température (T°C)	65
1.3.l'oxygène dissous O2	66
1.4.Contictivité électrique	67
1.5.Salinité	68
1.6.Turbidité	69
1.7.Demande biologique en oxygène	70
1.8.Demande chimique en oxygène	71
1.9.Matière en suspension	72
2.Suivi la croissance de <i>Arthrospira platensis</i> dans le milieu Zarrouk	73
2.1. Température (T°C)	73
2.2. Potentiel hydrique (PH)	73
2.3. Biomasse	74
2.4. Conductivité	75
2.5. Ammoniac, Nitrate et Nitrite	75
2.6. L'Azote totale	76
3. Suivi la bioremédiation des polluants organiques par <i>Arthrospira platensis</i>	77
3.1. Température (T°C)	77
3.2. Potentiel hydrique (PH)	77
3.3. Biomasse	78
3.4. Conductivité	79
3.5. Ammoniac	79
3.6.Nitrite	80
3.7.Nitrate	80
3.8. L'Azote totale	81
Conclusion	84
Référence bibliographie	86

INTRODUCTION

GENERALE

Introduction générale

L'eau est un élément chimique stable, nécessaire à la vie humaine, mais écologiquement fragile, elle pollue rapidement car elle est un milieu propice à l'accumulation et à la croissance de nombreux polluants organiques et minéraux issus des activités domestiques et industrielles.

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.

L'importance de l'eau et la rareté de ses sources, surtout dans notre pays, appellent la nécessité de la récupérer, nécessité qui pose plusieurs problèmes et défis au regard de ce qui précède.

Les problèmes de la croissance rapide de la population, de l'urbanisation et de l'industrialisation ont toujours devancé les mesures de contrôle de la pollution et de la maîtrise de la dégradation de l'environnement, malgré les efforts consentis.

Les effluents des industries, des centres d'hospitalisation et de recherche ainsi que des gisements miniers, généralement riches en métaux lourds et en radionucléides naturels, implantées auprès des sites urbanisés rendent plus aigus les problèmes de pollution engendrés par une gestion inadéquate des déchets industriels qu'ils soient solides ou liquides .

Les approches peuvent contribuer à l'élimination de cette contamination comme la bioremédiation qui est une technologie simple utilisant les microorganismes pour la détoxification de ces éléments toxiques, économique, efficace, et qui respecte l'environnement. **(Romdhane Marwa, 2010)**.

Il y a différentes méthodes pour la dépollution par lesquelles 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

Introduction générale

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 consiste à utiliser des processus biologiques pour réduire la mobilité ou transformer les polluants en composés non toxiques dans les milieux naturels. Ces processus biologiques sont stimulés par des microorganismes, des plantes et des enzymes (**Leyval, 2008**). Parmi les différentes techniques de bioremédiation on trouve la phytoremédiation, cette dernière on utilisée un type de processus on appelée la phycoremédiation c'est-à-dire dépollution par les microalgues.

L'objectif principal de notre étude est d'étudier la capacité épuratrice des quelques espèces microalgales isolées la région d'El-oued dans le traitement des eaux usées il est etudie sur trois chapitres, le premiers chapitre présente des Généralité de la *Arthrospira platensis* et le second chapitre généralités sur les eaux usées, et leurs traitements, le troisième est bioremédiation par des microalgues et différents techniques .

La deuxième partie, partie pratique , subdivisée en trois grands chapitres :

- Le premier chapitre est présentation de région d'étude
- Le chapitre deux décrit tout le matériel (d'échantillonnage et de laboratoire) utilisé et présente en détail les méthodes entreprises pour l'aboutissement à l'objectif souligné. Ce chapitre comporte : l'échantillonnage, le dosage physicochimique des eaux prélevées, l'inventaire des microalgues .
- Le troisième chapitre est les résultats et discussions, les résultats obtenus sont les analyses physicochimiques des eaux de prélèvement, suivi l'inventaire des microalgues, et de l'identification des différentes espèces isolées .

Cette étude s'achève par une conclusion et les perspectives qui ont pu être dégagées .

CHAPITRE I

Généralité de

Arthrospira platensis

1- Microalgae

Les microalgues constituent la base du concept. Très anciennes, elles furent la cause d'un des plus grands changements climatiques de l'histoire de la terre. Leur métabolisme, basé sur la photosynthèse, ajouta des quantités massives d'oxygène à l'atmosphère terrestre primitif toxique, alors saturé en CO₂ et autres GES. Ce changement a permis le développement de formes de vie plus énergiques et évoluées, qui ironiquement, pourraient bien maintenant devoir recourir à leurs services pour corriger la problématique environnementale des GES. À part leur biochimie, la caractéristique première des microalgues est leur petite taille. Les quelques exemples suivants en donnent un aperçu :

- Diatomées classées microplancton de 50 à 500 µm;
- Petites diatomées et de nombreuses chrysophycées classées nanoplancton se situent aux environs de 50 µm;
- Des chrysophycées de petites tailles allant de 0,5 à 50 µm sont classées comme ultra plancton.

1-1 Caractéristiques de base des microalgues

La majorité des microalgues sont dites photo-autotrophes ou autotrophes. Elles tirent leur énergie de la lumière par photosynthèse et leur principale source nutritive est le CO₂ en solution dans l'eau. Leur relative simplicité et la petitesse de leur taille permettent d'effectuer une photosynthèse très efficace. Elles convertissent ainsi l'énergie lumineuse en lipides et en hydrates de carbone, des formes plus condensées et stables d'énergie. De plus, leur condition aquatique leur donne un accès optimal à l'eau et en particulier aux nutriments comme le CO₂ dissout. Par exemple, ces petites plantes peuvent être de dix à trente fois plus productives en huiles par unité de surface de production en comparaison avec les cultures oléagineuses terrestres conventionnelles .

Certaines espèces peuvent aussi être chémo-hétérotrophes ou hétérotrophes. Ainsi, au besoin, elles sont capables de puiser de l'énergie et des nutriments directement des matières organiques présentes dans le milieu aquatique. Par exemple, l'espèce *Agmenellum quadruplicatum* devient hétérotrophe en conditions de faible luminosité. On note que l'espèce hétérotrophe *Cryptocodinium cohnii* est exploitée pour produire de l'huile DHA, l'acide gras oméga-3 dont l'importance est de plus en

plus reconnue pour le maintien d'une bonne santé (**François Doré-Deschênes , 2009**).

1-2- Classification des algues

Les algues sont présentes dans les 2 lignées de la classification des organismes vivants de Carl Woese (1977) : procaryotes (à cellules dépourvues de noyau) et eucaryotes (à cellules contenant un noyau délimité par deux membranes). Les algues bleues ou cyanobactéries apparentées aux bactéries sont des procaryotes. Toutes les autres algues (la grande majorité) sont des eucaryotes que l'on regroupe en 2 de leurs 3 lignées :

- La lignée Unikonta ne comprend pas d'algues ;
- La lignée Excavata inclut les euglénophycées qui sont des algues vertes unicellulaires ;
- La 3e lignée se subdivise en 2 branches :

π Plantes (Plantae) qui comprend les embryophytes, les algues vertes, les algues rouges (Rhodophyta) ainsi que les glaucophytes (algues unicellulaires) ;

SAR (Straménopiles, Alvéolés et Rhizaires), avec les algues brun-doré (ou Ochrophyta, dont les algues brunes et les diatomées), des algues cillées comme les dinophytes (Dinophyta), un groupe d'algues de couleur verte :

les chlorarachniophycées (Chlorarachniophyceae), ainsi que des algues planctoniques unicellulaires marines, les haptophytes (Haptophyta).

✓ Les algues peuvent relever d'autres classifications :

- Selon le métabolisme (mode alimentaire) : organismes **autotrophes** (capables de réaliser la photosynthèse, et donc de se nourrir de façon autonome à partir de la lumière, d'eau et de sels minéraux, dont font partie la quasi-totalité des algues) et **hétérotrophes** (qui utilisent pour se développer de la matière organique obtenue à partir d'autres êtres vivants, dont font partie certaines algues marines de grande profondeur), ou encore mixotrophes (combinant les deux modes d'alimentation)

- Selon la morphologie (notamment la taille) : organismes multicellulaires (macroalgues) ou monocellulaires (microalgues)

- Selon le mode de reproduction : sexuée et/ou multiplication végétative.

(**Jean-Louis RASTOIN et al, 2016**)

Tableau 1 : Diversité des microalgues eucaryotes et procaryotes, marines et d'eau douce (- Sialve B., Steyer J-P, 2013)

Règne	Embranchement/Classe
Procaryotes	Cyanophytes
	Prochlorophytes
Eucaryotes	Bacillariophytes
	Charophytes
	Chlorophytes
	Chrysophytes
	Cryptophytes
	Dinophytes
	Euglenophytes
	Glaucophytes
	Haptophytes
	Phaeophytes
	Rhodophytes

2-Définition *Arthrospira platensis*

Spirulina platensis est une bactérie appartenant à la cyanobactérie. . (Alessandra Cristine Novak ,2010) , l'espèce *Arthrospira platensis* est une bactérie procaryote du phylum des cyanobactéries, ce qui signifie qu'elle utilise la photosynthèse mais n'a pas de chloroplastes (Fedor, n.d.) (Alejandra Guasto, 2019)

Il est unicellulaire mais regroupé pour former des trichomes ou des formes filamenteuses . Leur paroi cellulaire contient du peptidoglycane dans sa composition et sa structure, donc classé comme Gram négatif. Dans le cytoplasme se trouvent des corps d'inclusions (granules de polyphosphate, de glycogène et de cyanophycine), des corps polyédriques carboxysomes (où se situe RuBisCO, la principale enzyme responsable de la fixation photosynthétique du dioxyde de carbone) et des ribosomes 70S. .(Alessandra Cristine Novak ,2010)

Arthrospira platensis, autrefois connu sous le nom de *S. platensis*, est un long cylindre avec une spirale

forme, avec des parois transversales granulées comme on le voit sur la figure 1 , ci-dessus. Il fait pousser des trichomes, qui sont des chaînes de cellules végétatives entourées d'une feuille visqueuse ("trichome | Encyclopedia.com," s.d.) , qui lui permet de passer par la fission binaire, sa méthode de reproduction. Cette cyanobactérie est une cellule trichome pubescente, ce qui signifie qu'elle produit des poils aux formes presque cylindriques ou en forme de disque qui se ramifient et font ressembler les cellules à des arbres (Fedor, n.d.). Cette bactérie planctonique se développe dans les masses d'eau tropicales et subtropicales qui ont des niveaux élevés de carbonate et de bicarbonate, ainsi qu'un pH élevé. Le genre *Arthrospira* peut être divisé en trois sous-espèces principales du genre, *A. platensis*, *A. fusiformis* et *A. maxima*. Chaque sous-espèce diffère l'une de l'autre par son diamètre d'hélice, *A. platensis* ayant un diamètre plus grand et des trichomes généralement plus longs que les autres variations du genre, ce qui lui confère plusieurs avantages pour la santé, tout en lui permettant de survivre dans différents climats. **(Alejandra Guasto, 2019).**

Spirulina platensis (également appelée SP et Spiruline) est une algue bleu-vert procaryote également connue sous le nom de cyanobactérie. Ces organismes sont photosynthétiques mais n'ont pas de parois cellulaires végétales, de membranes nucléaires ou d'organites internes, ressemblant à des cellules bactériennes.

La spiruline a été isolée pour la première fois d'une rivière d'eau douce en 1827. Indigène

les populations d'Afrique et du Mexique sont connues pour avoir cultivé la spiruline des lacs et consommé l'algue séchée. La spiruline contient de nombreux composants bioactifs tels que les chlorophylles, les caroténoïdes, les acides aminés, les minéraux, la phycocyanine et les métabolites secondaires. **(Georgette Appiah-Pippim , 2015)**



Figure 01: *Arthrospira platensis* (AVIGAD VONSHAK,1998)

3-HISTOIRE

Les cyanobactéries sont présentes à la surface de la Terre depuis le début du 9 Précambrien il y a environ 3,6 10 ans. Des formes filamenteuses, cylindriques, non ramifiées, lisses et non laminées d'un diamètre allant jusqu'à 10 μm au moins 25 fois plus longues que larges se trouvent dans les fossiles du Précambrien tardif (il y a 1,1 10 9 ans), les lagunes hypersalines (Oehler, Oehler et Stewart) ,(CAROLUS VAN EYKELENBURG et al ,1980)

Nordstedt en 1844, l'algue ne fut vraiment redécouverte que quelques 450 ans après par le botaniste belge J. Léonard lors d'une expédition belgo-française basée au Tchad (1964 – 1965)

Ce dernier a en effet constaté que les Kanembous 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 représentée sous forme d'une purée bleue -verte. Cette purée était ensuite utilisée dans la préparation de gâteaux distribués dans la région et appelée « dihé » (Sébastien Sguera, 2018).

4-Répartition géographique de la spiruline

. L'espèce *Arthrospira fusiformis* (syn. *Spirulina platensis*) est la plus étudiée, avec une distribution large (Afrique, Asie, Amérique du Sud) (Maisons-Alfort, 2017)

Ces espèces se trouvent généralement dans les eaux saumâtres alcalines et à forte salinité près de la région tropicale et subtropicale, et sont plus communes en

Afrique et dans les pays asiatiques autres que ceux-ci, elles se trouvent également en Californie et au Mexique. .(**Shashanka Shekhar Singh, 2022**)

Outre le lac Texcoco, les plus grands lacs de spiruline se trouvent en Afrique centrale autour du lac Tchad et en Afrique de l'Est le long de la vallée du Grand Rift. Dans des conditions d'eau normales, la spiruline peut être l'une des nombreuses espèces d'algues. Mais plus l'eau devient alcaline et salée, plus

il devient plus inhospitalier pour les autres formes de vie, ce qui lui permet de s'épanouir en tant qu'espèce unique.

Les lacs Bodou et Rombou au Tchad ont une monoculture stable de spiruline datant de plusieurs siècles. C'est une espèce majeure des lacs kenyans Nakuru et Elementeita et des lacs éthiopiens Aranguadi et Kilotes. Le flamant nain a développé un filtre dans son bec pour manger de la spiruline. Des millions de flamants roses se nourrissent entièrement d'algues lorsqu'elles sont abondantes. La spiruline prospère dans les lacs alcalins où il est difficile ou impossible pour d'autres micro-organismes de survivre. Parce que le niveau de bactéries dans l'eau alcaline est assez faible, les bactéries comptent dans la spiruline, récoltée

et séchées sans transformation supplémentaire, est insignifiante.¹³ Les pionniers des algues ont rêvé de récolter dans ces lacs pour nourrir les millions de personnes affamées à proximité qui souffrent désormais de faim chronique.

Dans les lacs naturels, l'apport limité de nutriments régule généralement les cycles de croissance. Les nouveaux nutriments proviennent soit d'une remontée d'eau de l'intérieur de la terre, lorsque les pluies entraînent les sols dans les lacs, soit de la pollution. La population d'algues croît rapidement, atteint une densité maximale, puis meurt lorsque les nutriments sont épuisés. Un nouveau cycle saisonnier commence lorsque les algues décomposées libèrent leurs nutriments ou lorsque davantage de nutriments se déversent dans le lac(**Robert Henrikson, 2009**).

5- Morphologie

. La principale caractéristique morphologique d'*Arthrospira* est la disposition typique de ses trichomes cylindriques multicellulaires en une hélice ouverte généralement de diamètre relativement grand, parfois

atténué aux extrémités, et avec des murs transversaux évidents. En revanche, la spiruline présente un trichome en forme de vis, généralement avec des vis presque fermées, uniformes et de diamètre étroit (0,5–3 mm), des cellules à parois transversales généralement invisibles au microscope optique, sans vacuoles à gaz et avec

granules proéminentes. Les trichomes d'*Arthrospira* sont composés de cellules cylindriques qui subissent une fission binaire dans un seul plan perpendiculaire à l'axe principal. L'allongement des trichomes se produit par de multiples divisions cellulaires intercalaires le long de l'ensemble du filament. La multiplication se produit uniquement par fragmentation d'un trichome, généralement en correspondance d'une cellule nécridiennne(Claudio Sili , et al,2022)

La spiruline est une microalgue bleu-vert symbiotique, multicellulaire et filamenteuse avec des bactéries symbiotiques qui fixent l'azote de l'air. La spiruline peut être en forme de bâtonnet ou de disque. Leur principal pigment photosynthétique est la phycocyanine, de couleur bleue. Ces bactéries contiennent également de la chlorophylle a et des caroténoïdes. Certains contiennent le pigment phycoerythrine, donnant aux bactéries une couleur rouge ou rose. La spiruline est photosynthétique et donc autotrophe. La spiruline se reproduit par fission binaire.

La forme hélicoïdale des filaments (ou trichomes) est caractéristique du genre et ne se maintient qu'en milieu liquide ou milieu de culture. La présence de vacuoles remplies de gaz dans les cellules, ainsi que la forme hélicoïdale des filaments, entraînent des tapis flottants. Les trichomes ont une longueur de 50 à 500 µm et une largeur de 3 à 4 µm. Cependant, les cyanobactéries ont une paroi cellulaire similaire à celle des bactéries Gram-négatives : elles contiennent du peptidoglycane, un hétéropolymère sensible au lysozyme qui confère forme et protection osmotique à la cellule, en plus d'autres matériaux non sensibles au lysozyme. .(M. Ahsan B. Habib et al, 2008).

6-Taxonomie

Faisant partie des cyanobactéries, les spirulines sont donc une des plus anciennes formes de vie « photosynthétique » apparue sur la terre il y a environ trois milliards et demi d'années. La spiruline est souvent considérée comme une algue planctonique microscopique. C'est en fait une bactérie appartenant aux cyanobactéries filamenteuses du genre *Arthrospira*, le plus souvent enroulée en spires d'où son nom commercial . La terminologie de la spiruline est assez confuse. (Sébastien Sguera,2018)

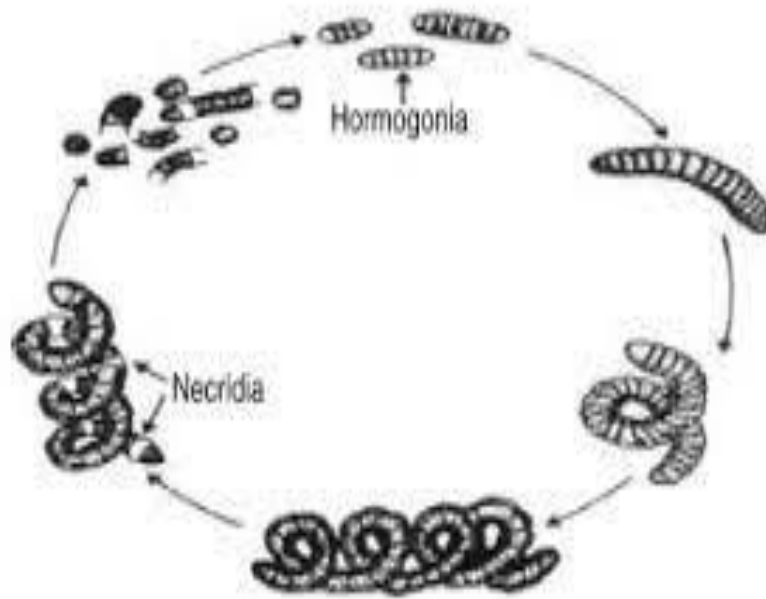
Selon (Sébastien Sguera,2018)

Règne Monera ou Bacteria
Sous-règne Prokaryota
Phylum ou Division Cyanophyta ou Cyanobacteria
Classe Cyanophyceae
Ordre Oscillatoriales
Famille Oscillatoriaceae
Genre <i>Arthrospira</i>
Espèce <i>Arthrospira platensis</i>

7- Cycle de vie

Le cycle de vie de la spiruline est illustré à la figure 2.3. Un trichome mature est divisé en plusieurs morceaux par la formation de cellules spécialisées, appelées nécridies, qui subissent une lyse, donnant naissance à des disques de séparation biconcaves. La fragmentation du trichome au niveau des nécridies produit des chaînes courtes et glissantes (les hormogonies) (deux à quatre cellules), qui donnent naissance à un nouveau trichome. Les cellules de l'hormogonium perdent les parties attachées des cellules nécridiennes, s'arrondissant aux extrémités distales avec peu ou pas d'épaississement des parois. Au cours de ce processus, le cytoplasme apparaît moins granulé et les cellules prennent une couleur vert pâle. Le nombre de cellules dans l'hormogonium augmente par fission cellulaire tandis que le cytoplasme devient moins granulé et que les cellules prennent une couleur bleu-vert brillante. Le trichome augmente en longueur et prend la forme hélicoïdale typique. La rupture aléatoire et

les processus d'élargissement et de maturation des cellules d'hormogonie et l'élongation des trichomes. Ensuite, ces trichomes matures sont divisés en filaments ou hormogonies, les cellules des hormogonies sont augmentées en binaire (SHABANA Kouser Ali et al, 2012).



8- Facteurs efficaces sur la croissance de la spiruline

Comme indiqué précédemment, le milieu des déchets animaux est considéré comme l'un des meilleurs milieux pour cultiver *Spirulina platensis*. Les déchets animaux contiennent une grande partie des macro- et micro-nutriments nécessaires à la croissance des algues. Pourtant, la croissance repose non seulement sur nutriments, mais aussi sur l'apport d'énergie lumineuse, qui pilote le processus de photosynthèse. En plus de ces paramètres, les caractéristiques physiques de la culture doivent être considérées pour culture artificielle. Ces caractéristiques comprennent : (1) l'aération, (2) la température, (3) le pH et l'alcalinité, et (4) le degré auquel une culture monoalgale est maintenue. **(AYMAN ESMAT BENYAMIN, 1993).**

8-1- Température

La plage de température de 30 à 35 °C est optimale pour la croissance maximale de *Spirulina platensis*. Rafiqul Islam et al . (2003) ont calculé le taux de croissance de *Spirulina platensis* et de *Spirulina fusiformis* à différentes températures en utilisant la formule suivante : $\text{taux de croissance} = \ln x_2 - \ln x_1 / t_2 - t_1$, dans lequel x_1 et x_2 sont des concentrations de biomasse d ' algues et t_1 et t_2 sont des intervalles de temps . Ils ont rapporté que *Spirulina platensis* a un taux de croissance spécifique maximum (0,141) à 32 ° C et le taux de croissance maximum de *Spirulina fusiformis* (0,144) a été observé à 37 ° C . la température était le facteur le plus important du rendement de production et que la plus grande quantité d'acide gamma-linolénique (GLA) était obtenue à 30 °C .

La spiruline est considérée comme une algue mésophile. Il peut tolérer des températures allant jusqu'à 40°C et jusqu'à 20°C. Wohlt (1990) a trouvé que la température optimale pour la croissance était de 35°C. De plus, le rendement maximal de la biomasse s'est avéré être à 35 ° C (AYMAN ESMAT BENYAMIN, 1993).

8-2-Qualité de l'eau

La qualité de l'eau désigne la salinité, le pH, la température, les solides dissous totaux (MDT), la dureté, les métaux lourds, les micro-organismes et la conductivité électrique (CE). Argaman et Spivak (1974) ont signalé que la qualité de l'eau pouvait influencer sur la solubilité des nutriments ajoutés dans le milieu et sur l'accumulation sélective de certains métaux lourds par les algues pendant la phase de croissance. Il convient de noter que la biomasse algale excessive causera des problèmes tels que l'appauvrissement en oxygène, des niveaux élevés d'ammoniac, la libération de toxines dans la colonne d'eau et la production de composés odorants. (HOSNA hajati et al ,2019)

8-3-Ondes lumineuses

Subramaniyan et Jeeji Bai (1992) ont constaté que la lumière bleue produisait la plus forte teneur en protéines, suivie des lumières jaunes, blanches, rouges et vertes. En outre, la lumière fluorescente blanche avec un composant rouge-orange fournit une énergie plus élevée pour une meilleure synthèse des protéines et des pigments. Pour la sélection d'une source de lumière artificielle afin de produire des micro-algues, le

producteur devrait noter certains paramètres tels que la longueur d'onde lumineuse, l'intensité et la fréquence de la lumière, l'efficacité électrique, l'accroissement de la chaleur, de la longévité et du coût. Une longueur d'onde d'environ 400-700 nm convient à la croissance des microalgues, et les longueurs d'onde comprises entre 600 et 700 nm sont les plus efficaces pour la photosynthèse. Le tableau 2-2 montre les principaux pigments de la spiruline et leurs longueurs d'onde d'absorption de la lumière. *Spirulina platensis* a atteint une croissance maximale avec l'urée lumineuse dans l'intensité lumineuse de 60 $\mu\text{mol photons m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, à 27°C. La biomasse était maximale de 1648 mg L. La croissance minimale des microalgues s'est produite avec l'utilisation de KNO₃, avec une intensité lumineuse de 15 $\mu\text{mol photons m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ et une température de 30 °C. La biomasse minimale était de 486 mg. La relation entre l'irradiance lumineuse et le taux de photosynthèse est illustrée à la figure 2-6, qui présente trois points importants : I_c : l'intensité lumineuse de compensation, qui montre que la photosynthèse et donc la croissance des algues augmente avec l'intensité lumineuse ; I_s : saturation en lumière, qui montre que la croissance des algues atteint un plateau ; et I_h : inhibition de la lumière, qui montre un effet négatif de l'intensité lumineuse sur le taux de croissance des algues. Il est donc clair que l'éclairement lumineux supérieur à une certaine quantité nécessaire pour atteindre le plateau de croissance des algues peut entraîner une réduction de la croissance des algues et peut même causer la mort cellulaire. (HOSNA hajati et al ,2019)

8-4-PH

Vincent et Silvester (1979) ont signalé que le pH de l'eau avait un effet direct sur les propriétés physiologiques des algues. Pandey et al. (2010) ont constaté qu'à un pH de 9, le poids sec de *Spirulina platensis* était de 0,91 g/500 ml, et que les teneurs en protéines et en chlorophylle étaient de 64,3 % et de 13,2 mg/gm, respectivement.

La concentration en ions hydrogène (niveau de pH) est considérée comme l'un des paramètres les plus importants du système de culture des algues. Pour permettre un environnement sélectif pour *Spirulina platensis*, le pH doit être maintenu à un niveau spécifique, 9,2-10,5. Par conséquent, la surveillance des valeurs de pH est très importante, car un pH trop élevé ou trop bas pourrait entraîner l'effondrement de la culture de *Spirulina platensis*. Les espèces de spiruline poussent dans un milieu contenant de grandes quantités de bicarbonate, ce qui donne aux algues un milieu

fortement alcalin et par conséquent un pH élevé. . Pourtant, une valeur de pH très élevée

peut détériorer les cultures de Spiruline. Évidemment, l'alcalinité et le pH sont liés l'un à l'autre, où les milieux ayant un $\text{pH} > 7$ sont considérés comme des milieux alcalins, et ceux ayant un $\text{pH} < 7$ sont considérés comme acides. Plusieurs recherches ont rapporté le niveau de pH optimal ou la concentration optimale de bicarbonate pour la croissance de *Spirulina platensis*. (**AYMAN ESMAT BENYAMIN, 1993**).

8-5- Nutriments

Afin d'étudier l'effet de l'énergie lumineuse, le principal composant du processus de photosynthèse, tous les nutriments doivent être ajoutés en quantités excessives pour éviter tout bruit de données causé par une carence d'un seul nutriment nécessaire à la croissance. La productivité la plus favorable de *Spirulina platensis* a été obtenue à un rapport azote/phosphore de 5,5:1 . Afin de déterminer l'effet de la lumière sur la croissance, des nutriments seront ajoutés en quantités excessives au milieu en maintenant le rapport N:P de 5,5:1. Cette procédure éliminera la limitation de croissance due à un manque de nutriments tout en observant l'effet de la photosynthèse. (**AYMAN ESMAT BENYAMIN, 1993**).

9- Composition nutritionnelle

Le superaliment *S. platensis* comprend des composants bioactifs tels que des protéines, des acides aminés, minéraux, vitamines, pigments, acides nucléiques, glucides et lipides, indiqués dans la tableau 2.). (**Nilay Seyidoglu et al, 2017**).

Tableau2: Profil nutritionnel de la poudre d'*Arthrospira platensis* par 100 grammes (Gabriela Gutiérrez-Salmeán et al, 2015)

<i>Nutritional profile of Spirulina Powder (composition by 100 g)</i>			
Macronutrients		Vitamins	
Calories	373	Vitamin A (as β -carotene) ^b	352,000 IU
Total fat (g)	4.3	Vitamin K	1090 mcg
Saturated fat	1.95	Thiamine HCL (Vitamin B1)	0.5 mg
Polyunsaturated fat	1.93	Riboflavin (Vitamin B2)	4.53 mg
Monounsaturated fat	0.26	Niacin (Vitamin B3)	14.9 mg
Cholesterol	< 0.1	Vitamin B6 (Pyridox. HCL)	0.96 mg
Total carbohydrate (g)	17.8	Vitamin B12	162 mcg
Dietary fiber	7.7	Minerals	
Sugars	1.3	Calcium	468 mg
Lactose	< 0.1	Iron	87.4 mg
Protein B	63	Phosphorus	961 mg
<i>Essential amino acids (mg)</i>		Iodine	142 mcg
Histidine	1000	Magnesium	319 mg
Isoleucine	3500	Zinc	1.45 mg
Leucine	5380	Selenium	25.5 mcg
Lysine	2960	Copper	0.47 mg
Methionine	1170	Manganese	3.26 mg
Phenylalanine	2750	Chromium	<400 mcg
Threonine	2860	Potassium	1,660 mg
Tryptophan	1090	Sodium	641 mg
Valine	3940	Phytonutrients	
<i>Non-essential amino acids (mg)</i>		Phycocyanin (mean) ^b	17.2%
Alanine	4590	Chlorophyll (mean) ^b	1.2%
Arginine	4310	Superoxide dismutase (SOD)	531,000 IU
Aspartic acid	5990	Gamma linolenic acid (GLA)	1080 mg
Cystine	590	Total carotenoids (mean) ^b	504 mg
Glutamic acid	9130	β -carotene (mean) ^b	211 mg
Glycine	3130	Zeaxanthin	101 mg
Proline	2380		
Serine	2760		
Tyrosine	2500		

10-Application de spiruline

La spiruline est une cyanobactérie filamenteuse microscopique, qui tire son nom de la structure hélicoïdale ou spirale de ses filaments. La spiruline fait référence à la biomasse d'*Arthrospira platensis*, une bactérie présente dans le monde entier dans les algues bleu-vert. La spiruline est largement étudiée pour une utilisation dans l'alimentation humaine en raison de son profil nutritionnel qui la rend idéale comme complément alimentaire, car elle remplace de manière satisfaisante les sources artificielles de nutriments, en combinant plusieurs constituants de manière équilibrée. Ces nutriments comprennent des protéines, des vitamines B, des minéraux, des

protéines de haute qualité, des antioxydants β -carotène et vitamine E et des acides gras polyinsaturés, en particulier l'acide ω -linoléique.

La teneur en protéines de la spiruline atteint 60 à 70 % de son poids sec. Ces protéines ont une excellente qualité avec une teneur équilibrée en acides aminés essentiels. Parmi les acides aminés non essentiels présents dans la spiruline figurent l'alanine, l'arginine, l'acide aspartique, la cystine, l'acide glutamique, la glycine, l'histidine, la proline, la sérine et la tyrosine. Parmi les acides aminés essentiels figurent l'isoleucine, la leucine, la lysine, la méthionine, la phénylalanine, la thréonine et la valine.

La capacité de la spiruline à combattre les virus, le cancer, la malnutrition, le diabète, l'hypercholestérolémie et autres, en plus d'apporter des améliorations à la santé globale, met en évidence son utilisation comme nutraceutique et suscite l'intérêt pour son utilisation comme source pharmaceutique potentielle. La spiruline appartient au groupe de substances répertoriées comme étant généralement reconnues comme sûres (GRAS) (**anonyme, 2016**)

Ces dernières années, un grand intérêt s'est porté sur le potentiel de la biotechnologie des microalgues, principalement en raison de l'identification de plusieurs substances synthétisées par ces micro-organismes. Les microalgues sont d'une grande importance, tant sur le plan biologique qu'économique. Leur importance économique est liée au large éventail d'applications des microalgues dans le monde entier, de l'industrie alimentaire à la médecine, des immuno-stimulants aux biocarburants, des cosmétiques à l'agriculture. L'immense biodiversité des microalgues et la grande variabilité qui en résulte dans leur composition biochimique, combinées à l'utilisation de l'amélioration génétique et à la mise en place de technologies de culture à grande échelle, ont permis à certaines espèces (par exemple les microalgues *Spirulina*) d'être disponibles dans le commerce. La culture de microalgues a été réalisée dans le but de produire de la biomasse à la fois pour la fabrication d'aliments et également pour l'obtention de composés naturels à haute valeur ajoutée. Parmi ces composés naturels figurent les acides gras polyinsaturés, les caroténoïdes, les phycobilines, les polysaccharides, les vitamines, les stérols et de nombreux composés bioactifs naturels tels que les antioxydants, les réducteurs de

cholestérol, qui peuvent être utilisés notamment pour la production d'aliments fonctionnels. .(**Lidiane M Andrade, et al , 2018**)

Spiruline spp. et ses produits de transformation sont employés dans l'agriculture, l'industrie alimentaire, la pharmacie, la parfumerie et la médecine. La spiruline possède plusieurs activités pharmacologiques telles que antimicrobienne (dont antivirale et antibactérienne), anticancéreuse, métalloprotectrice (prévention des intoxications aux métaux lourds contre le Cd, Pb, Fe, Hg), ainsi que des effets immunostimulants et antioxydants dus à sa richesse en protéines, polysaccharide, lipide, acides aminés et gras essentiels, minéraux et vitamines alimentaires.(**S M Hosseini et al,2013**).

CHAPITRE II

les eaux usées et leur traitement

1- Définition Les eaux usées

les eaux usées de différentes qualités, brutes à diluées, générées par diverses activités urbaines (Hillel Shuval, 2011). Les eaux usées sont des déchets produits par les humains, les animaux et les activités économiques mélangées avec un certain volume d'eau douce. La composition des eaux usées est tributaire de ses sources (Talaboulma, 2018). N'importe quelle eau dont la qualité a subi une influence anthropogène est une eau usée. Du point de vue des sources de génération, l'eau usée peut être définie comme combinaison du liquide ou des matières transportées dans l'eau en provenance des habitations résidentielles, des institutions publiques, des établissements commerciaux et industriels, rejointe ou non par les eaux souterraines, les eaux de surface, et les précipitations (Dimitri, Jean, 2008).

2-Sources Les eaux usées

2-1-Eaux usées industrielles

sont les eaux usées intervenant ou non dans les procédés de fabrication, commerciales, d'exploitations minières, et des équipements ou des activités forestiers ; en ce compris les eaux d'écoulement et de lixiviat des secteurs recevant des polluants liés au stockage industriel ou commercial, à la manipulation ou au traitement, et à toute autre eau usée non définies comme eau usée domestique. (Dimitri, Jean, 2008)

Les eaux usées issues d'activités industrielles et minières ainsi que de la gestion des déchets solides (par exemple le lessivat des sites de décharge), peuvent également contenir des composés organiques toxiques tels que les hydrocarbures, les biphényles polychlorés (BPC), les polluants organiques persistants (POP), les composés organiques volatils (COV) et les solvants chlorés. De très petites quantités de certains composés organiques peuvent contaminer d'importantes quantités d'eau. Un litre d'essence, par exemple, est suffisant pour contaminer un million de litres d'eau souterraine (Grafica, 2017)

2-2- Eaux usées domestiques

L'eau usée provenant des domiciles se nomme l'eau brute. Il s'agit d'un mélange hétérogène composé d'eau, d'excréments, de nourriture et de tout autre élément jeté dans les toilettes (Anne-Julie, 2017); les eaux d'égout. Elles peuvent également inclure des contributions industrielles quand des eaux usées domestiques et industrielles sont combinées dans un réseau d'égouts urbain unitaire. (Dimitri, Jean, 2008)

Les eaux usées domestiques et municipales sont susceptibles de contenir des charges bactériennes élevées, bien que la plupart des bactéries présentes dans les matières fécales humaines ne soient pas pathogènes en soi. Toutefois, lorsqu'une infection se produit, un

grand nombre de microorganismes pathogènes (tels que les bactéries, les virus, les protozoaires et les helminthes) sont répandus dans l'environnement par les matières fécales. Pour réduire le fardeau des maladies, l'élimination des agents pathogènes est souvent le principal objectif des systèmes de traitement des eaux usées. **(Grafica,2017)**

2-3- Eaux usées agricoles

Les eaux usées agricoles, sont des << eaux usées provenant d'établissements ou sont gardes ou élevés des animaux entraînant une charge polluante globale inférieure à un chiffre maximal fixe par le Gouvernement et qui ne sont ni des jardins zoologiques ni des menageries permanents**(Jacques, Nathalie,2012).**

2-4- Eaux usées commerciales

sont les eaux usées non-toxiques et non-dangereuses des installations commerciales, qui sont habituellement semblables en composition à l'eau usée domestique, mais qui peuvent de temps en temps avoir un ou plusieurs constituants excédant les gammes domestiques typiques. Elles peuvent également provenir des eaux usées de cuisine des bâtiments commerciaux et publiques, des blanchisseries avec un maximum de quatre machines à laver, des bâtiments hébergeant des animaux (tels que les chenils, les hôpitaux vétérinaires, et les salons de toilettage animaliers), des salons de beauté, à condition que les substances toxiques, dangereuses, ou les pertes industrielles ne soient pas injectées dans le système.**(Dimitri, Jean,2008).**

3- Composition des eaux usées

Les eaux usées urbaines se composent généralement d'une combinaison d'un ou de plusieurs des facteurs suivants qui en font une eau polluée **(Hillel,2011)**

La composition des eaux usées peut être décrite par ses caractéristiques **physiques, chimiques et biologiques**. Ces caractéristiques ont un impact direct sur les avantages que l'agriculteur obtient de leur utilisation et sur son utilisation. Par exemple, une caractéristique physique telle que la présence de solides, peut produire l'obstruction du matériel d'irrigation goutte à goutte tandis qu'une caractéristique biologique telle que la présence de micro-organismes a une relation directe avec l'utilisation sûre des eaux usées épurées.

3-1- Composition des eaux usées Composition chimique

Les produits chimiques dans les eaux usées sont de deux types: organiques et inorganiques. Les constituants inorganiques tels que l'azote sous ses différentes formes, le potassium et le phosphore peuvent remplacer les engrais dans l'agriculture. Les chlorures affectent la salinité des sols et les éléments trace métalliques (ETM) pourraient rendre les eaux usées traitées dans l'irrigation inutilisables.

Dans certains cas, la concentration de ces substances dans les eaux usées traitées est suffisamment élevée pour que l'agriculteur n'ait plus besoin d'ajouter des engrais. Quand la concentration est trop élevée, elle peut produire des effets toxiques pour les plantes et entraîner une croissance végétative inutile, ainsi qu'une pollution de l'environnement. Pour cela, il est conseillé de connaître la concentration des produits chimiques dans les eaux traitées reçues à la ferme afin de bien doser les engrais

3-2- Composition des eaux usées Composition biologique

Les caractéristiques biologiques des eaux usées comprennent les bactéries, les virus, les vers, les champignons, les algues, les plantes et les animaux. Ces constituants ont des impacts sanitaires directs sur les eaux usées.

Tous les pathogènes ont le potentiel d'atteindre les terrains agricoles. leur potentiel de causer une infection diminue en raison de leur décès ou de la perte de leur infectivité. Pour tous les organismes, la survie est fortement dépendante de la température. La persistance augmente considérablement à des températures basses. (Talaboulma, 2018)

Tableau 3 : Impact des constituants chimiques et biologiques qui peuvent être présents dans le sol. (Jérôme, Vincent, et al, 2011)

Constituants chimiques									
Matières organiques							Matières minérales		
Matières organiques communes			Autres matières organiques				Acides ou bases	Engrais minéraux	Micropolluants métalliques
Lipides	Glucides	Protides	Huiles et goudrons	Détergents synthétiques	Pesticides	Molécules diverses			
Huiles, graisses, certains savons	Sucres	Dégradation de protéines	Souvent artificielles, ils sont toxiques et cancérogènes	Risque d'eutrophisation et de production de mousses	Herbicides et insecticides	Cyanure par exemple ; elles peuvent être toxique	Origine industrielle	Très mobile et responsable de l'eutrophisation du milieu récepteur	Peu dans les eaux usées domestiques

Constituants biologiques			
Bactéries		Virus	Autres
Non pathogènes	Pathogènes		
Saprophytes, présentes dans les matières fécales ; forment la population des boues activées	Salmonella, shigella... Parasites de l'Homme, dangereuses au-delà d'un seuil	Hépatite, polio... Très dangereuse même à faible dose	Champignons, vers...

3-3- Composition des eaux usées Composition physique

La composition physique des eaux usées consiste principalement en matières solides sous des différentes formes: suspendues, dissoutes, volatiles et / ou différentes combinaisons de ces formes.

Les matières en suspension (MES) en mg / l sont l'expression de la qualité physique de l'eau usée. En fonction de la taille des particules, ils ont un impact sur les systèmes d'irrigation qui peuvent être utilisés (Talaboulma, 2018).

4-Definition Traitement des eaux uses

Les eaux usées traitées sont les eaux usées qui sont passées à travers une station de traitement des eaux usées en vue d'atteindre certaines normes pour réduire leur degré de pollution ou de risque sanitaire ; dans le cas où elles ne respectent pas ces normes, les eaux usées sont considérées au mieux comme partiellement traitées. (Hillel, 2011) c'est séparer les parties solides et stabiliser les polluants. Stabiliser, c'est dégrader la matière organique jusqu'à ce qu'il ne s'y produise plus de réaction chimique ou biologique. Traiter, cela peut aussi vouloir dire retirer les substances toxiques ou autrement dangereuses (par exemple les métaux lourds ou le phosphore) qui pourraient être préjudiciables au déroulement des cycles biologiques, même dans une eau stabilisée. La dernière étape du traitement est la finition qui vise à retirer les matières en suspension stabilisées ou inactivées de manière à rendre l'eau plus limpide. (Ludwig, 1998)

4-1-Traitement des eaux usées

Le traitement des eaux usées comprend une combinaison de mesures physiques, chimiques et biologiques ayant pour finalité l'élimination des constituants des eaux usées. (Grafica, 2017).

Toutes les stations d'épuration ont un objectif minimum qui consiste à enlever :

les polluants visibles (déchets macroscopiques, particules fines susceptibles de diminuer la transparence de l'eau) ;

la matière organique biodégradable dont la dégradation risquerait de consommer l'oxygène disponible dans l'eau des milieux récepteurs, ce qui serait très préjudiciable à la faune aquatique ; et souvent les fertilisants (azote et phosphore) 8.

Certaines stations d'épuration mettent également en œuvre des traitements dits tertiaires capables de piéger certains micropolluants (détergents et tensio-actifs, pesticides, résidus de médicaments et cosmétiques, etc.). L'efficacité de ce piégeage est plus ou moins bonne selon les molécules et les procédés mis en œuvre.

Il faut également noter que toutes les stations, même sans installations spécifiques, ont une certaine efficacité à piéger certains micropolluants, en particulier ceux qui se fixent rapidement sur les particules et ceux qui sont facilement biodegradables(**Bernard,2015**)

4-2-Techniques de traitement pour la réutilisation des eaux usées

Les eaux usées urbaines ne peuvent être réutilisées directement car leur usage est vecteur d'un risque sanitaire potentiellement important pour l'homme et dégrade l'environnement.(**Jérôme, Vincent, et al,2011**)

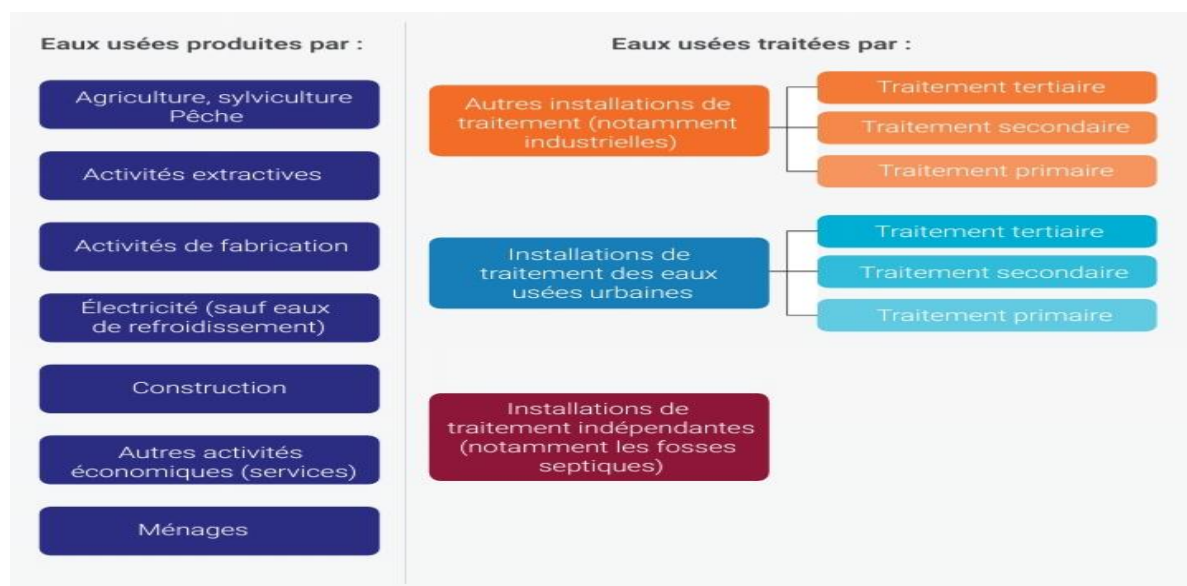


Figure 3: Variables pour la production et le traitement des eaux usées utilisées(**Graham,richard, et al,2021**).

4-2-1-Traitement primaire

Le traitement primaire, étape de décantation, conduit à un faible abattement pour la plupart des micro-organismes(**Marie, Nathalie,2012**)

filtrer les eaux usées doivent subir un traitement primaire après dégrillage. Il est assuré par un décanteur-digesteur ou une fosse toutes eaux suivie d'un préfiltre qui prévient le colmatage des orifices du réseau de distribution. Cette opération permet d'éliminer la majeure partie de la fraction particulaire de la matière en suspension et par conséquent d'éviter le colmatage du filtre.

L'emploi d'un dégraisseur et d'un décolloïdeur à l'amont des filtres est très répandu. Ce système permet la rétention d'une quantité importante de la pollution dissoute.

La qualité des effluents primaires dépend de leurs caractéristiques et de leur volume (**KASSOUK,2002**)

4-2-2 - Traitement secondaire

En sortie des filtres à sable, les rendements épuratoires recherchés correspondent majoritairement au niveau de rejet. Le niveau de décontamination dépend du temps de séjour moyen de l'effluent dans le massif filtrant. Cette dépendance est exprimée dans la corrélation entre l'épaisseur du massif et l'abattement des coliformes fécaux. Les meilleures performances sont obtenues en début d'exploitation. (KASSOUK, 2002) Le traitement secondaire (traitement biologique) conduit à un abattement supérieur à celui qui est observé au cours du traitement primaire et variable d'un micro-organisme à l'autre pour les virus, les bactéries et les protozoaires, pour les helminthes et avec la nature du traitement. Après traitement secondaire, certains micro-organismes, y compris des pathogènes, sont encore présents dans les EUT (Marie, Nathalie 2012). Ce procédé permet de retirer les particules plus fines présentes dans l'eau brute. De l'air est injecté dans le bassin entraînant ainsi les substances huileuses vers le haut du bassin. Le sable se dépose dans le fond. Les substances huileuses et le sable peuvent être retirés par la suite (Anne-Julie. 2017)

. Les systèmes de traitement secondaire font suite au traitement primaire et sont le plus souvent associés à des processus biologiques couplés à une séparation solide/liquide. Les processus de traitement aérobies secondaires comprennent un réacteur biologique suivi d'un deuxième bassin de décantation pour enlever et concentrer la biomasse produite à partir des composés organiques des eaux usées. Les réacteurs aérobies utilisent soit des processus de biomasse en suspension (Hillel, 2011)

✓ Aération

La méthode de l'aération, en mettant l'eau en contact étroit avec l'air, augmente la teneur en oxygène de l'eau (Sam, Bob, 2013) L'aération de l'eau pour l'oxygéner et enlever le gaz carbonique (Bawin, Bellon, et al, 1998)

✓ Stockage et décantation

Si l'eau est turbide, il est possible de la laisser reposer afin que les particules les plus grosses décantent. Cependant, même après décantation, l'eau doit être traitée en utilisant une méthode de traitement reconnue afin de s'assurer qu'elle puisse être bue en toute sécurité. Lors de la décantation, les particules en suspension entraîneront avec elles certains pathogènes vers le fond du récipient, réduisant donc davantage les risques sanitaires. Un stockage de 2 jours réduira d'autant plus le risque de contamination et diminuera également le nombre d'organismes qui servent d'hôtes intermédiaires pour certaines maladies telles que la maladie du ver de Guinée (dracunculose). (Sam, Bob, 2013)

✓ **Sédimentation** permet le dépôt de particules de matières présentes dans l'eau. Une fois déposées, ces particules de matières peuvent être retirées plus facilement, ainsi que les micro-organismes fixés sur ces particules. La sédimentation permet

d'améliorer la qualité physique et microbiologique d'une eau. **(Denis,2012)**

Différentes techniques permettent d'optimiser la qualité de l'eau, comme l'absorption sur charbon actif, l'ozonation, la filtration, la décarbonation, le dessalement mais aussi la valorisation des eaux usées

Après ces différents traitements, il faut prévoir un système de collecte et d'évacuation des boues ; un système de clarification de l'eau permet d'éliminer les particules en suspension et une évacuation de l'eau traitée. • cette fin, lors de la clarification, un coagulant est injecté dans l'eau et permet la séparation par décantation de l'eau épurée et des boues ou résidus solides secondaires issus de la dégradation de la matière organique **(Arnaud, Andrée, Claude.2017)**

Un traitement biologique peut être installé à la suite de la filtration rapide sur sable ou sur sable et anthracite. Il y a alors deux étapes de filtration distinctes séparées par un poste de pompage qui sert à compenser les pertes de charge de la première étape de filtration. Afin de réduire les coûts d'un tel procédé **(Legube , Desjardins, Doré1998)**

✓ **Filtration**

Un filtre permet de décontaminer l'eau en bloquant physiquement les particules et en les séparant de l'eau qui le traverse.

✓ **Filtre à membrane**

Les filtres à membrane fonctionnent avec des mécanismes de décontamination semblables à ceux des autres filtres. Ils peuvent être très performants en bloquant des organismes encore plus petits tels que les virus. Le mode d'emploi fourni par le fabricant doit être suivi à la lettre car ce type de filtre demande un entretien régulier.

✓ **Filtre à sable**

Les filtres à usage domestique peuvent être confectionnés dans des récipients en argile, métal ou plastique. A l'intérieur sont placés plusieurs couches de sable et de gravier ainsi qu'un système de tuyaux qui force l'eau à couler vers le haut ou vers le bas à travers le filtre. La figure montre un filtre basique à flux ascendant. **(Sam, Bob,2013)**

4-2-3-Traitement tertiaire

Les traitements tertiaires permettent d'améliorer la qualité des effluents secondaires en diminuant les matières en suspension et les pathogènes. Sont distingués les traitements de rétention (filtration sur sable, membranes), les traitements de désinfection chimique

(comprenant notamment la chloration et l'ozonation) et les traitements de désinfection photochimique (traitements UV, lagunage). présentent les abattements obtenus pour différents traitements et pour différents pathogènes. Sous réserve du seuil de coupure des membranes, les traitements membranaires peuvent être efficaces sur l'ensemble des microorganismes. Après traitement tertiaire, certains pathogènes peuvent encore être présents dans les effluents (Marie, Nathalie, 2012).

Les performances de traitement tertiaire vont dépendre des charges hydraulique et organique applicables sur le massif filtrant. Pour des valeurs de DCO en entrée d'infiltration supérieures à 120 mg/l, ces performances baissent d'une façon importante. Un abattement en germes test de contamination fécale de 3 à 4 unités logarithmiques sur les (KASSOUK 2002).

La désinfection a pour but de détruire tous les organismes nocifs qui sont présents dans l'eau pour la rendre propre à la consommation (Sam, Bob, 2013). consiste en la destruction des germes pathogènes pour lutter contre les maladies épidémiques. Cette étape du traitement tertiaire permet donc de s'affranchir définitivement des risques d'infections liées à des germes encore présents. Cependant il existe différents procédés de désinfection dont l'efficacité est variable. On distingue la désinfection par le chlore et ses dérivés, l'ozone et les rayons Ultra Violet (UV). (Jérôme, Vincent, Thomas, Silvia, Emeline 2011).

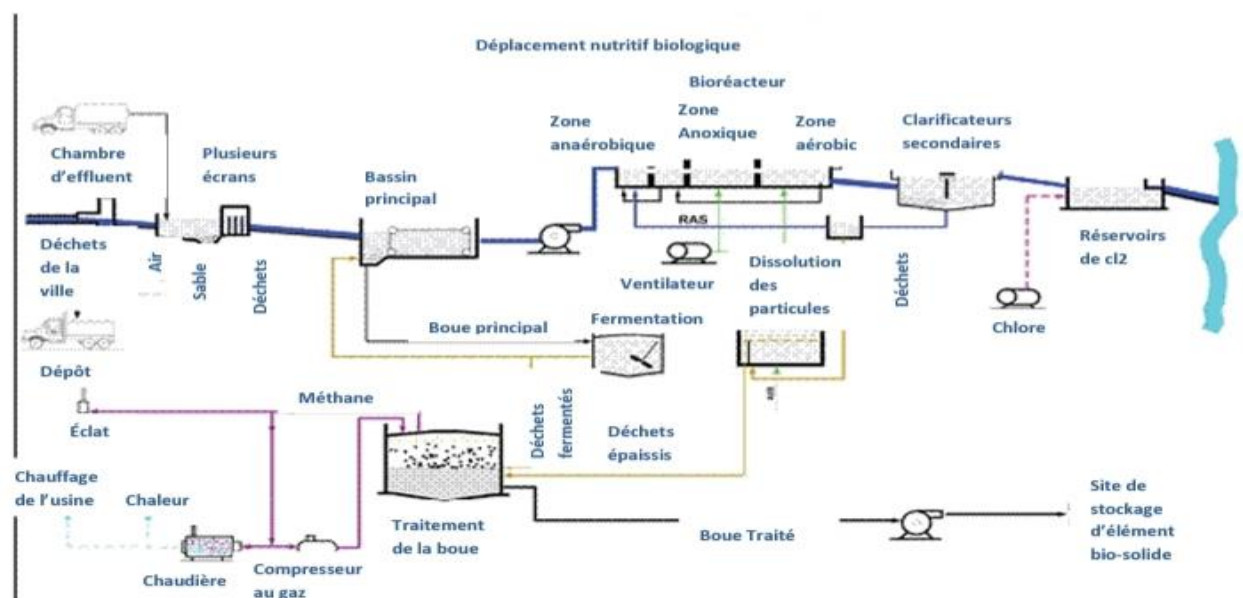


Figure 4: Exemple des eaux usées - Schéma d'une station utilisant les traitements primaires ("plusieurs écrans"), secondaires ("bassin principal") et tertiaires (DNF au niveau du "bioréacteur") (Solne, David, Milena, 2013).

CHAPITRE: III

Bioremédiation par des microalgues

1- Définition de la biorémédiation

La biorémédiation se définit comme tout **processus biotechnologique** utilisant des **organismes pour dépolluer un environnement contaminé**, qu'il soit terrestre ou aquatique.

Donc, si vous vous demandez ce qui est utilisé pour la bioremédiation, la réponse est simple : des organismes vivants. Cependant, tous les organismes vivants ne peuvent pas être utilisés pour la bioremédiation de l'environnement. En effet, les organismes sont choisis en fonction de leurs qualités pour immobiliser, minéraliser ou dégrader les composés polluants et une attention particulière est accordée à leurs enzymes. En général, les organismes les plus couramment utilisés dans les processus de bioremédiation sont **les bactéries, les champignons et les plantes**. Parfois, les organismes sont génétiquement modifiés afin que leurs qualités se rapprochent de celles nécessaires à la bioremédiation.(**Josefina Bordino, 2021**)

1-1-Principe de la bioremédiation

Le procédé de la bioremédiation consiste à activer la capacité naturelle que possèdent de nombreux organismes, la plupart des temps microscopiques (bactéries, microalgues, champignons), à dégrader les polluants en composés inertes, comme l'eau et le gaz carbonique. Ces organismes peuvent être indigènes (déjà présents dans la zone polluée), ou exogènes (ajoutés au milieu), ou encore être prélevés sur le site contaminé, cultivées au laboratoire puis réintroduits dans le sol (bioaugmentation). La bioremédiation se déroule généralement en condition d'aérobie, cependant l'application de systèmes de bioremédiation en condition d'anérobie permet la dégradation d'un certain nombre de molécules récalcitrantes.(**Chedly Abdelly, 2007**).

1-2-Types de bioremédiation

La bioremédiation est si complexe qu'elle peut être classée en plusieurs types selon les critères choisis. Voici trois types de classification de la bioremédiation.

A-En fonction de la stratégie de bioremédiation

- **Biostimulation.** Ce type de stratégie de bioremédiation tire parti des particularités des organismes déjà présents dans le sol ou la masse d'eau à traiter et cherche à adapter les conditions environnementales pour favoriser leur développement et la dégradation des

polluants qui en découle. En résumé, la biostimulation consiste à incorporer des nutriments ou à modifier des variables environnementales telles que le pH du sol ou de l'eau.

- **Bioaugmentation.** Cette autre stratégie de bioremédiation consiste à incorporer dans un environnement pollué des organismes ayant la capacité de dégrader des composés. De cette façon, le processus d'assainissement est optimisé.

B-En fonction de l'endroit où se fait la bioremédiation

- **Bioremédiation in situ.** Les techniques de bioremédiation in situ sont celles qui sont réalisées à l'endroit même où se trouve le polluant, sans qu'il soit nécessaire de déplacer le substrat. Elle est généralement utilisée lorsque la contamination concerne un très grand volume d'eau ou de sol.
- **Bioremédiation ex situ.** Il s'agit de techniques de bioremédiation où l'eau ou le sol contaminé est extrait et traité dans des installations spécifiques à cet effet. Contrairement à la précédente, cette technique est utilisée pour les petits volumes.

C-En fonction des organismes utilisés pour la bioremédiation

- **Dégradation enzymatique.** Cette technique fait référence à l'utilisation exclusive d'enzymes pour assainir un environnement pollué.
- **Bioremédiation microbienne.** Dans ce cas, il s'agit de l'utilisation de bactéries et de champignons pour assainir le site contaminé. On recherche des espèces capables de métaboliser les composés polluants.
- **Phytoremédiation.** Dans ce cas, la bioremédiation est réalisée exclusivement par les plantes. Il existe plusieurs types de phytoremédiation en fonction des qualités des plantes : certaines sont capables de dégrader les composés, d'autres de les immobiliser dans leurs feuilles, etc.

1-3-Exemples de bioremédiation

La bioremédiation est généralement utilisée pour assainir des environnements qui ont été pollués par des hydrocarbures, comme le pétrole, les pesticides, les métaux lourds, les déchets d'origines diverses, etc.

- La présence de métaux lourds dans l'eau et le sol a de graves répercussions sur la santé. Les plantes sont capables d'extraire les métaux lourds des substrats en les adsorbant. Parmi les exemples d'**espèces végétales utilisées pour l'assainissement des environnements pollués par des métaux lourds**, nous pouvons citer *Thlaspi caerulescens*, qui adsorbe le cadmium

et *Chrysopogon zizanioides*, qui adsorbe le zinc et le plomb. Vous trouverez ici plus d'informations pour lutter contre la pollution de l'eau.

- Le champignon *Pycnoporus sanguineus* est également très efficace pour adsorber les métaux lourds en solution aqueuse, en particulier le plomb, le cadmium et le cuivre. En outre, cette espèce fongique pourrait être utilisée pour la **bioremédiation des sols**, en particulier des sols pollués par des déversements de pétrole, car elle est capable de se développer sur ce composé et de tolérer des températures élevées.

Pour poursuivre avec les exemples de micro-organismes utilisés dans la bioremédiation, **les cyanobactéries et les algues vertes** présentent des caractéristiques propices à la **biodégradation d'hydrocarbures**. Des études ont démontré la capacité des cyanobactéries appartenant au genre *Spirulina* à dégrader des composés spécifiques du pétrole (Par Josefina Bordino, 2021)

1-4-Avantages et inconvénients de la bioremédiation

Dans ce paragraphe, nous allons aborder les avantages et les inconvénients de la bioremédiation.

✓ Avantages de la bioremédiation

- Cela revient moins cher que les autres traitements physico-chimiques.
- Ce sont des techniques simples.
- Il s'agit d'une technologie peu invasive, qui ne génère pas de déchets et qui est donc respectueuse de l'environnement.
- Elle nécessite peu d'énergie.
- Elle peut être utilisée en complément d'autres techniques.

✓ Inconvénients de la bioremédiation

- Contrairement à d'autres traitements, la bioremédiation demande de plus longues périodes de temps pour obtenir les résultats escomptés.
- Il est difficile de prévoir le fonctionnement complet du traitement.
- Les polluants ne sont pas complètement éliminés, il en reste toujours une infime quantité dans l'environnement.
- Ce n'est pas un procédé envisageable lorsque les concentrations de polluants sont très élevées. (Par Josefina Bordino, 2021)

2- Définition de la phytoremédiation

L'étymologie provient du grec « phyton » = plante, et du latin « remedium » = rétablissement de l'équilibre, remédiation. La phytoremédiation n'est pas un concept nouveau puisqu'il y a 3 000 ans les hommes utilisaient déjà les capacités épuratoires des plantes pour le traitement de l'eau. Depuis les années 1970 cette pratique a trouvé un regain d'intérêt notamment pour le traitement des **pesticides** et des **métaux**.

La phytoremédiation est un ensemble de technologies utilisant les plantes pour réduire, dégrader ou immobiliser des **composés organiques polluants** (naturels ou de synthèse) du **sol**, de l'**eau** ou de l'**air** provenant d'activités humaines. Cette technique permet également de traiter des pollutions **inorganiques** (**éléments traces métalliques** (ETM), **radionucléides**).

Sol : Cette technique est utilisée pour décontaminer biologiquement les **sols** pollués par des métaux et métalloïdes, pesticides, **solvants**, **explosifs**, **pétrole** brut et ses dérivés, **radionucléides** et **contaminants** divers.

_ **Eaux usées et effluents liquides** : La phytoremédiation sert également à la **décontamination** d'eaux chargées en matière organique ou en **contaminants** divers (métaux, **hydrocarbures**, **organochlorés**, pesticides).

On considère alors les traitements sur sol en place (l'effluent est épandu) ou directement en milieu humide.

_ **Air** : Il peut s'agir aussi de dépolluer l'**air** intérieur ou de recycler l'**eau** grâce aux **plantes dépolluantes** (d'après les recherches de Bill Wolverton pour la NASA dans les années 1980-90). Cet axe de recherche se développe de manière importante depuis quelques années. Le programme **Phyt'air** est un projet français qui réalise une étude de faisabilité pour la constitution d'un système simple de bioépuration de l'air intérieur.(**anonyme, 2022**)

2-1-Principe de phytoremédiation

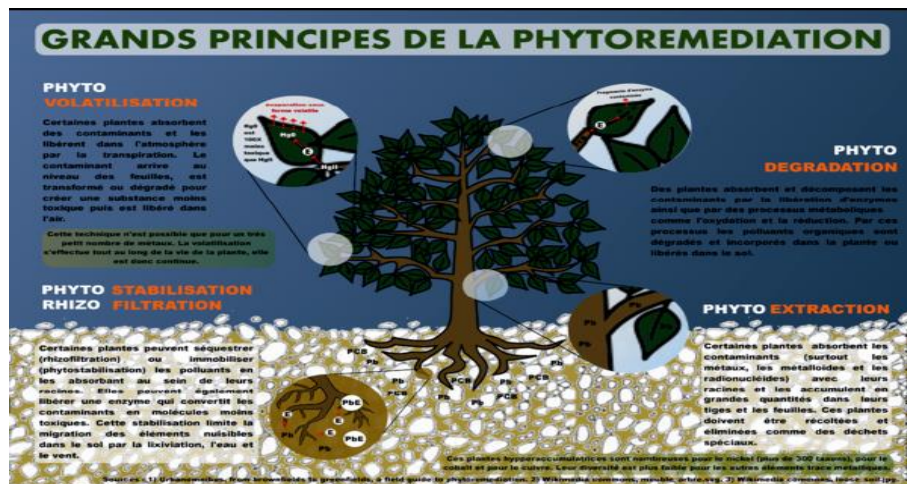


Figure 5: principes de la phytoremédiation.(anonyme,2022)

✓ Grands principes de la phytoremédiation.

La phytoremédiation repose essentiellement sur les interactions entre les plantes, le sol et les micro-organismes. Le sol est une matrice complexe servant de support au développement des plantes et des micro-organismes qui se nourrissent des composés organiques ou inorganiques le composant. Lorsque certains de ces composés sont en excès par rapport à l'état initial du sol, ce dernier est qualifié de contaminé (cela s'applique aussi à l'eau et à l'air qui à la différence sont des fluides).

Les composés en excès peuvent alors être utilisés comme source d'énergie par les plantes et les micro-organismes. Dans le système plante - sol - micro-organismes, la biodégradation bactérienne est souvent en amont de l'absorption racinaire. Plantes et micro-organismes ont coévolué pour disposer d'une stratégie à bénéfices mutuels pour gérer la phytotoxicité où les micro-organismes profitent des exsudats racinaires, lors même que la plante bénéficie des capacités de dégradation des micro-organismes rhizosphériques pour réduire le stress dû à la phytotoxicité. Finalement, la plante est l'agent essentiel de l'exportation d'un contaminant hors du milieu environnant. .(anonyme, 2022)

2-2-Défférents types de phytoremédiation

Les acteurs naturels employés pour tendre vers un rétablissement sont divers. Donc, le nom donné au processus est variable, à savoir:

- **mycoremédiation:** dépollution par les champignons.
- **phycoremédiation:** dépollution par les algues.
- **phytoremédiation:** dépollution par les plantes vasculaires.

Il s'agit dans son ensemble d'une phytorestauration dont le principe est d'utiliser plantes, afin de restaurer l'équilibre écologique déréglé par l'activité humaine. (S5, 2020)

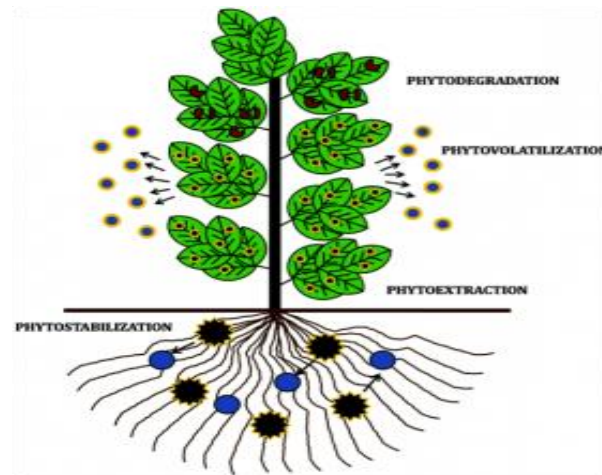


Figure 6 : Les différents types de phytoremédiation (Rusty D et al., 2014)

- Divers types de phytoremédiation existent :
- La phytodégradation : la concentration des contaminants est atténuée *in situ* pour des contaminants organiques sans nécessité de récoltes des plantes.
- La phytoextraction : les contaminants de type métaux sont extraits par les plantes qui sont récoltées jusqu'à dépollution du site.
- La phytostabilisation : la concentration des contaminants de types organiques ou métalliques est stabilisée par un couvert végétal maintenu *in situ*.
- La phytovolatilisation : les contaminants de types organiques ou métalliques sont enlevés par un couvert végétal maintenu.

3-Principe de la mycoremédiation

Elle repose essentiellement sur les interactions entre le champignon et ses métabolites, le sol ou l'eau et éventuellement des plantes ou micro-organismes participant aux cycles en jeu. Champignons, plantes et micro-organismes ont coévolué pour disposer d'une stratégie à bénéfices mutuels leur permettant de gérer la toxicité naturelle de certains milieux. Ces processus peuvent être utilisés pour la bioremédiation. Les champignons symbiotes de nombreuses plantes étendent considérablement leur rhizosphère (le volume de sol soumis à l'influence de l'activité racinaire) (anonyme, 2022).

4- Définition de la Phycoremédiation

La phycoremédiation est un procédé d'assainissement des déchets toxiques à l'aide de microalgues ou macroalgues. C'est un environnement vert et durable approche pour non seulement éliminer ou traiter les eaux usées toxiques, mais aussi produire divers composés utilisables qui peuvent être utilisés pour diverses applications. (Chokshi et al.2016; Rawat et al.2011).

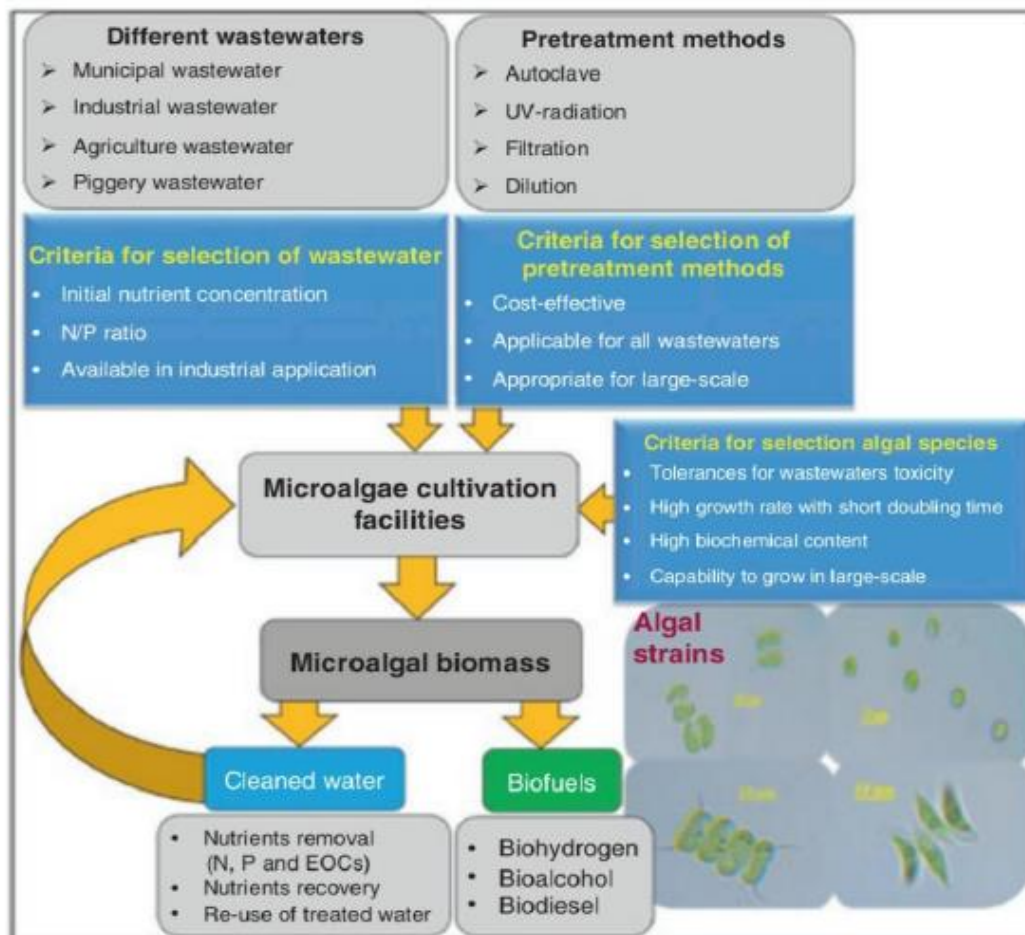


Figure 07: Représentation schématique de simulations de traitement des eaux usées avec culture de biomasse de microalgues (Salama et al. 2017).

Les microalgues constituent un moyen durable et économique pour le traitement des eaux usées ainsi que la production de substances commercialement de valeur.

Microalgues exposition efficacité supérieure dans l'élimination des nutriments comme par rapport à un autre microorganisme parce que les nutriments aiment nitrate, ammoniac, phosphate et d'autres oligo-éléments se trouvent dans les eaux usées c'est essentiel pour le croissance de microalgues.

Des progrès significatifs dans le domaine de la culture de microalgues accouplé avec traitement des eaux usées a abouti à l'amélioration en production de algue biomasse (**Salama et al.2017**).

5-Importance des micro-algues dans le traitement des eaux usées

Les micro-algues jouent des rôles clés dans le traitement biologique des eaux usées par lagunage (**Humenik , Hanna, 1971**).

- Les micro-algues se nourrissent essentiellement d'azote et de phosphore, contenus en grande quantité dans les eaux usées.
- Elles peuvent même contribuer directement à l'élimination de certains dérivés organiques (**Pearson et al., 1987**).
- Elles assurent l'élimination, en partie, des sels nutritifs excédentaires dans les eaux résiduaires (**Pouliot, Delanoüe, 1985**).
- Elles agissent comme bio-absorbants contribuant à l'élimination des métaux lourds et autres produits toxiques véhiculés par ces eaux (**Beker, 1983**).
- Par leur activité biologique, elles influencent négativement les conditions de vie de certaines bactéries pathogènes, conduisant ainsi à leur réduction en nombre et même leur disparition (**Parhad, Rao, 1974**).
- Dégrader et transformer le complexe de xénobiotique.
- Utilisant des microalgues comme une capteurs biologiques pour détecter la pollution (**Dipesh Kumar et al, 2019**).

Partie II :

Partie pratique

Chapitre I :

Présentation de la

station STEP1

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 et biologique des eaux usées de la ville d'El-Oued par la station d'épuration de Kouinine (STEP1) (ANRH.2004).

1.1. 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 Km² elle est situe 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.

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).

1.2. 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.

1.3. 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 des ces communiantes 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).

1.4. Procédés d'épurations des eaux usées dans la station

1.4.1. Prétraitement

Le prétraitement comporte les éléments suivants :

a) 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, 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 8: Dégrillage.

b) 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 9 : Dessablage.

c) 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 10: Répartiteur vers les bassins d'aération.

1.4.2. 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.

a) 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 :

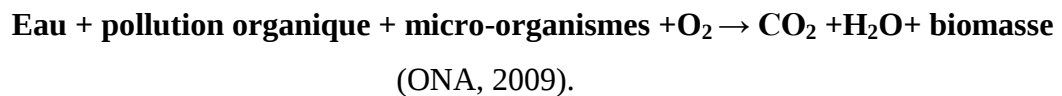


Figure11: Lagune aéré.

b) 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 12 : Aérateur.

c) 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 13: Lagune de finition.

1.4.3. 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/m³ (ONA, 2009).



Figure 14: Lit de séchage des boues.

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 (R.Y. Stanier et al, 1971, R. Rippka et al, 1979), puis la souche purifiée a été identifiée selon aux clés et à la description établies par Komèrak et al. (J. Komárek et al, 1998)



Figure15: la région de prélèvement de la souche

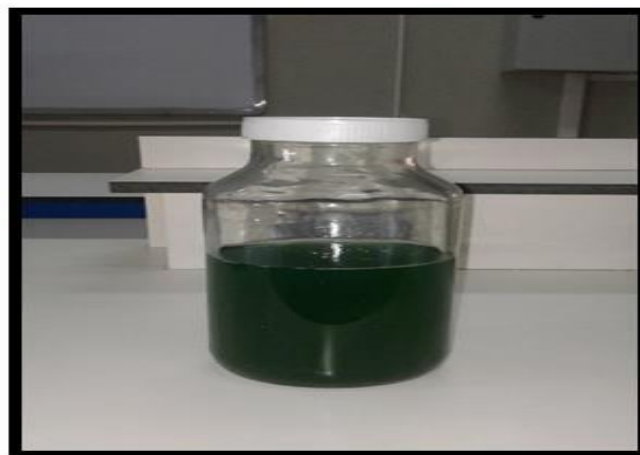


Figure 16 : La souche d'*Arthrospira platensis*

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

L'objectif principal de ce travail est de faire l'audit de procédé du traitement des eaux usées, de la qualité de laboratoire et la qualité des eaux traitées de la région de Kouinine, qui conforme avec les normes de rejet (OMS) appliqué en Algérie.

Nous avons donné dans ce chapitre un aperçu sur les principales analyses faites sur les échantillons des eaux usées pour connaître la qualité des eaux traitées. Pour cela, différents appareils et méthodes d'analyses sont utilisées, donc nous avons suivi les paramétrées suivant : T, pH, Con, Salinité, DBO₅, DCO, O₂ dissous, MES, NO₂⁻, NO₃⁻ et PO₄⁻³.

.2.1. Le but général de la manipulation

Faire des analyses physico-chimiques de l'eau usée de la région de Kouinine.

.2.2. Prélèvement**.2.2.1. Echantillonnage**

Le prélèvement d'un échantillon d'eau est une opération délicate à laquelle le plus grand soin doit être apporté ; il conditionne les résultats analytiques et l'interprétation qui en sera donnée. L'échantillon doit être homogène, représentatif et obtenu sans modifier

les caractéristiques physicochimiques de l'eau (gaz dissous, matières en suspension, etc.)(RODIER, 2005).

Les prélèvements doivent être dans des flacons en plastique préalablement bien lavés et rincés avec de l'eau à examiner.

.2.2.2. Lieu de prélèvement

Les prélèvements sont réalisés au niveau des ouvrages de prétraitement (à l'entrée de la STEP), et à la sortie (bassin de finition) au matin (8:30h) pendant un période de 03 mois (de Février à mars). Nous avons pris l'échantillon de la région en le point de rejet de réseau d'assainissement de Kouinine.

.2.3. Méthodes d'analyses

L'analyse physico-chimique de l'échantillon a été effectuée dans laboratoire de STEP 1 de Kouinine.

.2.3.1. Détermination des pH et Température

Principe : La température influe sur la quantité d'oxygène, la décomposition de la matière organique, le développement des parasites responsables de certaines maladies, et la prolifération d'algues bleues qui libèrent des toxines. Le potentiel hydrogéné (pH) est en relation avec la concentration des ions hydrogéné présent dans l'eau ou les solutions.

But d'analyse

- ✓ Détermination de l'acidité, la neutralité ou la basicité de l'eau .
- ✓ Pour sa mesure est effectuée à l'aide du pH-mètre de poche.

Electrode: Electrode de pH combinée

Expression des résultats : La valeur est lue directement sur l'écran de l'appareil après l'immersion d'une électrode spécifique de pH dans l'échantillon.

.2.3.2. Détermination de l'oxygène dissous

Principe : La concentration réelle en oxygène dépend de la température, de la pression de l'air, de la consommation d'oxygène due à des processus microbiologique de décomposition ou une production d'oxygène, par exemple, par les algues. Actuellement, la mesure électrochimique est la méthode reconnue par les différentes normes pour déterminer la concentration en oxygène des eaux.

Expression des résultants : Le résultat est donné directement en mg/l.

.2.3.3. Détermination de la conductivité électrique, salinité

Principe : La conductivité est la propriété que possède une eau de favoriser le passage d'un courant électrique, elle est due à la présence dans le milieu d'ions qui sont mobiles dans un champ électrique, elle dépend de la nature de ces ions dissous et de leurs concentrations. La température et la viscosité influent également sur la conductivité car la mobilité des ions augmente avec l'augmentation de la température et diminue avec celle de la viscosité. La valeur de la conductivité est un paramètre cumulé pour la concentration en ions d'une solution mesurée. Plus une solution contient de sel, d'acide ou de base, plus sa conductivité est élevée. La conductivité électrique d'une eau s'exprime généralement en micro-siemens par centimètre ($\mu\text{S}/\text{cm}$.)

.2.3.4. Détermination de la demande chimique en oxygène DCO

But d'analyse : Mesure de la demande chimique en oxygène nous renseigne sur la bonne marche des bassins d'aération et nous permettant d'estimer le volume de prise d'essai de DBO5 .

Principe : Il s'agit d'une oxydation chimique des matières réductrices contenues dans l'eau par excès de bichromate de potassium (K_2CrO_4) en milieu acidifié par acide sulfurique (H_2SO_4), en présence de sulfate d'argent (Ag_2SO_4) et de sulfate de mercure (HgSO_4).

Réactifs:

- ✓ Réactifs DCO (LCK 314) gamme (15 à 150 mg/l) pour les faibles concentrations.
- ✓ Réactifs DCO (LCK 114) gamme (150 à 1000 mg/l) pour les fortes concentrations.

Expression des résultants : Le résultat est donné directement en mg/l.

.2.3.5. Détermination des matières en suspension (MES)

But d'analyse : Est de déterminer la teneur de matières en suspensions d'une eau usée

Principe : L'eau est filtrée et le poids des matières retenues est déterminé par différence de pesée ..

Formule: $M.E.S = (P1 - P2) \times 1000000 / 100 = (P1 - P2) \times 10000$. Avec :

✓ **P1:** Poids de filtre en vide.

✓ **P2:** Poids de filtre en plein

.2.3.6. Détermination de la demande biochimique en oxygène (DBO5)

Principe : L'échantillon d'eau introduit dans une enceinte thermostat est mis sous incubation. On fait la lecture de la masse d'oxygène dissous, nécessaire aux microorganismes pour la dégradation de la matière organique biodégradable en présence d'air pendant cinq (5) jours. Les microorganismes présents consomment l'oxygène dissous qui est remplacés en permanence par l'oxygène de l'air, contenu dans le flacon provoquant une diminution de la pression au-dessus de l'échantillon. Cette dépression sera enregistrée par une OXI TOP.

• **Expression des résultants :** Lecteur de la valeur après 5 jours. $DBO5 \text{ (mg/l)} = \text{Lecteur} \times \text{Facteur}$.

2.4. Suivi de croissance d'*Arthrospira platensis* par milieu Zarrouk

2.4.1. Préparation du milieu de culture

- Pour 2 litres 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 N° 02**).
- Nous avons mélangé les composants dissous dans un b cher 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 température 121 C° pour 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 04 : Composition chimique du milieu de culture (Zarrouk ,1966)

Elément	Quantité g/l
NaHCO ₃	16,8 g/l
K ₂ HPO ₄	0,5 g/l
NaNO ₃	2,5 g/l
K ₂ SO ₄	1,0 g/l
NaCl	1,0 g/l
MgSO ₄ , 7H ₂ O	0,2 g/l
CaCl ₂	0.04 g/l
FeSO ₄ , 7 H ₂ O	0,01 g/l
EDTA	0,08 g/l
Solution A5	1,0 g/l
Composition de la « solution A5 »	
H ₃ BO ₃	2,86 g/l
MnCl ₂ , 4 H ₂ O	1,81 g/l
ZnSO ₄ , 7 H ₂ O	0,222 g/l
CuSO ₄ , 5 H ₂ O	0,079 g/l
MoO ₃	0,015 g/l



Figure 17: Milieu de culture

2.4.2. Dispositif expérimental

Le dispositif expérimental est installé sur une paillasse au laboratoire (**Figure 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 (**Tableau N° 02**) 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 18 : Dispositif expérimental

2.4.3. Évolution de la croissance d'*Arthrospira platensis*

2.4.3.1. 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 19 : 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-NO₃⁺)**

• **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 NO₃⁻. L'ion nitrate est la base conjuguée de l'acide nitrique (HNO₃), 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 (N₂), 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.

2.4.3.2. 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 20 : observation microscopique en **G×10** **Figure 21:** *Arthrospira platensis* en **G×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**.

2.5. Bioremédiation par *Arthrospira platensis***2.5.1. Analyses des paramètres physico-chimiques des eaux usées****2.5.1.1. 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 a analysé (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-NO₃⁺)**• Mode opératoire**

- Ouvrez le couvercle du tube de réactif ;
- Ajouter 1 ml de l'eau polluée
- Ajouter 0,2 de l 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-NO₂⁻)**
- **Définition de nitrite**

Comme le nitrate mais composé de deux atomes d'oxygène. Sa formule chimique est NO_2^- . L'ion nitrite est la base conjuguée de l'acide nitreux (HNO_2). 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 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_3**

- **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 NH_4OH ou ion ammonium 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 Hadjer, 2017**).

- **Mesure l'ammoniac 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°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.

2.5.1.2. 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.

2.5.2. Suivi de bioremédiation des polluants organiques par *Arthrospira platensis*

2.5.2.1. Préparation du milieu ordinaire

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

2.5.2.2. 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'écritassions des résultats lors cette phase.

2.5.2.3. 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 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-NO₃⁺)**• 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-NO₂⁻)**
- **Mode opératoire**
- Ouvrez le 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 NH₃**
- **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

1. Résultats physicochimiques du mois de janvier:

1.1. potentiel hydrogène (ph).

Les résultats que nous avons obtenus de la potentiel hydrogène sont rassemblés dans la Histogramme (Fig.22).



Figure 22 : Histogramme de variation de potentiel hydrique (PH) mois janvier 2022

On observe que le PH avant filtrage a été augmenté de 7,8 puis diminué de 7,6.

Arthrospira platensis est une cyanobactérie alcalophile, présentant une croissance optimale à un pH de 9,0 à 10,0. Il pousse bien à pH 11,5 mais pas à pH 7,0. Contrairement à de nombreux autres micro-organismes photosynthétiques (Shimshon Belkin, Sammy Boussiba, 1991).

le pH alcalin modérée constituent des conditions de milieu idéales pour la prolifération des microorganismes qui établissent un parfait équilibre biologique, permettant la dégradation de la matière organique ce qui conduit à la décontamination de l'eau.

1.2. Température (T°C)

Les résultats que nous avons obtenus à partir de la température sont résumés dans le graphique (Fig. 23).

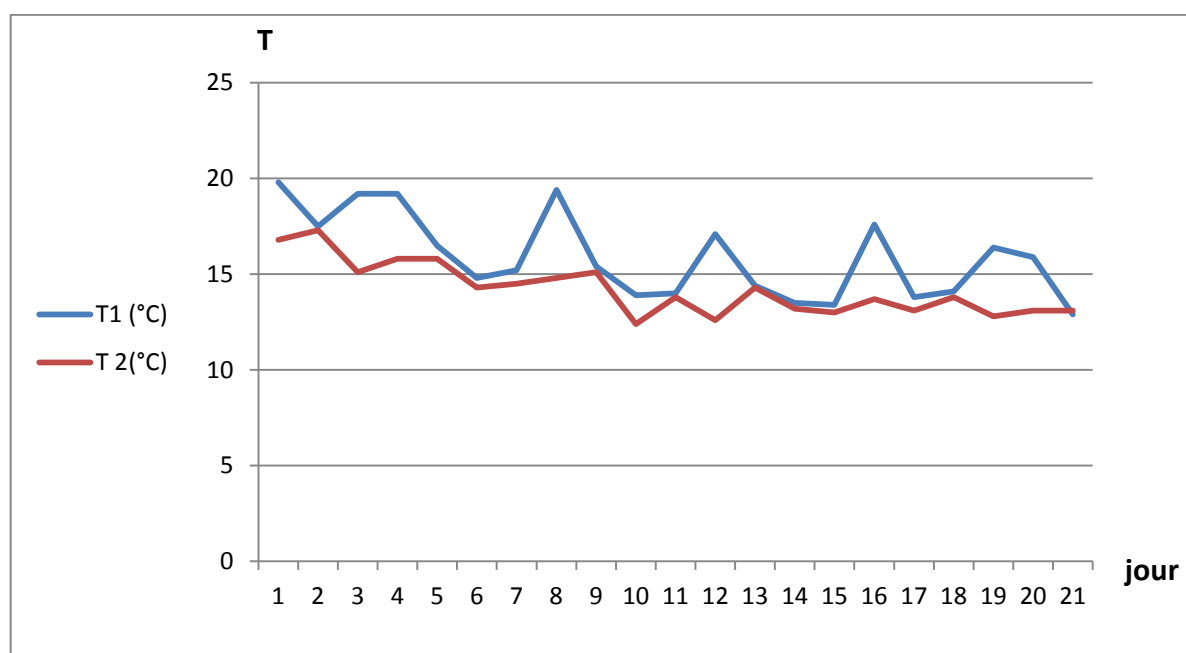


Figure23: Histogramme de variation de température T°C mois janvier 2022

On observe les valeurs de **T** augmentait de 19,8 puis après filtrage il diminuait à 17,3.

La température est un facteur écologique important du milieu. Son élévation peut perturber fortement la vie aquatique (pollution thermique). Sa mesure est nécessaire, étant donné le rôle qu'elle joue dans la solubilité des gaz, dans la dissociation des sels dissous et dans la détermination du pH (**Gaujous, 1995**).

La température comme facteur physiologique sur la vitesse des réactions biologiques, l'activité biologique du milieu, il agit sur le métabolisme et la croissance de la plupart des organismes vivant dans l'eau, notamment ceux microscopiques (**Who, 1989**) et est, de ce fait, directement liée à la vitesse de dégradation de la matière organique (**Mara et al., 1979**). Les températures qui nous avons mesurées dans les régions étudiées ont trouvées entre 19,8 et 17,3°C, donc sont modérées.

1.3.l'oxygène dissous O₂

Les résultats journaliers d'analyse l'oxygène dissous O₂ sont traduit comme Histogramme (Fig.24)

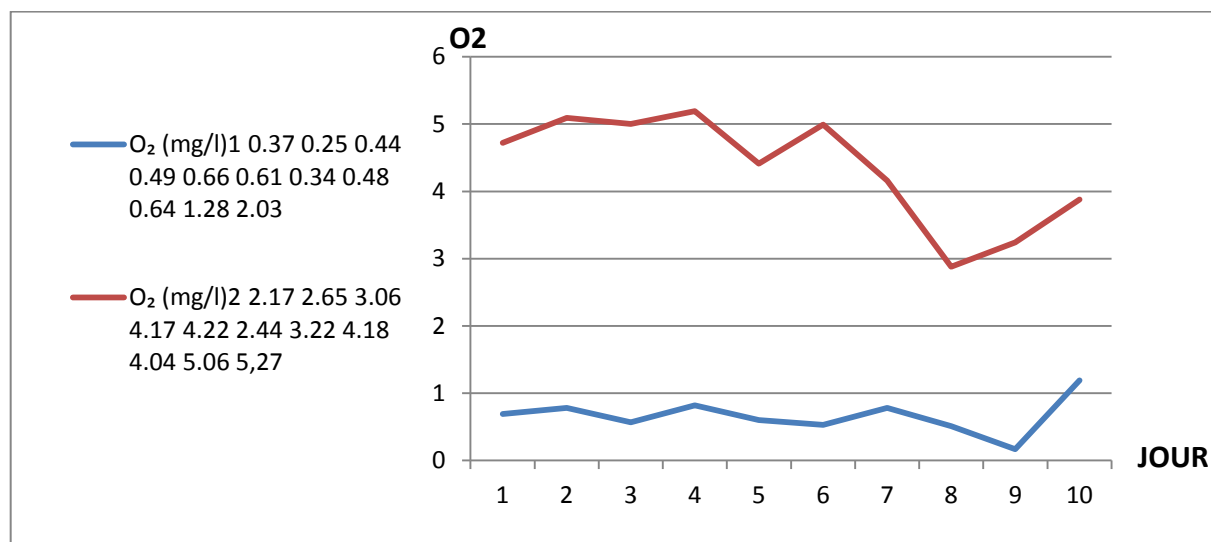


Figure 24 : Histogramme de variation de O₂ mois janvier 2022

On remarque que le pourcentage d'oxygène dissous a diminué de 2,03 puis a augmenté après filtration jusqu'à atteindre 5,27.

An increase in O₂ concentration similarly decreases the content of photosynthetic pigments.

The exposition to an atmosphere containing 70% O₂ markedly reduced the yield of biomass .(Piero Tiano et al,1984).montre aussi que l'oxygène dissous dans les trois aquariums diminue avec le temps. Cette diminution est influencée par les variations de la température de l'air qui limite la solubilité de l'oxygène. Cette influence de la température a été rapportée par de nombreux auteurs qui signalent l'existence d'une corrélation entre la température et l'oxygène l'origine de l'oxygène dans les milieux naturels est liée à:

-l'activité photosynthétique des plantes aquatiques‘

-la dissolution à partir de l'oxygène atmosphérique‘

-la consommation respiratoire de la faune, la flore et la

dégradation de la matière organique, se traduisant par une demande biologique et chimique d'oxygène.

La présence des films mono-moléculaires dans l'interface air/eau, contribue à la diminution de la diffusion de l'oxygène de l'air dans le milieu aquatique et l'empêchement de l'échappement de l'oxygène produit par la photosynthèse dans le milieu aquatique des algues. Ce processus explique le taux élevé de l'oxygène dissous dans les aquariums couverts par des films monomoléculaires. (S. SAGGAI et al, 2015)

1.4. Conductivité électrique

Les résultats journaliers d'analyse Conductivité électrique sont traduits comme Histogramme (Fig. 25)

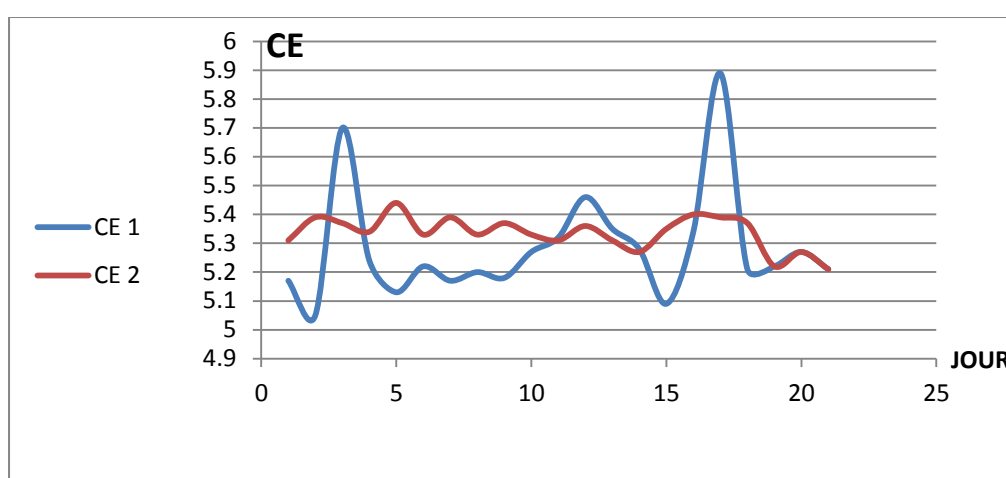


Figure 25: Histogramme de variation de CE mois janvier 2022

On remarque que le CE a été augmenté de 5,85 puis diminué après filtrage à 5,44.

La conductivité représente l'un des moyens de valider les analyses physicochimiques de l'eau, en effet des contrastes de conductivité mesurés sur un milieu permettent de mettre en évidence des pollutions, des zones de mélange ou d'infiltration....

La conductivité est également fonction de la température de l'eau, elle est plus importante lorsque la température augmente. Elle sert aussi d'apprécier la quantité de sels dissous dans l'eau.

La conductivité électrique présente un même rythme que la salinité, et elle est liée à la présence d'ions dans l'eau, qui augmente avec la concentration des sels ioniques dissous, et elle est étroitement liée à la température et varie en fonction d'elle. (S. SAGGAI et al, 2015), Et comme il a diminué, c'est la preuve de la purification de l'eau des contaminants.

1.5.Salinité

Les résultats que nous avons obtenus de la Salinité sont rassemblés dans la Histogramme (Fig.26).

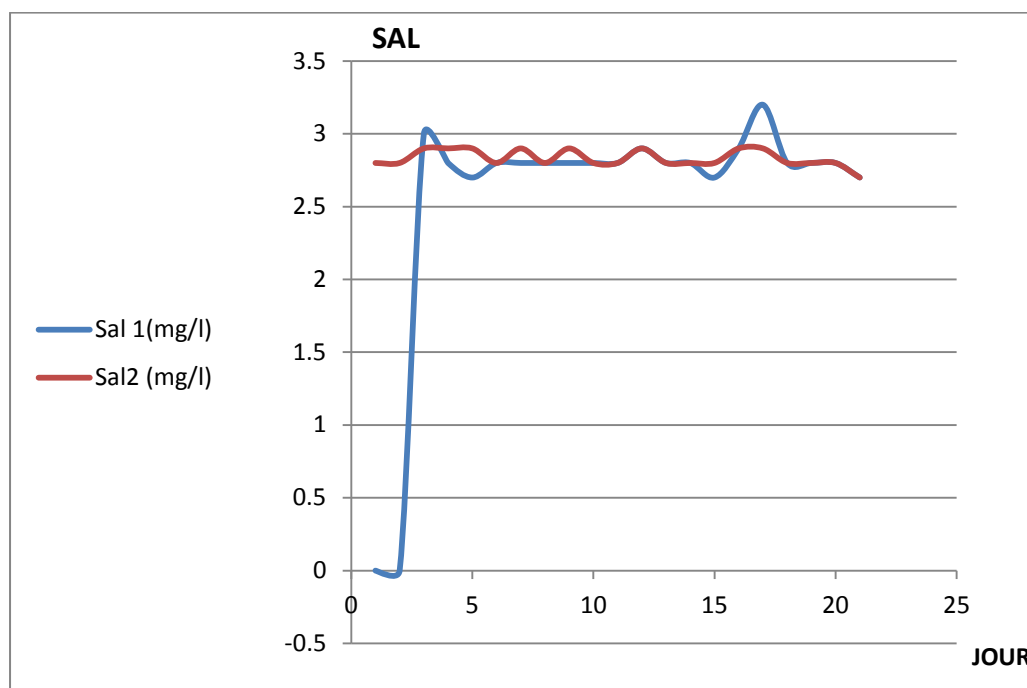


Figure 26 : Histogramme de variation de sal mois janvier 2022

On remarque que le SAL augmentait à partir de 3,2 puis se stabilisait après filtrage entre (2,5 et 3).

Le stress salin provoque une diminution de la croissance et de la productivité des plantes en perturbant les processus physiologiques, en particulier la photosynthèse. L'accumulation d'ions sodium intracellulaires au stress salin modifie le rapport K : Na, ce qui semble affecter les processus bioénergétiques de la photosynthèse. Les multiples effets inhibiteurs du stress salin sur la photosynthèse et les mécanismes possibles de tolérance au stress salin chez les cyanobactéries et les plantes sont passés en revue. (P. Sudhir ,S.D.S. Murthy, 2004), Par conséquent, nous concluons que le stress salin a divers effets sur les activités photosynthétiques de transport d'électrons en raison des altérations marquées de la composition des protéines membranaires des thylakoïdes. (Anonyme,2005).

1.6.Turbidité

Les résultats que nous avons obtenus de la Turbidité sont rassemblés dans la Histogramme (Fig.27).

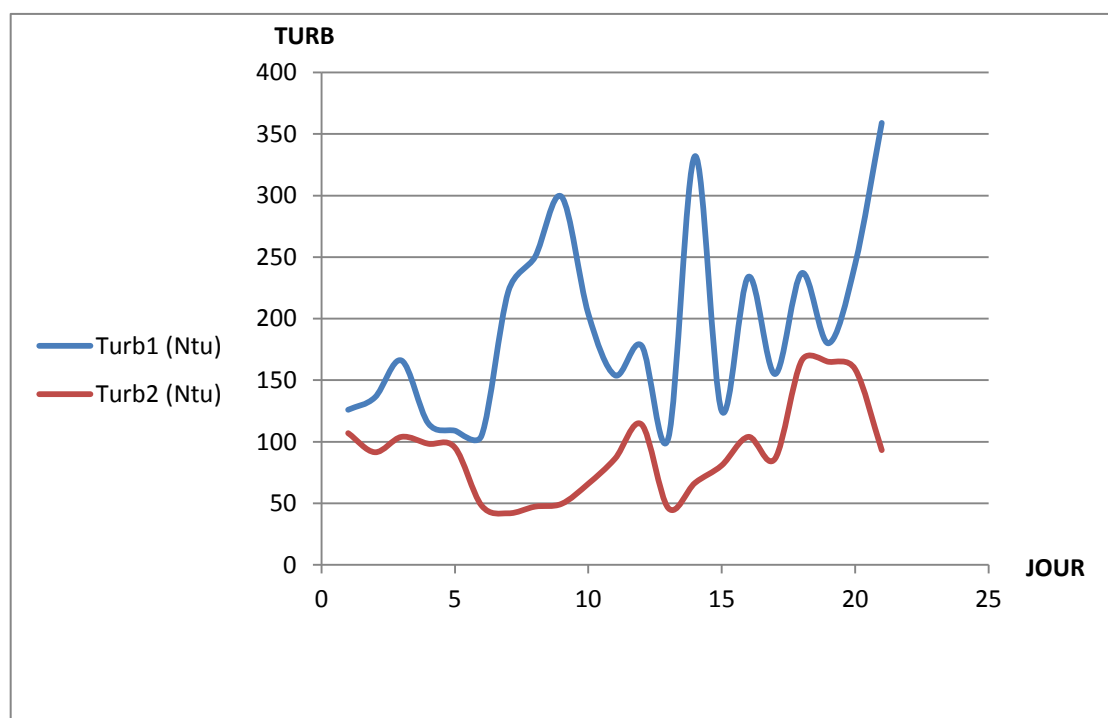


Figure 27 : Histogramme de variation de TURB mois janvier 2022

On remarque que la TURB est passée de 359 puis a diminué à 166 après la liquidation

D'après Rejsek (2002), la turbidité représente l'opacité d'un milieu trouble. Elle désigne aussi, la réduction de la transparence d'un liquide due à la présence de matières non

dissoutes. Généralement, la turbidité des eaux est causée par la présence de matières en suspension fines, comme les argiles, les limons, les grains de silice et les microorganismes. Elle varie suivant les présentes dans l'eau (Metahri, 2012), La diminution de la turbidité de l'eau indique que les eaux usées sont devenues propres

1.7.Demande biologique en oxygène

Les résultats que nous avons obtenus de la Demande biologique en oxygène sont rassemblés dans la Histogramme (Fig.28).

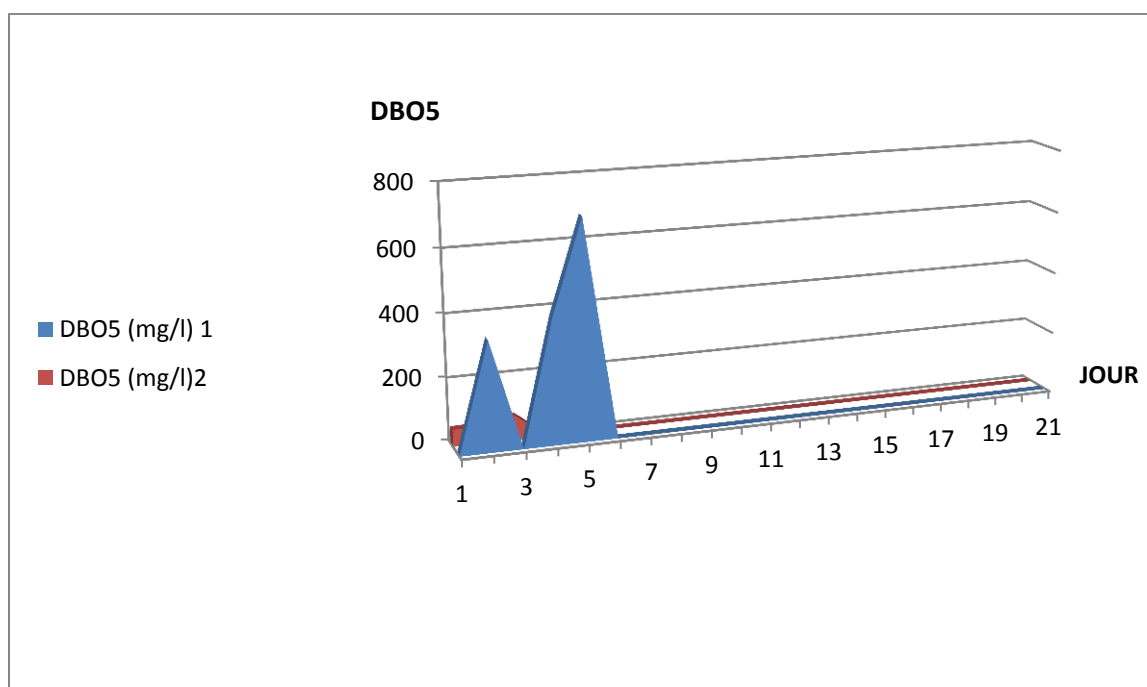


Figure 28 : Histogramme de variation de DBO5 mois janvier 2022

On remarque que DBO5 a été augmenté de 699 puis diminué à 76.

DBO5 :Exprimée en mg d'oxygène par litre. Elle exprime la quantité de matière organique biodégradable présente dans l'eau. Plus précisément, ce paramètre mesure la quantité d'oxygène nécessaire à l'oxydation de la matière organique par voie aérobie (El Hachemi, 2012). On prend souvent, comme référence, la DBO5 : quantité d'oxygène consommée par les bactéries à 20°C à l'obscurité et pendant 5 jours d'incubation d'un échantillon préalablementensemencé (Metahri, 2012)

Une diminution de dbo5 après filtrage indique que les bactéries ont consommé une grande quantité.

1.8.Demande chimique en oxygène

Les résultats que nous avons obtenus de la Demande chimique en oxygène sont rassemblés dans la Histogramme (Fig.29).

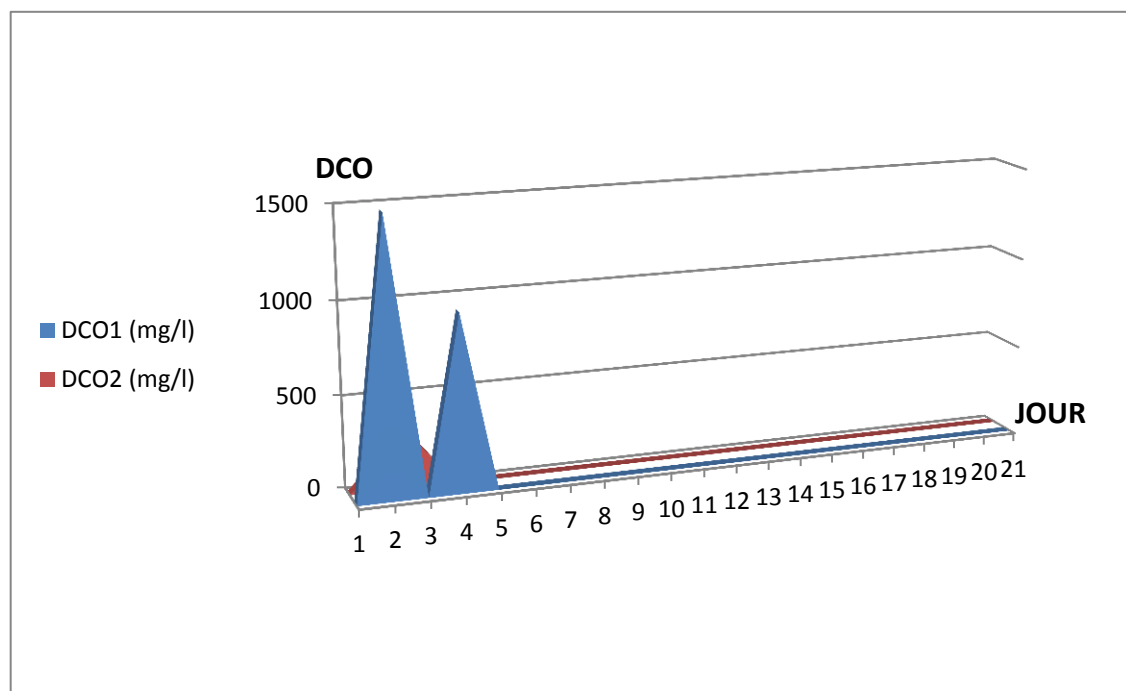


Figure 29 : Histogramme de variation de DCO mois janvier 2022

On remarque que la DCO a été augmentée de 1500 puis diminuée après filtrage à 235.

DCO: Elle mesure la quantité d'oxygène nécessaire pour la dégradation chimique de toute la matière organique biodégradable ou non contenue dans les eaux à l'aide du bichromate de potassium à 150°C. Elle est exprimée en mg O₂/l. La valeur du rapport DCO/DBO indique le coefficient de biodégradabilité d'un effluent (Rodier et al., 2005).

Et une diminution du DCO après cela indique la décomposition chimique de la matière organique, ce qui indique que les bactéries ont effectué le processus de photosynthèse et analysé ces polluants.

1.9.Matière en suspension

Les résultats que nous avons obtenus de la matière en suspension sont rassemblés dans la Histogramme (Fig.30).

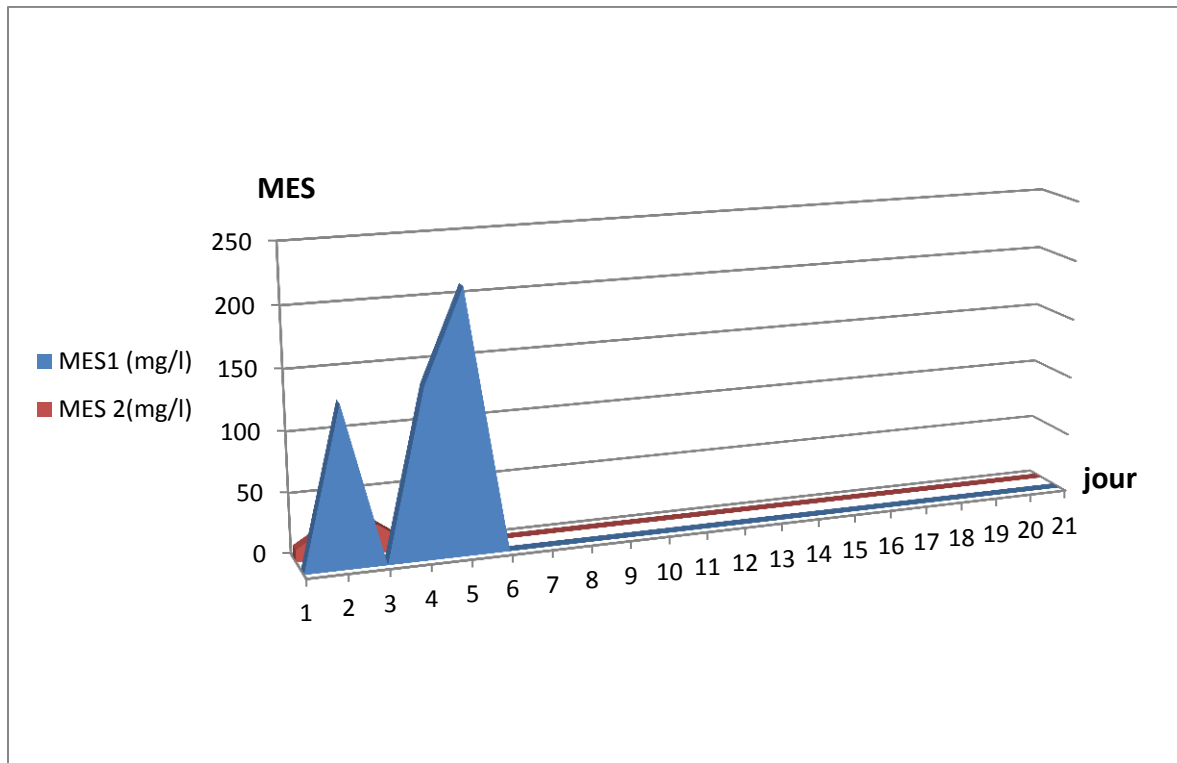


Figure 30 : Histogramme de variation de MES mois janvier 2022

On remarque que la MES a été augmentée de 216 puis diminuée après filtrage à 30.

La diminution du MES après filtrage est la preuve que les bactéries ont absorbé l'oxygène lors de l'analyse chimique de la matière organique de l'eau polluée.

2. Suivi la croissance de *Arthrospira platensis* dans le milieu Zarrouk

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.

2.1. Température (T°C)

Les résultats que nous avons obtenus de la température sont rassemblés dans la Histogramme (Fig.31).

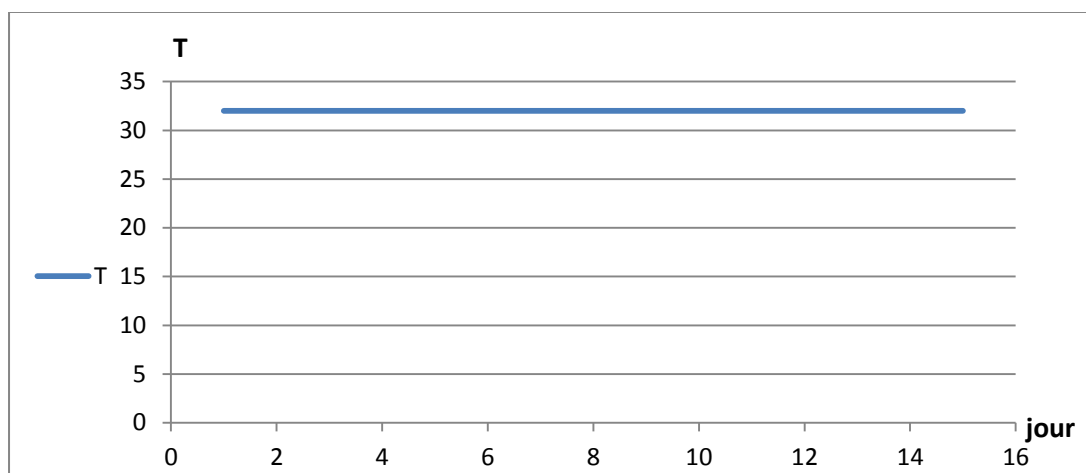


Figure 31: Histogramme de variation de température T°C dans milieu Zarrouk.

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

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

2.2. Potentiel hydrique (PH)

Les résultats journaliers d'analyse le potentiel hydrique pH sont traduits comme Histogramme (Fig.32).

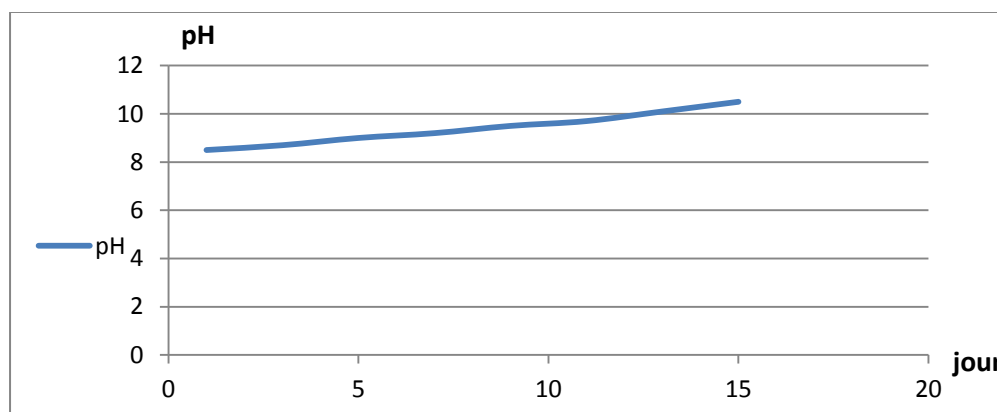


Figure 32 : Histogramme de variation potentiel hydrique (PH) dans milieu Zarrouk.

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 CO₂ liquide (consommer par les micro-algues) avec NaOH.



L'augmentation de Ph liée à la consommation de CO₂ liquide (plus la photosynthèse est élevée plus la consommation de CO₂ est élevée et plus Ph.

2.3. Biomasse

Les résultats que nous avons obtenus de la biomasse sont rassemblés dans la Histogramme (Fig.33).

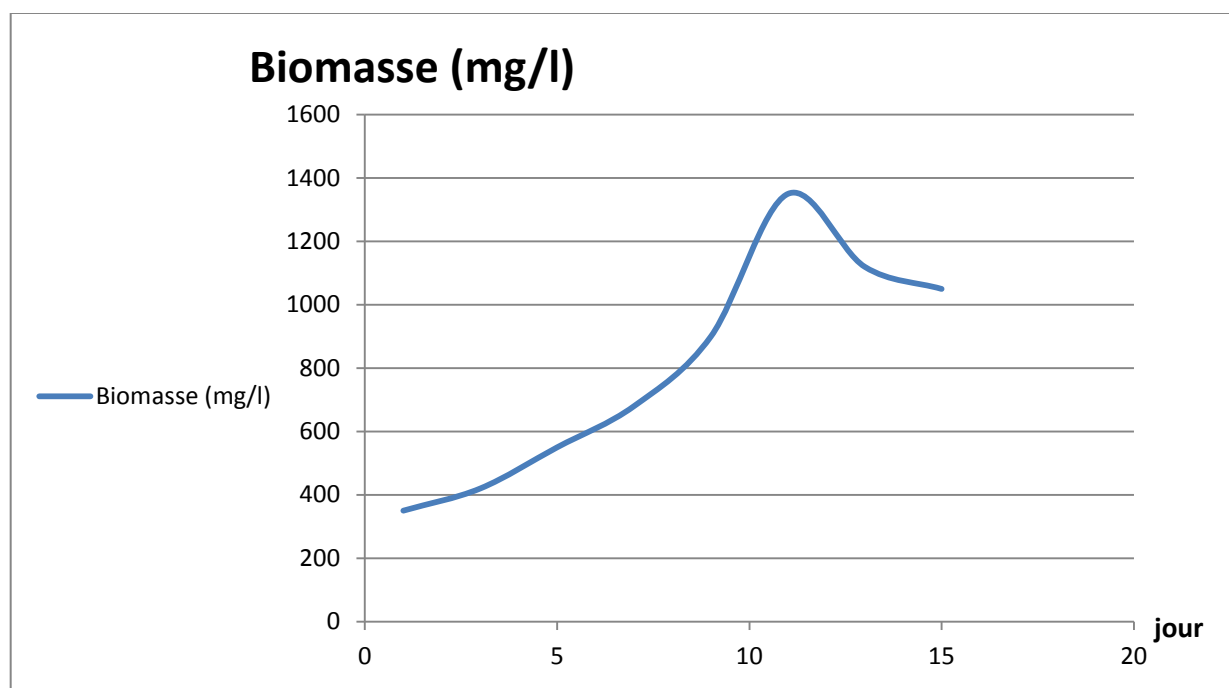


Figure33 : Histogramme de variation biomasse dans milieu Zarrouk.

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

I 'augmentation de la biomasse s'est produite en raison de set son 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.

2.4. Conductivité

Les résultats que nous avons obtenus de la Conductivité sont rassemblés dans la Histogramme (Fig.34).

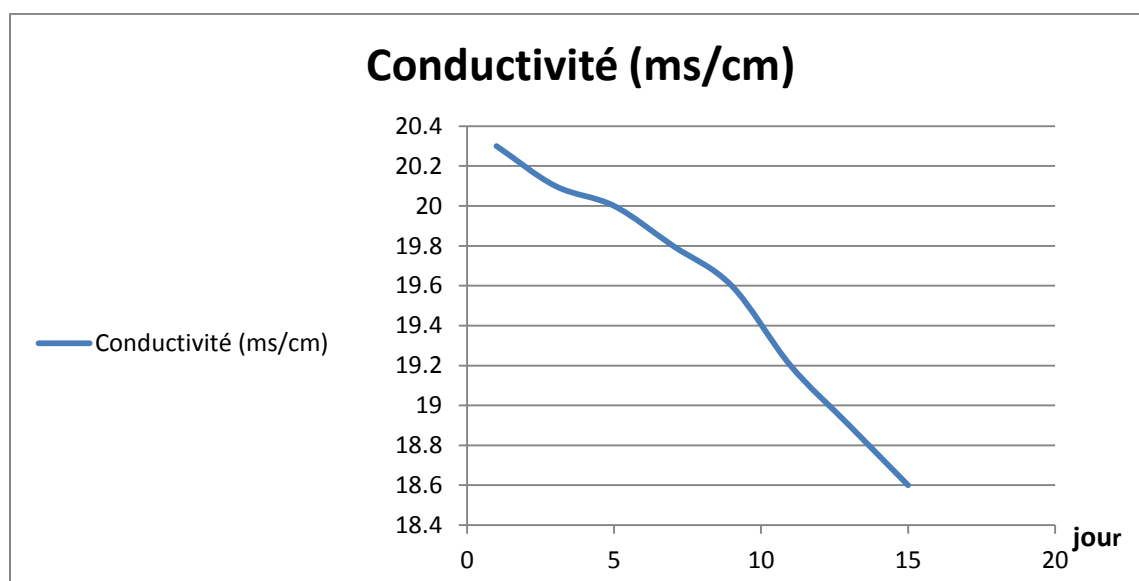


Figure34: Histogramme de variation conductivité dans milieu Zarrouk.

On observe une diminution des valeurs de conductivité.

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

2.5. Ammoniac, Nitrate et Nitrite

Les résultats que nous avons obtenus de la Ammoniac, Nitrate et Nitrite sont rassemblés dans la Histogramme (Fig. 35).

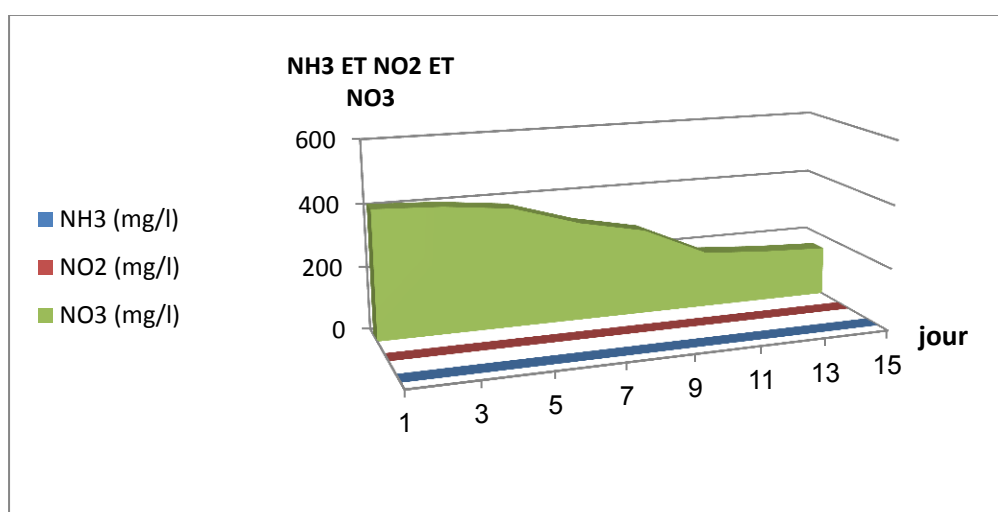


Figure35: Histogramme de variation des valeurs de NH3, NO2 et NO3 dans milieu Zarrouk.

On observe un manque de NH_3 et NO_2 , avec une diminution de NO_3 .

La manque de NH_3 et NO_2 se référer au manque de présence dans les composant du milieu culture,

La diminution de NO_3 se référer à la capacité de spiruline à l'absorption de NO_3 dans les PH inférieur 10.5.

2.6. L'Azote totale

Les résultats que nous avons obtenus de l'azote total sont rassemblés dans la Histogramme(Fig.36).

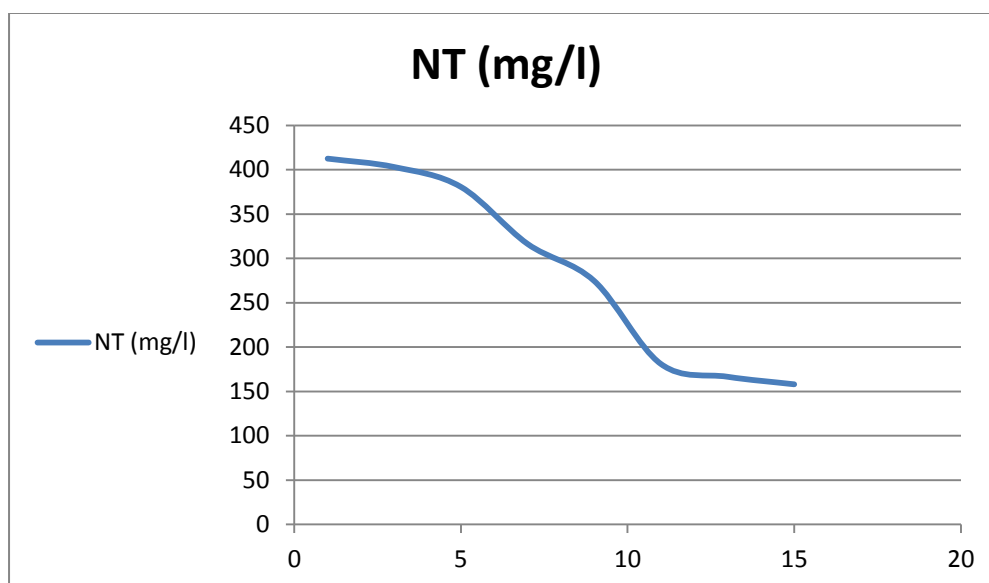


Figure 36 : Histogramme de variation des valeurs de l'azote totale dans milieu Zarrouk.

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

3. Suivi la bioremédiation des polluants organiques par *Arthrospira platensis*

3.1. Température (T°C)

Les résultats que nous avons obtenus de la température sont rassemblés dans la Histogramme (Fig.37).

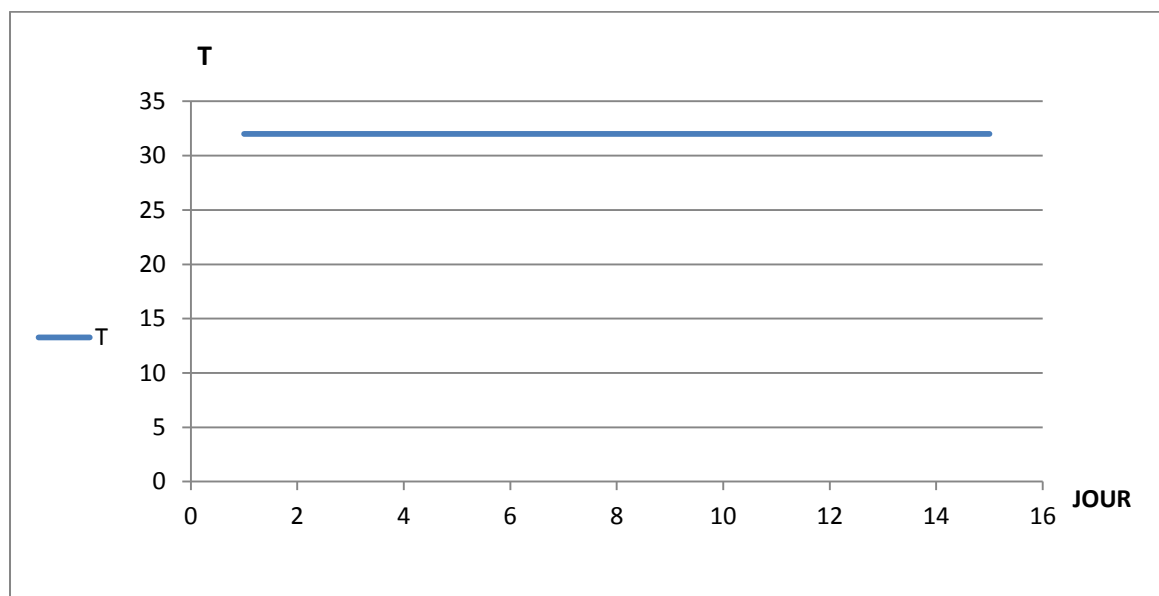


Figure 37 : Histogramme de variation de température T°C dans milieu ordinaire.

On observe les valeurs de température fiée à 32° C

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

3.2. Potentiel hydrique (PH)

Les résultats journaliers d'analyse le potentiel hydrique pH sont traduit comme Histogramme (Fig.38).

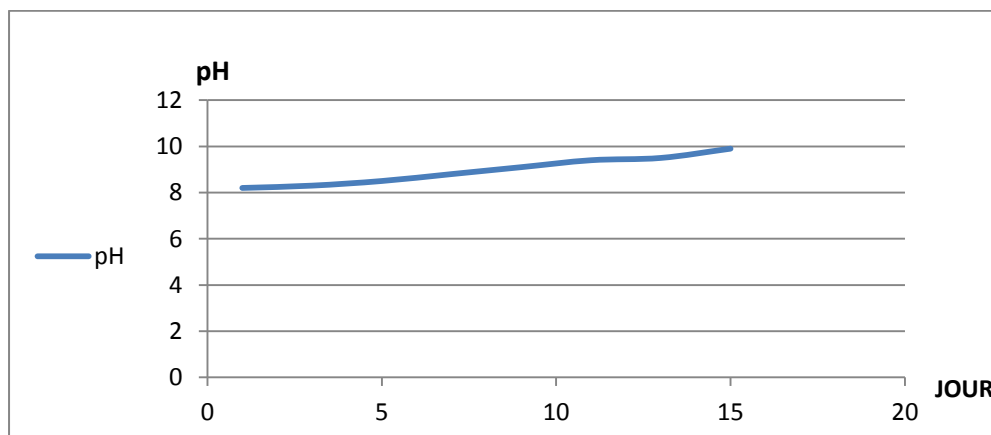


Figure 38 : Histogramme de variation potentiel hydrique (PH) dans milieu ordinaire.

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.

3.3. Biomasse

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

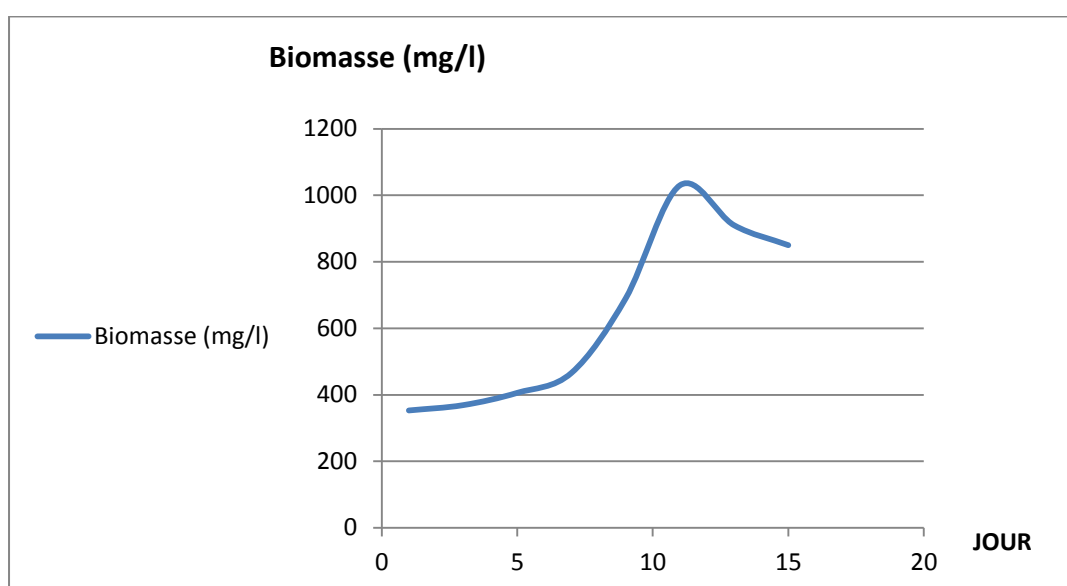


Figure 39: Histogramme de variation biomasse dans milieu ordinaire.

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.

3.4. Conductivité

Les résultats que nous avons obtenus de la Conductivité sont rassemblés dans la Histogramme (Fig.40).

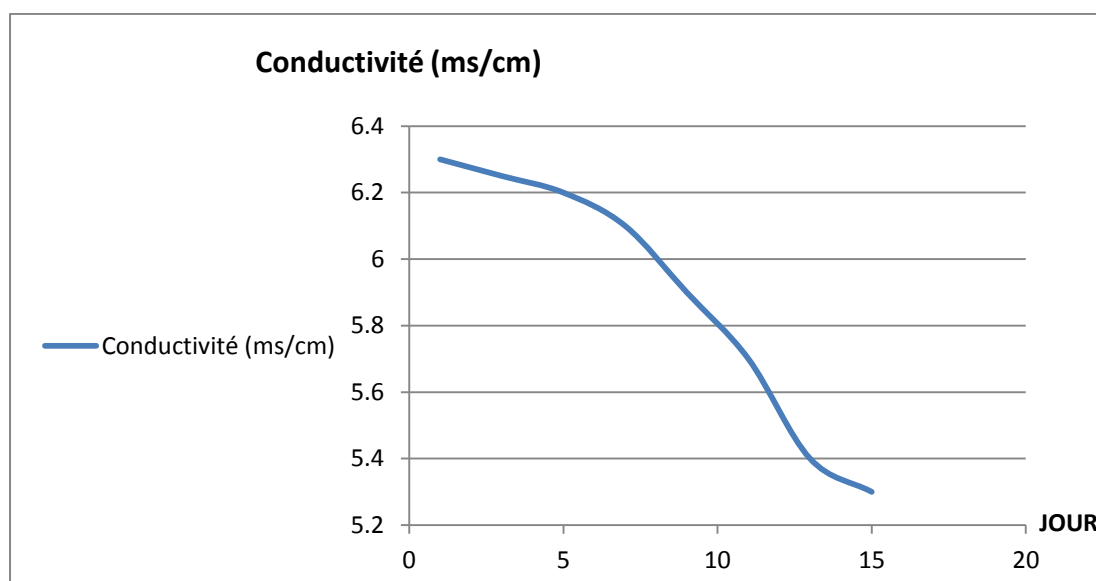


Figure 40 : Histogramme de variation conductivité dans milieu ordinaire.

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.

3.5. Ammoniac

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

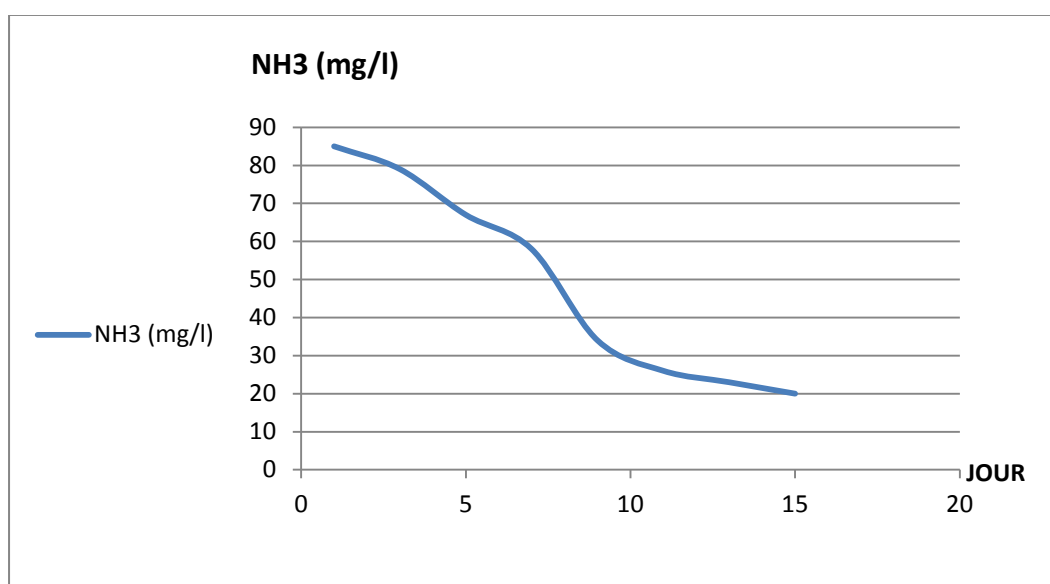


Figure 41: Histogramme de variation des valeurs de NH3, dans milieu ordinaire.

3.6.Nitrite

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

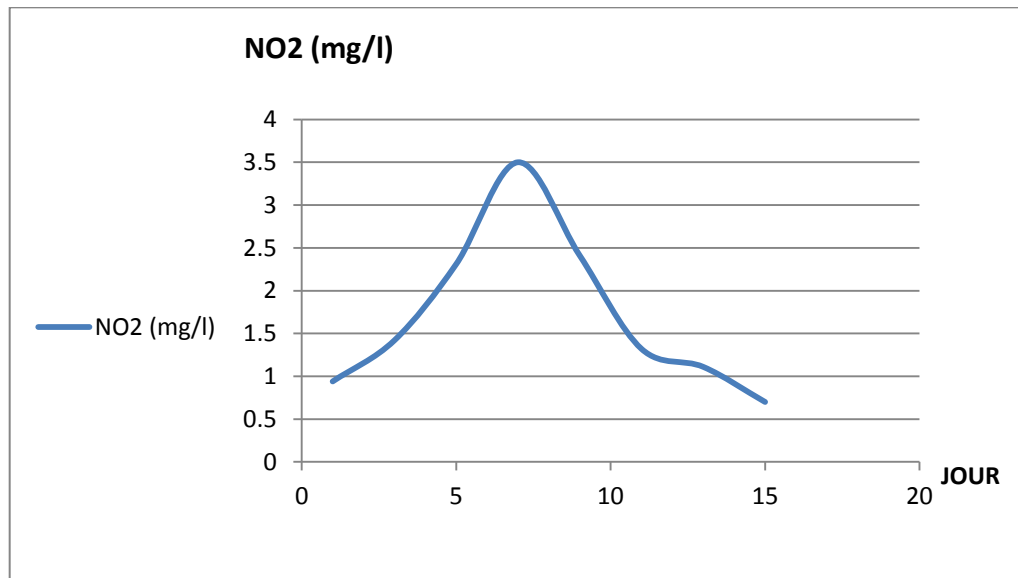


Figure 42: Histogramme de variation des valeurs de NO₂ dans milieu ordinaire.

3.7.Nitrate

Les résultats que nous avons obtenus de la Nitrate sont rassemblés dans la Histogramme (Fig.43).

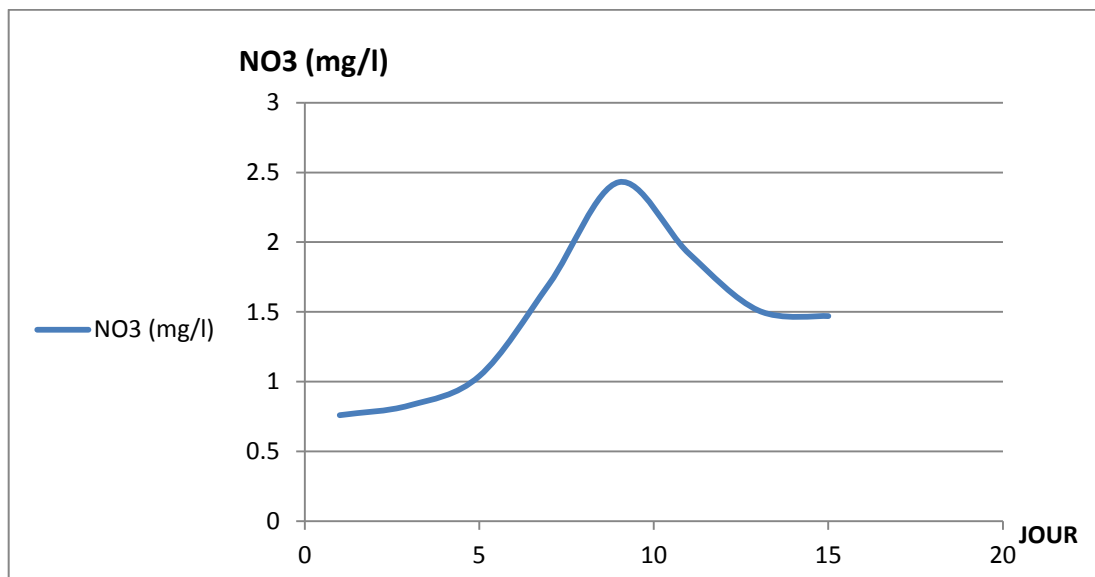


Figure 43 : Histogramme de variation des valeurs de NO₃ dans milieu ordinaire.

On observe augmentation de NO_2 synchronisé avec diminution de NH_3 (de 1 jours jusqu'à 3 jours) suivie par diminution de NO_2 et NH_3 (de 3 jours jusqu'à 5 jours) avec augmentation de NO_3 et suivie par manque de NO_2 , diminution de NH_3 et augmentation de NO_3 .

Dans milieu ordinaire se déroule :



Il s'agit d'une diminution de NO_3 inférieure à celle du milieu Zarrouk, en raison de la dénitrification de NO_3 .



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 NO_2 , NH_3 et NO_3 . mais cette diminution a été inférieure à celle de la spiruline.

3.8. L'Azote totale

Les résultats que nous avons obtenus de l'azote total sont rassemblés dans la Histogramme (Fig. 44).

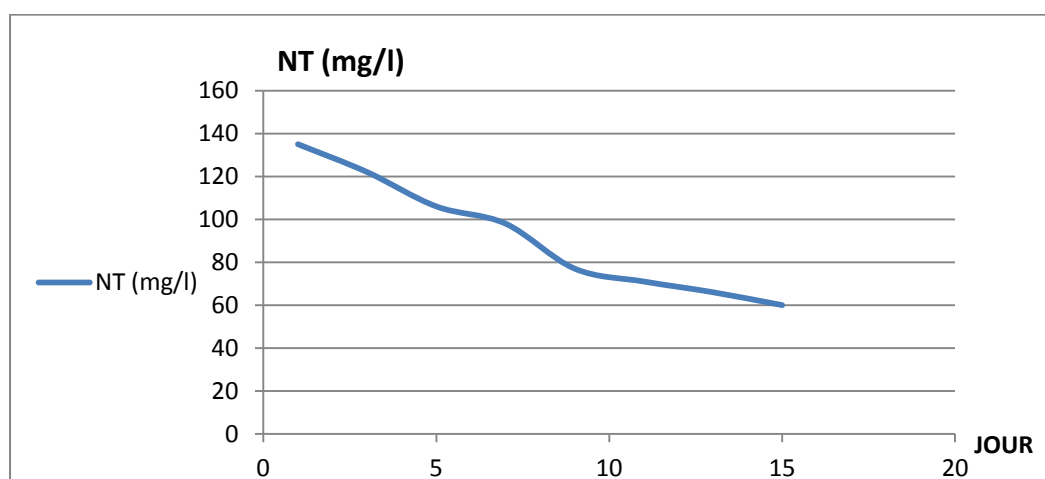


Figure 44 : Histogramme de variation des valeurs de NT dans milieu ordinaire.

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 générale

Conclusion générale

Conclusion générale

Bioremédiation est tout processus qui utilise des micro-organismes bactérie, microbes, champignons, et même certaines plantes peuvent absorber et dégrader les polluants, nettoyant ainsi le sol, l'eau ou l'environnement en général. Certaines algues ont la capacité d'éliminer les substances toxiques et la pollution comme la spiruline.

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 :

Les résultats étaient spécifiques comme suit : le pH était compris entre (7,8 et 7,6), la température était (19,8 et 17,3) et l'oxygène dissous était O₂ (2,03 mg/L - 5,27 mg/L). L'ajustement électrique était entre (5,85 - 5,44), la salinité jusqu'à 3,2 mg/L et la turbidité (359-166), la DCO était supérieure à la DBO₅ et à la MES.

Dans les analyses ultérieures de la biomasse de la souche : les valeurs de la température de consigne à 32°C. Cette stabilisation de la température est garantie par la résistance électrique des aquariums à 32°C. Augmentation des valeurs de PH de 8,5 à 10,5. Augmentation de la biomasse du jour 1 au jour 11 suivie d'une diminution. Une diminution des valeurs de conduction. Carence en NH₃ et NO₂ avec diminution du NO₃. diminution du NT.

Enfin, le traitement biologique : les valeurs de température sont fixées à 32°C. Une augmentation de la valeur du PH. Augmenter la biomasse. Une diminution des valeurs de conduction. Une augmentation du NO₂ concomitante à une diminution du NH₃ (de 1 jour à 3 jours) suivie d'une diminution du NO₂ et du NH₃ (3 jours à 5 jours) avec une augmentation du NO₃ suivie d'une diminution du NO₂, une diminution du NH₃ et une augmentation du N° 3.

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 le matériel pour réaliser des analyses d'autres paramètres (métaux lourds), plus augmentation de biomasse et obtenir bon résultat.

Références

bibliographie

Référence bibliographie

- 1- **Amir Ali Anvara, Bahareh Nowruzib, 19 May, 2021**, Bioactive Properties of Spirulina: A Review, MICROBIAL BIOACTIVES| Published online, p9
- 2- **Alejandra Guasto, 2019**, ARTHROSPIRA PLATENSIS,, Colegio Bolivar, p48-
- 3- **Anonyme, 02/01/2016**, ESPIRULINA Spirulina platensis,, p2 .
- 4- **Anonyme, 2005**, The Effects of Salt Stress on Photosynthetic Electron Transport and Thylakoid Membrane Proteins in the Cyanobacterium Spirulina platensis, Korean Society for Biochemistry and Molecular Biology, P.481-485
- 5- **AYMAN ESMAT BENYAMIN, 1993**, LIGHT ENERGY EFFECT ON SPIRULINA PLATENSIS GROWTH RATE, August, / Texas Tech University, p74.
- 6- **Alessandra Cristine Novak, November – 2010**, Evaluation of the Cosmetic Potential of the Cyanobacterium Spirulina platensis., / Brazil, p88
- 7- **AVIGAD VONSHAK, 1998**, Spirulina platensis (Arthrospira): Physiology, cell-biology and biotechnology, Ben-Gurion University of the Negev, Israel, , p227
- 8- **Anne-Julie Parent , 2017** ., Les EAUX USÉES et leurs TRAITEMENTS , p18
- 9- **Arnaud Charles, Andrée Harari, Jean-Claude Bernier, 2017**, L'EAU, UNE RESSOURCE INDISPENSABLE POUR LA VILLE , p4
- 10- **Aud Charles, Arn Andrée Harari, Jean-Claude Bernier , 2017**, LES EAUX USÉES
UNE RESSOURCE INEXPLOITÉE , p204
- 11- **Anonyme, 06-05-2022**, Phytoremédiation, p10
- 12- **Anonyme, , 06-05-2022**, Mycoremédiation, p6
- 13- **BILKIS BANU CHOONAWALA, 2007**, Spirulina Production in Brine Effluent from CAROLUS VAN EYKELENBURG, SCHEIKUNDIG INGENIEUR,
GEBOREN
TE
-
ROTTERDAM, 1980, SPIRULINA PLATENSIS, / Delftse Universitaire Pers, p116
Cooling Towers, / at Durban University of Technology, p421
- 14- **B. Legube, R. Desjardins et M. Doré , 1998**, Le Traitement des Eaux de Consommation : La Nécessité d'une Recherche en Chimie de l'Eau Needs For Research in Water Chemistry in Drinking Water Treatment, p16
- 15- **Bernard Chocat , LGCIE-DEEP – INSA Lyon, Juin 2015**, Est-il vrai que l'eau potable est fabriquée en recyclant des eaux usées? , p8
- 16- **Claudio Sili , Giuseppe Torzillo and Avigad Vonshak, 2012**, Arthrospira (Spirulina), B.A. Whitton (ed.), Ecology of Cyanobacteria II: Their Diversity in Space

Référence bibliographie

and Time, 677 DOI 10.1007/978-94-007-3855-3_25, © Springer Science+Business Media B.V.,p29

17- **CAROLUS VAN EYKELENBURG,SCHEIKUNDIG INGENIEUR, 1980,** GEBOREN TE ROTTERDAM, SPIRULINA PLATENSIS,/Delftse Universitaire Pers,p116

18- **Cevallos,2015**,Nutritional and toxicological aspects of Spirulina (Arthrospira),Laboratorio de Investigación Integral Cardiometabólica. Sección de Estudios de Posgrado e Investigación. Escuela Superior de Medicina, InstitutoPolitécnicoNacional, México D.F.,p7

19 - **ChedlyAbdelly, ,January 2007**, Bioremédiation / Phytoremdiation, Centre de Biotechnologie, TechnopoleBorj Cédria,p33

20-**Chokshi K, Pancha I, Ghosh A, Mishra S ,2016**, Microalgal biomass generation by phycoremdiation of dairy industry wastewater: an integrated approach towards sustainable biofuel production. BioresourTechnol 221:455–460p.

21- **Dimitri Xanthoulis, Jean Tilly ,2008** , Les techniques d'épuration des eaux usées- à faibl es coûts,p467

22- **Denis Désille ,décembre 2012** , Conservation et traitement de l'eau à domicile,p37.

23- **Dipesh Kumar, Bhaskar Singh, and Ankit, 2019**, Phycoremediation of Nutrients and Valorisation of Microalgal Biomass: An Economic Perspective, 2-4p

24- **François Doré-Deschênes**, juin 2009, UTILISATION DES MICROALGUES COMME SOURCE D'ÉNERGIE DURABLE,/UNIVERSITÉ DE SHERBROOK,p100

25- **Georgette Appiah-Pippim**, 5-1-2015, Investigating the Bioactive Constituents of the Edible Blue-green Alga Spirulina platensis,/University of Connecticut – Storrs,p33

26- **Graham Alabaster ,Richard Johnston , Florian Thevenon et Andrew Shantz, 2021** , Progrès relatifs au traitement des eaux usées ,p120

27- **Gabriela Gutiérrez-Salmeán, Luis Fabila-Castilloand Germán Chamorro - Cevallos, 2015**, Nutritional and toxicological aspects of Spirulina (Arthrospira), Laboratorio de Investigación Integral Cardiometabólica. Sección de Estudios de Posgrado e Investigación. Escuela Superior de Medicina, Instituto Politécnico Nacional, México D.F.,p7

Référence bibliographique

- 28- **HOSNA hajati and MOJTABA zaghari** ,2019, Spirulina Platensis in Poultry Nutrition, ,p206
- 29- **Hillel Shuval** , **2011**, L'irrigation avec des eaux usées et la santé ,p479
- 30-**Humenik, F. J., Hanna, G. P, 1971**, Algal-bacterial symbiosis for removal and conservation of wastewater nutrients. J.W.P.C.F., 43 (4): 580-594.INRA. Paris. P210.
- 31--**Jean-Louis RASTOIN et Kelly ROBIN**, 30/05/2016, Le secteur des micro-algues en Méditerranée Perspectives et contribution au développement durable,/Jacobs University, Bremen,p68
- 32-**Jacques GOBERT, Roger HUSSON ; Septembre 2012** , l'Assainissement des eaux usées ,p95
- 33- **Jérôme BENOIT, Vincent DAUPHIN, Thomas DUCROCQ, Silvia NOUGAROL, Emeline SALVA , Septembre 2011** , Titre: VALORISATION DES EAUX USEES EN IRRIGATION ,p38
- 34- **Josefina Bordino, 28 septembre 2021**,Bioremédiation - Définition et exemples, Licence en ressources naturelles,
- 35- **KASSOUK Zeineb , Mars 2002**, BILAN EN FRANCE DES OPERATIONS D'INFILTRATION-PERCOLATION DES EAUX USEES TRAITEES ,p27
- 36- **Loïc Charpy, Marie José Langlade et Romain Alliod, Août 2008**, La Spiruline peut-elle être un atout pour la santé et le développement en Afrique ? »,/Institut de Recherche pour le Développement UR 167 (CYROCO),p43
- 37- **Lidiane M Andrade, Cristiano J Andrade, Meriellen Dias, Claudio AO Nascimento, Maria A Mendes, 19 January 2018**,Chlorella and spirulina microalgae as sources of functional foods, nutraceuticals, and food supplements; an overview,Chemical Engineering Department of Polytechnic School, University of São Paulo, Brazil,p14
- 38- **Leyval, C., 2008**. Les organismes du sol au service de la bioremédiation. LIMOS UMR 7137 Université de Nancy, CNRS, faculté des sciences.01P.
- 39- **Ludwig Sasse ; 1998** ,Systèmes Décentralisés de Traitement des Eaux Usées dans les Pays en Voie de Développement ,p177
- 40- **Leyval, C., 2008**. Les organismes du sol au service de la bioremédiation. LIMOS UMR 7137 Université de Nancy, CNRS, faculté des sciences.01P
- 41- **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-

Référence bibliographie

Ouzou. Thèse pour l'obtention de grade de Docteur en Génie des procédés. Université de Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, 148 p.

42- **Mohamed Fawzy Ramadan¹, Mohsen Mohamed Selim Asker² and Zeinab K. Ibrahim** , 2008, Functional Bioactive Compounds and Biological Activities of *Spirulina platensis* Lipids,,Czech J. Food. ,p12

43- **M. Ahsan B. Habib ,MashudaParvin**, 2008, A REVIEW ON CULTURE, PRODUCTION AND USE OF SPIRULINA AS FOOD FOR HUMANS AND FEEDS FOR DOMESTIC ANIMALS AND FISH,/Bangladesh Agricultural University Mymensingh, Bangladesh,p33

44- **Maisons-Alfort**, 4 août 2017, relatif aux « risques liés à la consommation de compléments alimentaires contenant de la spiruline,,p39

45- **Marie TEYSSANDIER; Nathalie DUCLOVEL** , mars 2012,Réutilisation des eaux usées traitées pour l'irrigation des cultures, l'arrosage des espaces verts par aspersion et le lavage des voiries ,p150

46- **Mr Talaboulma Rabah** ,19 Mars 2018 , Recommandations pour l'utilisation des eaux usées épurées dans l'agriculture ,p25

47- **Nilay Seyidoglu, evdaInan and Cenk Aydin**, February 22nd, 2017, Superfood and functional food –the development of superfoods and their roles as medicine, Published/,p27

48- **Paul Agnus**, Le 4 août 2014 , La phytoremédiation, un moyen efficace de dépolluer les sols ?,journalleGEOLOGIE.

49-**Pearson, H. W, Mara, D. D, Mills S W, Smallman, D. L**, 1987, Factorsdetermining algal population in waste stabilization ponds and the influence of algae on pondperformance, 131-140p.

50-**Pouliot, Y., Delanoue, J**, 1985, Mise au point d'une installation pilote d'épuration tertiaire des eaux usées par production de microalgues. Rev. Franç. des sci. De l'eau, 4: 207-222p.

51-**Parhad, N. M., Rao, N. U**, 1974,Effect of pH on survival of Escherichia coli. Jourl. Water Poll. Control. Fed., 46 : 980-986p.

52-**P. Sudhir ,S.D.S. Murthy**, 2004, Effects of salt stress on basic processes of photosynthesis

53- **Rodier J., Bazin C., Broutin J.P., Champsaur H. et Rodi L.**, 2005. ,L'analyse de l'eau.Eaux naturelles. Eaux résiduares. Eau de mer. 8ème Ed. Dunod. Paris, 1383 p.

Référence bibliographique

- 54- **Romdhane Marwa, 2010**, Immobilisation des bactéries isolées à partir des zones minières sur des supports polymériques pour la bioremédiation, Mémoire de projet de mastère soutenu à Sidi Thabet, 49 pages: 2.
- 55- **Robert Henrikson, 2009**, Earth Food Spirulina, www.spirulinasource.com RonoreEnterprises, Inc., Hana, Maui, Hawaii \$15.95; p97
- 56- **Romdhane Marwa, 2010**, Immobilisation des bactéries isolées à partir des zones minières sur des supports polymériques pour la bioremédiation, Mémoire de projet de mastère soutenu à Sidi Thabet, 49 pages: 2.
- 57- **Rejsek F., 2002.**, Analyse des eaux. Aspects réglementaires et techniques. Aquitaine, Bordeaux, France, 358 p.
- 58- **Rusty D et al. 2014**, Environmental specimen banks as a resource for mercury and mercury isotope research in marine ecosystems, Environ. Sci.: Processes Impacts, 10-27.
- 59- **Shimshon Belkin, Sammy Boussiba, 01 October 1991**, Resistance of *Spirulina platensis* to Ammonia at High pH Values, P 953–958.
- 60- **S. SAGGAI, D. BOUTOUTAOU, R. MANAMANI, 15 Mai 2015**, Effet des monocouches d'Hexadecanol utilisées pour réduire l'évaporation des plans d'eau sur la spiruline (Résultats préliminaires), Université Kasdi Merbah Ouargla., p7
- 61- **SHABANA KOUSER ALI, ARABI MOHAMMED SALEH, 28 Feb 2012**, SPIRULINA - AN OVERVIEW, / School of Bio Sciences and Technology, VIT University, Vellore. India, p7
- 62- **Shashanka Shekhar Singh, 2022**, Value added products from Spirulina, extraction, estimation and biotechnological application, ,School Of Bioengineering and Bioscience, p60.
- 63- **Sialve B., Steyer J-P., 2013**, Les microalgues, promesses et défis , INRA UR 050 - Laboratoire de Biotechnologie de l'Environnement, p25-39
- 64- Sarah Dorner, octobre 2011 ; des sources d'approvisionnement en eau potable, p230
- 65- Sam Kayaga et Bob Reed , Juillet 2013, Traitement de l'eau de boisson au point
- 66- **Salama E-S, Kurade MB, Abou-Shanab RAI, El-Dalatony MM, Yang I-S, Min B, Jeon B-H, 2017**, Recent progress in microalgal biomass production coupled with wastewater treatment for biofuel generation. Renew SustEnerg Rev 79:1189–1211 p.

Référence bibliographie

67- S M Hosseini, K Khosravi-Darani, M R Mozafari, 2013, Nutritional and medical applications of spirulina microalgae