



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة الشهيد حمزة لخضر الوادي

Université Echahid Hamma Lakhdar - El OUED

كلية علوم الطبيعة والحياة

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

قسم البيولوجيا الخلوية والجزيئية

Département de biologie Cellulaire et Moléculaire



MEMOIRE DE FIN D'ETUDE

En vue de l'obtention du diplôme de Master Académique

en Sciences Biologiques

Spécialisté : Toxicologie fondamentale et appliquée

THEME

La Bioremédiation des eaux usées par *Arthrospira Platensis* dans la STEP kouinine

présenté par:

✚ DAHRAOUI Radja

✚ KHABBERHinda

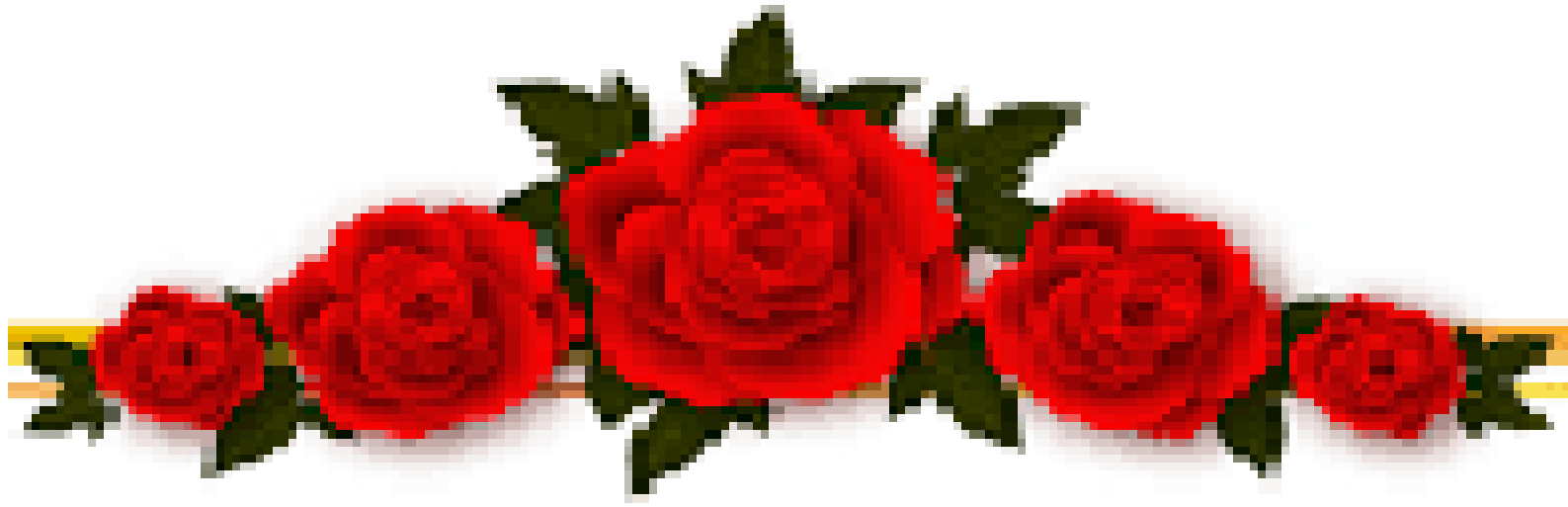
✚ MOUALLAZouhir

✚ SLIMANI Naima

Devant le jury composé de :

Présidente	MCA	RAMDANE Farah	Université'ElOued.
Examinatrice	MCB	OTMANI Hadjer	Université'ElOued.
Promoteur	MAA	KIRAM Abderazzak	Université'ElOued.

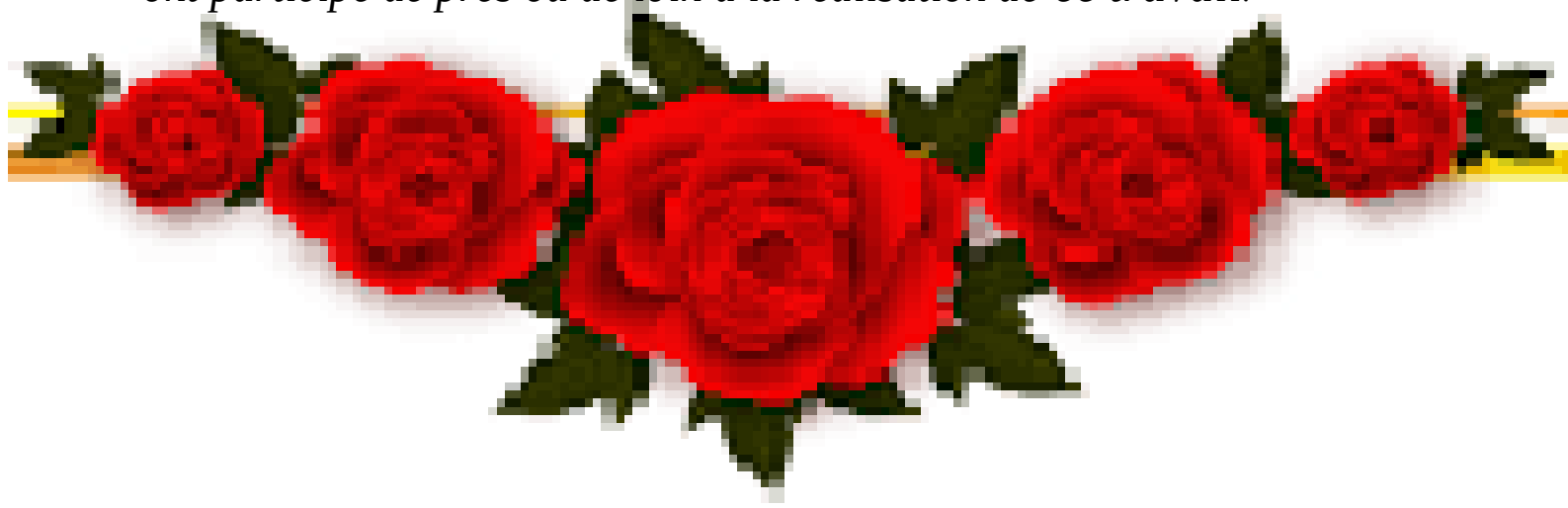
Année universitaire : 2021/2022



Remerciements

*Nos remerciements avant tout d'abord à ALLAH le tout puissant pour nous avoir donné la volonté, la patience et le courage de réaliser ce modeste travail Nous tenons à remercier en premier lieu notre encadreur **Dr. KIRAM**. A pour son aide précieux et ces conseils judicieux. Nos vifs remerciements vont également aux membres du jury pour l'intérêt qu'ils seront porté à notre recherche en acceptant d'examiner notre travail et de l'enrichir par leurs propositions. Nous remercions également le personnel du laboratoire, en particulier **SAI Khaoula** et le reste des travailleurs pour leurs efforts pour nous aider à terminer ce travail.*

Nous tenons à exprimer nos sincères remerciements à tous les professeurs qui nous ont enseigné et qui par leurs compétences ont soutenu dans la poursuite de nos études. Enfin, nous tenons également à remercier toutes les personnes qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail.



Dédécase

*Loué soit Dieu Tout Puissant qui nous a aidé à terminer notre mémoire, je dédie cette graduation à celle qui m'a appris à donner et à celle qui porte fièrement son nom *Mon cher père* Ses pieds à la source de l'amour et de la tendresse *Maman*.*

Et à ceux qui ont un grand mérite à nous encourager et à nous motiver, et d'eux nous avons appris la persévérance et la diligence, et à ceux avec qui nous grandissons et dont nous dépendons, et à ceux avec qui nous gagnons en force et en amour sans bornes, et à ceux avec qui nous connaissons le sens de la vie « mes frères et sœurs, chacun en son nom » et à ceux qui étaient fraternels et se distinguaient par la fidélité et le don et à ceux qui les accompagnaient Sur les chemins de la vie heureuse et triste, nous avons marché et à ceux qui étaient avec nous sur le chemin du succès et du bien « mes collègues, mes confrères, mes amis et mes chers amis, chacun en son nom » et à mes professeurs, avec l'aide de Dieu.

Dahraoui Radja

Moualla zouhir

Khabber Hinda

Slitmani Naima



Résumé

Le but de cette étude est de démontrer la capacité d'épuration des eaux usées à l'aide de microalgues de type *Arthrospira platensis* dans l'usine de Kouinine STEP1.

Nous avons également étudié les propriétés physiques et chimiques des eaux usées à l'intérieur de la station d'épuration Kouinine STEP1 au cours d'un mois de traitement biologique, qui a prouvé sa capacité à filtrer une grande partie des polluants chimiques. Nous avons obtenu les résultats suivants: **MES** (13.33-100 mg/l), **O2** (1,34-8,12 mg/l), **DBO5** (87-375 mg/l), à la suite de la culture d'*Arthrospira platensis* a montré sa valeur la plus élevée (1552 mg/l) dans la croissance de la biomasse au jour 11. Nous avons également étudié la capacité de la micro-algue *Arthrospira platensis* à éliminer les polluants chimiques, notamment le NH3, dont le taux d'épuration atteint 75,581 %, ce qui est cohérent avec les résultats d'autres chercheurs, Cela indique que l'algue *Arthrospira platensis* peut contribuer à l'élimination des polluants organiques.

Mots clés: *Arthrospira platensis*, Eaux usées, Kouinine STEP1 , Bioremédiation, Biomasse, Milieu de culture, Polluants organiques.

Abstract

The aim of this study is to demonstrate the ability of wastewater purification using microalgae of the type *Arthrospira platensis* in Kouinine STEP1.

We also studied the physical and chemical properties of the waste water inside the Kouinine STEP1 water purification plant during a month of biological treatment, which proved its ability to filter a large proportion of chemical pollutants. We obtained the following results **MES**:(13.33-100 mg/l), **O2** (1.34-8.12 mg/l), **DBO5** (87-375 mg/l), as the result of culturing *Arthrospira platensis* showed its highest value (1552 mg/l) in the growth of biomass on day 11, and we also studied the ability of the micro-algae *Arthrospira platensis* to remove chemical pollutants, especially NH₃, where the purification rate reached 75.581% , This is consistent with the results of other researchers, This indicates that the algae *Arthrospira platensis* can have a contribution to the removal of organic pollutants.

Key words: *Arthrospira platensis*, Wastewater, Kouinine STEP1, Bioremediation, biomass, Culture medium, Organic pollutants.

ملخص

الهدف من هذه الدراسة هو إظهار قدرة تنقية المياه الصرف الصحي بإستعمال الطحالب الدقيقة من نوع أرثروسبيرا بلاتنسيس في محطة كوينين STEP1.

كما قمنا بدراسة الخصائص الفيزيائية والكيميائية للمياه المستعملة داخل محطة تصفية المياه بكوينين STEP1 خلال شهر من المعالجة الحيوية و التي أثبتت قدرتها على تصفية نسبة كبيرة من الملوثات الكيميائية حصلنا على نتائج التالية: MES (13.33 - 100 ملغ/ل), O₂ (1.34-8.12 ملغ/ل), DBO₅ (87-375 ملغ/ل), كما أظهرت نتيجة زراعة أرثروسبيرا بلاتنسيس أعلى قيمة لها (1552 ملغ/ل) في نمو كتلة الحيوية في يوم 11, كما دراسنا قدرة الطحالب الدقيقة أرثروسبيرا بلاتنسيس على إزالة الملوثات الكيميائية وخاصة NH₃ حيث بلغت التنقية نسبة 75.581%, هذا ما يتوافق مع نتائج باحثين آخرين, وهذا مما يشير على أن الطحالب أرثروسبيرا بلاتنسيس يمكن أن تكون لها مساهمة في إزالة الملوثات العضوية .

الكلمات المفتاحية: أرثروسبيرا بلاتنسيس, مياه الصرف الصحي, STEP1 كوينين, المعالجة

الحيوية, الكتلة الحيوية, وسط الزرع, الملوثات العضوية.

listes des figures		
figures	titres	pages
figures01	composition d'une eau usée domestique	07
figures02	composition des eaux usées et leurs effets	08
figures03	traitement primaire des eaux usées	12
figures04	effets du déversement d'eaux usées riches en matière organique dans les écosystèmes aquatique	13
figures05	digesteur anaérobie seul le sommet du digesteur est visible; la partie inférieure est enterrée	14
figures06	les principaux produits sont le méthane(ch ₄) et le gaz carbonique (co ₂)	15
figures07	bassin d'aération d'une installation à boues activées d'une station d'épuration	16
figures08	floculats formés par la bactérie zooglearamigera	17
figure09	bioremédiation des eaux usées par les microalgues en utilisant différentes méthodes avec la production de biocarburant	21
figuer10	schemate représente des technique de bioréacteurs ex-situ	23
figure11	schéma de fonctionnement du bioslurping le principal inconvénient est l'humidité excessive du sol qui réduit la perméabilité à l'air, le taux de transfert d'o ₂ et l'activité microbienne. de plus, le bioslurping n'est pas adapté pour traiter les sols peu perméables.	25
figure12	système de bioventilation typique	26
figuer13	schemate représente des technique de phtoremediation	28
figure 14	les microalgues	31
figure 15	diversité du champ d'application de microalgues	32
figure16	commercialisée par le laboratoire arkopharma (sité internet)	33
figure 17	traitement des eaux usées par les micro-algues	34
figure 18	alimentation humaine	36
figure 19	alimentation animale	36
figure 20	micrographie optique d'arthrospira maxima. la barre représente 20 µm	38
figure 21	lac shanghai (chine) naturellement alcalin où la spiruline croîtspontanément.	40
figure 22	carte de situation de step 01 kouinine	46
figure 23	schéma présenté station de lagunage aéré de step de kouinine n°01	47
figure24	dégrillage	48
figure25	dessablage	48
figure26	répartiteur vers les bassins d'aération (r1.r2/r3)	49
figure27	lagune aéré	50
figure28	aérateur	50

figure 29	lagune de finition	51
figure30	lit de séchage des boues	51
figure 31	la souche d' <i>arthrospiraplatensis</i>	54
figure 32	la région de prélèvement de la souche	54
figure 33	milieu de culture	59
figure 34	dispositif expérimental	59
figure 35	température de la souche	60
figure 36	conductivité électrique et salinité	61
figure37	observation microscopique en g×10 figure 35 : <i>arthrospiraplatensis</i> en g×40	63
figure 38	variation hebdomadaire de la température des eaux usées brute (entrée et sortie) et traitement en temps opportun.	67
figure 39	variation hebdomadaire de la ph des eaux usées brute (entrée et sortie) et traitement en temps opportun	68
figure 40	variation hebdomadaire de la conductivité des eaux usées brutes(entrée et sortie) et traitement en temps opportun	68
figure 41	variation hebdomadaire de la salinité des eaux usées brutes(entrée et sortie) et traitement en temps opportun	69
figure 42	variation hebdomadaire de mes dissous des eaux usées brutes(entrée et sortie) et traitement en temps opportun.	70
figure 43	variation hebdomadaire de l'oxygène dissous des eaux usées brutes(entrée et sortie) et traitement en temps opportun	70
figure 44	variation hebdomadaire de dbo5dissous des eaux usées brutes(entrée et sortie) et traitement en temps opportun	71
figure 45	variation hebdomadaire de turb (ntu) dissous des eaux usées brutes(entrée et sortie) et traitement en temps opportun	72
figure 46	histogramme de variation de température t°C dans milieu zarrouk	73
figure 47	histogramme de variation potentiel hydrique (ph) dans milieu zarrouk	73
figure 48	histogramme de variation biomasse dans milieu zarrouk .	74
figure 49	histogramme de variation conductivité dans milieu zarrouk.	75
figure 50	histogramme de variation des valeurs de no3 dans milieu zarrouk	75

figure 51	histogramme de variation des valeurs de nh3et no2 dans milieu zarrouk	76
figure 52	histogramme de variation des valeurs de l'azote total (nt) dans milieu zarrouk	76
figure 53	histogramme de variation de température t°C dans milieu ordinaire	77
figure 54	histogramme de variation potentiel hydrique (ph) dans milieu ordinaire	77
figure 55	histogramme de variation biomasse dans milieu ordinaire.	78
figure 56	histogramme de variation conductivité dans milieu ordinaire	79
figure 57	histogramme de variation des valeurs de nh3 dans milieu ordinaire	79
figure 58	histogramme de variation des valeurs de no2 et no3 dans milieu ordinaire	80
figure 59	histogramme de variation des valeurs de nt dans milieu ordinaire.	81

liste des tableaux		
tableau	titres	pages
tableau01	proportion des volumes rejetés pour chacune des activités domestiques polluantes	09
tableau 02	composition chimique du milieu de culture	58

Liste des abréviations	
AA	acide arachidonique
ADN	Acide Désoxyribonucléique
AGPI	acides gras polyinsaturés
ALA	acide –linoléique
BPC	Biphénylespolychlorés
CE	Conductivité Eléctrique
CH₃COOH	Acide acétique
CH₄	Méthane
CO₂	le gaz carbonique
COV	les composés organiques volatils
DBO	Demande Biochimique en Oxygène
DBO₅	Demande biochimique en oxygène pendant 5 jours
DCO	Demande Chimique en Oxygène
DHA	acide docosahexaénoïque
EPA	acide eicosapentaénoïque
ERU	eaux résiduaires urbaines
H₂	Hydrogène
H₂O	molécule d'eau
MES	matière en suspension
NH₃	ammoniac
NIH:	National Institutes of Health
NO₂	Nitrites
NO₃	Nitrates
NT	Azote totale
O₂	Oxygène Dissous
O₃	l'ozone
PH	potentiel Hydrogène
POP	polluants organiques persistants
SDA	l'acide stéaridonique
STEP1	station d'épuration des eaux usées N°1
T°C	Température

Liste des abréviations

UV	ultra-violet
WC	water- closet
WHO	World Health Organization

Sommaire

Remerciements	
Dédécasse	
Résumé	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Liste des Abreviations	
Introduction Général	
Introduction	2
Première partie : Etude bibliographique	
CHAPITRE I: Eaux usées et leur traitement	
1- Eaux usées	7
1-1 Définition des eaux uses	7
1-2-Composition des eaux uses	7
1-3-Types d'eaux uses	8
1-3-1 Eaux usées domestiques	9
1-3-2 Eaux pluviales	9
1-3-3 Eaux industrielles	10
1-3-4Matières de vidange	11
2- Traitements de eaux usées	11
2-1-Defintion	11
2-2 Prétraitements	11
2-3- Traitement primaire	11
2-4 Traitement secondaire	13
2-4-1- Traitement secondaire anaérobie	14
2-4-2 Traitement secondaire aérobie	15
2-5- Traitement tertiaire	18
2-6- Traitement des boues	19
CHAPITREII: Bioremediation par des micro algues	
I. Bioremédiation par des microalgues	21

1. Définition de la bioremédiation	21
2. Technique de bioremédiation	22
2-1. Techniques de bioremédiation ex-situ	22
2-1-1. Type de bioremédiation ex-situ	23
A. Biopile	23
B. Andains	23
C. Bioréacteurs	23
D. Agriculture des terres	24
2-1-2-Traitement en phase solide	24
2-1-3-Bioremédiation en phase boueuse	24
2-2-Bioremediaton in situ	24
*On distingue 04 types de bioremédiation in situ	25
2-2-1-Bioslurping	25
2-2-2-Bioventilation	26
2-2-3-Biobarbotage	26
2-2-4-Phytoremédiation	27
3. Applications de la bioremediation	28
CHAPITREIII: Généralité sur (<i>Arthospira Platensis</i>)	
1- Définition des micro-algues	31
2- Domain d'application des micro-algues	32
2-1 Domaine pharmaceutique	32
2-2 Domain environnemental	33
2-2-1 Traitement des eaux usés	33
2-2-2 Agriculture	34
2-2-3 Systèmes de support de vie	34
2-2-4 Séquestration du CO ₂	35
2-3 Domaine Alimentation humaine et animale	35
2-4 Domaine cosmétique	37
3- Généralité sur l'espèce étudiée (<i>Arthospira platensis</i>)	37
3-1 Définition de l'espèce étudiée <i>Arthospira platensis</i>	37
3-2 Morphologie <i>Arthospira. Platensis</i>	37

3-3 Classification <i>Arthospira Platensis</i>	40
3-4 Ecologie <i>Arthospira platensis</i>	40
3-5 Composition Biochimique <i>Arthospira platensis</i>	41
3-5-1 Protéines	41
3-5-2 Acides gras Essentiels	41
3-5-3 Vitamines	41
3-5-4 Minéraux	41
3-5-5 Pigments Photosynthétiques	42
Deuxième partie : Partie expérimentale	
Chapitre I: Présentation de la station STEO1	
1. Présentation de la station d'épuration STEP1	45
2. Situation géographique de la station d'épuration	45
3. Objectif de traitement de la station	46
4. Description de STEP1	46
5. Procédés d'épurations des eaux usées dans la station	47
Chapiter II: Matériel et méthodes	
a) Analyses de la station d'épuration STEP1	53
a-1) But général de la manipulation	53
b) Prélèvement	53
b-1) Echantillonnage	53
b-2) Lieu de prélèvement	53
1. Matériel d'etude	54
1-1 Matériel biologique	54
1-2 Matériel non biologique	55
2. Méthodes d'etude	56
2.1 Méthode analyse physico-chimique de eau usées (1mois)	56
2-1-1 Détermination des pH et température	56
2-1-2 Détermination de l'oxygène dissous	56
2-1-3 Détermination de la conductivité electrique, salinité	56
2-1-4 Détermination de la demande chimique en oxygène (DCO)	57

2-1-5 Détermination des matières en suspension (MES)	57
2-1-6 Détermination de la demande biochimique en oxygène (DBO5)	57
2-1-7 Détermination de l'azote total NT	57
2.2 Suivi de croissance d'<i>Arthrospira Platensis</i> par milieu zarrouk	58
2.2.1 Détermination des pH et température	60
2.2.2 Détermination de la conductivité électrique, salinité	61
2.2.3 Détermination du nitrate (N-NO ₃ ⁺)	61
2.2.4 Détermination de l'azote total NT	62
A. Étude des caractéristiques d'<i>Arthrospira Platensis</i>	63
A.1. Etude morphologique par observation microscopique	63
A.2. Mesure de l'absorbance	63
2.3 Suivi bioremédiation par <i>Arthrospira Platensis</i>	63
2-3-1 Détermination Des PH Et Température	63
2-3-2 Détermination de la conductivité électrique, salinité	63
2-3-3 Détermination du nitrate (N-NO ₃ ⁺)	64
2-3-4 Mmesure le nitrite (N-NO ₂ ⁻)	64
2-3-4 Determination de l'ammoniac NO ₃	64
2-3-5 Mesure l'ammoniac NH ₃	65
2-3-6 Détermination de l'azote total NT	65
Chapitre III : Résultats et discussion	
1. Analyses physicochimiques	67
1.1 Variation La Température	67
1.2 Variation du pH	67
1.3 Variation de la conductivité	68
1.4 Variation de la salinité (Sal)	69
1.5 Matières en suspension (MES)	70
1.6 Oxygène dissous (O ₂)	70
1.7 Demande biochimique en oxygène (DBO5)	71
1.8 Azote total turbe (NTU)	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	74
2-5 Nitrate	75
2-6 Ammoniac et Nitrite	76
2-7 Azote totale	76
3. Suivi la croissance de <i>Arthrospira Platensis</i> dans milieu ordinaire +8g bicarbonate de sodium	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 Nitrate et Nitrite	80
3-7Azote totale	81
Conclusion générale	
Conclusion	83
Références Bibliographiques	86
Annexe	

INTRODUCTION
GENERALE

Introduction

L'eau est une ressource vitale pour la santé humaine et le développement dans ses projets industriels et agricoles, mais en raison de la consommation accrue des individus et des problèmes de pollution qui résultent principalement du rejet chaotique et incontrôlé des eaux usées. Elle a été traitée car cette eau contient des détergents ménagers tels que : des petits résidus alimentaires ainsi que des huiles issues de divers processus de cuisson, ainsi que des détergents utilisés pour nettoyer et laver les ustensiles, et de l'eau de toilette, qui est de l'eau provenant des excréments humains issus de l'urine . et les matières fécales, les huiles et les graisses, qui sont de grosses particules organiques qui peuvent se dissoudre et provoquer la formation de mousse dans les stations d'épuration et dans l'eau potable. La surface dans laquelle la substance solide est versée ou flottée si sa densité est plus faible, et même immergée dans l'eau, comme les pesticides agricoles, les produits chimiques, le phosphore et le soufre, se dissout, il faut donc penser à la purification de cette eau et à l'évacuation de ces déchets.

Le traitement et la réutilisation des eaux usées pour l'irrigation agricole est l'une des options les plus importantes pour préserver les sources d'eau renouvelables et utiliser des sources d'eau non conventionnelles car cette eau représente une source supplémentaire et les eaux usées sont une irrigation renouvelable où les techniques et méthodes de traitement se sont rapidement développées. , en particulier dans les dernières années de la thérapie physique, chimique et biologique.

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 biobarbotage consiste en l'injection d'air sous pression dans un sol contaminé et saturé. Cette technique permet d'aérer les eaux souterraines, afin de stimuler l'activité biologique in situ et de promouvoir la biorestauration de la contamination résiduelle et dissoute présente dans la zone saturée. Cette technique peut s'appliquer à tous les composés chimiques pouvant être biodégradés en condition aérobie (en présence d'oxygène), la bio-ventilation implique la stimulation contrôlée du flux d'air, fournissant de l'oxygène pour augmenter l'activité microbienne et ainsi améliorer la bioremédiation, la phytoremédiation est un processus important qui utilise des plantes, des plantes vertes, des arbres, des plantes aquatiques et des herbes pour éliminer, stabiliser, transporter et /ou détruire des matériaux toxiques polluants

eaux de surface et souterraines, eaux usées, sédiments, sol et/ou atmosphère extérieure. Les mécanismes de phytoremédiation comprennent la phycoremédiation (c'est-à-dire la décontamination par des microalgues).

Une équipe de scientifiques américains a réussi à exploiter les algues pour traiter l'eau et les eaux usées industrielles, à développer environ 5 000 litres de biostimulateur de germination d'algues pour nettoyer la raffinerie de pétrole « Chevron », et un exemple de l'efficacité des algues : un groupe d'ingénieurs en environnement a découvert un type d'algue d'eau douce unicellulaire - *Chlorellavulgaris* qui élimine les polluants des eaux usées même pendant les processus de traitement (en utilisant les fluctuations), ce qui en fait un outil efficace de traitement des eaux usées.

Une étude récemment publiée dans (Water EnvironmentResearch) rapporte la capacité des algues (*Chlorellavulgaris*) à éliminer les composés organiques nocifs des eaux usées tels que l'azote et le phosphore même après que ces deux types de polluants pénètrent dans les eaux usées.

En Algérie et plus particulièrement dans les régions sèches ou semi-arides, le genre *Arthrospira platensis* (une microalgue avec une valeur nutritionnelle de 70% de protéines) est utilisé dans l'industrie du couscous avec pour objectif principal d'améliorer la qualité nutritionnelle du couscous. (DOUMANDJI et al., 2011). Il est également utilisé dans la fabrication du fromage.

A cette raison , quelle est la capacité de bioremédiation des polluants organiques par la souche *Arthrospira platensis* dans les eaux usées de STEP1Kouinine?

Le but de cette étude est d'apprendre diverses techniques quantitatives physiques et naturelles telles que l'hydrogénation, la demande chimique en oxygène et la turbidité dans le traitement des eaux usées, ainsi que d'étudier les techniques de culture de microalgues, afin d'aider la population dans la purification de l'eau dans l'Etat d'El Oued. .

Notre étude sera divisée en deux parties : une synthèse bibliographique et une partie pratique.

La première partie est composée de trois chapitres:

- **Chapitre un** :fournit des informations générales sur les eaux usées et leur traitement.
- **Chapitre deux**: traitement biologique par les microalgues
- **Chapitre trois**: généralités sur (*Arthospira Platensis*)

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

- * **Premier chapitre**: présentation de la station STEP1Kouinine
- * **deuxième chapitre**: matériel et méthodes
- * **troisième chapitre**: comprend les résultats et discussion.

*Première partie : Etude
bibliographique*

CHAPITRE I:
Eaux usées et leur
traitement

1- Eaux usées

1-1-Définition des eaux usées

L'utilisation des eaux engendre un nouveau produit appelé effluent ou eau usée. Les problèmes liés aux eaux usées sont aussi anciens que ces eaux elles-mêmes et ils s'aggravent suivant la croissance démographique, l'amélioration de la qualité de vie des populations et le développement des activités industrielles. (Dr. Rachid Salghi, 2017).

les eaux usées: C'est un milieu favorable pour la mise en place d'une microfaune bactérienne (développement des bactéries) qui si elles ne sont pas traitées correctement peuvent être une source de pollution de l'eau. (Guermazi w Assim, 2016-2017).

1-2-Composition des eaux usées

Les eaux usées sont composées d'environ 99% d'eau et 1% de particules solides en suspension, colloïdales et dissoutes (voir par exemple, ONU-Eau, 2015a). Bien que la composition exacte des eaux usées varie, naturellement, selon les sources et dans le temps, l'eau demeure, de loin, leur composant principal. (Irina Bokova et Guy Ryder, 2017).

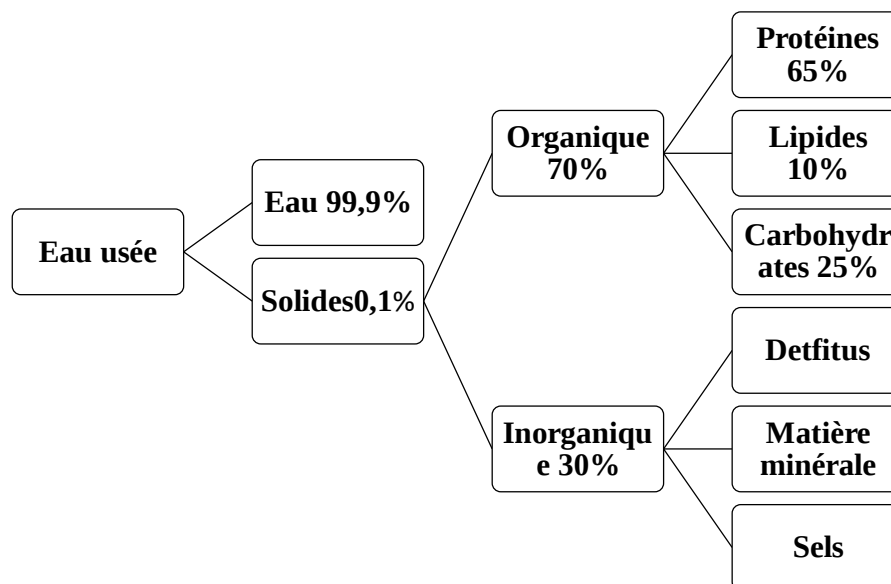


Figure 01: Composition d'une eau usée domestique (Dr. Michael R. Templeton; Prof. David Butler, 2011)

Différentes sources d'eaux usées peuvent présenter d'autres types de composants à des concentrations variables (voir tableau 1.1). 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).

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.

Les conséquences du rejet d'eaux usées non traitées ou traitées de façon inadéquate peuvent être classées en trois catégories : les effets indésirables sur la santé associés à une réduction de la qualité de l'eau ; les effets environnementaux négatifs en raison de la dégradation des ressources en eau et des écosystèmes ; et les effets potentiels sur les activités économiques (PNUE, 2015b). La figure.2.

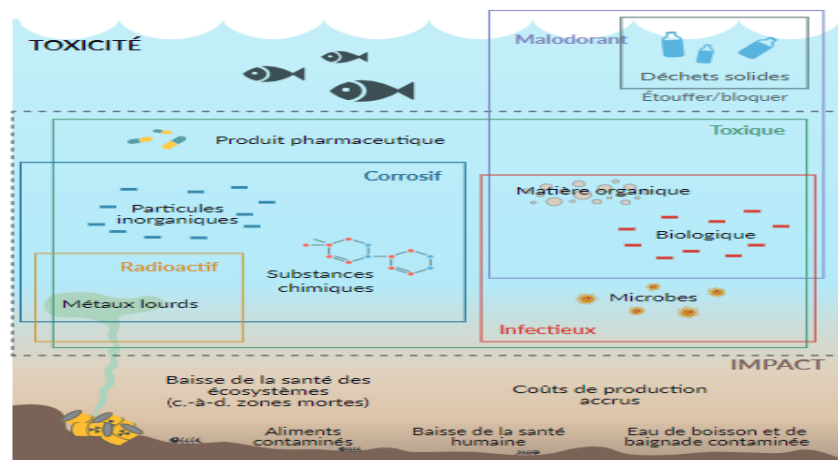


Figure02: Composition des eaux usées et leurs effets (Irina Bokova et Guy Ryder, 2017)

1-3-Types d'eaux usées

Les eaux usées, appelées aussi eaux résiduaires urbaines (ERU), qui arrivent à la station d'épuration sont un mélange de plusieurs types d'eaux.

Selon l'origine des eaux usées, quatre grandes catégories sont distinguées:

- les eaux usées domestiques

- les eaux pluviales
- les eaux industrielles
- les matières de vidange

1-3-1 - Eaux domestiques

Selon le **Franck Rejsek (2002)** Elles constituent généralement l'essentiel de pollution et se composent:

-des eaux de cuisine qui contiennent des matières minérales en suspension provenant du lavage des légumes, des substance alimentaires à base de matières organiques (glucides, lipides protides), et des produits détergents utilisée pour le lavage de la vaisselle et ayant pour effet la solubilisation des graisses;

-des eaux de buanderie contenant principalement des détergents.

-des eaux de salle de bains chargées en produits utilisés pour l'hygiène corporelle, généralement des matières grasses hydrocarbonées.

-des eaux de vannes qui proviennent des sanitaires (WC), très chargées en matières organiques hydrocarbonées, en composés azotés, phosphorés et en microorganismes.

Tableau01:Proportion des volumes rejetés pour chacune des activités domestiques polluantes(**Franck Rejsek,2002**)

Activité domestique	Volume rejeté%
Cuisine: Evier	%3
Lave-vaisselle	13%
Lave-linge	%13
Salle de bains	%44
Chasse d'eau	%26

Les eaux usées d'origine domestique sont issues de l'utilisation de l'eau (potable dans la majorité des cas) par les particuliers pour satisfaire tous les usages ménagers. (**Samuel. BAUMONT,2005**).

1-3-2-Eaux pluviales

Ce sont des eaux de ruissellement qui se forment après une précipitation. Elle peuvent être Particulièrement polluées, surtout en début de pluie, par deux mécanismes:

- le lessivage des sols et des surfaces imperméabilisées. Les déchets solides ou liquides déposés par temps sec sur ces surfaces sont entraînés dans le réseau d'assainissement par les premières précipitations qui se produisent.
- la remise en suspension des dépôts des collecteurs. Par temps sec, l'écoulement des eaux usées dans les collecteurs du réseau est lent, ce qui favorise le dépôt de matières déclarables. Lors d'une précipitation, le flux d'eau plus important permet la remise en suspension de ces dépôts.

Elle sont de même nature que les eaux usées domestique, avec, en plus, des métaux lourds et des toxiques (plomb, zinc, hydrocarbures) provenant essentiellement de la circulation automobile.

Lors de précipitations importantes, les eaux pluviales arrivent en grande quantité aux niveaux de la station d'épuration. Des dispositions permettent d'en limiter l'impact sur la station: bassins d'orage, bassins d'étalement, chaussées filtrantes. **(Franck Rejsek, 2002).**

1-3-3-Eaux industrielles

Tous les rejets résultant d'une utilisation de l'eau autre que domestique sont qualifiés de rejets industriels. Cette définition concerne les rejets des usines, mais aussi les rejets d'activités artisanales ou commerciales : blanchisserie, restaurant, laboratoire d'analyses médicales, etc. L'article L.35-8 du Code de la santé publique précise que le déversement de ces eaux dans les égouts publics n'est pas un droit et doit être préalablement autorisé par la collectivité.

Les rejets industriels peuvent donc suivre trois voies d'assainissement:

- soit ils sont directement rejetés dans le réseau domestique
- soit ils sont pré-traités puis rejetés dans le réseau domestique
- soit ils sont entièrement traités sur place et rejetés dans le milieu naturel.

Ce dernier cas ne nous intéresse pas dans le cadre de la réutilisation des eaux usées épurées.

Dans le cas d'un rejet dans le réseau domestique, avec ou sans pré-traitement, les effluents industriels peuvent fortement modifier la composition des eaux usées.

Cette modification est très étroitement liée à l'activité industrielle concernée et peut prendre des formes innombrables. **(Samuel. Baumont, 2005).**

1-3-4-Matières de vidange

Dans de nombreuses communes, il existe, de plus, un assainissement non collectif.

Or. Toute fosse septique (ou équivalent) produit des matières qu'il faut évacuer; les matières de vidange. L'évacuation et le traitement de ces matières de vidange font partie de l'assainissement.

Leur traitement, simultanément à ceci des eaux usées, peut être envisagé, à condition que la station d'épuration comporte une fosse de réception de ces matières qui alimente progressivement la station d'épuration pour éviter de surcharger le système de traitement des eaux usées.(**Franck Rejsek,2002**).

2- Traitements des eaux usées

2-1-Defintion

Le traitement des eaux usées implique l'utilisation à échelle industrielle des micro-organismes pour réaliser des bioconversions. Les eaux usées sont admises dans une usine de rejetées par l'usine de traitement- ont des propriétés permettent leur réincorporation dans des eaux naturelles comme les lacs ou les rivières, ou leur traitement ultérieur pour en faire de l'eau potable.(**Michael Madigan et John Martinko,2007**).

2-2 - Prétraitements

Il permettent d'éliminer les matières les plus grossières, susceptibles d'endommager les organes mécaniques ou de perturber l'efficacité des étapes ultérieures.

Il font appel:

- A des procédés mécaniques, comme des grilles ou des tamis, pour éliminer des grosses particules transportées par les eaux.
- A des procédés physiques, comme des phénomènes des décantation pour éliminer les sables, ou de flottation pour éliminer les graisses (matières grasses).(**Franck Rejsek,2002**).

2-3-Traitement primaire

C'est une séparation physique, liquide-solide, dont l'objectif est de retenir le maximum de matières en suspension présentes dans les eaux usées. Les matières en suspension que l'on peut habituellement éliminer.

Par décantation font l'objet classiquement du traitement primaire. La clarification globale des rejets nécessite l'élimination complémentaire de la pollution particulaire colloïdale

ou finement dispersée, qui peut être obtenue moyennant l'utilisation de réactifs chimiques lors d'un traitement par voie physico-chimique qui implique la mise en oeuvre d'une coagulation-floculation en amont d'une séparation solide-liquide par décantation ou flottation. Certains types de stations ne comportent pas de traitement primaire. (**Jean-Claude Boeglin,1997**).

Les eaux usées entrant dans la station d'épuration passent au travers d'une série de grilles et de filtres retenant les objets les plus gros. l'effluent est ensuite laissé au repos plusieurs heures pour permettre aux matériaux solides de sédimenter au fond du bassin de séparation.(**Michael Madigan et John Martinko,2007**).



Figure03:Traitement primaire des eaux usées.Les eaux usées sont pompées dans un bassin (à gauche),dans lequel les matières solides sédimenter. Lorsque le niveau de l'eau s'élève, le trop-plein est évacué au travers de grilles vers les niveaux inférieure. Les eaux usées, désormais dépourvues de solides, pénètrent dans les déversoirs(flèche) et sont alors pompées vers les installatinos de traitement secondaire(**Michael Madigan et John Martinko,2007**)

Les collectivités qui pratiquent uniquement le traitement primaire ont de sérieux problèmes avec les eaux très polluées lorsque l'effluent est rejeté dans les canaux proches, car il reste de fortes concentrations en matériaux organiques dissous et particulaires, ainsi que d'autres composés dans cette eau. Ces nutriments résiduels peuvent permettre des développements bactériens ultérieurs indésirables (voir figure04) et nuire à la qualité de l'eau.



Figure04: Effets du déversement d'eaux usées riches en matière organique dans les écosystèmes aquatiques (Michael Madigan et John Martinko, 2007)

Aussi, la majorité des stations d'épuration emploient –elles un traitement secondaire, et parfois même traitement, pour réduire la teneur en matière organique des eaux usées avant le rejet des effluents dans l'environnement. Les procédés de traitement secondaire sont fondés sur une digestion microbienne à la fois en présence et en absence d'oxygène pour réduire la concentration en matières organiques. (Michael Madigan et John Martinko, 2007).

2-4 - Traitement secondaire

L'élimination des matières organiques implique le recours à des traitements biologiques qui font intervenir des organismes vivants, essentiellement des bactéries.

Ces procédés biologiques, les plus souvent aérobies, reposent sur la biodégradation des matières organiques en présence d'oxygène par des microorganismes hétérotrophes. Ils reproduisent les phénomènes naturels d'autoépuration qui se réalisent dans le milieu naturel.

* On retrouve deux groupes de procédés:

les procédés à culture fixée ou la biomasse épuratrice est fixée sur des supports. l'eau à traiter coule au contact de ces support. les microorganisme fixent donc la pollution organique et dégradent (bio filtration par exemple).

les procédés à culture libre ou la biomasse est en suspension dans l'eau à traiter. Les microorganismes fixent la pollution et se développent sous forme de floccs biologiques que l'on peut séparer de l'eau traitée par décantation (boues activées par exemple). (Franck Rejsek, 2002).

2-4-1-Traitement secondaire anaérobie

Le traitement secondaire anaérobie implique une série de réactions de digestion et de fermentation réalisées par de nombreuses espèces de bacteria et d'Archaea en conditions anaérobies. Le traitement anoxique est typiquement employé pour traiter des eaux usées contenant de grandes quantités de matières organiques insolubles (et donc de forte DBO), telles que les fibres, la cellulose résultant des industries laitière et agroalimentaire. Le processus de dégradation anoxique proprement dit se déroule dans de grands réservoirs clos appelés digesteurs ou bioréacteurs (Voir figure 05).

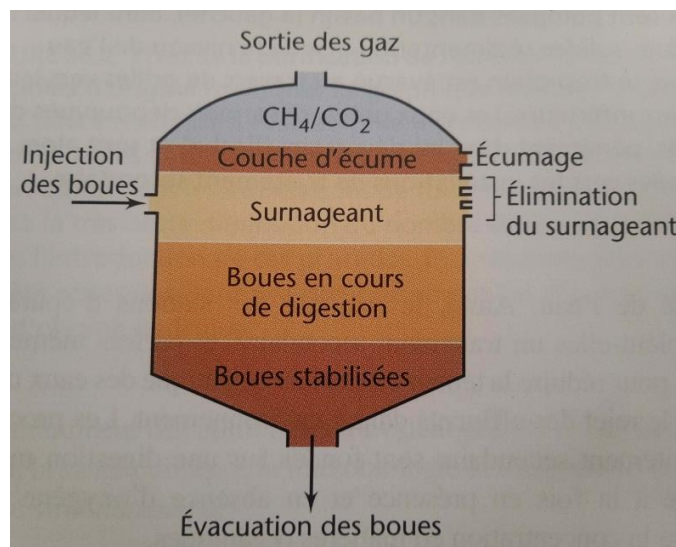


Figure05: Digesteur anaérobie Seul le sommet du digesteur est visible; la partie inférieure est enterrée (Michael Madigan et John Martinko, 2007)

le procédé nécessite les activités collectives de nombreux et différents types de micro organismes. Les réaction principales sont résumées dans la figure 06.

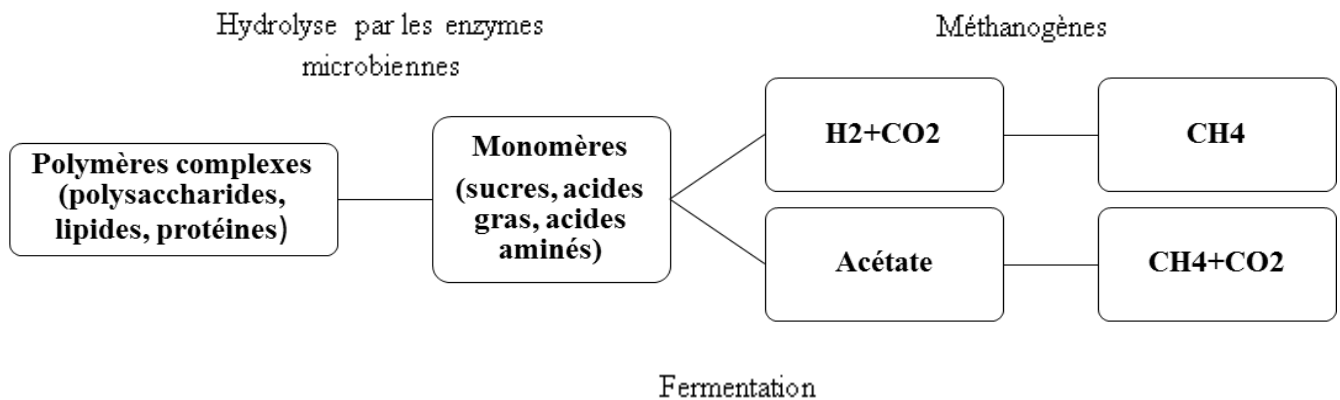


Figure06: les principaux produits sont le méthane(CH₄) et le gaz carbonique (CO₂) (Michael Madigan et John Martinko,2007)

Grace à l'action des microorganismes anaérobies présents, les composés macromoléculaire des eaux usées sont d'abord digérés par des polysaccharases, des protéases et des lipases pour donner des composés solubles. Ces composés solubles sont alors fermentés pour fournir un mélange d'acides gras, d'H₂ et de CO₂, qui sont ensuite fermentés en acétate,CO₂ etH₂. Ces produits sont alors utilisés comme substrats par les Archaeaméthanogènes,capables de réaliser les réactionsuivantes:



.Ainsi, les produits principaux du traitement anaérobie des eaux usées sont le CH₄(méthane) et le CO₂. Le méthane peut être collecté puis brûlé, ou utilisé comme combustible pour le chauffage et l'énergie de la station d'épuration.(Michael Madigan et John Martinko,2007).

2-4-2 -Traitement secondaire aérobie

Les eaux usées brutes (non- traitées) subissent d'abord un traitement *primaire* qui comprend normalement un séjour dans un réservoir de sédimentation pour éliminer une partie de la matière particulaire (écartée sous forme de boue).Ce qu'on appelle les(eaux sédimentées) sont alors soumises à un traitement secondaire.(Paul Singleton,2005).

Utilise des réactions réalisées par des microorganismes, en conditions aérobies, pour traiter les eaux usées contenant de faibles concentrations de matière organique. En général, les eaux usées non industrielles peuvent être traitées par ces procédés. Plusieurs procédés de digestion aérobies sont utilisés, mais les principales méthodes sont la filtration goutte-à-goutte et l'activation des boues. Le système de filtration est formé d'un lit de roches concassées, de deux mètres d'épaisseur, sur le dessus duquel les eaux usées sont pulvérisées. Le liquide passe lentement au travers du lit de roches, la matière organique s'adsorbe sur les roches et la croissance microbienne se met en place sur les surfaces des fragments rocheux exposés. La minéralisation complète de la matière organique en dioxyde de carbone, ammoniac, nitrate, sulfate et phosphate s'effectue dans le biofilm microbien fixé sur les roches.

Le traitement aérobie le plus courant est le procédé dit des boues activées. Les eaux usées sont mélangées et aérées dans de grands réservoirs (voir figure 07).



Figure 07: Bassin d'aération d'une installation à boues activées d'une station d'épuration. Le bassin mesure 30 m de long sur 10 m de large et 5 m de profondeur (Michael Madigan et John Martinko, 2007)

Des bactéries produisant des substances muqueuses, comme *Zoogloearamigera*, se développent et forment des floculats (voir figure08).

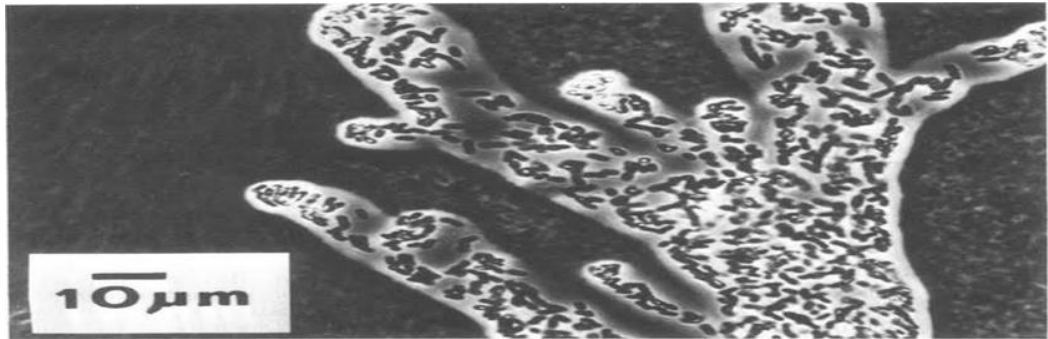


Figure08:Floculats formés par la bactérie Zoogloearamigera(**Michael Madigan et John Martinko,2007**)

Ces floculats forment un substrat sur lequel des protozoaires, de petits animaux et parfois des bactéries filamenteuses et des champignons se fixent. Le principe de base de l'oxydation est identique à celui des filtrations sur roches. L'effluent aéré contenant les floculats est pompé dans un réservoir où ces floculats sédimentent. Une partie de ce matériau(nommé boues activées) est alors renvoyée vers le réservoir d'aération pour servir d'inoculum, et le reste est transféré dans le digesteur anaérobie. ou bien éliminé, séché, brûlé, ou encore utilisé comme engrais. Les eaux usées restent normalement de cinq à dix heures dans un réservoir de boues activées, un temps trop court pour une oxydation complète de toute la matière organique. Cependant, durant cette période, la plupart de la matière organique dissoute est adsorbée sur les floculats et incorporée dans les cellules microbiennes. La DBO de l'effluent liquide est considérablement réduite (jusqu'à 95%) par ce procédé, avec la plupart de la DBO désormais concentrée dans les floculats sédimentés. Une réduction presque totale de la DBO peut être obtenue si les floculats sont transférés dans un digesteur anaérobie pour être convertis en CO₂ et CH₄.

2-5-Traitement tertiaire

Certaines rejets d'eaux traitées sont soumis à des réglementations spécifiques concernant l'élimination de l'azote, du phosphore ou des germes pathogènes qui nécessitent la mise en œuvre de traitements tertiaires.

L'élimination de l'azote concerne les traitement de nitrification-dénitrification*qui ne peuvent être assurés que par voie biologique. Dans un premier temps, l'azote réduit est oxydé en nitrates grâce aux bactéries par le processus de nitrification puis, dans un deuxième temps, les nitrates formés sont transformés en gaz diazote par un processus biologique de dénitrification.

L'élimination du phosphore concerne les traitement de dé phosphatation, soit physico-chimique, soit biologique. La dé phosphatation biologique, de développement plus récent, est basée sur la succession de phases anaérobies et aérobies au cours du traitement biologique mais son rendement est en général moins bon que celui de la dé phosphatation physico-chimique. Un abaissement de la teneur en germes, parfois exigé pour les rejets dans des zones spécifiques (zones de baignade, zones conchylicoles), sera réalisé par des traitements de désinfection chimiques (chlore ou dérivés) ou physiques (irradiation UV).(Franck Rejsek,2002).

Est en fait identique aux procédés physico-chimique ou biologiques mis en œuvre dans des bioréacteurs et/ou utilisant la précipitation, la filtration ou la chloration ,employés pour la purification de l'eau destinée à la consommation. l'objectif est simplement de réduire les niveaux de nutriments inorganique, et particulièrement de phosphate, nitrite et nitrate dans l'effluent terminal.

La plupart des installations de traitement chlorent désormais les effluents issus des installations de traitement secondaire (pour réduire davantage les possibilités de contamination microbienne) afin de pouvoir les rejeter dans les rivières et les lacs. Aux États-Unis (côte est), de nombreux traitements emploient les radiations ultraviolettes (UV) pour désinfecter les effluents. l'ozone (O₃),un oxydant puissant, est agent bactéricide et virocide efficace aussi utilisé dans une cinquantaine d'installations des États-Unis.

Les eaux usées bénéficiant d'un traitement tertiaire contiennent si peu de nutriment qu'elles ne peuvent permettre une forte croissance microbienne. Le traitement tertiaire est la

méthode la plus complète pour traiter les eaux d'égouts, mais elle n'a pas été généralisée en raison de son coût.

2-6-Traitement des boues

L'épuration des eaux résiduaires urbaines aboutit à la production régulière des sousproduits constitués par les boues en provenance des décanteurs primaires et/ou secondaire, soit en moyenne 40 à 50 g de matières sèches par jour et habitant.

Ces boues, avant leur élimination, subissent un traitement adapté à leur nature ainsi qu'à leur destination, afin:

- d'en réduire le volume, en éliminant l'eau (les boues sont, en effet, extraites liquides du système de traitement de l'eau).Ceci est réalisé par un procédé d'épaississement qui est une concentration de la boue par décantation puis par un procédé de déshydratation permettant d'éliminer une quantité d'eau liée aux MES plus importante, par filtre presse ou centrifugation;

- d'en réduire le pouvoir fermentescibles par stabilisation en diminuant le taux de matières organique qui peuvent fermenter dans le milieu naturel sous l'action des microorganismes.

La stabilisation peut être réalisée de manière biologique grâce aux bactéries contenues dans les boues en aérobies (stabilisation aérobie par aération prolongée des boues) ou en anaérobiose(digestion anaérobie des boues avec production de biogaz). Elle peut être également réalisée chimiquement par ajout de chaux qui entraîne une augmentation du Ph (jusqu'à Ph 11) empêchant tout développement bactérien.

Le problème des boues se pose en terme d'évacuation; trois solutions sont possibles:

- La mise en décharge de boues stabilisées et déshydratées mais n'est plus réalisable à partir de 2002;

La valorisation agricole par épandage sur des sols agricoles ou elles vont jouer un rôle d'engrais. Elle sont utilisées sous forme liquide, solide ou sous forme d compost, mais toujours stabilisées;

- l'incinération qui présente un intérêt pour les boues auto combustibles, c'est-à-dire fraîches et déshydratées;

Avant leur évacuation, les boues seront également soumises à des analyses.(**Franck Rejsek,2002**).

CHAPITRE:II

Bioremediation par des micro algues

I. Bioremédiation par des microalgues

La nécessité de dépolluer les sites contaminés a conduit au développement de nouvelles technologies de l'environnement qui ont pour objectif de détruire les composés xénobiotiques plutôt que de les accumuler dans les décharges. La bioremédiation est une option qui offre la possibilité de détruire ou de rendre moins toxiques les polluant, en utilisant des activités biologiques naturelles. Les microorganismes sont utilisés depuis environ un siècle pour le traitement des eaux usées et des composts. Ce qui est nouveau c'est l'utilisation de ce procédé microbiologique pour nettoyer les sols, les eaux souterraines, les estuaires etc. Les systèmes sont différents en raison de la nature du polluant et du milieu où se déroule la dégradation. Les sites sont fréquemment contaminés par un mélange de composés organiques très complexes comme par exemples les huiles minérales ou les solvants industriels. A cela s'ajoutent des polluants inorganiques comme les métaux lourds. (chedly abdely 2007).

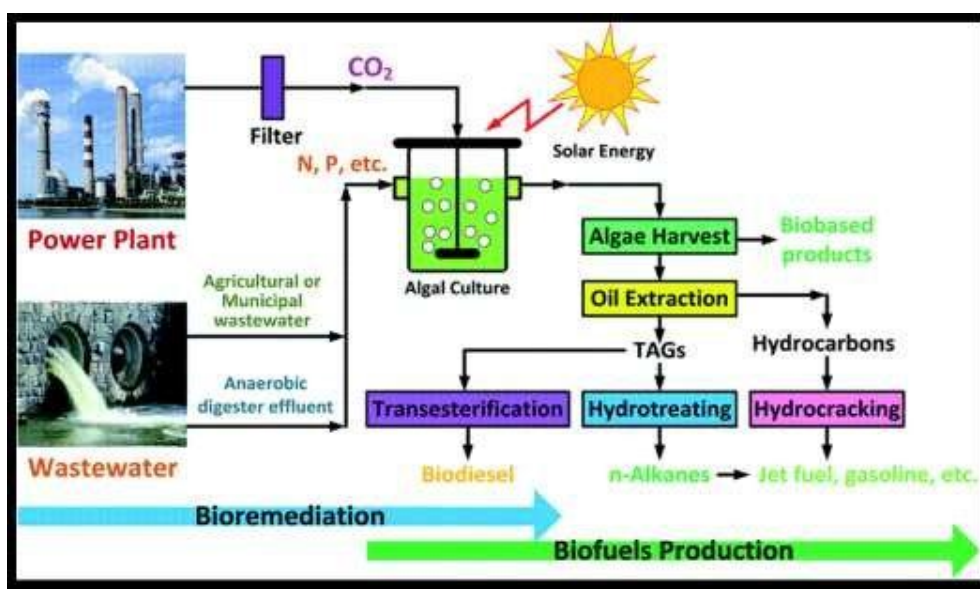


Figure 09: Bioremédiation des eaux usées par les microalgues en utilisant différentes méthodes avec la production de biocarburant (Padmini Dutta et al 2020)

1. Définition de la bioremdiation

La bio remédiation est une branche des bio technologies qui utilise des mécanismes biologiques naturels ou détournés pour traiter des problèmes environnementaux. Les agents biologiques utilisés peuvent être de simples molécules organiques, comme de l'ADN ou des anticorps, ou bien des organismes vivants ou morts (bactéries, micro, champignons, algues et plantes supérieures) (Alain VAVASSEUR 2014).

Il a été prouvé que cette technologie est rentable, efficace, nouvelle, écologique et solaire avec une bonne acceptation du public par rapport aux techniques d'ingénierie comme l'excavation, l'incinération du sol, le lavage des sols, le rinçage et la solidification (Ali et al, 2013; Sarwar et al, 2017) plus propre, écologique et rentable La bioremédiation repose sur la capacité naturelle de certains micro-organismes à incorporer des polluants dans leurs processus métaboliques et à les utiliser comme source d'énergie ou de carbone Parmi les micro-organismes utilisés dans les traitements de bio remédiation figurent les micro algues, qui sont universellement connues comme une alternative de traitement efficace pour l'élimination des nutriments tels que l'azote et le phosphore (**saliha TEKFI déc. 2018**).

Principe de bio remédiation- C'est le processus de désintégration ou de transfert de polluants La désintégration est donnée aux micro-organismes car ils ont des enzymes qui augmentent le taux de dégradation. La dégradation des contaminants par les micro-organismes dépend de trois facteurs: type d'organisme, type de contaminant, conditions géologiques et chimiques du site contaminé. (**M. Singhal et al 2021**).

2. Technique de bioremédiation

En surface, les techniques de bioremédiation peuvent être réalisées ex-situ et in-situ du site d'application (Figure 1). La nature du polluant, la profondeur et la quantité de pollution, le type d'environnement, l'emplacement, le coût et les politiques environnementales sont les normes de sélection prises en compte pour sélectionner toute technique de bioremédiation. Performance basée sur les concentrations d'oxygène et de nutriments, la température, le pH et d'autres facteurs abiotiques qui déterminent le succès des processus de bioremédiation(**Indu Sharma,2020**)

2-1- Techniques de bioremédiation ex-situ: consistent à creuser les -polluants des sites pollués et à les transporter successivement vers un autre site pour traitement. Des techniques de bioremédiation ex-situ sont régulièrement envisagées en fonction de la profondeur de pollution, du type de polluant, du degré de pollution, du coût de traitement et de la localisation géographique du site pollué. Des normes de performance réglementent également le choix des techniques de bioremédiation ex-situ.

2-1-1- Type de bioremédiation ex-situ: cette techniques elle comprend 04 type

A. Biopile

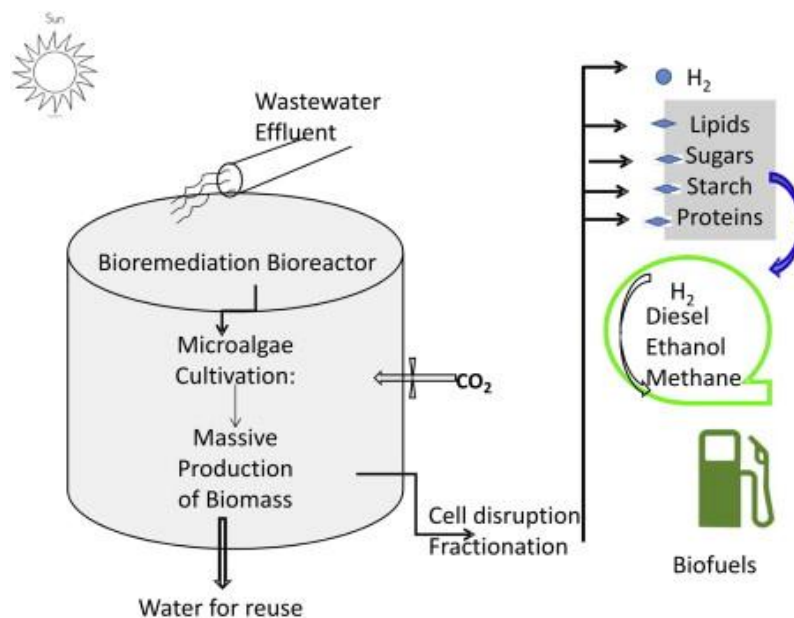
C'est une technique utilisée pour améliorer la bioremédiation en augmentant les activités microbiennes. Le sol ou l'eau contaminés sont excavés et des nutriments supplémentaires sont ajoutés, suivis d'une aération. Cette technique peut également être utilisée pour traiter des polluants dans des climats extrêmes également.

B. Andains

Il s'agit d'une technique utilisée pour améliorer la bioremédiation en augmentant les activités de dégradation. En raison de sa tendance à éliminer les hydrocarbures, il est préférable de traiter les sols pollués par rapport à l'eau contaminée.

C. Bioréacteurs

Les bioréacteurs sont le conteneur dans lequel la biodégradation des polluants se fait dans des conditions appropriées en mélangeant des contaminants avec des microbes appropriés. Les différents modes de fonctionnement des bioréacteurs sont le batch, le fed-batch, le séquençage batch, le multi-étage et le continu. Le principal avantage d'un bioréacteur est son excellent contrôle des paramètres du bioprocédé comme le pH, la température, l'agitation, le taux d'aération et la concentration de la colonne



Figuer 10: schmate représente des technique de Bioréacteurs Applied Algal Biotechnology PHYCOREMEDIATION OF WASTEWATER

(<https://www.sciencedirect.com>)

D. Agriculture des terres

Solen (**M. Singhal et al 2021**) C'est la technique la plus simple en raison du moindre coût et du moindre équipement. Il y a un grand débat sur la question de savoir si l'agriculture foncière est in situ ou ex situ; cela dépend de la profondeur de la pollution. Supposons que la profondeur du polluant soit inférieure à 1 mètre. Dans ce cas, on dit in-situ car l'excavation n'est pas nécessaire. En revanche, si la profondeur du polluant est supérieure à 1 mètre, on dit qu'il est ex-situ.

2-1-2-Traitement en phase solide

La bioremédiation en phase solide est une technologie ex-situ dans laquelle le sol contaminé est excavé et mis en tas. Cela comprend également les déchets organiques comme les feuilles, les déjections animales et les déchets agricoles, les déchets domestiques, industriels et municipaux. La croissance bactérienne est déplacée à travers des tuyaux qui sont répartis dans les pieux. L'aspiration d'air à travers les tuyaux est nécessaire à la ventilation et à la respiration microbienne. Le système en phase solide nécessitait une énorme quantité d'espace et les nettoyages nécessitent plus de temps que les processus en phase liquide. Les procédés de traitement en phase solide comprennent les biopiles, les andains, la culture des terres, le compostage, etc.

2-1-3-Bioremediation en phase boueuse

La bioremédiation en phase boueuse est un processus relativement plus rapide par rapport aux autres processus de traitement. Le sol contaminé est combiné avec de l'eau, des nutriments et de l'oxygène dans le bioréacteur pour créer l'environnement optimal pour que les micro-organismes dégradent les contaminants présents dans le sol. Ce traitement implique la séparation des pierres et des gravats du sol contaminé. La concentration en eau ajoutée dépend de la concentration des polluants, de la vitesse du processus de biodégradation et des propriétés physicochimiques du sol. Une fois ce processus terminé, le sol est retiré et séché à l'aide de filtres sous vide, de filtres sous pression et de centrifugeuses. La procédure suivante est la disposition du sol et le -traitement préalable des fluides résultants.

2-2-Bioremediation in situ

la bioremédiation in situ est appliquée pour éliminer les polluants sols et nappes phréatiques contaminés. C'est une méthode supérieure pour le nettoyage des environnements contaminés, car il économise les coûts de transport et utilise inoffensif micro-organismes pour éliminer les contaminations chimiques. Ces micro-organismes sont préférables d'avoir une affinité chimiotactique positive envers les contaminants. Un autre avantage de la bioremédiation in situ est la faisabilité de la traitement des sols et des nappes phréatiques.

Cependant, la bioremédiation in situ possède certaines inconvénients : la méthode prend plus de temps par rapport aux autres mesures correctives méthodes, et cela conduit à une variation saisonnière modifiée de l'activité microbienne en raison de l'exposition directe aux variations incontrôlables de l'environnement facteurs, et l'utilisation d'additifs peut entraîner des problèmes supplémentaires. Le rendement de la bioremédiation est déterminée par le type de déchets, à savoir si les déchets pourraient fournir les nutriments et l'énergie nécessaires, alors les micro-organismes seraient capables de biorestauration. Cependant, en l'absence de déchets favorables, la perte de bioactivité peut être compensée par la stimulation de micro-organismes indigènes. Une autre choix de moindre préférence est d'appliquer des micro-organismes génétiquement modifiés.

***On distingue 04 types de bioremédiation in situ en**

2-2-1-Bioslurping

Également connu sous le nom d'extraction multiphase, le bioslurping combine le pompage sous vide amélioré, l'extraction des vapeurs du sol et la bioventilation pour effectuer l'assainissement des eaux souterraines et du sol par apport indirect d'O₂ et améliorer la dégradation des polluants.

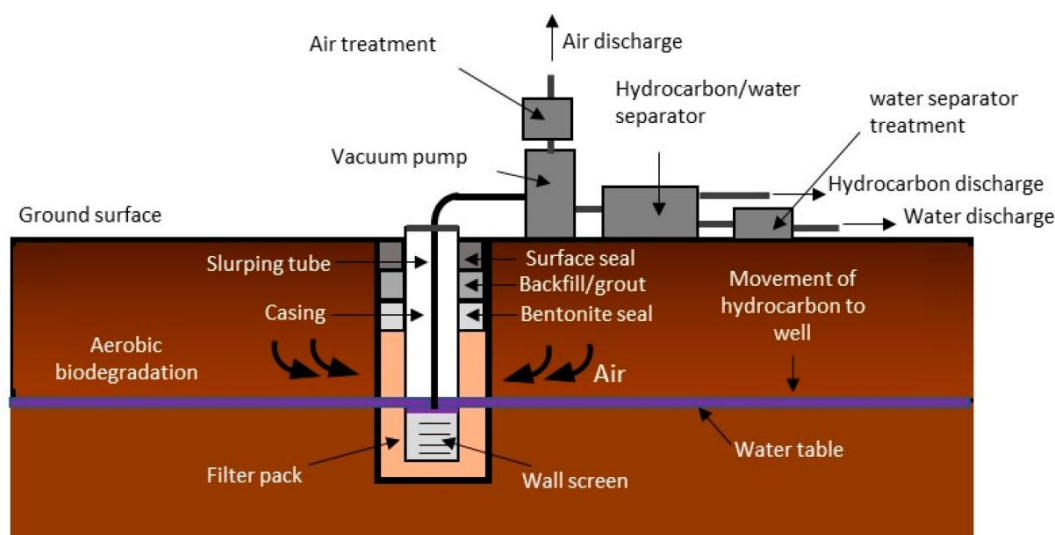


Figure 11: Schéma de fonctionnement du bioslurping (<https://www.researchgate.net/>)

Le principal inconvénient est l'humidité excessive du sol qui réduit la perméabilité à l'air, le taux de transfert d'O₂ et l'activité microbienne. De plus, le bioslurping n'est pas adapté pour traiter les sols peu perméables. (AttilioConvertiliver 2001).

2-2-2-Bioventilation

Solen (AttilioConvertiliver 2001). La bioventilation implique une stimulation contrôlée du flux d'air, fournissant de l'oxygène pour augmenter l'activité microbienne et, par conséquent, améliorer la bioremédiation. Habituellement, des nutriments et de l'humidité sont ajoutés pour obtenir une transformation en polluants plus inoffensifs pour l'environnement et pour améliorer l'assainissement. Cette technique a été utilisée avec succès dans la réhabilitation de sols pollués par des produits pétroliers.

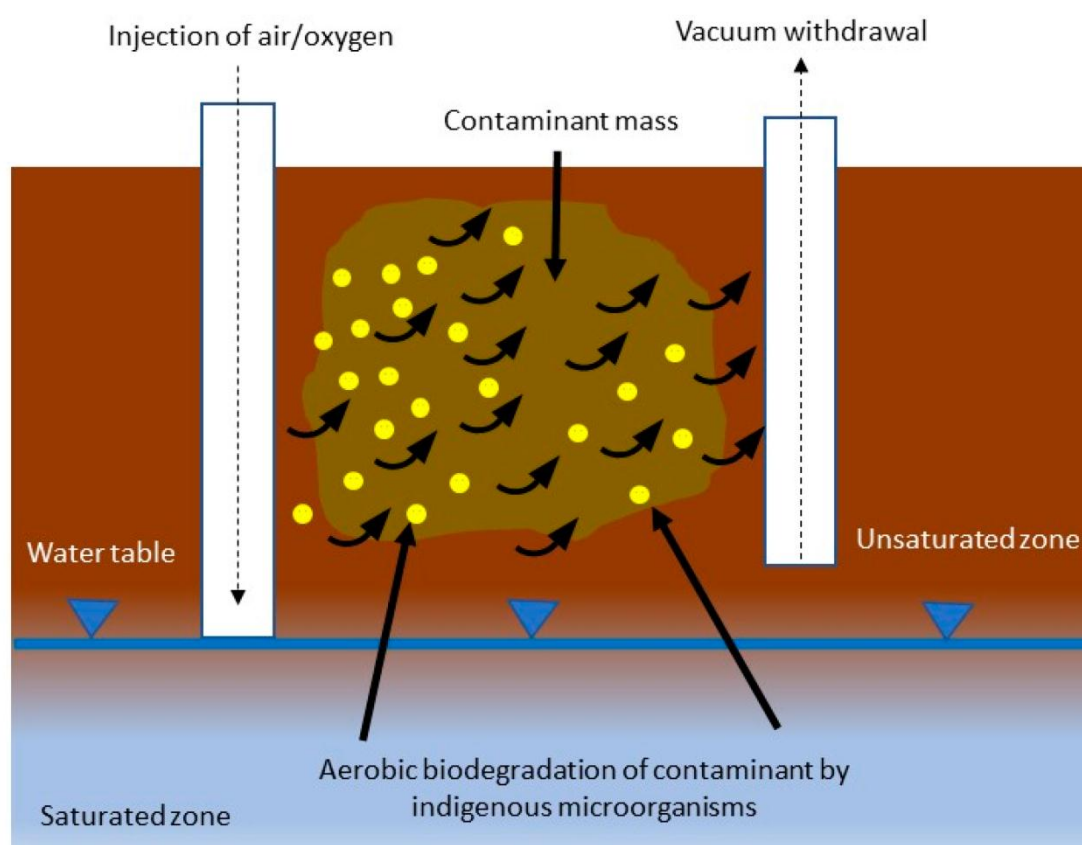


Figure 12: Système de bioventilation typique(<https://www.researchgate.net/>)

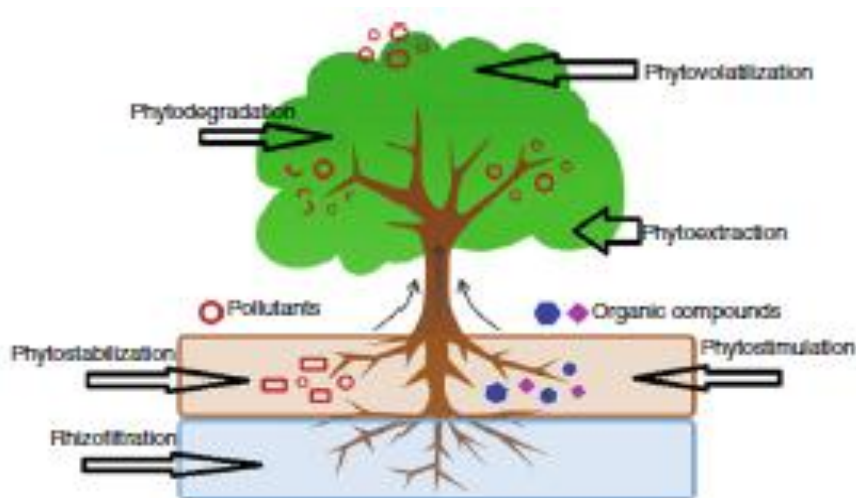
2-2-3-Biobarbotage

Le biobarbotage consiste en l'injection d'air sous pression dans un sol contaminé et saturé. Cette technique permet d'aérer les eaux souterraines, afin de stimuler l'activité biologique in situ et de promouvoir la biorestauration de la contamination résiduelle et dissoute présente dans la zone saturée. Cette technique peut s'appliquer à tous les composés chimiques pouvant être biodégradés en condition aérobie (en présence d'oxygène). L'air injecté permet le développement de la population microbienne aérobie en fournissant de l'oxygène aux microorganismes et facilite les contacts entre l'air, l'eau et l'aquifère, ce qui favorise la

désorption des polluants. Dans un système de biobarbotage, l'objectif est de favoriser la biodégradation par l'injection d'air ou de gaz (par exemple : oxygène, nutriment gazeux) tout en minimisant la volatilisation des contaminants volatils et semi-volatils. Le débit d'injection de l'air est donc calculé afin de fournir la quantité d'oxygène requise aux microorganismes. Cependant, de la volatilisation peut également se produire et, selon le mode d'opération et la conception choisis, la capture et le traitement de l'air pourrait être nécessaire (**De Marianne Brien,et al 2019**).

2-2-4-Phytoremédiation

La phytoremédiation est un processus important qui utilise des plantes, de la végétation verte, des arbres, plantes aquatiques et graminées, pour enlever, stabiliser, transférer et/ou détruire les substances toxiques polluants provenant des eaux de surface, des eaux souterraines, des eaux usées, des sédiments, des sols et/ou atmosphère extérieure. Les mécanismes de phytoremédiation comprennent la phytoextraction), phytoaccumulation), biodégradation accrue de la rhizosphère, phytostabilisation, et la phytodégradation (Singh et Jain 2003.) La phytoremédiation est applicable pour l'absorption et l'assainissement des métaux, des risques polluants organiques (pesticides, HAP, pétrole brut), explosifs, solvants et lixiviats de décharge. Certaines espèces végétales ont la tendance et la capacité d'accumuler et de stocker des polluants tels que les métaux dans leurs racines. Ces espèces végétales peuvent être transplantées pour filtrer les métaux et les polluants de l'eau ou des eaux usées contaminées. Une fois que les racines sont saturées de contaminants et/ou de métaux, elles doivent être récoltées. Habituellement, les plantes hyper-accumulatrices sont capables de prélever, accumuler, et stocker une quantité remarquable de polluants métalliques. Les arbres sont à l'étude, actuellement, pour étudier leur capacité à éliminer les polluants organiques des eaux souterraines. L'étude comprend la translocation, l'accumulation, la transpiration, et éventuellement la métabolisation des contaminants organiques en tissus végétaux ou en CO₂. Pendant ce temps, les plantes aident à prévenir le vent, la poussière et la pluie. Ils empêchent également le flux des eaux souterraines du transfert des polluants du site vers le sous-sol plus profond et/ou les zones environnantes. (**Hussein Abdel-Shafy et Mona S. M. Mansour 2018**).



Figuer 13: .schema représente des technique de phtoremediation

<https://www.sciencedirect.com>

3. Applications de la bioremediation

-Les techniques de bioremediationsont utilisées pour dégrader les métaux hautement toxiques, les produits chimiques, les effluents et les polluants de l'environnement.

- Les métaux lourds issus des tanneries s'ils ne sont pas dégradés par les alques produisent des oxydes toxiques ces oxydes produisent des cancers des poumons, de l'asthme, de la paralysie, des lésions cérébrales, des pertes de mémoire, etc Si ces métaux lourds s'accumulent dans leau, is provoquent la mort de poissons et d'animaux marins, des efflorescences algales se produisent lorsque la tumeur du soleil est bloquée par ces efflorescences algales, tuant ainsi les plantes dans l'eau Cela rend l'eau inutilisable et impropre à la consommation car les proliférations d'algues donnent de la couleur et de la mauvaise odeur à l'eau.

- Les déversements d'hydrocarbures dans l'eau rendent feau impropre et provoquerit la mort d'organismes, ces déversements d'hydrocarbures peuvent être nettoyés à l'aide de micro-organismes par bioremédiation Un grand nombre de vies marines est perdue à cause de ces marées noires, ce qui perturbe les chaines alimentaires et l'écologie.

- La bioremédiation nous protège de l'utilisation de produits chimiques et de mécanismes artificiels qui doivent être utilisés pour les processus de nettoyage. elle n'a pas d'effets secondaires, un environnement sans pollution est le résultat de la bioremediation.

•Des processus comme l'incinération nécessitent beaucoup d'énergie alors que la bioremediation est de rénergie processus indépendant économisant ainsi une grande quantité d'énergie tout en nous protégeant du réchauffement climatique, qui provoque la fonte des glaciers et donc des inondations.

- Les micro-organismes sont spécialement modifiés génétiquement pour la bioremediation par exemple des bactéries comme le *deinococcus radiodurans* est utile pour l'absorption du mercure et des hydrocarbures aromatiques comme le toluène. Des engrais, des produits agrochimiques leur sont donnés pour augmenter leur capacité de production. Ils sont très utiles à ces fins.

- La bioremediation peut être facilement observée en surveillant le potentiel redox, le pH, la température, la teneur en oxygène, les résidus de l'activité catabolique, etc.

- Trois étapes sont impliquées dans l'immobilité, la mobilité et l'élimination des polluants nocifs de l'environnement. Si le polluant du sol est fortement perturbé, ce qui le rend inutile pour la culture. Dans les cultures, la teneur en éléments nutritifs du sol est considérablement réduite, mais par la bioremédiation, ces micro-organismes nettoient le sol et le protègent d'une nouvelle contamination, ce qui le rend utile pour que les plantes poussent. Des cellules et ajoute des éléments nutritifs au sol.

- La bio-augmentation est l'ajout de micro-organismes au sol, tandis que la bio-stimulation est la modification ajout, la réduction ou le génie génétique des colonies microbiennes pour dégrader les polluants. Dans le processus de compostage des vers de terre orthodoxes sont utilisés. travaillant de deux manières d'abord, Ils accroissent l'activité métabolique et deuxièmement, lorsque les polluants du sol sont dégradés, Ils agissent comme des indicateurs de la pollution du sol comme les lichens agissent-ils comme des pointeurs de pollution.

- Vers de terre, protozoaires, nématodes, acariens les isopodes, les collembolles, les enchytréides sont également utilisés en bioremediation pour le nettoyage du sol, de l'eau, de l'air, la minéralisation des nutriments, la nitrification, les activités enzymatiques, etc. les effluents industriels sont également traités à l'aide d'eux ils sont également utilisés à des fins de recherche. **(syedamir manzoor 2011).**

CHAPITRE III:
Généralité sur
(Arthrospira Platensis)

1- Définition des micro-algues

les micro-algues (en incluant les cyanobactéries) sont des êtres photosynthétiques unicellulaires peuplant les océans et cours d'eau depuis plus de trois milliards et demi d'années. La consommation des algues remonterait à des millénaires. Les scientifiques ont découvert que le phytoplancton était consommé au Mexique depuis le temps des aztèques et que les tchadiens consomment la spiruline séchée depuis plusieurs décennies (Julie PERSON 2011).

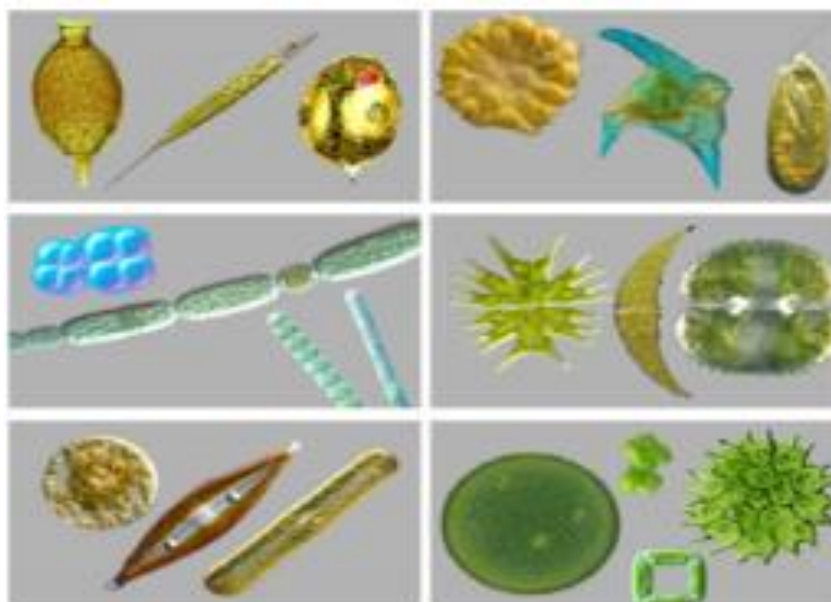


Figure 14: les micro algues (Nabris)

Les micro algues figurent parmi les premières créatures vivantes, apparues voici environ 3,5 milliards d'années. Leur collecte et leur utilisation est très ancienne et probablement antérieure à l'agriculture du néolithique. Leur production est plus récente et leur spectre d'utilisation très large du fait de leur adaptation à tous les milieux. (jean-louis 2007).

Présentes dans tous les milieux aquatiques, les micro-algues représentent une immense source de biodiversité. Le nombre d'espèces est estimé entre 70 000 et 10 millions, mais très peu sont développées en laboratoire. Micro-organismes unicellulaires à croissance rapide, les micro-algues se contentent de peu et sont peu coûteuses à produire. La difficulté est de trouver la bonne micro-algue et le bon procédé pour la cultiver en grande quantité selon la valorisation souhaitée. Leur transformation a lieu dans les 24 heures de leur récolte afin de préserver leurs principes chimiques.

Usages et pistes de développement :

- Cosmétique.
- Nutrition-santé.

- Compléments à l'alimentation humaine et animale.
- Chimieverte.
- Biocarburant 3^{ème} génération.
- Biobitume
- Écologie industrielle : valorisation des rejets polluants d'entreprises pour une utilisation dans l'alimentation animale.
- La Santé(DIRM NAMO,2018).

2- Domain d'application des micro-Algues

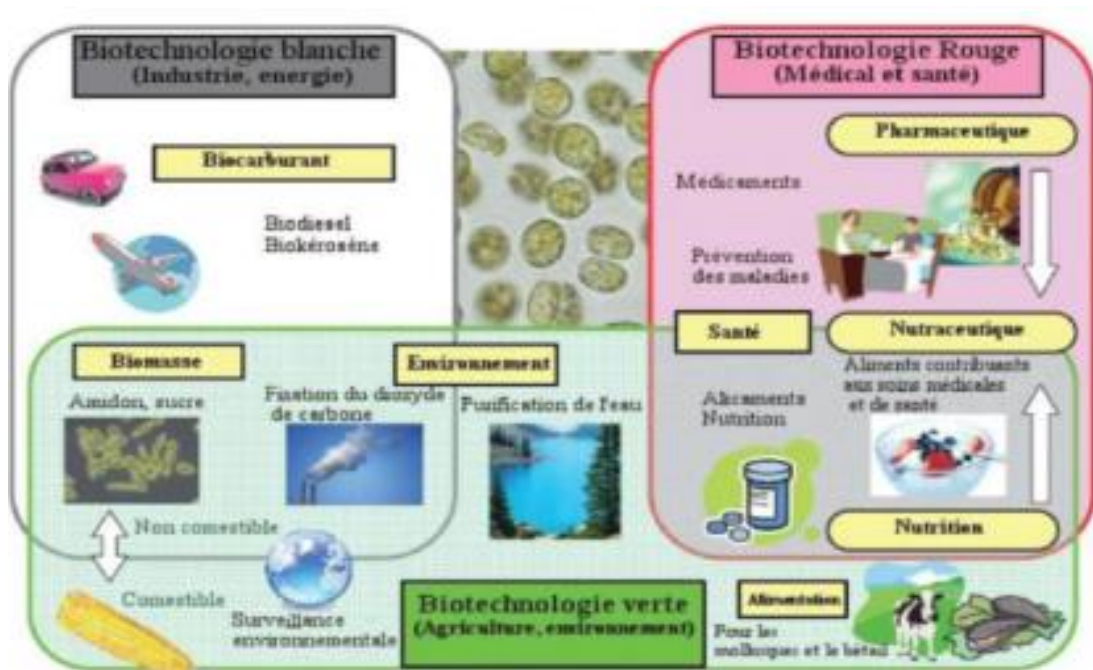


Figure 15: Diversité du champ d'application de microalgues (FILALI, 2012)

2-1-Domaine pharmaceutique

Au vu de leur grande diversité biochimique, les microalgues représentent une source intéressante de molécules bioactives et de toxines utilisables dans le développement de nouveaux médicaments. Plusieurs études ont permis de mettre en évidence l'implication des microalgues dans le domaine pharmaceutique par l'identification de nouvelles molécules naturelles. (Walter de Gruyter, Hoppe1979).



Figure16: commercialisée par le laboratoire arkopharma (sité internet)

Dans ce sens, la *tubercidine*, une molécule cytotoxique, a été identifiée chez la micro algue *Tolyphthrix byssoidea* ainsi que chez les cyanobactéries (Patterson et al., 1991).

Elle présente une action effective in vitro contre un type de leucémie lymphoïde. D'autres démarches ont été entreprises, entre autres par « l'Institut National du Cancer » avec un programme de dépistage visant des activités antivirales et anticancéreuses. Les microalgues peuvent synthétiser des sulfolipides antiviraux (Gustafson et al. 1989).

Les micro algues produisent une large gamme de vitamines. Les vitamines B12 et E ont un intérêt commercial (Borowitzka, 1988).

Des études récentes ont porté sur la recherche de nouvelles sources d'antioxydants parmi 23 micro algues (Li et al., 2006).

2-2-Domain environnemental

Les principales applications environnementales sont le traitement des eaux usées et bien sûr la consommation de CO₂ comme méthode d'abattement de ce gaz à effet de serre.

2-2-1- Traitement des eaux usées

Au vu de leur capacité d'assimilation de nombreux nutriments nécessaires à leur croissance, les microalgues représentent une solution intéressante pour éliminer ces éléments ; elles sont également capables de fixer des métaux lourds. Elles sont ainsi les principaux éléments biologiques de certains systèmes de traitement des eaux municipales et industrielles (essentiellement traitement tertiaire). Grâce à l'absorption de l'azote et du phosphore, elles contribuent à réduire le phénomène d'eutrophisation de certains milieux aquatiques. Une étude ayant porté sur l'implication de *Chlorella vulgaris* dans l'absorption de l'azote et du phosphore des eaux usées (Aslan et Kapdan, 2006).



Figure 17 : Traitement des eaux usées par les micro-algues(Algae Control « Thrive Water – Alternative Wastewater Treatment Solutions)

Afin de réduire les coûts économiques de ces procédés de traitements des eaux, la biomasse générée peut être exploitée pour produire des molécules à haute valeur ajoutée, du biodiesel, du biogaz, de l'hydrogène etc. (Muñoz et Guieysse, 2006) Ces procédés sont généralement couplés à l'élimination de CO_2 dans des effluents gazeux industriels conduisant à des procédés intégrés.

2-2-2- Agriculture

La biomasse algale peut être valorisée comme engrais, fertilisant (apport de potassium, d'azote et d'éléments essentiels à la croissance végétale) et stabilisateur de sols dans le domaine de l'agriculture (Meeting, 1996).

mais également d'accélérateur et protecteur de cultures en limitant la prolifération des épiphytes et des parasites. Les microalgues permettent l'adhésion des particules et le stockage de l'eau dans les sols ainsi que la fixation de l'azote. De même, à partir de la synthèse de molécules bioactives, elles sont susceptibles d'influencer la croissance des plantes terrestres (Borowitzka, 1995).

De plus un nouvel intérêt est apparu pour certaines substances régulatrices ou protectrices dérivées des microalgues au niveau de la croissance des plantes.

2-2-3- Systèmes de support de vie

Durant les missions spatiales, l'élaboration d'un système de support de vie pour l'équipage est un besoin impératif. Ce système se résume à quatre notions fondamentales : la régénération d'une atmosphère respirable (apport d'oxygène), le recyclage de l'eau, le traitement des déchets et l'apport de la nourriture nécessaire (Tamponnet et al., 1999).

2-2-4- Séquestration du CO₂

En raison de la situation actuelle alarmante relative au changement climatique, une prise de conscience de différents pays dans le monde a été observée pour y faire face. Par suite des émissions anthropiques, les gaz à effet de serre "GES", connus en anglais sous les initiales "GHC" ("Greenhousegas"), sont en concentration croissante dans l'atmosphère, ayant un effet de plus en plus fort sur le changement climatique (**Matsumoto et al., 1995**).

En effet l'absorption naturelle ne permet plus de compenser le taux de production élevé de ces types de gaz, le dioxyde de carbone CO₂ étant le plus impactant avec plus de 68% des émissions totales (**Maeda et al., 1995 ; Global Warming, 2010 ; Kondili et Kaldellis, 2007 ; Roman-Leshkov et al., 2007**).

Cependant, en raison d'une efficacité limitée de conversion, d'une faible vitesse de croissance et d'inconvénients économiques et techniques (possibilité de libération du carbone stocké suite à un incendie de forêt ou par l'endommagement des arbres), de nombreux chercheurs se sont orientés sur la deuxième voie qui est la mise en oeuvre d'organismes photosynthétiques tels que les micro algues.

D'après Bilanovic et al. (2009), les micro algues sont en théorie capables de convertir plus de 9% de l'énergie solaire en 280 tonnes de biomasse sèche par hectare et par an, tout en consommant près de 513 tonnes de CO₂.

2-3-Domaine alimentation humaine et animale

Depuis des millénaires, macroalgues et micro algues sont récoltées pour un usage alimentaire. Utilisée par les Mayas, la Spiruline est par exemple encore récoltée et consommée par les habitants des bords du lac Tchad. Si certains pigments sont utilisés comme colorants alimentaires (β -carotène, phycobiliprotéines), la contribution à la nutrition humaine des sociétés modernes reste essentiellement Le phytoplancton en tant que producteur primaire des milieux aquatiques est par ailleurs tout « naturellement » exploité comme ressource nutritive pour l'aquaculture (**Spolaore et al., 2006**).

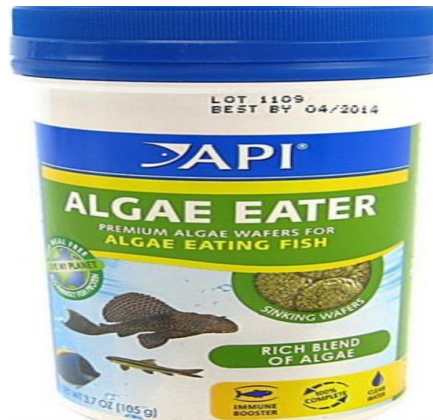


Figure 18 :Alimentation humaine (anothertree.com)

ou indirectement comme complément alimentaire et comme substrat pour le zooplancton, base alimentaire de nombreuses espèces aquacoles. A l'exception de la Spiruline, la faible digestibilité de ces cellules, due à une paroi pseudo-cellulotique, rend toutefois difficile la consommation de cette ressource protéique par les animaux terrestres confinée à la nutraceutique(Milledge, 2011).



Figure 19:Alimentation animale(cmi-ipa.univ-avignon.fr)

2-4-Domaine cosmétique

A l'instar des plantes supérieures, un certain nombre de métabolites d'intérêt sont extraits de la dizaine d'espèces exploitées industriellement à l'heure actuelle. Parmi ceux-ci, les caroténoïdes sont utilisés comme antioxydants (Astaxanthine) et comme colorants à usage alimentaire, pharmaceutique et cosmétique (β -carotène, phycobiliprotéines). (F.Folmer, M.Jaspars, M.Dicato, Diederich 2010).

3- Généralité sur l'espèce étudiée (*Arthrospiraplatensis*)

3-1- Définition de l'espèce étudiée *Arthrospiraplatensis*

arthospiraplatensis, un procaryote (algue) photosynthétique multicellulaire contient une grande quantité de protéines, de vitamines et de minéraux supérieure à de nombreux aliments comme par ex. soja. Ainsi, *arthospiraplatensis* a été reconnu comme aliment nutritif par la Conférence mondiale de l'alimentation des Nations Unies. En raison de la grande quantité d'ingrédients nutritifs, la spiruline a une longue histoire en tant que complément alimentaire. En outre, la *arthospiraplatensis* est également efficace comme fourrage avec des effets connus sur la couleur de la chair, des œufs et du plumage, la production de lait et la fertilité. L'utilisation polyvalente de l'algue s'explique d'une part par les niveaux de nutriments et d'autre part par des effets reconnus comme anti-viraux, anti-bactériens, anti-oxydants, anti-diabétiques, anticancéreux et anti-inflammatoires. substance. Par conséquent, cette algue est nommée "superaliment". Au-delà, ces algues convertissent le dioxyde de carbone en substances organiques et produisent de l'oxygène lors de leur croissance dans l'eau alcaline et saline, ne gaspillant ainsi pas l'eau douce permettant la production dans les zones arides (Friedrich Jung and Anne Krüger-Genge 2019)

3-2- Morphologie *Arthrospiraplatensis*

Selon (Avigad vonshak 1978), sont des cyanobactéries filamenteuses reconnaissables à la caractéristique morphologique principale du genre :

la disposition des trichomes cylindriques pluricellulaires en hélice gauche ouverte sur toute la longueur. En microscopie optique, les filaments bleu-vert non hétérocystaux, composés de cellules végétatives qui subissent une fission binaire dans un seul plan, montrent des parois transversales facilement visible motricité.

Les trichomes, enveloppés d'une fine gaine, présentent des constriction plus ou moins prononcées au niveau des parois transversales et ont des sommets légèrement ou pas du tout atténués.

Les cellules apicales peuvent être largement arrondies ou pointues et peuvent être capitées et calyptrates.

La largeur des trichomes, composés de cellules cylindriques plus courtes que larges, varie d'environ 6 à 12 µm (16 µm) sous diverses formes.

Le pas d'hélice (h) est déterminé par l'équation.

$$h = 2\pi r \cot \alpha$$

où r est le rayon de la surface du cylindre auquel appartient l'hélice et α est l'angle formé par l'hélice et les génératrices du cylindre et représente la pente de la courbe de l'hélice. Dans de nombreuses souches de ces deux espèces, le pas d'hélice varie de 12 à 72 µm. Le diamètre de l'hélice varie également, allant d'environ 30 à 70 µm



Figure 20 : Micrographie optique d'*Arthrospira maxima*. La barre représente 20 µm. (Avigad vonshak, 1978)

- Cette cyanobactérie de couleur bleu-verte, se présente sous forme de filaments pluricellulaires, appelés trichomes, plus ou moins spiralés, enveloppés d'une gaine mucilagineuse. Les trichomes sont d'une longueur de 200 à 500 µm et de diamètre variant entre 6 et 12 µm (**Vonshak, 1997**).

- La dénomination pratique « Spiruline » largement utilisée, désignant tous les genres *arthospiraplatensis* et *platensis maxima*, est due à l'aspect de filament spiralé (morphologie). Cependant, **selon D. Fox (1986)**,

- une même souche peut passer d'une forme en bâtonnet (longiligne) à une autre spiralée et vice versa en fonction notamment des conditions de culture pour se protéger de la photolyse.

- Le cytoplasme d'*A. platensis* comprend en particulier des granules de polyglucanes, des granules de polyphosphates (réserves de phosphates), des

carboxysomes (inclusions cytoplasmiques contenant des enzymes impliquées de la fixation du carbone inorganique lors de la photosynthèse) et de nombreux thylacoïdes, siège de la photosynthèse.

- Ces thylacoïdes sont des membranes lipoprotéiques qui portent les différents pigments photosynthétiques. Il existe également des cyanophycines qui semblent servir de réserves azotées et des vacuoles gazeuses qui permettent la mobilité des trichomes selon des déplacements verticaux. En revanche, cette cyanobactérie ne possède pas d'hétérocystes, cellules dédiées à la fixation d'azote.

Les cellules sont entourées d'une enveloppe qui comprend une membrane cytoplasmique, une paroi cellulaire et des couches externes. La paroi cellulaire est composée de quatre couches de mucopolymères (**Van Eykelenburg, 1977**).

- Elle est de type Gram négatif bien qu'elle présente également certaines caractéristiques des parois des bactéries Gram positif. Elle est composée de peptidoglycanes, de protéines et de lipopolysaccharides. La paroi cellulaire représente la quasitotalité des carbohydrates (glucosamine, acide muramique), hormis des réserves intracellulaires de glycogène sulfaté et des polysaccharides excrétés en quantité variable selon les conditions de culture.

Ces derniers sont des polysaccharides sulfatés (5 % d'ions sulfates en masse) riches en acides uroniques (**Cornet, 1992 ; FilaliMouhimet al., 1993**).

- Les couches externes consistent en une gaine, une capsule et un mucilage (« *slime* ») (**De Philippis et Vincenzini, 1998 ; Pereira et al., 2009**).

La gaine est un feuillet fin et uniforme, d'épaisseur d'environ 0,5 µm, Ce feuillet, dense en électrons et de structure fibrillaire homogène, suit le contour de la paroi cellulaire et est visible au microscope optique sans coloration. La capsule est un feuillet non uniforme qui entoure la gaine, elle n'est pas visible au microscope optique sans coloration. C'est une couche épaisse et visqueuse intimement associée à la surface cellulaire avec des contours nets. Le « *slime* » est la zone externe. Il se réfère à la matière mucilagineuse dispersée autour de l'organisme mais n'épousant pas la forme des cellules. Cette matière n'a donc pas de forme définie. De plus, elle est très faiblement attachée à la cyanobactérie. Pendant la croissance, des matériaux polysaccharidiques de la capsule et du « *slime* » peuvent être libérés dans le milieu environnant provoquant alors une augmentation progressive de sa viscosité. (**Vonshak, 1997**).

3-3- Classification *Arthrospira platensis*

Phylum : Cyanobactérie

Classe : Cyanophyceae

Sous-classe: Oscillatoriophyceae

Ordre : Oscillatoriales

Famille : Phormidiaceae

Genre: *Arthrospira* (www.bilifou.ch)



Figure 21: Lac Shanghai (Chine) naturellement alcalin où la spiruline croît spontanément. (Source:© 2005 Inter' China)

3-4- Ecologie

A l'état naturel, la spiruline est retrouvée dans des lacs de la ceinture intertropicale du globe terrestre, dont les eaux sont riches en carbonate de sodium, bicarbonate de sodium, divers minéraux et une source d'azote fixe. Généralement, ces lacs sont situés entre la latitude 35° nord et 35° sud. En effet, elle a besoin de chaleur et de la lumière pour réaliser la photosynthèse. (Jourdan . ,1996).

La spiruline s'adapte cependant à de nombreux biotopes: sable, eau douce, eau de mer et supporte de concentration en sel de 2 à 280 g/l d'eau.

3-5- Composition biochimique *Arthrospiraplatensis*

Arthrospiraplatensis est une cyanobactérie filamenteuse connue sous le nom d'algue bleu-vert, qui est souvent utilisée comme protéine unicellulaire. Cette microalgue contient des acides aminés essentiels, des protéines, des acides gras, des pigments antioxydants, des caroténoïdes, du bêta-carotène et de la phycocyanine. Il a été classé comme un aliment sain par l'Organisation mondiale de la santé (OMS) et a le potentiel de devenir l'une des meilleures thérapies alternatives du 21^e siècle. De plus, selon les National Institutes of Health (NIH), *A. platensis* peut être utilisé comme traitement du système nerveux et du métabolisme, notamment pour la perte de poids, le diabète et l'hypercholestérolémie. Aujourd'hui, des sources scientifiques bien connues affirment que la spiruline est un "super aliment" et un "miracle de la mer". **Friedrich Jung et Anne Krüger-Genge.2019**).

3-5-1- Protéines

Arthrospiraplatensis contient des quantités inhabituellement élevées de protéines, entre 55 et 70 % en poids sec, c'est une protéine complète, contenant tous les acides aminés essentiels, bien que avec des quantités réduites de méthionine, de cystine et de lysine, par rapport aux protéines standard telles que celle de la viande, des œufs ou du lait ; il est cependant supérieur à toutes les protéines végétales standard, comme celle de légumineuses

5-2 Acides gras essentiels

3-5-2-Acides gras essentiels

Arthrospiraplatensis contient une grande quantité d'acides gras polyinsaturés (AGPI), 1,5 à 2,0 % des 5 à 6 % de lipides totaux. En particulier, la spiruline est riche en acide linoléique (36 % du total des AGPI) et fournit également de l'acide α -linoléique (ALA), de l'acide linoléique (LA, 36 % du total des AGPI), de l'acide stéaridonique (SDA), de l'acide eicosapentaénoïque. (EPA), acide docosahexaénoïque (DHA) et acide arachidonique (AA).

3-5-3-Vitamines

Arthrospiraplatensis contient de la vitamine B1 (thiamine), B2 (riboflavine), B3 (nicotinamide), B6 (pyridoxine), B9 (acide folique), B12 (cyanocobalamine), vitamine C, vitamine D et vitamine E.

3-5-4-Minéraux

Arthrospiraplatensis est une riche source de potassium et contient également du calcium, du chrome, du cuivre, du fer, du magnésium, manganèse, phosphore, sélénium, sodium et zinc.

3-5-5-Pigments photosynthétiques

Arthospiraplatensis contient de nombreux pigments dont la chlorophylle, la xanthophylle, le bêta-carotène, échinénone, myxoxanthophylle, zéaxanthine, canthaxanthine, diatoxanthine, 3-hydroxyéchinénone, bêta-cryptoxanthine, oscillaxanthine, plus les phyco-biliprotéines phycocyanine.

Deuxième partie
Partie expérimentale

Chapitre I : présentation de la station STEO1

Expérimentation, résultats et interprétation Dans ce chapitre nous décrirons la partie expérimentale, et les points suivants seront :

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(ONA.2022).

2. Situation géographique de la station d'épuration

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

Kouinine est la maire de l'une des municipalités qui appartiennent au groupe et de la vallée sera oasis, le désert au sud de l'Atlas et se situe sur zone de 116 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.2022).

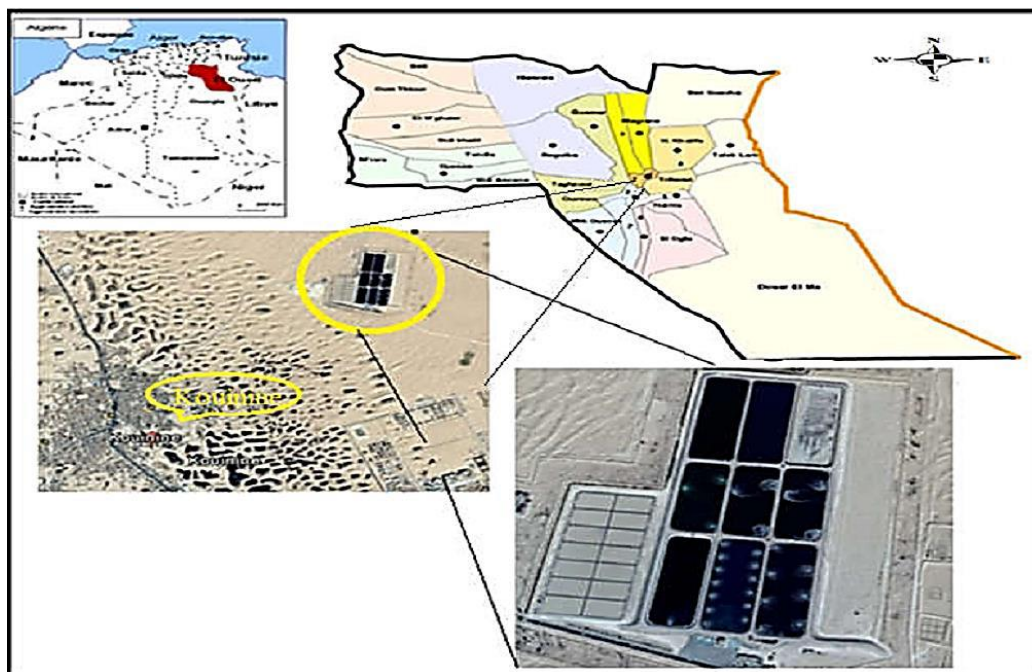


Figure 22 : Carte de situation de STEP 01 Kouinine (ZOBEDI A, 2017)

3. Objectif de traitement de la station

- Supprimer les nuisances et les risques actuels de contamination au niveau des zones urbanisées.
- Protéger le milieu récepteur.
- Supprimer les risques de remontée des eaux en diminuant le niveau de la nappe phréatique.
- Se garder la possibilité de réutiliser les effluents épurés(ONA.2022).

4. Description de STEP1

Station d'épuration des eaux usées à lagunage aéré est conçue pour desservir les communautés de : El-Oued, Bayadha, Kouinine et Robbah. La population totale 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). (ONA.2022).

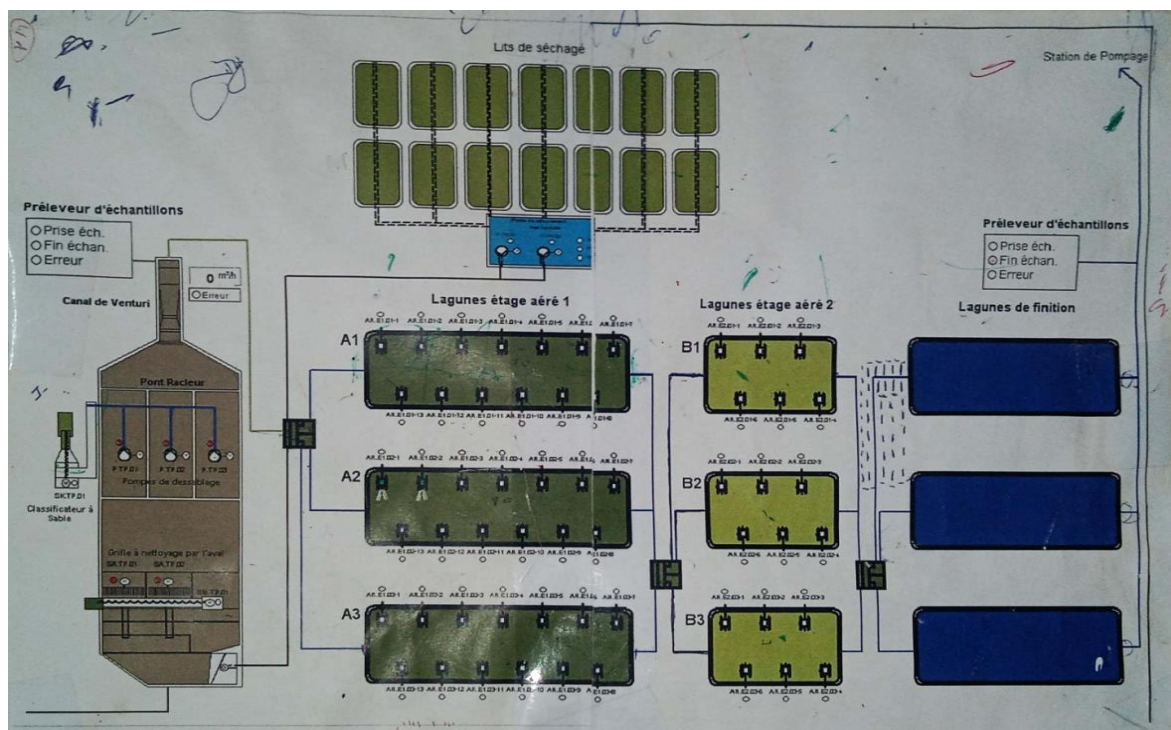


Figure 23:schéma présenté station de lagunage aéré de STEP de Kouinine N°01(ONA, 2022)

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

a) **Prétraitement**

Ce traitement comprend les éléments suivants :

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

Les eaux usées travers d'une grille dont les barreaux, plus ou moins espacés, espacement entre barreaux 15 mm retiennent les éléments le 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.



Figure24: dégrillage(ONA, 2022)

🌈 **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 vélocité 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.



Figure25:Dessablage(ONA, 2022)

🌈 **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, 2022).



Figure26: Répartiteur vers les bassins d'aération (R1.R2/R3) (ONA, 2022)

b) Traitement secondaire des eaux usées

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

❖ Lagunes d'aération (première étape)

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

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

Eau + pollution organique + micro-organismes + O₂ → CO₂ + H₂O + biomasse (ONA,2022).



Figure27:Lagune aérée(ONA, 2022)

❖ **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, 2022).



Figure28: Aérateur(ONA, 2022)

❖ **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, 2022).

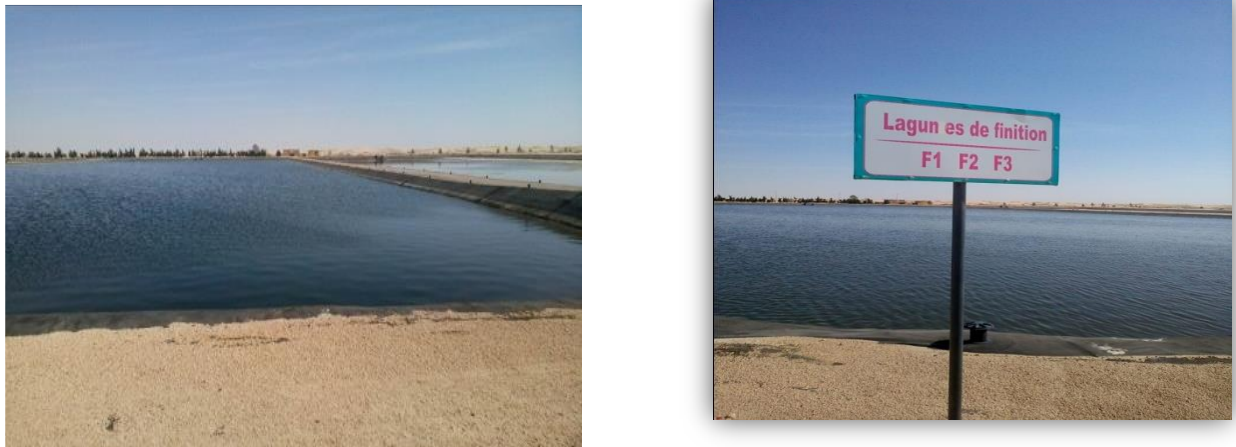


Figure 29 :Lagune de finition (ONA, 2022)

- ❖ **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, 2022).



Figure30: Lit de séchage des boues(ONA, 2022)

Chapiter II: Matériel et Méthodes

a) Analyses de la station d'épuration STEP1

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 paramètres suivant: T, pH, Con, Salinité, DBO₅, DCO, O₂ dissous, MES.

a-1-But général de la manipulation

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

b- Prélèvement

b-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.

b-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 01 mois (de janvier)**. Nous avons pris l'échantillon de la région en le point de rejet de réseau d'assainissement de Kouinine.

1. Matériel d'etude

1-1- Matériel biologique

Arthrospira Platensis est une cyanobactérie aquatique filamenteuse souvent classée comme microalgue bleue/verte. Le nom commun de sa biomasse commercialisée est « Spiruline » (le nom utilisé dans cet article) dont la production fait de ce micro-organisme le plus cultivé au monde .

Arthrospira Platensis est considérée comme un nutraceutique en raison de sa haute qualité nutritionnelle (protéines, acides aminés et acides gras essentiels, polysaccharides, caroténoïdes, vitamines et fer).(**Florian Delrue¹ et al 2017**).

La souche de *la Spiruline* utilisée dans notre travail est *Arthrospira platensis*. La souche (Spiruline) a été isolée de pound (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**).



Figure 31: La souche d'*Arthrospira Platensis*

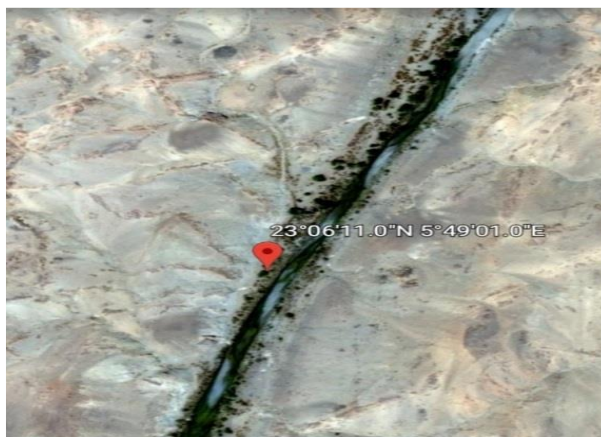


Figure 32 : la région de prélèvement de la souche

1-2- Matériel non biologique

- ✓ Balance.
- ✓ Conductimètre.
- ✓ Microscope optique connecté à un micro-ordinateur.
- ✓ Thermomètre Verrerie (Bécher, tubes à essai...).
- ✓ Pompe air aquarium
- ✓ Résistance aquarium
- ✓ Lampe
- ✓ Minuteur
- ✓ Autoclavage.
- ✓ pH Mètre (pH 510)
- ✓ Oxy-mètre INOLABO-OXI 730 WTW.
- ✓ Spectro photomètre
- ✓ Réacteur (CR 2200)
- ✓ Adaptation de tube DCO sur Spectrophotomètre jaugée 2,00 ml Poire à pipete
- ✓ 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.
- ✓ Papier filtre en verre diamètre 47 μm ;
- ✓ Rampe de filtration sous vide
- ✓ Pompe à vide ou sous vide
- ✓ Etuve chauffé (105°C)
- ✓ Balance (0.001 g de précision).
- ✓ Le dessiccateur
- ✓ Réfrigérateur conservant à une température de 20C°;
- ✓ Flacons d'incubation à bouchons rodés de 510ml;
- ✓ Barrou-magnétique;
- ✓ Pastilles de KOH.
- ✓ Spectrophotomètre HACK
- ✓ Pipetes 2
- ✓ Réactifs azote total (LCK 338) gamme (20 à 100 mg/l).
- ✓ Conductimètre (Terminal 740).

2. Méthodes d'étude

2.1- Méthode analyse physico-chimique de eau usées (1mois)

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

2-1-1- 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 résultants : La valeur est lue directement sur l'écran de l'appareil après l'immersion d'une électrode spécifique de pH dans l'échantillon.

2-1-2- 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.

2-1-3- 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 .

2-1-4- 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 ($K_2Cr_2O_7$) en milieu acidifié par acide sulfurique (H_2SO_4), en présence de sulfate d'argent (Ag_2SO_4) et de sulfate de mercure ($HgSO_4$).

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

2-1-5- 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: $M.E.S = (P_1 - P_2) \times 1000000 / 100 = (P_1 - P_2) \times 10000$.

Avec :

- ✓ **P1:** Poids de filtre en vide.
- ✓ **P2:** Poids de filtre en plein

2-1-6- 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. $DBO_5 \text{ (mg/l)} = \text{Lecteur} \times \text{Facteur}$.

2-1-7- 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.

2.2 Suivi de croissance d'*Arthrospira Platensis* par milieu zarrouk

✓ 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 pondant 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 N° 02 : 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
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 33:** Milieu de culture

✓ 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 34 : Dispositif expérimental

- ✓ **Évolution de la croissance d'*Arthrospira platensis***
- ✓ **Étude de l'évolution des paramètres physico-chimiques**

La culture de Spiruline est nécessitée de contrôler plusieurs paramètres à chaque

2.2.1- 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 35 : Température de la souche

2.2.2- 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.



Figure 36 : Conductivité électrique et salinité

2.2.3- 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.

2.2.4- 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.

A. Étude des caractéristiques d'*Arthrospira Platensis*

A.1. Etude 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.



Figure37: observation microscopique en G×10 **Figure 35 :** *Arthrospira platensis* en G×40

A.2. 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**.

2.3 Suivi bioremédiation par *Arthrospira Platensis*

2-3-1- 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.

2-3-2- 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.

2-3-3- 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 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.

2-3-4- Mesure le nitrite (N-NO₂⁻)

• Définition de nitrite

Comme le nitrate mais composé de deux atomes d'oxygène. Sa formule chimique est NO₂⁻. L'ion nitrite est la base conjuguée de l'acide nitreux (HNO₂). Il est instable et très réactif. Il agit parfois comme réducteur, mais, le plus souvent, il se comporte comme un oxydant énergétique. Il réagit sur l'hémoglobine pour donner la méthémoglobine (la raison essentielle de la toxicité directe des nitrites) **(Robert B., 1987)**.

* Mode opératoire

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

2-3-4- Détermination de l'ammoniac NO₃

• 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 NH₄OH 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).

2-3-5 Mesure l'ammoniac NH_3

* Mode opératoire

- Pour l'échantillon d'eau brute, utilisée le boîtier de réactif de 302 en gamme (47-130 mg/l ; 60-167 mg/l)
 - Ouverture du tube de réactif et ajouter 0.2 ml de l'eau brute puis agiter le tube .
 - Laisser le tube reposer pendant 15 minutes.
 - Mettre le tube en spectrophotomètre, le résultat est donné directement en mg/l.
 - Pour l'échantillon d'eau épurée, utilisée le boîtier de réactif de 303 en gamme (2-47 mg/l ; 2,5-60 mg/l).
 - Ouverture du tube de réactif et ajouter 0.2 ml de l'eau épurée puis agiter le tube.
 - Laisser le tube reposer pendant 15 minutes.
 - Mettre le tube en spectrophotomètre, le résultat est donné directement en mg/l.

2-3-6 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 résultats .
 - Les résultats sont donnés directement en mg/l.

Chapitre III : Résultats et discussion

Résultats et Discussion

Dans cette partie nous étudierons la qualité de l'eau brute et épurée et l'audit de la qualité au laboratoire par la station d'épuration des eaux usées par lagunage aère de Kouinine.

Afin de déterminer la qualité des eaux usées et la qualité au laboratoire de la station d'épuration de Kouinine, nous avons effectué les analyses de différents paramètres de pollution et Champs d'enquête et critères d'audit (Check-list d'inspection).

Les tableaux des eaux brutes et des eaux traitées des résultats d'analyse sont présents en annexes .

1. Analyses physico-chimiques

1.1- Variation La Température

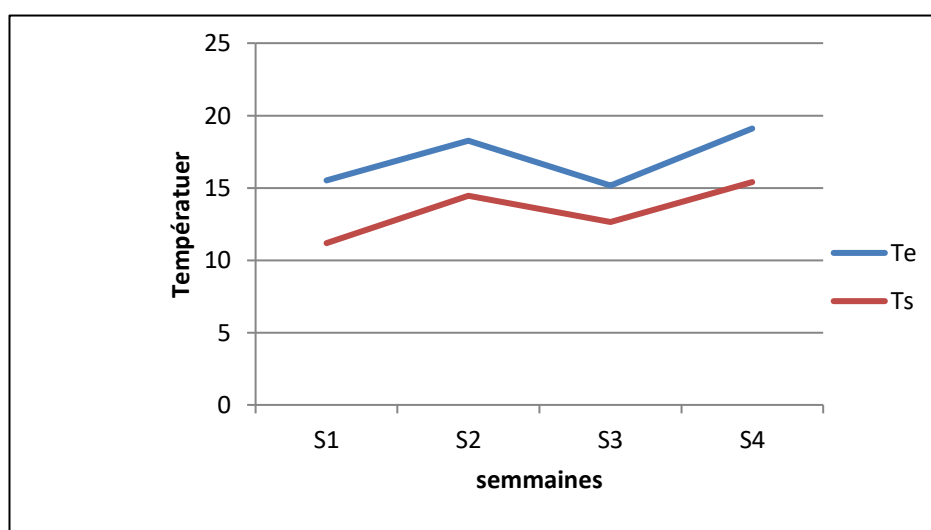


Figure 38: Variation hebdomadaire de la température des eaux usées brute (entrée et sortie) et traitement en temps opportun

On note les valeurs de température mesurées pendant la période de notre étude lors de l'entrée dans l'eau, comprises entre un maximum de 19,1 et un minimum de 15,5, et à la sortie de l'eau, sa valeur est faible entre 15,4 et 11,18.

Ces fluctuations sont liées aux conditions climatiques et plus précisément à la température de l'air et au phénomène d'évaporation de l'eau.

1.2- Variation du pH

Les résultats journaliers d'analyse le potentiel hydrique pH sont traduits comme de courbe et dans l'annexe .

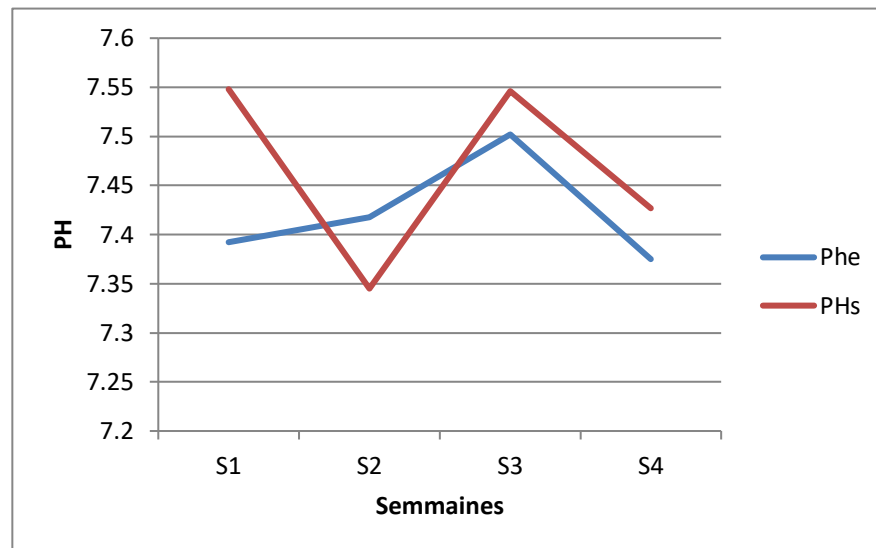


Figure 39: Variation hebdomadaire de lapHdes eaux uséesbrute (entrée et sortie) et traitement en temps opportun

Nous remarquons que les valeurs de pH mesurées pendant notre période d'étude lors de l'entrée dans l'eau sont comprises entre une valeur maximale de 7,50 et une valeur minimale de 7,37. Lorsque l'eau sort, la valeur maximale du pH est de 7,54 et la valeur minimale est de 7,34.

Cette différence est due aux composants de l'eau entrant dans la station, où la valeur du pH est de 7,50 à l'entrée de l'eau et à la sortie de 7,34

1.3 Variation de la conductivité

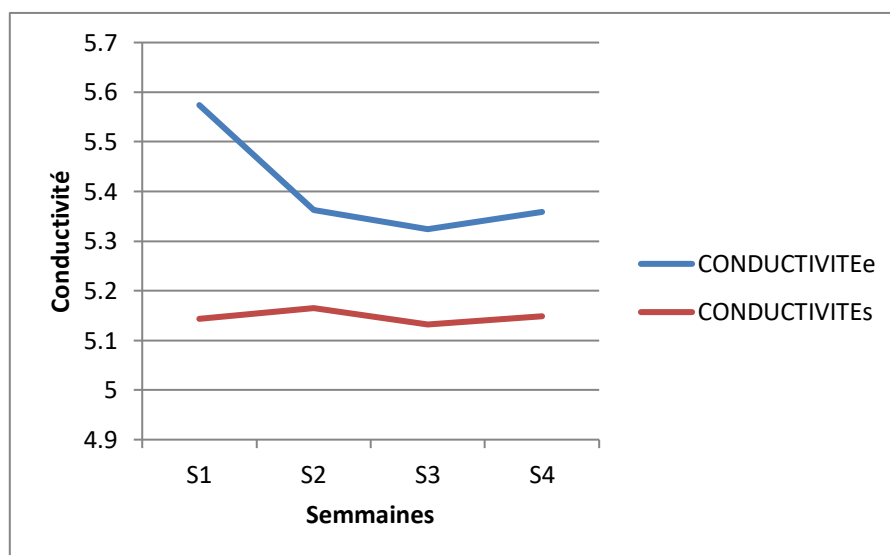


Figure 40: Variation hebdomadaire de la conductivité des eaux usées brutes (entrée et sortie) et traitement en temps opportun

Nous notons que les valeurs de conductivité à l'entrée de l'eau se situent entre 5,57 _ 5,32 et à la sortie elle est de 5,16 _ 5,13.

Cette différence est due aux conditions climatiques et aux composants de l'eau à l'intérieur.

Lorsque la température augmente, l'eau s'évapore, ce qui entraîne une augmentation de la concentration en sels minéraux.

1.4- Variation de la salinité (Sal)

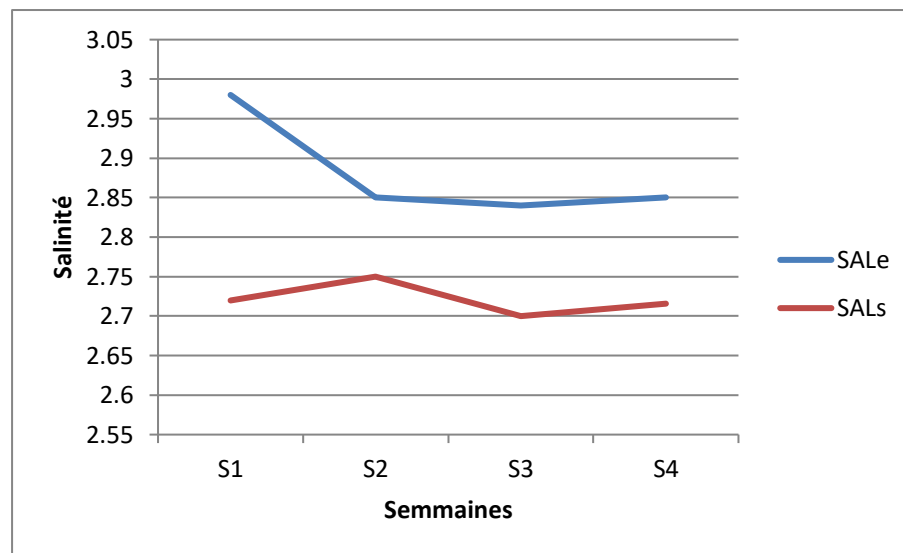


Figure 41: Variation hebdomadaire de la salinité des eaux usées brutes (entrée et sortie) et traitement en temps opportun

Les valeurs de salinité varient en entrant dans l'eau, un maximum de 2,98 et un minimum de 2,84, et en sortant de l'eau, la valeur maximale est et la valeur minimale est de 2,7.

Cette différence est due aux conditions climatiques et aux composants de l'eau à l'intérieur.

Lorsque la température augmente, l'eau s'évapore, ce qui entraîne une augmentation de la concentration en sels minéraux.

1.5- Matières en suspension (MES)

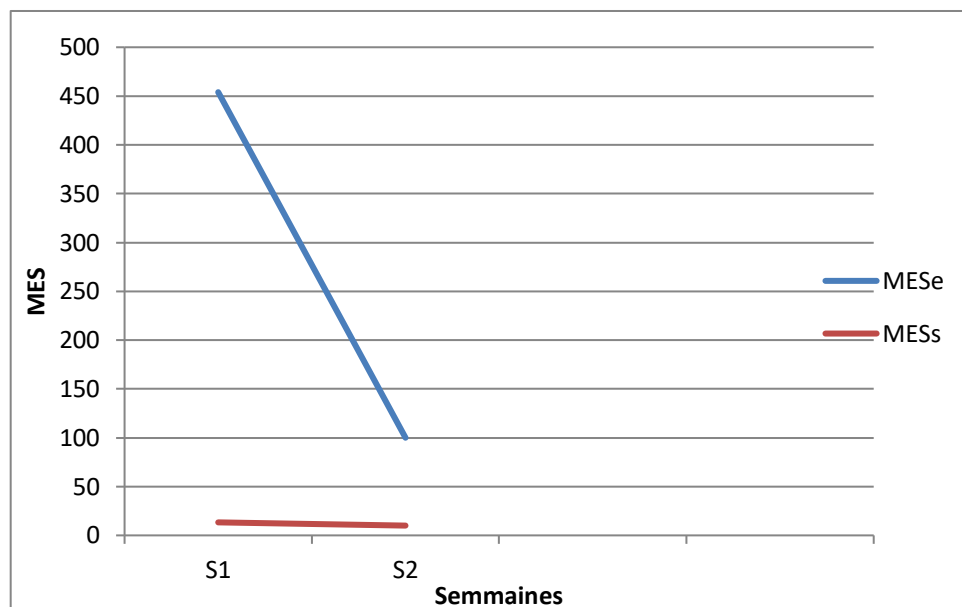


Figure 42: Variation hebdomadaire de MES dissous des eaux usées brutes (entrée et sortie) et traitement en temps opportun

On note que les valeurs MES à l'entrée dans l'eau diffèrent au maximum de 450 et au minimum de 100 par rapport à sa sortie où elle diminue (13.33_10).

Les raisons sont dues à la présence d'huiles dans l'eau entrante, aux changements climatiques et à la croissance excessive d'algues.

1.6-Oxygène dissous (O_2)

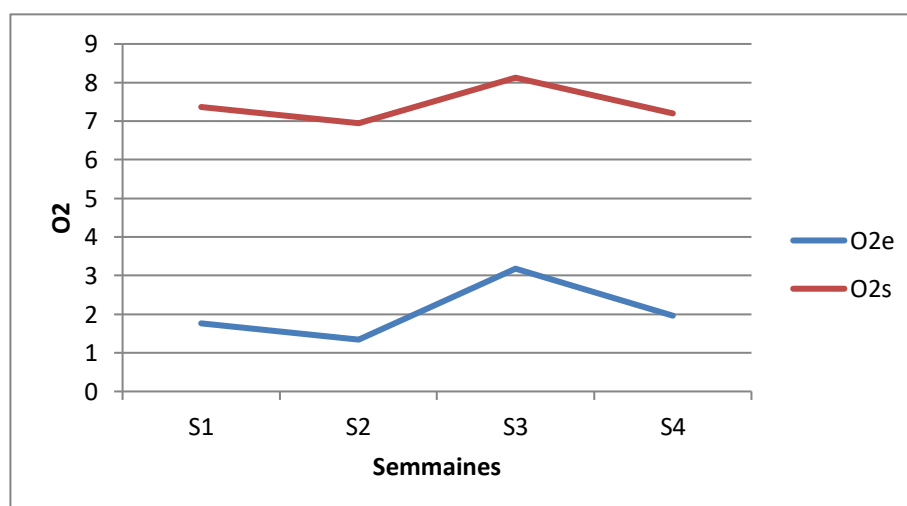


Figure 43: Variation hebdomadaire de l'Oxygène dissous des eaux usées brutes (entrée et sortie) et traitement en temps opportun

On note que la concentration en oxygène pendant la période d'entrée dans l'eau est comprise entre 3,18 comme valeur maximale et 1,39 comme valeur minimale, et à la sortie, la concentration est comprise entre 8,12 et 6,9.

1.7- Demande biochimique en oxygène (DBO5)

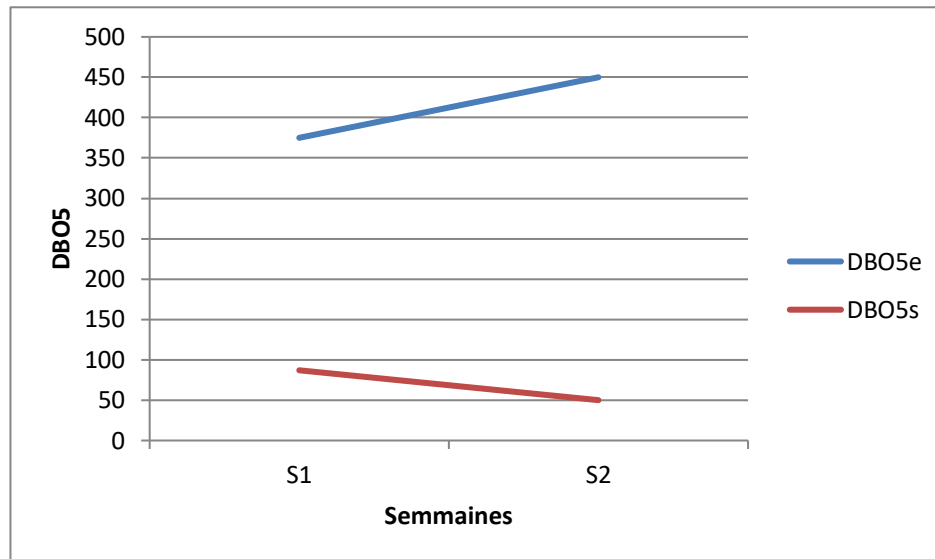


Figure 44: Variation hebdomadaire de **DBO5**dissous des eaux usées brutes(entrée et sortie) et traitement en temps opportun

On remarque que les valeurs de DBO5 lors de l'entrée dans l'eau diffèrent comme un minimum 375 et un maximum 450, contrairement à sa sortie, elle est élevée 87 puis diminue 50.

Cela signifie que la communauté microbienne a augmenté et qu'elle absorbe beaucoup d'oxygène.

1.8- Azote total turbe (NTU)

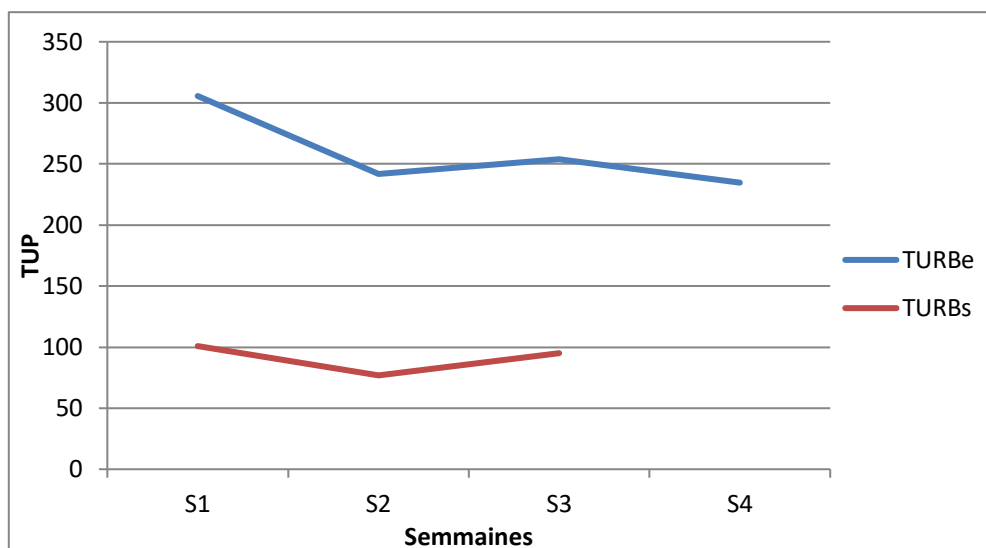


Figure 45: Variation hebdomadaire de **turb (NTU)** dissous des eaux usées brutes(entrée et sortie) et traitement en temps opportun

On note que la valeur moyenne de NT à l'entrée dans l'eau oscille entre une valeur maximale de 305,6 et 234,66 comme valeur minimale par rapport à la valeur moyenne de NT à la sortie de l'eau qui oscille entre 76,85_100,84.

Cela est dû à la présence de sédiments ainsi qu'à l'absorption d'éléments minéraux, c'est-à-dire que plus la turbidité diminue, plus l'eau devient claire.

Dans cette partie nous suivons la croissance de *Arthrospiraplatensis* 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. Suivi lacroissance de *Arthrospiraplatensis* dans le milieu zarrouk

2-1-Température (T°C)

Les résultats que nous avons obtenus de la température sont rassemblés dans l'histogramme

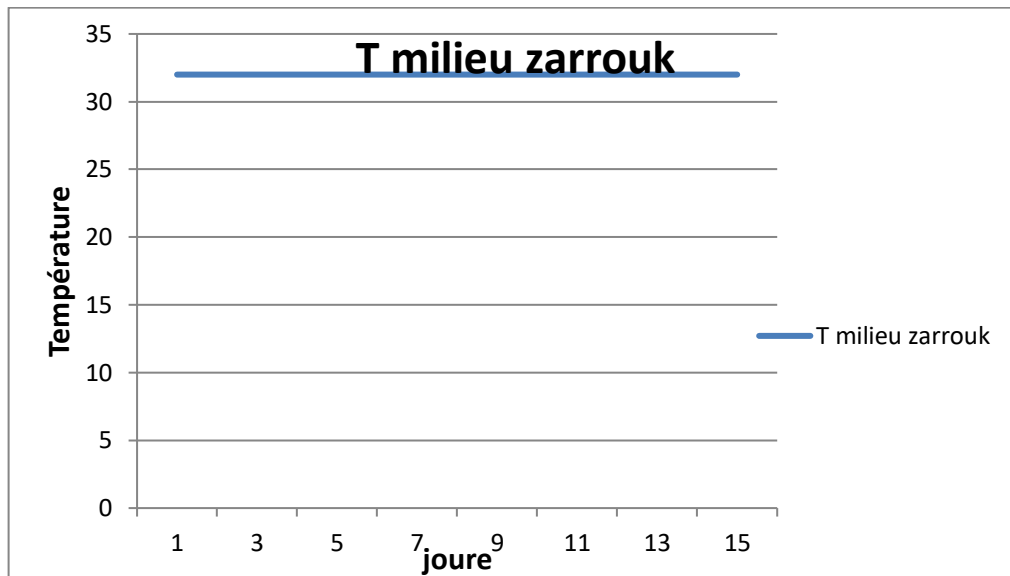


Figure 46: Histogramme de variation de Température T°C dans milieu Zarrouk

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 traduit comme Histogramme.

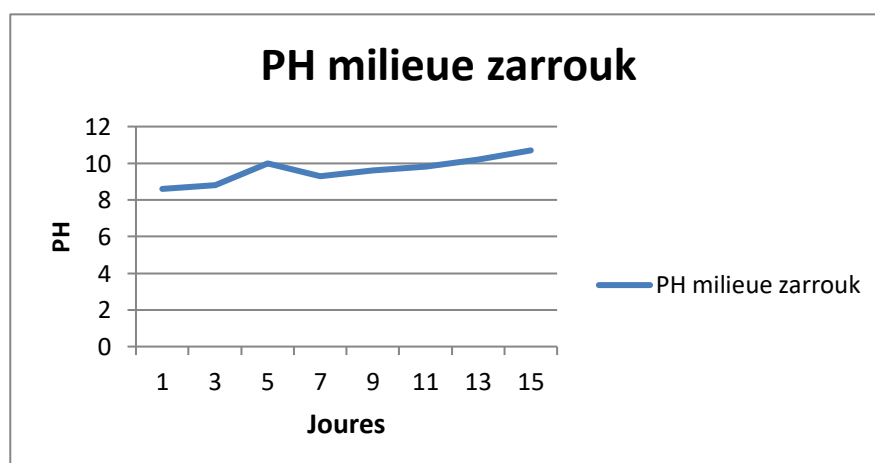
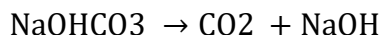


Figure 47: Histogramme de variation potentiel hydrique (PH) dans milieu Zarrouk

On observe une augmentation dans les valeurs de PH de 8.6 jusqu'à 10.7.

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.

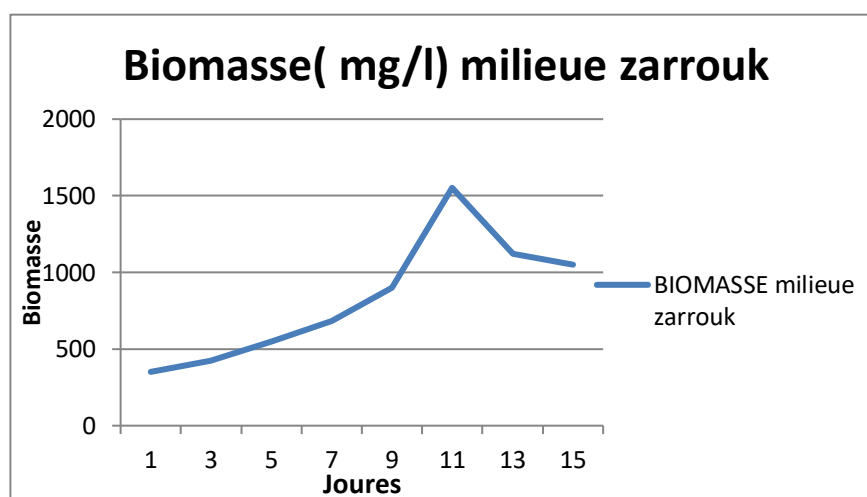


Figure 48 : Histogramme de variation biomasse dans milieu Zarrouk

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.

Les résultats sont également cohérents avec (**Iman Ibrahim et al (2020)**) que le milieu Zarrouk supporte une production de biomasse plus élevée selon les résultats observés par rapport aux autres milieux.

2-4-Conductivité

Les résultats que nous avons obtenus de la Conductivité sont rassemblés dans la Histogramme.

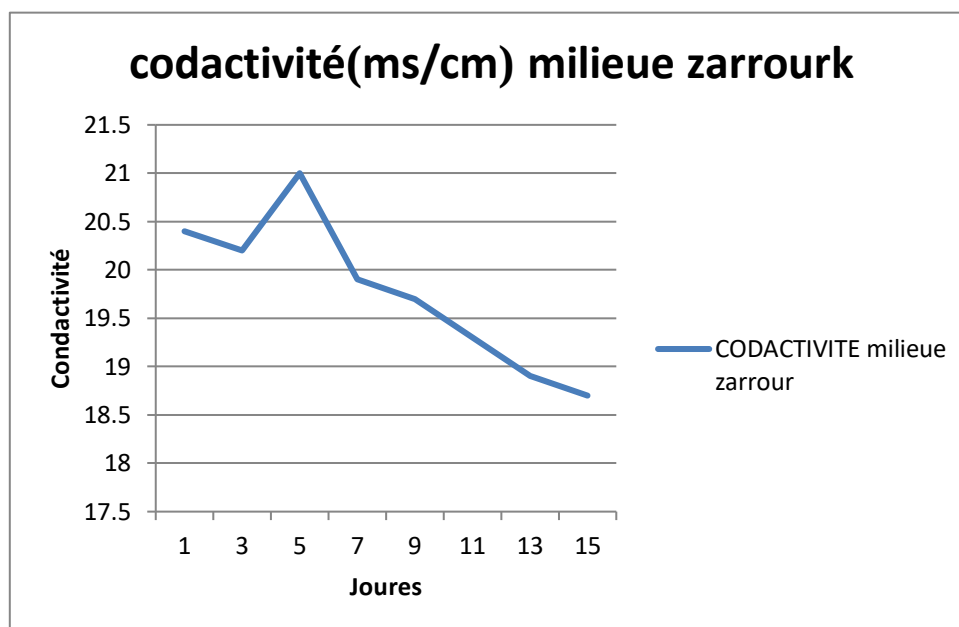


Figure 49: Histogramme de variation conductivité dans milieu Zarrouk

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-Nitrate

Les résultats que nous avons obtenus de la Ammoniac, Nitrate et Nitrite sont rassemblés dans la Histogramme

La diminution de NO_3 se référer à la capacité de spiruline à l'absorption de NO_3 dans les PH inférieur 10.7.

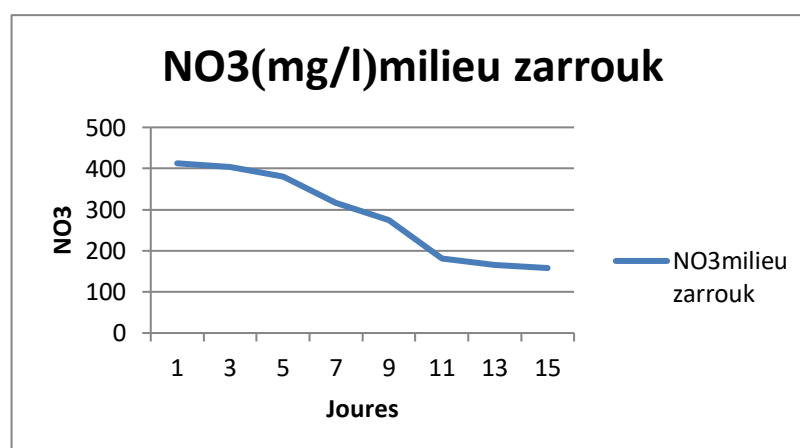


Figure 50: Histogramme de variation des valeurs de NO_3 dans milieu Zarrouk

On observe une diminution de NO_3 .

2-6-Ammoniac et Nitrite

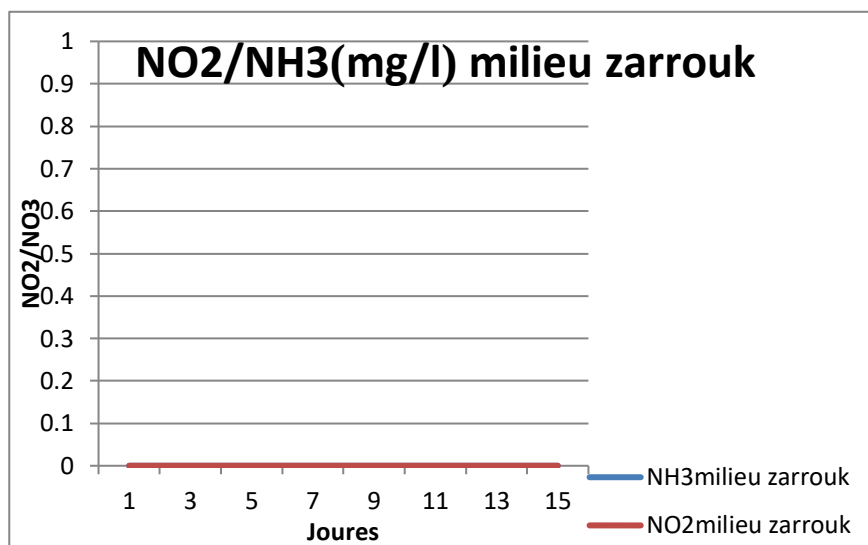


Figure 51: Histogramme de variation des valeurs de NH₃ et NO₂ dans milieu Zarrouk

On observe un manque de NH₃ et NO₂.

La manque de NH₃ et NO₂ se référer au manque de présence dans les composant du milieu culture

2-7-Azote totale

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

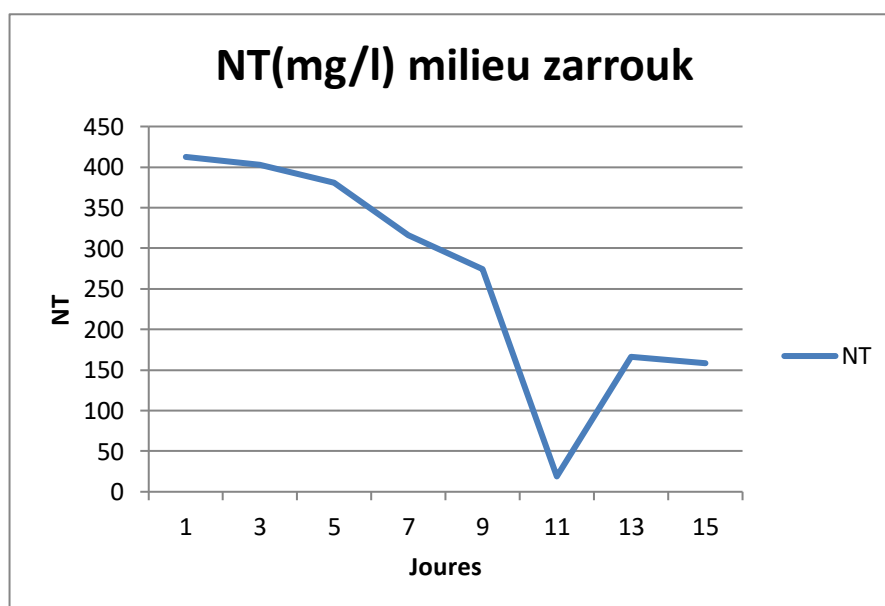


Figure 52: Histogramme de variation des valeurs de l'azote total dans milieu Zarrouk
On observe diminution de NT Référé à la consommation de spiruline à l'azote.

3. Suivi la croissance de *Arthrospiraplatensis* dans milieu ordinaire +8g bicarbonate de sodium

3-1-Température (T°C)

Les résultats que nous avons obtenus de la température sont rassemblés dans la Histogramme.

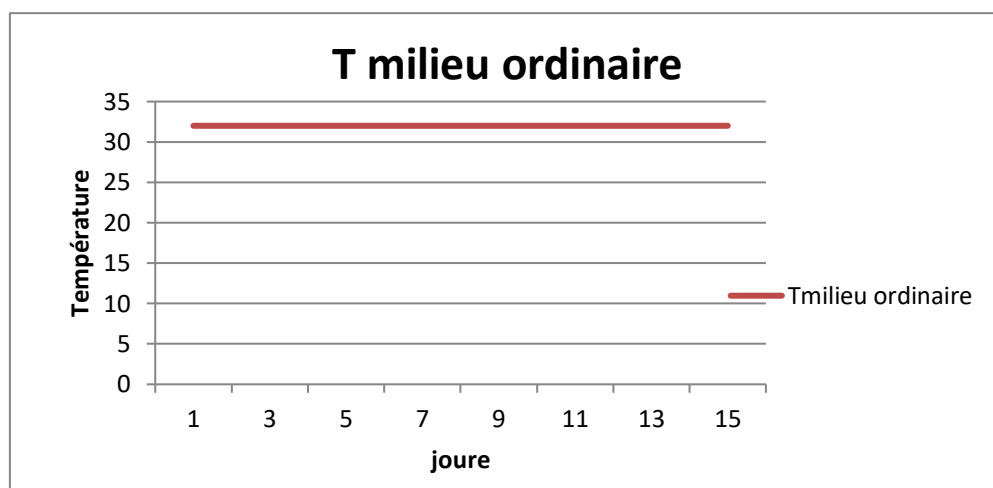


Figure 53: Histogramme de variation de Température T°C dans milieu ordinaire

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

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

3-2 - Potentiel Hydrique (PH)

Les résultats journaliers d'analyse le potentiel hydrique pH sont traduits comme Histogramme.

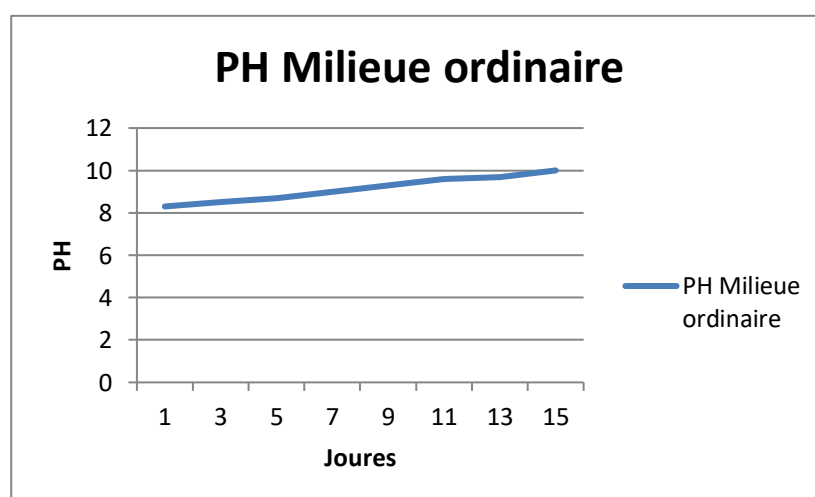


Figure 54 : Histogramme de variation potentiel hydrique (PH) dans milieu ordinaire

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.

3-3-Biomasse

Les résultats que nous avons obtenus de la biomasse sont rassemblés dans la Histogramme.

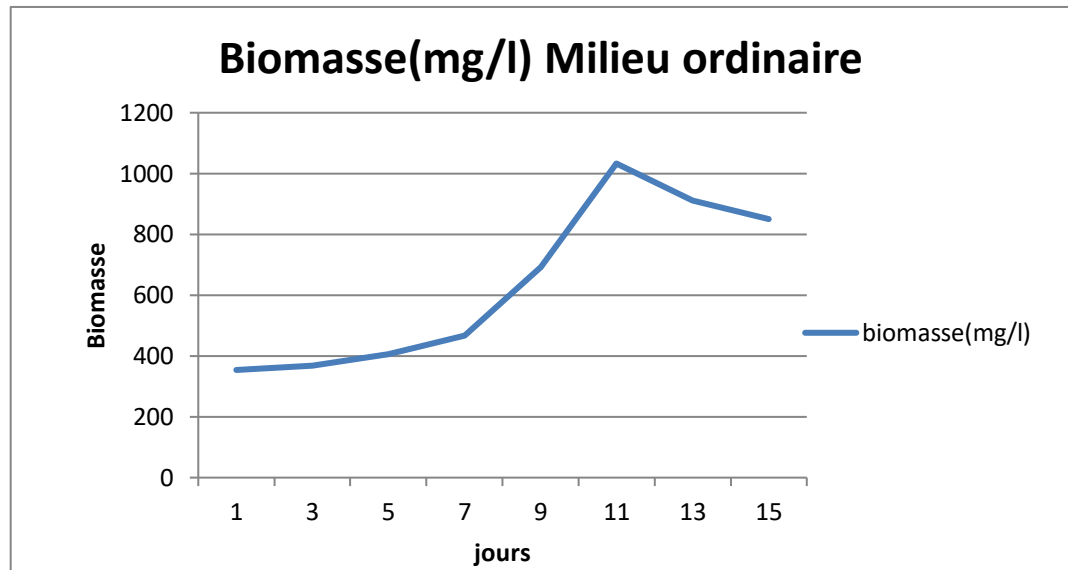


Figure 55: Histogramme de variation biomasse dans milieu ordinaire

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.

3-4-Conductivité

Les résultats que nous avons obtenus de la Conductivité sont rassemblés dans la Histogramme.

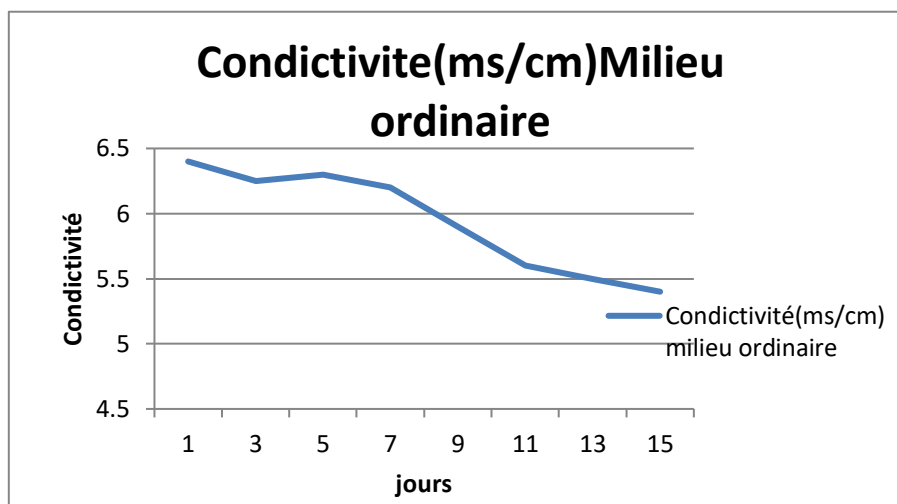


Figure 56 : Histogramme de variation conductivité dans milieu ordinaire

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.

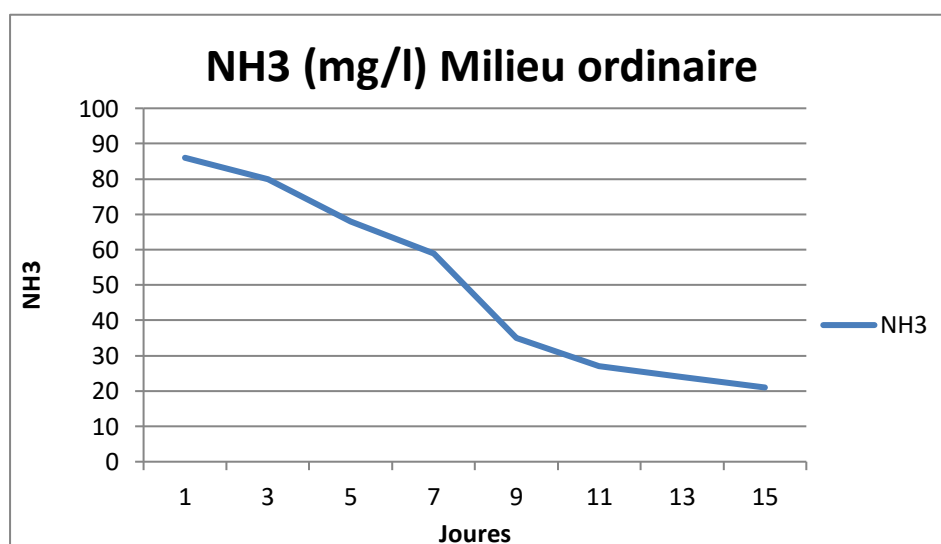


Figure 57: Histogramme de variation des valeurs de NH3 dans milieu ordinaire

On observe diminution de NH3.

3-6-Nitrate et Nitrite

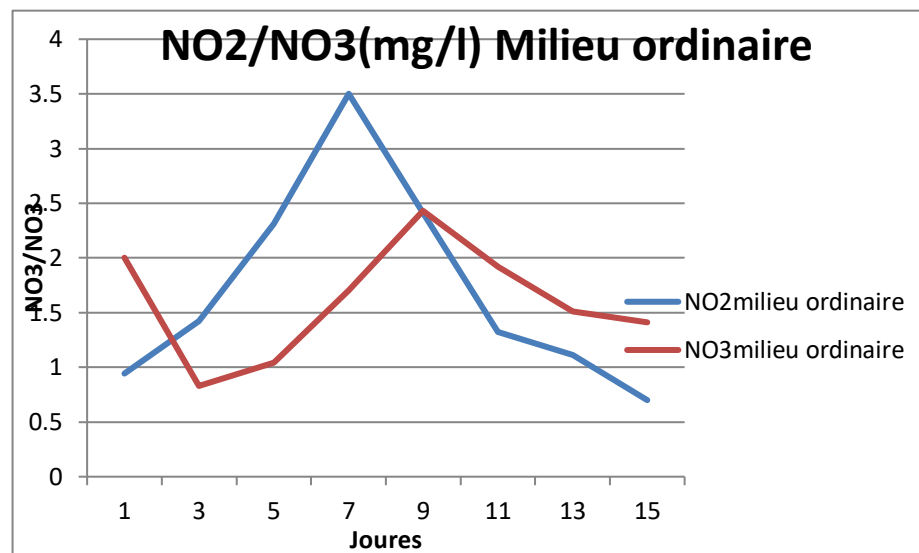
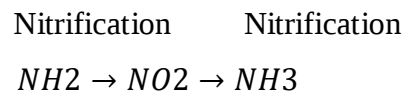


Figure 58 : Histogramme de variation des valeurs de NO2 et NO3 dans milieu ordinaire

On constate une diminution du NO3 à partir de 1 jour (de 1 à 3 jours) correspondant à une montée du NO2 (de 1 à 6 jours), puis le NO3 remonte de 3 à 9 jours, avec une diminution des deux de 9 à 15 jours.

Dans milieu ordinaire se déroule :



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



Meng Fanping(2013) a servi culture de microalgues dans les effluents secondaires : amélioration de la biomasse algale, de l'élimination des nutriments et de la productivité des lipides nous avons trouvé une augmentation puis une diminution de nitrite.

3-7- Azote totale

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

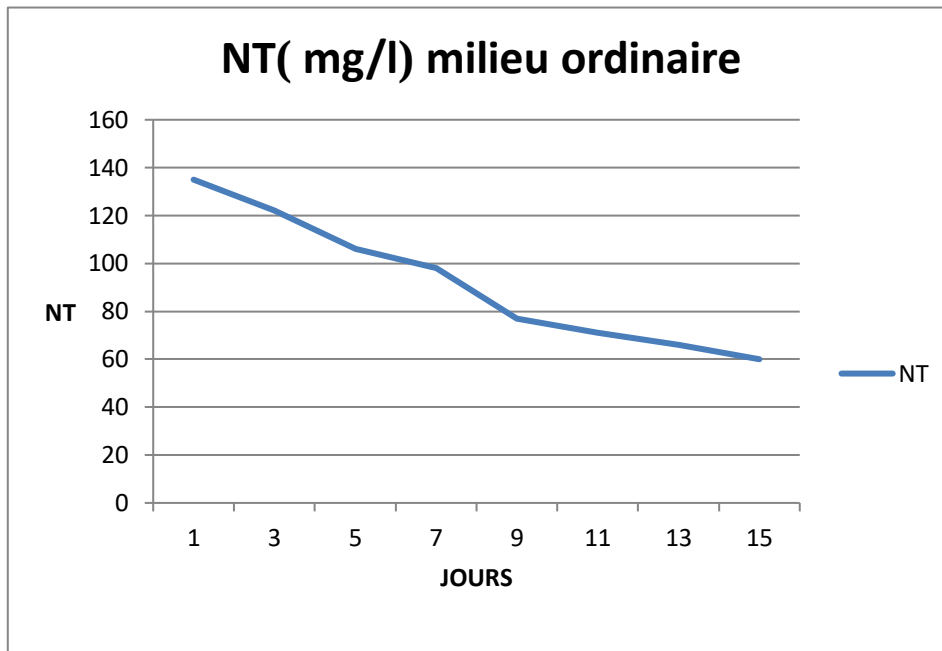


Figure 59: Histogramme de variation des valeurs de NT dans milieu ordinaire

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.

Walter W.Mulbry(1998) a servi traitement des effluents de lisier de porc à l'aide d'algues d'eau douce : production, récupération des éléments nutritifs et composition élémentaire de la biomasse algue à quatre taux de charge des effluents, nous avons trouvé la valeur de nitrogène totale augmen.

Conclusion générale

Conclusion

La bioremédiation est une option qui offre la possibilité de détruire ou de rendre moins toxiques les polluant. Dans le domaine de la bioremédiation, on aura de plus en plus tendance à observer la vitesse de la biodégradation naturelle et à intervenir seulement si l'activité naturelle ne suffit pas pour éliminer assez rapidement le polluant. Les méthodes biologiques faisant appel aux microalgues dépolluants ont prouvé leur efficacité épuratrice pour dépollution biologique des eaux usées connue sous le nom de la phycoremédiation.

Notre travail consiste à déterminer les paramètres physico-chimiques sur les eaux usées dans STEP1Kouinine.

L'évaluation de l'épuration des eaux usées de la STEP1 durant un mois a montré une variation des paramètres physicochimiques des eaux brutes et des eaux sorties avec une diminution des valeurs de pH (7.37 – 7.54), de salinité (2.84 mg/l – 2.75mg/l) et de DBO5 (375 mg/l-87 mg/l) et il y a une augmentation des valeurs de l'oxygène dissous (1.34 mg/l- 8.12 mg/l).

Le suivi de la croissance de la souche *Arthrospira platensis* dans le milieu Zarrouk a montré la biomasse maximale est (1552 mg/l) dans 11^{ème} jours, avec une augmentation de pH (10.5).

Le suivi de bioremédiation des polluants organiques par *Arthrospira platensis* dans les eaux usées de step1kouinine a présenté une diminution important des valeurs de nh3 avec un taux d'élimination est égale 75.58% , ainsi que une diminution des concentrations de no2 et no3 avec un taux d'élimination est égale 25.53% et 29.4% respectivement.

Les résultats des analyses ont montré qu'il y'a une réduction remarquable de ces paramètres, elles restent toujours inférieure au valeurs des eaux usées. ces éléments indiquent la présence ou l'absence de contamination par décomposition de la matière organique.

En conclusion, pour confirmer la sensibilité de ces micro algues et leur efficacité à éliminer les polluants chimiques qui ont probablement trouvé dans les eaux usées mais en raison de, l'absence du réactif, même si on le trouve, est d'une piètre qualité, équipement qui ne fournit pas de résultats précis. ceci qui nous a empêché de terminer notre étude.

Recommandation et perspectives

Dans le cadre d'un travail au futur, il serait souhaitable:

*Construire des systèmes expérimentaux pour tester l'efficacité des micro algues dans un domaine de différentes conditions environnementales dans le traitement eaux usée.

*Utilisation les eaux traitées dans les différents activités fournières, par exemple, on l'utilisée dans l'irrigation des végétaux (les arbres) et de forêt ; quand céteau est riche en minéralisation et en sels minéraux

*Obligation d'effectuer un traitement biologique efficace des eaux usées à l'aide d'un mélange des micro algues et de bactéries comme une étape supplémentaire au traitement physique, chimique et biologique présent dans la station d'épuration.

Reference bibliographie

Références

Alain VAVASSEUR Directeur de recherche à l'Institut de Biologie Environnementale et de Biotechnologies au CEA de Cadarache JUIN 2014.

- **Attilio Converti** Babak Pakdaman Sardrood Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan 32 PUBLICATIONS 255 CITATIONS 10/06/2001).

- **Avigad Vonshak Ben-Gurion**, Spirulina Platensis (Arthrospira) Physiology, Cell-Biology And Biotechnology, University Of The Negev, Israel. 1978.

- **Babak Pakdamansardrood**, An Introduction To Bioremediation, January 2013.

- **Bilanovic, D., Andargatchew, A., Kroeger, T., Shelef, G**, Freshwater And Marine Microalgae Sequestering Of Co₂ At Different C And N Concentrations – Response Surface Methodology Analysis / Energy Conversion And Management, 50. 2009.

- **Borowitzka, M.A**, Microalgae As Source Of Pharmaceuticals And Other Biologically Active Compounds./ Journal Of Applied Algol, 7, 1995.

- **Borowitzka, M.A., Borowitzka, L.J.** Vitamins And Fine Chemicals Form Micro-Algae. Micro Algal Biotechnology. Cambridge University Press, 1988.

- **Chedlyabdely**, Bioremédiation / Phytoremédiation, January 2007.

- **De Villers Juliette**, Squilbin Marianne, Yourassowsky Catherine , Eau Et Environnement Aquatique, Fiche Méthodologique Mars 2011, Optimization Of Arthrospira Platensis (Spirulina) Growth: From Laboratory Scale To Pilot Scale/Fermentation 2017, 3, 59/ 7 November 2017.

- **Dirm Namu**, Direction Interrégionale De La Mer Nord Atlantique Manche Ouest, 2018.

- Dr. R. Salghi, Chimie Des Eaux, April 2017.

- Dr. **Michael R. Templeton**; Prof. David Butler, Introduction To Wastewater Treatment, 2011.

- **Eman Ibrahim Abdel-Aal¹ and Jelan Mofeed^{2,3}**, mass production of arthrospira platensis on the livestock manure for use as a protein source in animal feed, 05/12/2020.

- **F. Rejsek**, Analyse Des Eaux: Aspects Réglementaire Et Techniques. Centre Régional De Documentation Pédagogique D'aquitaine, 2002.

- **FbMettingJr**, Biodiversity And Application Of Microalgae. Journal Of Industrial Microbiology, 17, 1996.
- **Fedor.K.Nd**, Monograph Alejandra GuastoWojciechWaliszewskiColegio Bolivar 2018-2019.
- **FilaliMouhim, R., Cornet, J.-F., Fontane, T., Fournet, B., Dubertret, G**, Production, Isolation And Preliminary Characterization Of The Exopolysaccharide Of The Cyanobacterium*Spirulina Platensis*. Biotechnol. Lett. 15, June 1993.
- **Folmer F., Jaspars M., Dicato M.,Diederich**, Photosynthetic Marine Organisms As A Source Of Anticancer Compounds. Phytochemistry Reviews, 2010.
- **Friedrich Jung And Anne Krüger-Genge**, Journal Of Cellular Biotechnology (5), April 2019.
- **G. Uermazi** W Assim, De Pollution Et Nuisances, 2016 – 2017.
- **Gustafson, K.R., Cardellina, J.H., Fuller, R.W., Weislow, O.S., Kiser, R.F., Snader, K.M., Patterson, K.M.L., Boyd, M.R**, Aids-Antiviral Sulfolipids From Cyanobacteria (Blue-Green Algae)./ Journal Of The National Cancer Institute. 81, 1989.
- **Hussein Abdel-Shafy/Mona S. M. Mansour**, Phytoremediation For The Elimination Of Metals, Pesticides, Pahs, And Other Pollutants From Wastewater And Soil, Egypt ,December 2018.
- **Bokova Et G.Ryder Et...** ,Rapport Mondial Nations Unies Sur La Mise En Valeur Des Ressources En Eau; Les Eaux Usées Une Ressource Inexploitée 2017.
- **Indu Sharma**Bioremediation Techniques for PollutedEnvironment: Concept, Advantages, Limitations, and Prospects17/12/2020).
- **Indu Sharma** Bioremediation Techniques For Polluted Environment: Concept, Advantages, Limitations, And Prospects, Published: December 7, 2020.
- **Jean-Claude Boeglin**,Inventaire Des Traitementsd’eaux Résiduares,1997.
- **Jean-Louis Rastoin**,Le Secteur Des Micro-Algues En Méditerranée Perspectives Et Contribution Au Développement Durable, 27 Juillet 2016 .
- **Jourdan P.** « Cultivez Votre Spiruline Manuel De Culture Artisanale De La Spiruline. Antenne Technologie,Genève» . 1999.
- **Julie Person** , Algues, Filières Du Futur, Adebiotech – Romainville – Juillet 2011.
- **M. Singhal et al** Microalgae Based Sustainable Bioremediation of Water Contaminated by Pesticides , Published: 19.04.2021).

- **Maeda, K., Owada, M., Kimura, N., Omata, K., Karube, I,** Co2 Fixation From Flue Gas On Coal Fired Thermal Power Plant By Microalgae./ Energy Conversion And Management, 36(6-9),1995.
- **Magalie Turgeon**, Fiche Descriptive : Biobarbotage, 22 Mars 2019/ Canada
- **Marianne Brien,etal**Fiche descriptive Biobarbotage Auteur et mise à jour Fiche rédigée par De Magalie Turgeon, Conseil national de recherches Mise à jour par : Karine Drouin, M.Sc., Conseil national de recherches Date de mise à jour : 1 avril 2009
- **Matsumoto, H., Shioji, N., Hamasaki, A., Ikuta, Y., Fukuda, Y., Sato, M., Endo, N., Tsukamoto, T,** Carbon Dioxide Fixation By Microalgae Photosynthesis Using Actual Flue Gas Discharged From A Boiler.51/52, 1995.
- **Michael** Madigan/John Martinko, Brock Biologie Des Micro-Organismes, Pearson Education France,2007.
- **Milledge. J (John.J- Milledge),**Commercial Application Of Microalgae Other Than As Biofuels: A Brief Review./ Reviews In Environmental Science And Biotechnology, 10(1). 2011.
- **Mona S. M. Mansour et Hussein Abdel-Shafy** Phytoremediation for the Elimination of Metals, Pesticides, PAHs, and Other Pollutants from Wastewater and Soil /Chapter • December 2018.
- **Moreau, D., Tomasoni, C., Jacquot, C., Kaas, R., Le Guedes, R., Cadoret, J-P., Muller-Feuga, A., Kontiza, I., Vagias, C., Roussis, V., Roussakis, C,**Cultivated Microalgae And The Carotenoid Fucoxanthin From *OdontellaAurita* As Potent Anti-Proliferative Agents In Bronchopulmonary And Epithelial Cell Lines, 2006.
- **MuskanSinghal** 1, Swapnalijadhav 2, Swaroop S. Sonone 2, Mahipal Singh Sankhla 3,*, Rajeev Kumar, Microalgae Based Sustainable Bioremediation Of Water Contaminated By Pesticides, India, 19.04.2021.
- **MuskanSinghal**, Microalgae Based Sustainable Bioremediation Of Water Contaminated By Pesticides, 19.04.2021, India.
- **O.N.A** Office Nationale D'assainissement.
- **Padmini Dutta et DR Sukumar**Bhakti Applied algal biotechnology PHYCOREMEDIATION OF WASTEWATER, May 2020.
- **Patterson, G.M.L., Baldwin, C.L., Bolis, C.M., Caplan, F.R., Karuso, H., Larsen, L.K., Levine, I.A., Moore, R.E., Nelson, C.S., Tschappat, K.D., Tuang, G.D., Furusawa, E., Furusawa, S., Norton, T.R., Raybourne, R.B,** Antineoplastic Activity Of Cultured Blue-Green Algae (Cyanophyta)/ Journal Of Phycology. 27, 1991.

- **Pauline Spolaore^{1,2*} Claire Joannis-Cassan,¹Elie Duran,² And Arsène Isambert¹**, Commercial Applications Of Microalgae/ Journal Of Bioscience And Bioengineering, 2006.
- **Raul Muñoz^{aB}benoitGuieysse^a**, Algal-Bacterial Processes For The Treatment Of Hazardous Contaminants/ A Review. Water Research 40, 2006
- **Rejsek, Analyse Des Eaux; Aspect Réglementaire Et Techniques,/ ScrérénCrdpaQuitaine, Bordeaux,2002.**
- **Ripley D Fox**,La Calade, Aix-En-Provence/ Algoculture : La Spirulina, Un Espoir Pour Le Monde De La Faim, 1986.
- **Roberto De Philippis, Massimo Vincenzini ***, Exocellular Polysaccharides From Cyanobacteria And Their Possible Applications./ FemsMicrobiol. Rev. 226 August 1998.
- **Rodier J.**, Bazing C., Broutin J. P., Chambon P., Champsaur H., Rodi L., 2005: L'analyse De L'eau, Eaux Naturelles, Eaux Résiduelles, Eau De Mer, Chimie, Physico-Chimie, Microbiologie, Biologie Interprétation Des Résultats.EdDunod, Paris, P 1384.
- **S .Paul**, Bactériologie: Pour La Médecine, La Biologie Et Les Biotechnologies, Dunod,2005.
- **S. Baumont**, Réutilisation Des Eaux Usées Epurées : Risques Sanitaires Et Faisabilité En Île-De-France,2005.
- **Saliha TEKFI** Magazine de la Recherche, du Développement et de l'Innovation Version imprimée ISSN 2027-8306 Version en ligne ISSN 2389-9417 Revue de recherche. Développement. innover vol.9 no.1 /17/12/ 2018.(
- **SebnemAslan**, IlgiKarapinarKapdan, Batch Kinetics Of Nitrogen And Phosphorus Removal From Synthetic Wastewater By Algae/ Ecological Engineering, 28,2006.
- **syedamirmanzoor**introduction and application of bioremediation /category:environmental-biotechnology/Date:2011-11-20-6:02:17.
- **Syedamirmanzoor**,Introduction And Application Of Bioremediation 2011-11-20.
- **Tamponet, C., Savage, C., Amblard, P., Laserre, J.C., Personne, J.C., Germain, J.C**,Water Recovery In Space/ Bulletin Ase. European Space Agency 97,1999.
- **V. Mary Kensa**, Bioremediation - An Overview, Accepted Date: 15 June 2011/India.

- **Van Eykelenburg, C**, On The Morphology And Ultra Structure Of The Cell Wall Of *Spirulina Platensis*/ Antonie Van Leeuwenhoek 43, (1977).
- **Vavasseur**, Bioremédiation Des Sols Et Des Eaux : Application Aux Pollutions Chimique Et Nucléaire Juin 2014.
- Villeurbanne **Cedex**, Conductivité Théorie Et Pratique, **Radiomètre Analytical Sas • France**, 2004.
- **Vonshak, Avigad**, *Spirulina Platensis* (Arthrospira): Physiology, Cell-Biology And Biotechnology, Journal Of Applied Phycology 9. 01/06/1997.
- **Vonshak, Avigad**, *Spirulina Platensis* (Arthrospira): Physiology, Cell-Biology And Biotechnology/ Journal Of Applied Phycology 9.1997/ /06/01.
- **Walter De Gruyter, Berlin**, :Marine Algae And Their Products And Constituents In Pharmacy, Berlin, New York, 1979.
- **Walter W.Mulbry**, Problèmes liés aux algues et au phytoplancton, 1998.

Site Internet

- **[https://www.Applied Algal Biotechnology PHYCOREMEDIATION OF WASTEWATER.net](https://www.Applied%20Algal%20Biotechnology%20PHYCOREMEDIATION%20OF%20WASTEWATER.net)**.
- www.bilifou.ch
- <https://www.researchgate.net>
- <https://www.sciencedirect.com>

Annexes

Annexe 01:

1- Matériel de laboratoire



A: NAOH



B: NACH



C: Bouteille DBO(WTW) et oxitop et cawitchaux(Noah)



D: Réactifs DCO (LCK 314) gamme (15 à 150 mg/l) pour les faibles concentrations et Réactifs DCO (LCK 114) gamme (150 à 1000 mg/l) pour les fortes concentrations



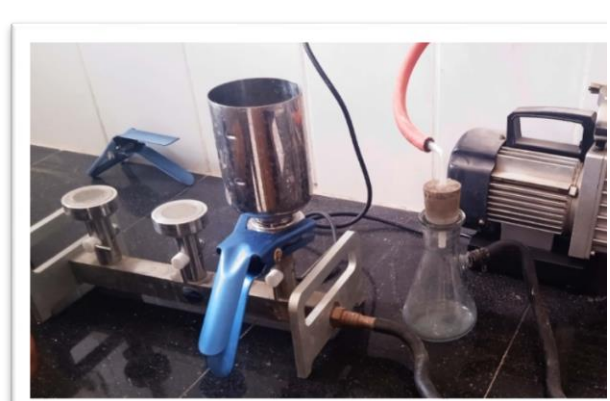
E: DBO mètre (WTW)



F: spectrophotomètre



K: autoclave et etuve (incubateur 37°C)



L: ensemble filtration



G: (balance)



H: papier filtre



I: spectrophotomètre électrique



J: conductivité mètre



O les sondes



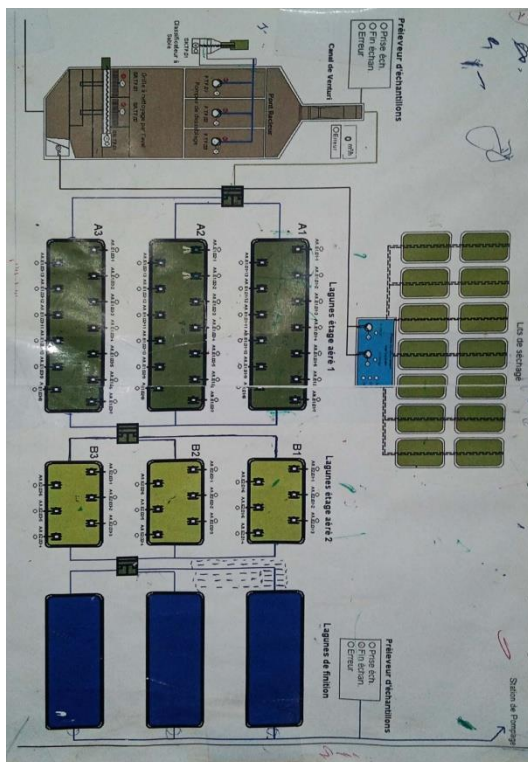
P: Dessiccateur



M: pH mètre



Spectrophotomètre HACK



O: Schéma de la STEP 1



Lampe

[illegible]

2021																		
17-01-2021	74	742					-	-	551	518	29	27	147	134	241	732	319	724
18-01-2021	759	752					-	-	513	514	27	27	159	122	288	87	233	681
19-01-2021	776	777					-	-	541	514	29	27	137	128	285	105	399	887
20-01-2021	739	747					-	-	535	509	29	27	154	123	270	103	297	904
21-01-2021	737	755					-	-	522	511	28	27	161	125	184	107	342	867
22-01-2021	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
24-01-2021	749	762					-	-	531	515	28	27	136	114	204	956	27	944
25-01-2021	734	726	100	10	450	50	-	-	537	511	29	27	198	15	184	774	163	74
26-01-2021	74	729					-	-	522	507	28	27	201	164	207	746	204	721
27-01-2021	739	747					-	-	546	521	29	28	188	151	214	112	226	582
28-01-2021	735	75					-	-	537	518	28	27	204	166	304	996	095	614
29-01-2021	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
30-01-2021	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
31-01-2021	728	742					-	-	542	517	29	27	219	179	295	103	221	716

Tableau N°1: Analyse physico-chimiques des eaux brutes et traités de la S.T.E.P 1 de Kouinine.

Annexe 03:**Tableau N°03:** Résultats des analyses de **Température** des eaux brutes et traitées.

Ts	Te	
11.18	15.5	S1
14.475	18.275	S2
12.64	15.16	S3
15.4	19.1	S4

Tableau N°02: Résultats des analyses de **Potentiel Hydrique (PH)** des eaux brutes et traitées.

PHs	Phe	
7.548	7.392	S1
7.345	7.4175	S2
7.546	7.502	S3
7.426667	7.375	S4

Tableau N°03: Résultats des analyses de **salinité** des eaux brutes et traitées.

SALs	SALe	
2.72	2.98	S1
2.75	2.85	S2
2.7	2.84	S3
2.716	2.85	S4

Tableau N°04: Résultats des analyses **L'oxygène dissous (O₂)** des eaux brutes et traitées.

Os	Oe	
7.364	1.766	S1
6.9475	1.3425	S2
8.126	3.18	S3
7.195	1.965	S4

Tableau N°05: Résultats des analyses de **conductivité** des eaux brutes et traitées.

CONDs	CONDe	
5.144	5.574	S1
5.165	5.3625	S2
5.132	5.324	S3
5.148	5.3583	S4

Tableau N°06: Résultats des analyses de **L'azote total turbe (NTU)** des eaux brutes et traitées.

TURBs	TURBe	
100.84	305.6	S1
76.85	242	S2
95.04	253.6	S3
93.7	234.66	S4

Tableau N°07: Résultats des analyses de **Demande biochimique en oxygène (DBO5)** des eaux brutes et traitées.

DBO5s	DBO5e	
87	375	S1
50	450	S2

Tableau N°08: Résultats des analyses de **Matières en suspension (MES)** des eaux brutes et traitées.

MESs	MESe	
13.33	454	S1
10	100	S2

Annexe 04:**Tableau N°01:** Suivi de croissance Milieu Zarrouk+ (**Température**)

T milieu zarrouk	
32	1
32	3
32	5
32	7
32	9
32	11
32	13
32	15

Tableau N°02: Suivi de croissance Milieu Zarrouk+ (**Potentiel Hydrique (PH))**

PH milieue zarrouk	
8.6	1
8.8	3
10	5
9.3	7
9.6	9
9.8	11
10.2	13
10.7	15

Tableau N°3: Suivi de croissance Milieu Zarrouk+- (**Conductivité**)

CODACTIVITE milieu zarrouk	
20.4	1
20.2	3
21	5
19.9	7
19.7	9
19.3	11
18.9	13
18.7	15

Tableau N°4: Suivi de croissance Milieu Zarrouk+- (**Biomasse**)

BIOMASSE milieu zarrouk	
351	1
422	3
551	5
682	7
901	9
1552	11
1122	13
1051	15

Tableau N°5 Suivi de croissance Milieu Zarrouk+- (**Ammoniac NH3**)

NH3milieu zarrouk	
4126	1
404	3
380.7	5
316.3	7
274.6	9
180.9	11
166	13
158	15

Tableau N°6: Suivi de croissance Milieu Zarrouk+ (**Nitrate et Nitrite**)

NO2milieu zarrouk	NH3milieu zarrouk	
0	0	1
0	0	3
0	0	5
0	0	7
0	0	9
0	0	11
0	0	13
0	0	15

Tableau N°7: Suivi de croissance Milieu Zarrouk+ (**L'Azote totale**)

NT(mg)	
412.5	1
403	3
380.6	5
316.3	7
274.5	9
189	11
166.5	13
158	15

Annexe 05:**Tableau N°1:** Milieu ordinaire + 8g Bicarbonate de sodium (**Température**)

Tmilieu ordinaire	
32	1
32	3
32	5
32	7
32	9
32	11
32	13
32	15

Tableau N°2: Milieu ordinaire + 8g Bicarbonate de sodium (**Potentiel Hydrique (PH))**

PH Milieue ordinaire	
8.3	1
8.5	3
8.7	5
9	7
9.3	9
9.6	11
9.7	13
10	15

Tableau N°3: Milieu ordinaire + 8g Bicarbonate de sodium (**Biomasse**)

biomasse(mg/l)	
354	1
369	3
407	5
468	7
692	9
1033	11
911	13
851	15

Tableau N°4: Milieu ordinaire + 8g Bicarbonate de sodium (**Conductivité**)

Conductivité(ms/cm) milieu ordinaire	
6.4	1
6.25	3
6.3	5
6.2	7
5.9	9
5.6	11
5.5	13
5.4	15

Tableau N°5: Milieu ordinaire + 8g Bicarbonate de sodium (**Ammoniac NH₃**)

NH ₃	
86	1
80	3
68	5
59	7
35	9
27	11
24	13
21	15

Tableau N°6: Milieu ordinaire + 8g Bicarbonate de sodium (**Nitrate et Nitrite**)

NO ₃ milieu ordinaire	NO ₂ milieu ordinaire	
2	0.941	1
0.83	1.421	3
1.041	2.311	5
1.701	3.501	7
2.431	2.411	9
1.921	1.321	11
1.51	1.11	13
1.41	0.7	15

Tableau N°7: Milieu ordinaire + 8g Bicarbonate de sodium **L'azote total turbe (NTU)**

NT(mg/l)	
135	1
122	3
106	5
98	7
77	9
71	11
66	13
60	15