



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 حمّة لخضر الوادي

Université Echahid Hamma Lakdhar- EL OUED

كلية العلوم الطبيعية 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

Spécialité : Toxicologie

THEME

**La Bioremediation des eaux usées par des
microalgues dans la région d'El Oued.**

Présenté Par :

M^{elle} : GHARMOULI Donia Elhana

M^{elle} : ABDAOUI Aya

M^{elle} : SOUIDE Amira

Devant le jury composé de :

Présidente MAA Mme. BOUKHARI Dalal Université d'El Oued.

Examinatrice MCA Mme. MEDILA Ifrikya Université d'El Oued.

Promoteur MAA Mr. KIRAM Abderrazak Université d'El Oued.

Remerciement

Nous ne remercions qu'Allah, pour le courage qu'il nous a donné pour surmonter toutes les difficultés durant nos années d'étude.

Ce travail est le fruit de la collaboration de plusieurs personnes qui méritent toute notre gratitude.

*Nous remercions vivement notre encadreur Monsieur **KIRAM Abderrazak**, qui nous avons fait le grand honneur de diriger ce travail. Votre compréhension, votre collaboration et vos précieuses directives nous ont été d'un grand secours afin de mener à bien notre mémoire.*

*Nous remercions également chaleureusement les différents membres du jury **Mme. BOUKHARI Dalal**, **Mme. MEDILA Ifrikya***

Enfin, nous ne pouvons pas oublier de remercier tous nos professeurs, collègues et tous ceux qui nous ont aidés de près ou de loin.

Dédicace

La présentation de ce modeste travail m'offre l'occasion

A Mes chers parents A Toute ma famille

A Tous ceux qui me sont chers

A Tous mes amis

*À tous mes éminents professeurs qui ont éclairé mon chemin avec
la science et la connaissance.*

*A tous les amis et camarades de la première étape et de la dernière
étape à ceux qui étaient dans les années maigres nuages pluvieux je
suis très reconnaissant*

✍ Donia

✍ Aya

✍ Amira



Résumé

Résumé

Notre étude est basée et visée à l'étude le taux d'élimination des polluants organiques de les eaux usées par *Arthrospira platensis* dans les STEP N°1 Kouinine, différente technique de culture spiruline, différente technique de traitement d'eaux usées et apprendre les différentes analyses physico-chimiques. Notre travail est organisé selon une approche scientifique des données références et expériences de laboratoire.

Les résultats obtenus du suivi de croissance d'*Arthrospira platensis*, la stabilité de température (32 °C), augmentation du pH de milieu et une augmentation de biomasse de, une diminution de la CE et absence de amoniac et nitrite dans le milieu, une diminution de valeur de nitrate et de nitrogène totale.

Les résultats obtenus du suivi de la bioremédiation du polluant organique par *Arthrospira platensis*, la stabilité de la température (32 °C), augmentation du pH de l'eau d'entre filtre et une augmentation puis une diminution de biomasse, une iminution de la CE. une élimination de polluant organique (ammoniac, nitrite, nitrate) par l'*Arthrospira platensis* .une diminution de la nitrogène totale.

Mots clés: spiruline, *Arthrospira platensis*, El-Oued, STEP 01 Kouinine, bioremédiation «eaux usées, polluants organiques.

Abstract:

Our study is based and aimed at studying the rate of elimination of organic pollutants from wastewater by *Arthrospira platensis* in STEP N°1 Kouinine, different spirulina cultivation technique, different wastewater treatment technique and learning the different physico-chemical analyses. Our work is organized according to a scientific approach to reference data and laboratory experiments.

The results obtained from monitoring the growth of *Arthrospira platensis*, the temperature stability (32 °C), increase in the pH of the medium and an increase in biomass of, a decrease in the EC and absence of ammonia and nitrite in the medium, a decrease total nitrate and nitrogen value.

The results obtained from the monitoring of the bioremediation of the organic pollutant by *Arthrospira platensis*, the stability of the temperature (32 °C), increase in the pH of the water between filters and an increase then a decrease in biomass, a decrease in the EC . an elimination of organic pollutant (ammonia, nitrite, nitrate) by *Arthrospira platensis*. a decrease in total nitrogen.

Key words : spirulina, *Arthrospira platensis*, El-Oued, STEP 01 Kouinine,

ملخص

تعتمد دراستنا وتهدف إلى دراسة معدل التخلص من الملوثات العضوية من مياه الصرف الصحي بواسطة *Arthrospira platensis* في STEP N ° 1 Kouinine، وتقنية زراعة سبيرولينا المختلفة، وتقنيات معالجة مياه الصرف الصحي المختلفة وتعلم التحليلات الفيزيائية والكيميائية المختلفة. تم تنظيم عملنا وفق منهج علمي للبيانات المرجعية والتجارب المعملية.

النتائج التي تم الحصول عليها من مراقبة نمو *Arthrospira platensis*، واستقرار درجة الحرارة (32 درجة مئوية)، وزيادة درجة الحموضة في الوسط وزيادة الكتلة الحيوية، وانخفاض في EC وغياب الأمونيا والنترت في الوسط، وانخفاض إجمالي قيمة النترات والنيتروجين.

النتائج التي تم الحصول عليها من مراقبة المعالجة الحيوية للملوثات العضوية بواسطة *Arthrospira platensis*، ثبات درجة الحرارة (32 درجة مئوية)، زيادة الرقم الهيدروجيني للماء بين المرشحات وزيادة ثم انخفاض الكتلة الحيوية، انخفاض في EC. التخلص من الملوثات العضوية (الأمونيا، النترت، النترات) بواسطة *Arthrospira platensis*، انخفاض في إجمالي النيتروجين.

الكلمات المفتاحية: Spirulin، *Arthrospira platensis*، الوادي، المحطة الأولى

كوينين، المعالجة الحيوية مياه الصرف الصحي، الملوثات العضوية.

Liste des Figures

Figure 01 : Diversité des formes des microalgues.....	5
Figure 02 : A :Arthrospira (Spiulina) platensis.....	8
Figure 03 : Cycle de vie de la spiruline.....	10
Figure 04 : Composition chimique de la spiruline	11
Figure 05 : Représentation schématique de simulations de traitement des eaux usées avec culture de biomasse de microalgues.	20
Figure 06 : Le pollution de l'eau	27
Figure 07 . Sources de contamination et transfert jusqu'au milieu littoral.....	30
Figure 08 . Configuration classique des boues activées	34
Figure 09 . Type de traitement des eaux usées.....	35
Figure 10 : Carte de situation de STEP 01 Kouinine	39
Figure 11 : schéma présenté station de lagunage aéré de STEP de Kouinine N°01	40
Figure 12 : Dégrillage.....	40
Figure 13 : Dessablage.....	41
Figure 14 : Répartiteur vers les bassins d'aération.....	41
Figure 15 : Lagune aéré	42
Figure 16 : Aérateur.....	42
Figure 17 : Lagune de finition.	43
Figure 18 : Lit de séchage des boues.....	44
Figure 19 : La souche de spiruline Arthrospira platensis	46
Figure 20 : étape de préparation des milieux de culture	52
Figure 21 : spectrophotomètre	53
Figure 22 : Conductimètre (Sens ion5)	55
Figure 23 : PH mètre (Sens ion 1)	56
Figure 24 : Oxymètres (LDO HQ 30d)	56
Figure 25 : Etapes de mesure l'azote totale	57
Figure 26 : système de tests en cuve LCK 342.....	58
Figure 27 : système de tests en cuve LCK 339.....	59
Figure 28: Variation journalière de la température des eaux brutes et traitées dans le temps..	61
Figure 29: Variation journalière de Ph des eaux brutes et traitées dans le temps	62
Figure 30: Variation journalière de la conductivité des eaux brutes et traitées dans le temps.	63
Figure 31: Variation journalière de la salinité des eaux brutes et traitées dans le temps	64

Figure 32: Variation journalière de L'oxygène dissous des eaux brutes et traitées dans le temps	65
Figure 33 : Courbe d'analyse de la demande biologique en oxygène (DBO5) des eaux brutes et traitées dans le temps.	66
Figure 34 : Courbe d'analyse de la demande chimique en oxygène (DCO) des eaux brutes et traitées dans le temps.	67
Figure 35: Variation journalière de MES des eaux brutes et traitées dans le temps	68
Figure 36: Courbe d'analyse de Nt des eaux usées brutes et traitées dans le temps.	69
Figure 37 : Evolution de la Température dans le milieu de culture.	70
Figure 38 : Evolution du pH dans le milieu de culture de la spiruline.	71
Figure 39: Evolution de la biomasse dans le milieu de culture de la spiruline.	72
Figure 40 : Evolution de la Conductivité électrique (CE) dans le milieu de culture de la spiruline.	73
Figure 41 : Evolution du nitrogène totale dans le milieu de culture de la spiruline.....	74
Figure 42 : Evolution de la Température dans l'eau d'entre filtre.	75
Figure 43 : Evolution du pH dans l'eau d'entre filtre.	75
Figure 44 : Evolution de la biomasse dans l'eau d'entre filtre.	76
Figure 45 : Evolution du Conductivité électrique dans l'eau d'entre filtre	77
Figure 46 : Evolution de l'Ammoniac (NH3) dans l'eau d'entre filtre.	78
Figure 47 : Evolution de Nitrite (NO2) et Nitrate (NO3) dans l'eau d'entre filtre.	78
Figure 48 : Evolution de Nitrogène totale (NT) dans l'eau d'entre filtre.	79

Liste des tableaux

Tableau 01: Domaines d'application de la spiruline.....	16
Tableau 02 : Quelques Microalgues utilisées pour le traitement des différentes eaux usées..	22
.....	22
Tableau 03 Principaux types de pollution des eaux continentales, nature de produits polluants et leurs origines.....	29
Tableau 04 : Composition chimique du milieu de culture (milieu de Zarrouk).....	51
Tableau 05 : Suivi de croissance d' <i>Arthrospira platensis</i> dans le Milieu Zarrouk.	70
Tableau 06: Suive de la bioremédiation du polluant organique par <i>Arthrospira platensis</i>	74

Liste des abréviations.

A1,A2,A3: lagunes aérée.

CO₂ : Dioxyde de carbone.

DCO:Demande chimique en oxygène.

DBO : Demande biochimique en oxygène.

EDTA:Ethylene Diamine Tetraacetatic Acide.

ERU:eaux résiduaires urbaines.

MES:matière en suspension.

MgSO₄.7H₂O: magnesium sulfate heptahydrate.

Na₂CO₃:sodium carbonate.

NaNO₃:sodium nitrate.

NH₃:ammoniac.

NO₂:nitrite.

NO₃:nitrate.

Nt:L'azote total .

ONA:Office National d'Assainissement.

pH:potentiel hydrogène.

POPS : Polluant organique persistant.

SOD : Super Oxyde Dismutase.

STEP 2 (STEP) Station de traitement des eaux pollué.

TDS:Solides totaux dissous.

TH:Titre hydrométrique.

T°:Température.

UV-Visible : Ultra-Violet-Visible.

µS:micro siemens.

CE : connectivite électrique.

Sommaire

Remerciement	
Dédicace.....	
Résumé.....	
Liste des Figures	
Liste des tableaux	
Liste des abréviations.....	
Sommaire.....	
Introduction générale.....	1

Synthèse bibliographique

Chapitre I : Généralités et présentation des les Spiruline

1. Généralités sur les micros algue :	5
2. Caractérisation générale :.....	6
3. Classification des micros algues :.....	6
4.L'utilisation des micro algues.....	7
5. Présentation de la spiruline :.....	8
5.1 Définition :	8
5.2 Histoire des spirulines :.....	9
5.3 Morphologie de la spiruline :	9
6. Cycle biologique	9
7. Taxonomie de la Spiruline :.....	10
8. Composition chimique de la spiruline	11
9. Facteurs environnementaux :	13
10. Culture de la spiruline :.....	14
10.1 Milieu naturel de la spiruline :	14
10.2 Culture artisanale :	14
10.3 Culture industrielle :.....	15
11. Domaines d'application :	16

Chapitre II : Bioremédiation par des microalgues

1-Définition de bioremédiation.....	18
2- Différentes techniques de bioremédiation dans le traitement des eaux usées :.....	18
3-Phytoremédiation.....	19
3-1-Définition.....	19
3-2-Défférents types de phytoremédiation.....	19
4- Phycoremédiation	20

5-Importance des micro-algues dans le traitement des eaux usées.....	21
6- Espèces des microalgues utilisées pour traitement des eaux usées	21

Chapitre III les eaux usées et leur traitement

I. Eaux usées	24
I.1 Définition des eaux usées.....	24
I.2. Origine des eaux usées.....	24
I.2.1. Les eaux usées domestiques.....	24
I.2.2 Les eaux usées industrielles	24
I.2.3. Les eaux usées urbaines	25
I.1.4. Les eaux agricoles	25
I.3. Pollution des eaux	25
I.3.1 Définition	25
I.3.2 Principaux type de pollution	27
I.3.2.1 Pollution physique	27
I.3.2.2 Pollution chimique.....	28
I.3.2.3. Pollution biologique	29
II. Traitement des eaux usées.....	31
II.1 Définition.....	31
II.2 Procédés de traitement des eaux usées	31
II.2.1 Prétraitement	31
II.2.1.1 Dégrillage	32
II.2.1.2 Dessablage.....	32
II.2.1.3 Dégraissage et déshuilage	32
II.2.2Traitements physico-chimiques : traitements primaires	32
II.2.3Traitements biologiques : traitements secondaires	33
II.2.4 Traitement tertiaire.....	34

Partie expérimentale

Chapitre I: Présentation de la station STEP 1

I. Présentation de la station d'épuration STEP1	38
II. Situation géographique de la station d'épuration.....	38
III. Objectif de traitement de la station	39
IV. Description de STEP1	39
V. Procédés d'épurations des eaux usées dans la station.....	40
V.1. Prétraitement	40
V.2. Traitement secondaire des eaux usées.....	42

Décharge des boues :	43
----------------------------	----

Chapitre II: Matériel et méthodes

I. Matériel.....	46
I.1. Matériel biologique	46
I.2. Matériel non biologique	47
II. méthodes	47
II.1. Les analyse physico-chimique.....	47
II.1.1. Le but général de la manipulation.....	47
II.1.2. Prélèvement.....	47
II.1.2.1. Echantillonnage	47
II.1.2.2. Lieu de prélèvement.....	48
II.1.3. Méthodes d'analyses	48
II.1.3.1. Détermination des pH et Température	48
II.1.3.2. Détermination de l'oxygène dissous.....	48
II.1.3.3. Détermination de la conductivité électrique, salinité.....	49
II.1.3.4. Détermination de la demande chimique en oxygène DCO.....	49
II.1.3.5. Détermination de la demande biochimique en oxygène (DBO5)	50
II.1.3.6. Détermination de nitrite (NO ₂ ⁻).....	50
II.1.3.7. Détermination de la nitrate (NO ₃ ⁺).....	50
II.1.3.8. Détermination de l'azote total NT	50
II.2. Suivi de croissance d'Arthrospira platensis.....	51
II.2.1. préparation des milieux des cultures (milieu de Zarrouk)	51
II.2.2. Suivi de croissance de spiruline	53
II.2.2.1. Mesure du Température	53
II.2.2.2. Mesure du pH.....	53
II.2.2.3. Mesure du Biomasse	53
II.2.2.4. Mesure du Conductivité	54
II.2.2.5. Mesure de l'Ammoniac	54
II.2.2.6. Mesure du Nitrite (NO ₂ ⁻).....	54
II.2.2.7. Mesure du Nitrate (NO ₃ ⁺)	54
II.2.2.8. Mesure de L'azote Total (NT).....	55
II.2.3. Bioremédiation par de Arthrospira platensis	55
II.2.3.1. Analyse des eaux polluent et des eaux traitée	55
II.2.3.1.1. Mesure du Conductivité.....	55
II.2.3.1.2. Mesure du PH	56

II.2.3.1.3. Mesure du Température.....	56
II.2.3.1.4. Mesure de L'azote Total (NT).....	56
II.2.3.1.5. Mesure d'Ammoniac	57
II.2.3.1.6. Mesure de Nitrite	58
II.2.3.1.7. Mesure de Nitrate	58
II.3. Suivi de bioremédiation de polluant organique par <i>Arthrospira platensis</i>	59

Chapitre III: Résultats et discussion

I. Résultats et discussion	61
I.1. les analyses physicochimiques.....	61
I.1.1. Variation la température.....	61
I.1.2. Variation du pH.....	62
I.1.3. Variation de la conductivité	63
I.1.4. Variation de la salinité (Sal).....	64
I.1.5. L'oxygène dissous (O ₂)	65
I.1.6. Demande biochimique en oxygène (DBO5):.....	66
I.1.7. Demande chimique en oxygène (DCO)	67
I.1.8. Matières en suspension (MES).....	68
I.1.9. L'azote total (Nt):	69
II. Evolution des paramètres	70
II.1. physico-chimiques Température.....	70
II.2. PH	71
II.3. Biomasse (mg/l).....	72
II.4. Conductivité électrique (CE)	72
II.5. NH ₃ et NO ₂	73
II.6. NO ₃ et NT	73
III. Evolution des paramètres.....	75
III.1. physico-chimiques Température	75
III.2. pH	75
III.3. Biomasse.....	76
III.4. Conductivité	77
III.5. NH ₃ et NO ₂ et NO ₃	77
III.6. NT	79
Conclusion générale.....	81
Références	83

Introduction générale

Introduction générale

L'eau est une ressource naturelle très limitée dans les régions arides et semi-arides. En Algérie, les ressources en eau existantes sont menacées par une pollution causée par les rejets d'eaux urbaines et industrielles dans les milieux récepteurs. Ces rejets peuvent contenir de nombreuses substances, sous forme solide ou dissoute, ainsi que de nombreux micro-organismes pathogènes, menacent la qualité de l'environnement dans son ensemble.

Dans le domaine de l'environnement, il est très important de disposer d'outils capables de détecter la présence de polluants ou de substances toxiques au sein des milieux aqueux, tels que les écosystèmes aquatiques, l'eau des stations d'épuration, les effluents industriels. En effet, le problème de la pollution de l'eau, par exemple, par les matières organiques, les pesticides et les ions de métaux lourds devient de plus en plus critique.

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

Les métaux lourds se trouvent dans les eaux usées urbaines à l'état de trace.

Des concentrations élevées sont en général révélatrices d'un rejet industriel. Leur présence est nuisible pour l'activité des micro-organismes donc elle perturbe le processus d'épuration biologique.

Les algues, sont des micro-organismes photosynthétiques aquatiques, utilisées dans plusieurs domaines ; Les algues jouent des rôles clés dans le traitement biologique des eaux usées par lagunage. Elles opèrent comme pourvoyeur d'oxygène par le biais du processus photosynthétique. Ainsi, elles favorisent l'oxydation de la matière organique en s'associant sous forme symbiotique aux bactéries. Elles peuvent même contribuer directement à l'élimination de certains dérivés organiques et elles agissent comme bio absorbants contribuant à l'élimination des métaux lourds et autres produits toxiques véhiculés par des eaux à cette raison, quelle est la capacité de bioremédiation des polluants organiques par la souche *Arthrospira platensis* dans les eaux usées de STEP Kouinine Eloued ?

L'objectif de cette étude est :

- évaluer le taux des élimination de polluant organique de eaux usée par le *Arthrospira platensis*.

- Apprendre différentes techniques de culture de micro-algues Spiruline.

- Apprendre différentes techniques de traitement de station de eau usée dans le STEP 01 Kouinine

- Apprendre différentes techniques d'analyse physicochimique (PH,T, conductivité....)

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

La synthèse bibliographique s'étend sur trois chapitres, le premiers chapitre présente des généralités sur les micro algues et la spiruline et les diverses domaines d'applications généralités le deuxième est bioremédiation, sur les eaux usées, et leurs traitements dans le troisième chapitre, par des microalgues et différents techniques.La deuxième partie, partie pratique , subdivisée en trois grands chapitres :

- Le premier chapitre est présentation de région d'étude
- Le chapitre deux décrit tout le matériel (biologique et non biologique) utilisé et présente en détail les méthodes entreprises pour l'aboutissement à l'objectif souligné
- Le troisième chapitre nous avons présentés les résultats obtenus et leurs discussions.
- Cette étude s'achève par une conclusion et les perspectives qui ont pu être dégagées.
(OUAFAE EL HACHEMI. 2012. p15)

**Partie I Synthèse
bibliographique**

Chapitre I
Généralités et présentation des les Spiruline

1. Généralités sur les micros algue :

Les microalgues sont cultivées et utilisées pour l'alimentation, pour la production de composés utiles, comme biofiltres pour éliminer les nutriments et autres polluants des eaux usées, dans l'industrie cosmétique et pharmaceutique et dans l'aquaculture. Les microalgues sont également de bonnes sources potentielles pour la production de biocarburants en raison de leur forte teneur en huile et de la production rapide de biomasse.

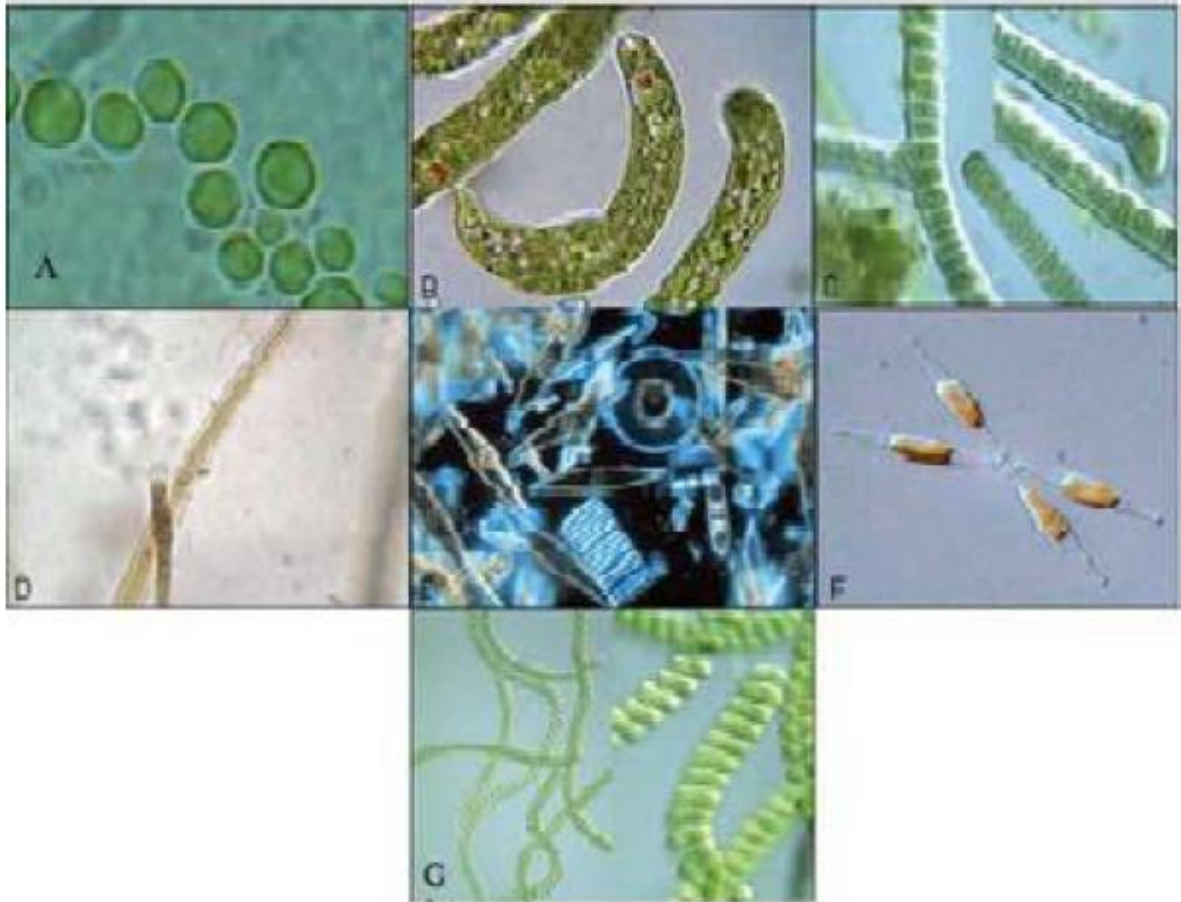


Figure 01 : Diversité des formes des microalgues.

A) Chlorellavulgaris, B) Euglena, C.D) Cyanobacteria, E)Thalassiosirapseudonana ,F)Phaeodactylumtricornerutum, G) Cyanobactérie: Spirulinaplatensis (Jecklgrand., 2002).

L'aquaculture est un secteur en pleine croissance et sa production augmente constamment. Les genres de microalgues les plus fréquemment utilisés en aquaculture sont la chlorelle, la tétrasélis, le scenedesmus, la pavlova, le phaeodactyle, le chaétocère, la nannochloropsis, le squeletteema et la thalassiosie. Ils ont des taux de croissance rapides et sont stables en culture face aux éventuelles variations de température, de lumière et de nutriments comme cela peut se produire dans les systèmes d'écloserie.

Les microalgues sont cultivées et utilisées pour l'alimentation, pour la production de composés utiles, comme biofiltres pour éliminer les nutriments et autres polluants des eaux usées, dans l'industrie cosmétique et pharmaceutique et dans l'aquaculture. Les microalgues sont également de bonnes sources potentielles pour la production de biocarburants en raison de leur forte teneur en huile et de la production rapide de biomasse. (SADI, 2012).

2. Caractérisation générale :

Les microalgues ont une structure cellulaire simple et leur croissance nécessite de la lumière, du dioxyde de carbone, de l'eau et des nutriments (phosphore et azote comme nutriment majeurs). Photosynthétiquement, les microalgues peuvent convertir ces nécessités en énergie et l'utiliser dans le développement cellulaire. La microalgue présente un noyau et une membrane plasmique contenant des organites essentiels à son fonctionnement tels que les chloroplastes, les amyloplastes, les oléoplastes et mitochondries, elle contient trois principaux types de pigments qui sont les chlorophylles, les caroténoïdes et les phycobiliprotéines. (Ghobrin et al., 2014).

3. Classification des micros algues :

En général, La classification s'appuie principalement sur la nature des pigments des algues. On distingue:

✓ **Les Pyrrophytes ou dinoflagellés :** De couleur brune, leur paroi est formée par des plaques de celluloses sous la membrane plasmique. Elles font partie du phytoplancton et sont responsables du phénomène des eaux rouges. Certains dinoflagellés ne possèdent pas de pigments photosynthétiques.

✓ **Les Chrysophytes ou Algues Dorées:** De couleur jaune à brune, ces algues font parties du plancton d'eau douce, leur paroi est composée de pectine imprégnée de silice.

✓ **Les Bacillariophytes ou Diatomées:** De couleur jaune, brune ou verte, leur paroi est constituée principalement de silice formant un véritable squelette externe.

✓ **Les Euglénophytes:** Ces algues flagellées vivent dans les eaux stagnantes. Leur paroi est constituée de plaques protéiques sous leur membrane plasmique. Certaines de ces algues n'ont plus de chlorophylle et peuvent alors être confondues avec des animaux

✓ **Les Rhodophytes ou Algues Rouges (Porphyra, Nemalion):** Elles vivent principalement en eaux salées chaudes et peuvent se développer à de grandes profondeurs (jusqu'à 200 m). Leur paroi comprend de la cellulose mais aussi d'autres polysaccharides.

Nombreuses espèces pluricellulaires.

✓ **Les Phéophytes ou Algues Brunnes (Fucus, Laminaire):** Ces algues vivent en eaux salées plutôt froides et se développent jusqu'à 20 m de profondeur. La paroi est également composée de cellulose, mélangée à d'autres polysaccharides. Nombreuses espèces pluricellulaires.

✓ **Les Chlorophytes ou Algues Vertes (Codium, Caulerpes, Characées):** Ces algues vivent dans la zone des marées, jusqu'à 10 mètres de profondeur. Leur paroi est uniquement composée de cellulose. Nombreuses espèces pluricellulaires.

Les trois derniers groupes peuvent encore être classés chez les Végétaux (**SIALVE et STEYER, 2013**).

4.L'utilisation des micro algues

Les algues sont utilisées dans les domaines suivant :

✓ **Dans le traitement des eaux usées:** les algues brunes de type laminaires sont séchées à l'air libre puis emballées dans des bombonnes qui servent au recyclage des eaux usées.

✓ **En Agroalimentaire:** c'est le domaine d'utilisation principal des phycocolloïdes, Alginate (E 400 à 405) et Carraghénanes (E 407) et Agar (E 406) utilise comme gélifiant,émulsionnant, stabilisant,épaississant.

✓ **Dans l'industrie textile:** les alginates sont employés depuis le milieu des années 60 dans l'impression des tissus (de sodium et calcium).

✓ **En agriculture:** les algues issues de la laisse de mer sont utilisées directement en épandage dans les champs pour apporter leur richesse en sels minéraux,les algues calcaires de type maerl servent à amender les sole acides en remplacement de la chaux.

✓ **En cosmétique et thalassothérapie:** L'agothérapie est l'utilisation d'algues marines sous forme de bain d'algues ou d'enveloppements et fait appel aux propriétés vivifiantes, hydratantes, anti-stress et restructurantes de ces algues les extraits d'algues présentent également des propriétés anti-UV et anti oxydantes qui sont utilisées dans les crèmes solaires et anti-âge, des savons, des shampooing comme agent texture.

✓ **En médecine:** de nombreuses spécialités pharmaceutiques intègrent dans leur formulation des colloïdes algaux comme excipients (sirops, enrobage des pilules et dragées) (**MICHEL CARALLA, 2000**)

5. Présentation de la spiruline :

5.1 Définition :

Arthrospira platensis, commercialement connue sous le nom de spiruline, est une cyanobactérie microscopique et filamenteuse de couleur bleu-vert avec des trichomes en spirale (Sili et al, 2012).

Elle constitue l'une des bactéries capables de faire la photosynthèse pour produire de l'oxygène (Sguera, 2008).

Faisant partie des cyanobactéries, les spirulines sont donc une des plus anciennes formes de vie «photosynthétique» apparue sur la terre il y a environ trois milliards et demi d'années. La spiruline est considérée souvent comme une algue planctonique microscopique. C'est en fait une bactérie appartenant aux cyanobactéries filamenteuses du genre *Arthrospira*, le plus souvent enroulée en spires. Riche en protéines, vitamines, oligo-éléments, molécules complexes, la spiruline permet de couvrir de nombreuses carences nutritives (Girardin, 2005).

Arthrospira platensis utilisé pour traiter plusieurs types d'eaux usées en raison de ses performances élevées en matière de récupération de l'azote, de sa valeur économique et de son potentiel environnemental (Chang et al, 2013; Champagne, 2015).

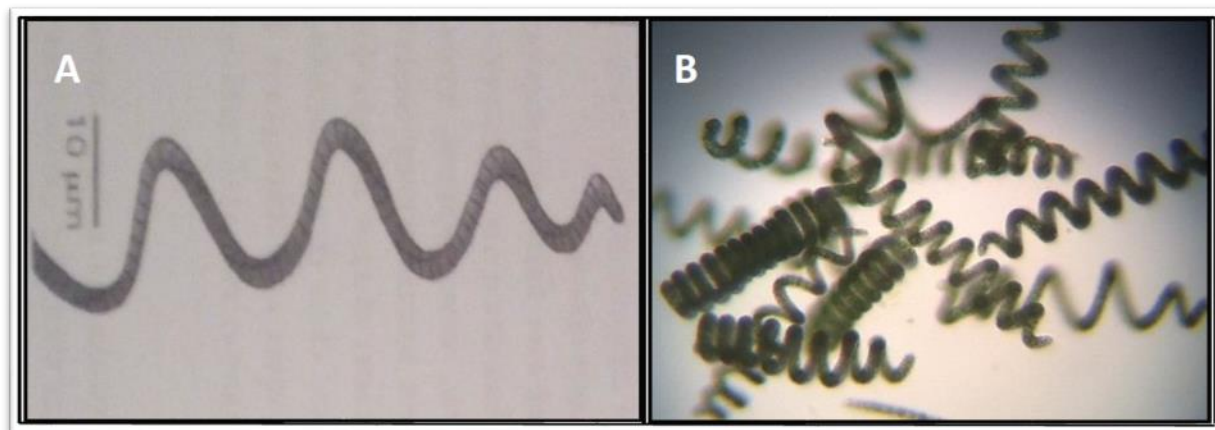


Figure 02 : A : *Arthrospira (Spirulina) platensis* (Riviers, 2003).

B : *Arthrospira platensis* (Siteweb 2).

5.2 Histoire des spirulines :

Au 16^{ème} siècle, les peuples Aztèques (Mexique) consommaient la spiruline ou le tecuitlatl dans leur alimentation courante (Sguera, 2008). En 1931, Rich observait des populations de flamants, au bord des lacs de la Rift Valley en Afrique orientale, dont la principale source de nourriture était la spiruline (**Doumenge et al2013**).

La spiruline, ou *Arthrospira*, a été redécouverte Au milieu des années 1960. Appelé dans le dialecte local « dihé », était consommée par la tribu des Kanembu vivant le long des lacs alcalins du Tchad et du Niger, au même moment, à la demande de la société Sosa texcoco, une étude systématique et détaillée des exigences de croissance et de la physiologie de la spiruline a été réalisée par l'Institut Français du Pétrole, dans un lac, près de la ville

Dans les pays développés, son véritable essor n'est apparu qu'à partir des années 90 lors de la découverte de molécules actives comme la phycocyanine ou le calcium-spirulan (**Vonshak, 2012**).

5.3 Morphologie de la spiruline :

La spiruline se présente comme un filament (trichome) simple Pluricellulaire et de forme hélicoïdale . Sa morphologie est variable. Quand elle a 7 spires, sa longueur est d'environ 200 à 300 µm et l'épaisseur du filament 10 µm. En outre, elle possède une motilité propre (**Euzen et al., 1993**).Leurs parois sont Gram négatives (**Batello et al., 2014**).

Quand les conditions du milieu changent, cette algue montre de très grandes variations dans la morphologie et la taille : élargissement ou rétrécissement de pas de la spire, resserrement des spires centrales de l'hélice, détente du filament et même disparition de la forme spiralée, augmentation du nombre de spires bien au-delà de 50 par arrêt de la division de l'algue qui atteint ainsi plusieurs mm de long (**Zarrouk, 2013**).

6. Cycle biologique

La spiruline se présente sous forme de filaments constitués de cellules juxtaposées, sa reproduction est asexuée (Jourdan, 2018) et se reproduit très rapidement, se divisant trois fois en 24 heures. Les spirulines se déplacent à la manière d'une vis s'enfonçant dans du bois (**Reviere, 2003**).

Le filament de Spiruline à maturité forme des cellules spéciales appelées nécriides.

Elles se différencient des autres cellules par leur aspect biconcave et sont assimilées à des disques de séparation. A partir de ces derniers, le trichome se fragmente pour donner de nouveaux filaments de 2 à 4 cellules appelés hormogonies qui vont croître en longueur par division binaire et prendre la forme typique hélicoïdale (figure 03) (Zarrouk, 1966).

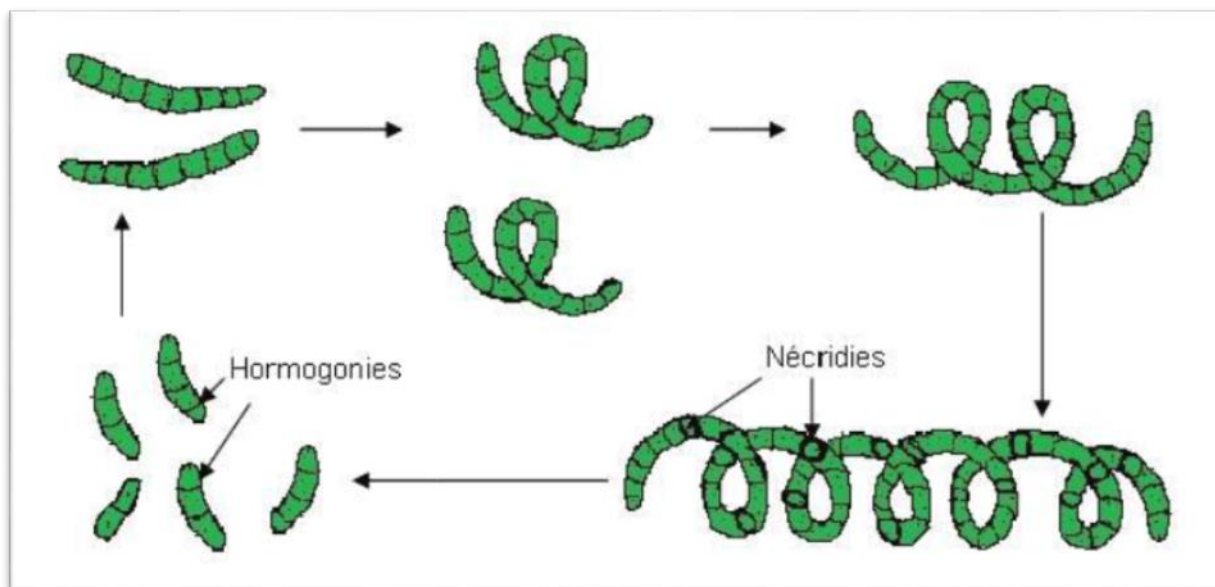


Figure 03 : Cycle de vie de la spiruline (Balloni et al. 1980 in Charpy, 2008).

7. Taxonomie de la Spiruline :

La spiruline, appartient au monde végétal de par sa chlorophylle, et au monde animal de par ses cellules procaryotes apparentées à celles des bactéries. Cette double liaison contribue à lui donner quelques particularités originales intéressantes et la classe parmi les cyanobactéries (Doumenge et al., 1993).

Le mot « spirulina » est le nom commerciale anglophone du genre *Arthrospira*, à ne pas confondre avec le genre *Spirulina* non comestible, considérée également comme genre de cyanobactérie (exemples : *Spirulina subtilissima*, *Spirulina princeps*) (Fox, 1999). Pour distinguer l'*Arthrospira* de la *Spirulina* non comestible, l'approche morphologique n'est pas suffisante en raison de la plasticité morphologique qui existe entre les deux genres, des analyses moléculaires peuvent présenter un outil important contribuant à l'identification des espèces d'*Arthrospira* (exemples : *A. platensis* et *A. maxima*) (Sili et al., 2012)

Profil taxonomique : *Arthrospira* sp.

Règne : Monera (ou Bacteria)

Sous-règne: Prokaryota

Phylum: Cyanophyta

Classe: Cyanophyceae

Ordre: Oscillatoriales

Famille: Oscillatoriaceae

Genre: Arthrospira (ou Spirulina)

Il existe plusieurs espèces qui ne diffèrent globalement que par leur localisation géographique : *Spirulina platensis* est l'espèce africaine principale, *S. gelitleri* est celle du Mexique (**Arrignon, 2002**) et connue aussi sous le nom de *Spirulina maxima* (**Vonshak, 1997**), *S. lonardi* du lac Lonar en Inde, *S. orovilca* du lac Orovilca, *S. paracas* des bassins d'eau près de Pracas et *S. ventanilla* au Pérou, *S. crater* au Mexique et *S. tamanrasset* en Algérie (**Fox, 1999**).

8. Composition chimique de la spiruline

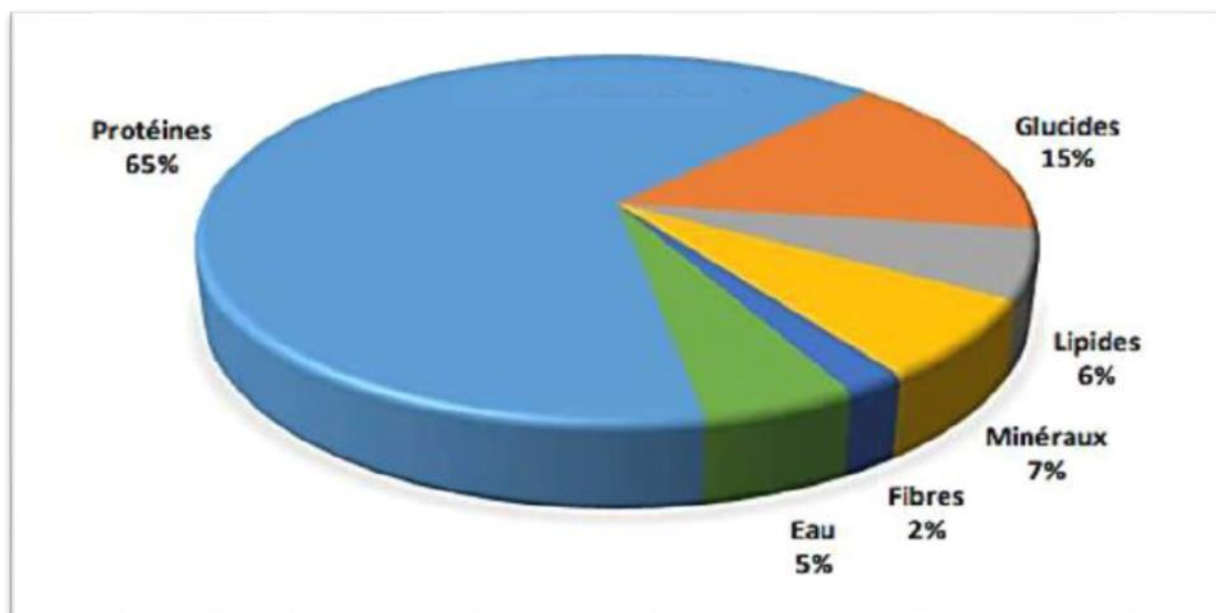


Figure 04 : Composition chimique de la spiruline (**Lecointre, 2017**).

La spiruline, arbore une teneur record en protéines de 70%. Les protéines algales sont d'une grande qualité nutritionnelle (**Floc'h et Leclerc, 2010**). Son exceptionnelle teneur en protéines de haute valeur biologique très digestibles, ainsi que sa composition idéale en vitamines, minéraux et oligo-éléments font d'elle un complément alimentaire intéressant dans le cadre d'une alimentation déficitaire ou déséquilibrée (**Cruchot, 2008**).

Le produit final commercialisé de la spiruline se présente sous forme de poudre, de flocons, de gélules ou de comprimés d'une intense couleur bleu vert) Les doses journalières conseillées varient de 250 à 5 000 mg.

❖ Protéines :

La teneur en protéines de la spiruline oscille entre 50 et 70% de son poids sec. Ces valeurs sont tout à fait exceptionnelles, même parmi les micro-organismes ; d'autre part, les meilleures sources de protéines végétales n'arrivent qu'à la moitié de ces teneurs, la farine de soja par exemple ne contenant que 35% de protéines brutes. En termes de rendement en protéines, il faut aussi considérer que la totalité de la spiruline est consommable (contre une petite fraction pour les végétaux habituels). **(Falquet, 2006).**

❖ Acides aminés :

D'un point de vue qualitatif, les protéines de la spiruline sont complètes, car tous les acides aminés essentiels y figurent, ils représentent entre 40 à 46% du poids total des protéines **(Bujard et al. 1970)**. Parmi ces acides aminés essentiels, les plus faiblement représentés sont les acides aminés soufrés : méthionine et cystéine **(Clément et al. 1967, Bujard et al. 1970, AFAA, 1982)**.

❖ Glucides :

Les glucides constituent globalement 15 à 25% de la matière sèche des spirulines.

L'essentiel des glucides assimilables est constitué de polymères tels que des glucosannes aminés (1.9% du poids sec) et des rhamnosannes aminés (9.7%) ou encore de glycogène (0.5%). Les glucides simples ne sont présents qu'en très faibles quantités (glucose, fructose et saccharose), on trouve aussi des polyols comme le glycérol, le mannitol et le sorbitol. **(Ciferri, 1983; Flaquet, 2006)**.

❖ Lipides :

La composition en lipides totaux se caractérise par un bon équilibre entre acides gras saturés et acides gras polyinsaturés. La composition des principaux acides gras révèle la présence d'une forte concentration en acides gras essentiels, incluant des oméga-3 et des oméga-6 qui préviendraient l'accumulation de cholestérol **(Von der wied, 2011)**.

La spiruline est considérée comme l'une des meilleures sources alimentaires connues d'acide γ -linoléique, après le lait humain et quelques huiles végétales peu courantes, fort chères et non chauffées (huiles d'onagre, de bourrache, de pépin de cassis et de chanvre) **(Cruchot, 2008)**.

❖ Vitamines :

La Spiruline est une algue vitaminée, elle est la deuxième source de vitamine B1 derrière la levure de bière. Elle contient aussi une concentration relativement élevée de provitamine A, vitamine B 12 et β -carotène (Belay, 1997, Sall et al, 1999, Cruchot, 2008).

9. Facteurs environnementaux :**a) Lumière :**

La spiruline, comme de nombreuses autres autotrophes, dépend de la lumière comme principale source d'énergie. La durée pendant laquelle elle est exposée à la lumière est un facteur limitant de sa croissance.

Une très forte lumière peut être dangereuse si le milieu est dilué ou avec une température inférieure à 15°C ou supérieure à 41°C, D'autre part, la culture peut être avantageusement exposée à la quantité maximale de la lumière si la concentration et la température sont acceptables.

b) Température :

Bien que la lumière soit considérée comme le facteur environnemental le plus important pour les organismes photosynthétiques, la température est sans aucun doute le facteur le plus fondamental pour tous les organismes, elle affecte toutes les activités métaboliques, et par conséquence, la vitesse de croissance.

En fait, la spiruline peut vivre à une température idéale de 35°C à 37°C, remarquablement, elle peut résister à des températures aussi basses que 5°C, mais il ne se reproduit que lorsqu'elle dépasse 20°C. Malheureusement, il ne pouvait pas supporter plus de 43°C, pour lui, C'est la température fatale

c) Salinité :

La spiruline est un organisme besoin de fortes concentrations en sel dans son milieu pour vivre. Mais elle est capable de survivre dans les eaux douces. C'est une espèce à la fois halophile est très euryhaline. En milieu naturel les salinités tolérées vont de 8 PSU à 270 PSU (17. Wang et al.: Identification of differentially expressed proteins of *Arthrospira* (*Spirulina*) *plantensis*-YZ under salt-stress conditions by proteomics and analysis. (Proteome Science, 2013.)

10. Culture de la spiruline :

Une culture peut être définie comme un environnement artificiel dans lequel les algues se développent. En théorie, les conditions de culture devraient autant que possible ressembler à l'environnement naturel de l'algue (**Barsanti et Gualtieri, 2006**).

La spiruline est aujourd'hui cultivée dans le monde entier (**Mollo et Noury, 2013**). Les micro-algues originaires d'eaux polluées ne peuvent être consommées directement, lorsque le milieu de culture est « sanitaire » pur, les algues constituent une super nourriture pour l'homme, c'est le cas des spirulines et des chlorelles (**Barnabé, 1989**).

10.1 Milieu naturel de la spiruline :

La spiruline a besoin de chaleur (optima =35°C), nécessite de la lumière qui dans la ceinture intertropicale du globe, ne constitue que rarement un facteur limitant dans la journée, et un pH supérieur à 9 (**Batello et al., 2005**).

Le dihé (*Spirulina platensis*) croît dans un environnement tout à fait unique et particulier constitué de mares qui se forment à la fin de la saison des pluies au nord-est du lac Tchad. Il s'agit en réalité d'une niche écologique où tout autre organisme peine à survivre telle que *Chlorella* (**Batello et al., 2005**).

10.2 Culture artisanale :

Une culture artisanale de la spiruline, a pour but de satisfaire un nombre réduit de personnes, au sein d'une famille, d'une collectivité ou pour des fins humanitaires dans l'espoir de fournir un apport nutritionnel sûr, pour les pauvres, essentiellement les enfants de bas âge souffrant de malnutrition (**Charpy et al., 2004**).

La culture artisanale nécessite certainement la construction de bassins en dehors de zones de pollution, qui peuvent être soit en bache plastique ou en dur (béton, parpaings ou briques), pour la culture de la spiruline, l'eau utilisée doit être de préférence potable, de pluie ou de source, avec une salinité de 13 g/l et un pH entre 9 et 11, les engrais ajoutés devraient assurer la croissance des spirulines comme en agriculture habituelle (N, P, K, S, Mg, Ca et Fer), les oligo-éléments (Brome, Zinc, Cobalt et cuivre) sont apportés par l'eau, le sel et les engrais. Le milieu de culture doit rester peu coloré et peu trouble (pauvre en matières organiques) et l'eau de rejet peut être utilisée comme engrais pour les plantes halophiles ou en alimentation animale (**Jourdan, 2018**).

10.3 Culture industrielle :

Contrairement aux cultures conventionnelles, la culture en masse de micro-algues se distingue par: une production continue toute l'année, cycle court, ingénierie génétique simplifiée et possibilité de cultiver des micro-algues dans de l'eau saumâtre plutôt que dans de l'eau douce, qui devient une ressource rare (**Vonshak, 1997**).

Le succès de l'exploitation commerciale d'Arthrospira, en raison de sa haute valeur nutritive, de sa composition chimique et de la sécurité de sa biomasse, en a fait l'une des plus importantes micro-algues de culture industrielle (**Whitton et Potts, 2000**).

La culture industrielle de la spiruline est basée sur la recherche scientifique, permettant l'élaboration des protocoles visant à optimiser le milieu de culture afin de maximiser le rendement de la production, en respectant les normes sanitaires et les conditions environnementales saines (**Cruchot, 2008**).

L'utilisation des photobioréacteurs dans des environnements clos artificiels ou industriels, pour cultiver des micro-algues, a pour objectif de réaliser une transformation biologique de la matière (métabolites à haute valeur ajoutée comme les pigments, les antioxydants, les polysaccharides, des acides gras essentiels) dans des conditions contrôlées :

- Maintenir la stérilité de la culture.
- Surveiller le pH et la température pour une croissance la plus rapide.
- S'assurer qu'il existe un brassage suffisant des cellules et du milieu de culture.
- Contrôler l'intensité lumineuse incidente sur le réacteur, car elle est à la base de la vitesse de production de la biomasse ou de l'oxygène (**Cornet, 1998**).

La biomasse de spiruline est produite commercialement principalement dans des étangs peu profonds et ouverts. Les plus gros producteurs sont les fermes Earthrise (DIC) en Californie, Cyanotech à Hawaii et DIC à Hainan. La Chine est le principal producteur de spiruline.

- La production commerciale de biomasse de spiruline repose aujourd'hui presque exclusivement sur des étangs de type « raceway » Ce système est essentiellement constitué d'un canal à une seule boucle dans lequel la suspension de culture circule en écoulement turbulent par roue à aubes (**Doumenge et al., 1993**).

11. Domaines d'application :

Le rôle multifonctionnel de l'espèce *Spirulina* en fait un médicament naturel idéal doté d'immenses propriétés prophylactiques et thérapeutiques (Khan et al., 2005). La spiruline est intéressante pour l'alimentation animale et humaine mais aussi pour la production de pigments caroténoïdes et d'acides aminés essentiels (Arrignon, 2002). Les antioxydants et les caroténoïdes représentent d'excellents nutraceutiques. Il a été démontré que la spiruline fournit des bienfaits médicaux ou curatifs (Bajpai et al., 2013).

Tableau 01: Domaines d'application de la spiruline (Niangoran, 2017).

Domaines	Rôles/Fonctions	Références
Médical	<ul style="list-style-type: none"> -Traitements de certaines infections d'origine microbienne et de la malnutrition -Normalisation des IgE chez les enfants des zones radioactives par l'administration de 5g /jr de spiruline pendant 45 jrs. - Combattre les maux tels l'anémie, la chute des cheveux, la fatigue chronique, le relâchement tissulaire, le retard de croissance, le stress ou les troubles de la mémoire. -La C-phycoyanine contient une activité anti-oxydante. -Combattre la malnutrition infantile, traite le diabète et l'obésité, et renforce les défenses immunitaires des séropositifs et la santé des personnes âgées. -Prévention et mitigation du cancer, maladies cardiovasculaires, inflammation et vieillissement. 	<ul style="list-style-type: none"> - Parikh et al., 2001 in Barry et al., 2014 in Kanon et al., 2016 - Belay, 2002 -Arzel et Barbaroux, 2010 - Chen and al., 2014 -Debleds, 2015 - Gershwin et Belay, 2007
Nutrition	<ul style="list-style-type: none"> -Apporte un soutien nutritionnel (richesse biochimique ; protéines). - Extrêmement digestible, source d'énergie, faible en calories et en gras. -source d'acides gras polyinsaturés (GLA). -Nourriture pour les cultures de zooplancton, de poissons et de mollusques. -Complément alimentaire dans les élevages bovins, canins ou de volailles. 	<ul style="list-style-type: none"> -Ak et al., 2016 -Umesh, 2002 -Vonshak, 1997 - El-Kassas et al., 2015 -Debleds, 2015
Energie	<ul style="list-style-type: none"> -Biofertilisant (cultures de riz, des légumineuses et du coton). - La biomasse de spiruline augmentait de près de deux fois le taux de production de biogaz pour une quantité donnée de déchets. 	<ul style="list-style-type: none"> - Posten et Walter, 2012 - Posten et Walter, 2012
Industrie	<ul style="list-style-type: none"> -Pigments naturels (phycoyanine et phycoérythrine) utilisée dans les industries des produits alimentaires, des médicaments et des cosmétiques. -Composés phytochimiques aux applications pharmaceutiques et biotechnologiques. 	<ul style="list-style-type: none"> -Vonshak, 1997 - Le Guehenec, 2009
Autres	<ul style="list-style-type: none"> -Sport, naturopathie et bien être. -Elimination de la dureté de l'eau. 	<ul style="list-style-type: none"> - Le Guehenec, 2009 - Charpy, 2008

Chapitre II
Bioremédiation par des microalgues

1-Définition de bioremédiation

La bioremédiation est tout processus qui utilise des micro-organismes (bactéries, microbes), des champignons, des plantes ou les enzymes qui en dérivent pour retourner d'un environnement altéré par les contaminants à leur état naturel, sain biologiquement. Elle conduit à une dépollution.

La bioremédiation est une technique consistant à augmenter la biodégradation ou la biotransformation, en inoculant des micro-organismes spécifiques (bioaugmentation, bioréhabilitation) ou en stimulant l'activité de populations microbiennes indigènes, par biostimulation, par apport de nutriments et par ajustement des conditions de milieu (potentiel d'oxydoréduction, humidité). Elle permet d'éliminer les contaminants, en particulier dans les eaux polluées (dépollution, dystrophisation).

Ainsi, par définition, la bioremédiation est une technique de gestion des déchets qui implique l'utilisation d'organismes pour supprimer ou neutraliser les polluants et/ou contaminants à partir d'un site contaminé. Les technologies peuvent être généralement classées comme in situ ou ex situ. La biorestauration in situ consiste à traiter le matériel contaminé sur le site, tandis que ex situ implique l'enlèvement de la matière contaminée pour la traiter ailleurs. (Avinash Kumar Agarwal, 2018)

2- Différentes techniques de bioremédiation dans le traitement des eaux usées :

Il s'agit de traitements biologiques directement appliqués sur le site à dépolluer. Ils ont l'avantage de ne pas nécessiter d'excavation et de permettre, éventuellement, la poursuite des activités. (Khalil HANNA, 2004)

✓ Bioremédiation intrinsèque ou bio-atténuation :

C'est simplement la biodégradation naturelle des polluants par les microorganismes Présents dans le sol ou la nappe. Cette méthode consiste uniquement à vérifier la présence et la capacité des micro-organismes utilisés pour dégrader les polluants

✓ Biostimulation

Cette technique consiste à remonter l'activité des populations microbiennes présentes dans le sol ou dans les eaux souterraines par apport de nutriments et par ajustement des conditions du milieu qui sont le potentiel d'oxydo-réduction, l'humidité et la température.

✓ **Bioaugmentation**

Cette technique est utilisée lorsque l'activité des microorganismes indigènes est insuffisante. Il s'agit d'ajouter des micro-organismes étrangers spécialisés. Une des voies de recherche actuelle est l'utilisation de micro-organismes génétiquement modifiés pour la dégradation des polluants récalcitrants. (**Khalil HANNA, 2004**)

✓ **Bioinjection**

C'est la fragmentation des grosses molécules par le couplage de l'injection d'air ou d'oxygène à l'activité biologique normale des micro-organismes suivi d'un entraînement par le flux gazeux.

✓ **Bioextraction**

Elle suit le même chemin sauf que c'est un couplage de l'activité biologique des microorganismes et de l'extraction sous vide des polluants.

✓ **Phytoremédiation**

C'est l'utilisation de certaines plantes qui favorisent la migration des polluants (métaux lourds) par l'intermédiaire de leur système racinaire. L'efficacité de cette technique en vue d'extraire les polluants organiques est peu étudiée. (**Khalil HANNA, 2004**)

3-Phytoremédiation

3-1-Définition

• est une technique employée pour dépolluer naturellement par l'action des plantes (phytodépollution) (**Site 2, 2022**), c'est-à-dire utilisant le métabolisme des plantes pour éliminer, dégrader, concentrer, stabiliser, volatiliser ou transformer les polluants (molécules organiques et inorganiques, métaux et radioéléments) en composés moins toxiques (**Chedly Abdelly, 2006**). contenus dans différents milieux grâce à ce processus, on obtient :

- L'épuration des eaux usées.
- Un assainissement de l'air
- La dépollution des sols. (**Site 2, 2022**)

3-2-Différents types de phytoremédiation

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

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

Il s'agit dans son ensemble d'une phytorestauration dont le principe est d'utiliser plantes, afin de restaurer l'équilibre écologique déréglé par l'activité humaine. (Site 2, 2022)

4- Phycoremédiation

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

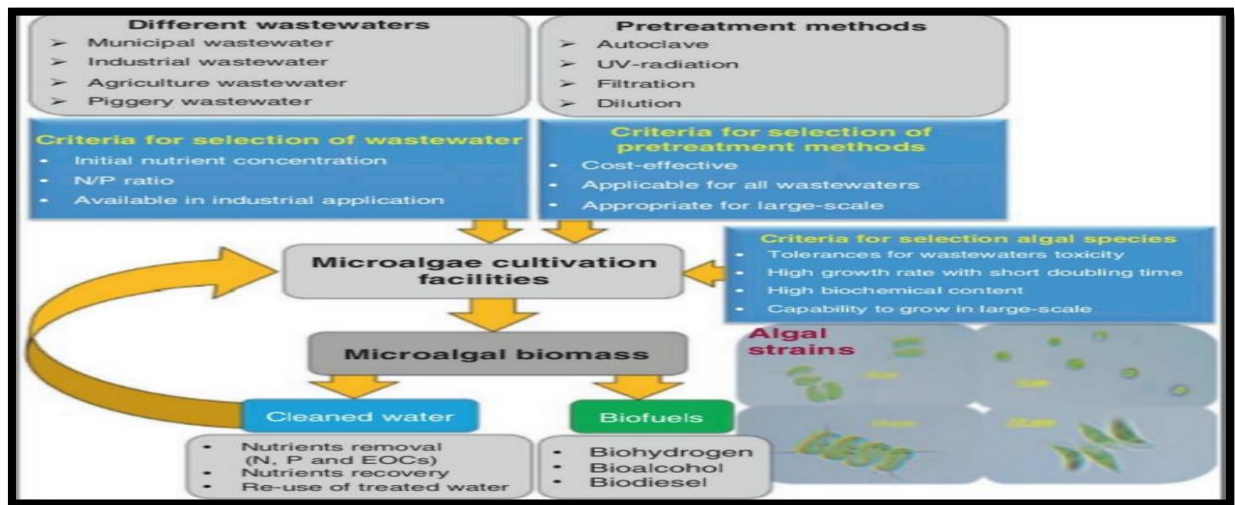


Figure 05: Représentation schématique de simulations de traitement des eaux usées avec culture de biomasse de microalgues. (Salama et al. 2017).

Les microalgues constituent un moyen durable et économique pour le traitement des eaux usées ainsi que la production de substances commercialement de valeur. Microalgues exposition efficacité supérieure dans l'élimination des nutriments comme par rapport à un autre microorganisme parce que les nutriments aiment nitrate, ammoniac, phosphate et d'autres oligo-éléments se trouvent dans les eaux usées c'est essentiel pour le croissance de microalgues. Des progrès significatifs dans le domaine de la culture de microalgues accouplé avec traitement des eaux usées a abouti à l'amélioration en production de algue biomasse (Salama et al., 2017)

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

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

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

6- Espèces des microalgues utilisées pour traitement des eaux usées

Différents types d'eaux usées, à savoir, industrielles, agricoles et municipales, contiennent différents composés toxiques et doivent être traités avant leur élimination dans le système d'eau; sinon cela peut causer de sérieux problèmes à la vie aquatique ou à l'homme santé. Différents traitements chimiques et biologiques sont généralement utilisés pour éliminer les substrats toxiques des eaux usées (**Zeng et al., 2015**). Tableau 02 présente les microalgues utilisées pour le traitement de différentes eaux usées. Sélection de microalgues pour la culture dans les eaux usées est l'un des critères importants pour la production de bioproduits liés à la culture à base de microalgues. Généralement, les microalgues ayant capacité de taux de croissance et de production de biomasse élevés, à obtenir des nutriments de divers types d'eaux usées, tolérer la toxicité de divers xénobiotiques, séquestrer quantité de CO₂ atmosphérique, pour accumuler une grande quantité de produits finis souhaités, et pour résister à une grande variété de paramètres physico-chimiques comme la température élevée et une intensité lumineuse élevée, sont préférables pour l'assainissement des eaux usées (**Chen et al., 2015; Cai et al., 2013; Zhou et al., 2014**).

Tableau 02 : Quelques Microalgues utilisées pour le traitement des différentes eaux usées.
(Imran Pancha et al., 2019).

Nom de la microalgue	Eaux usées
<i>Chlorella saccharophila</i>	Eaux usées industrielles
<i>Chlorella vulgaris</i>	Eaux usées salines
<i>Scenedesmus quadricauda</i>	Eaux usées du campus
<i>Micractinium inermum</i>	Eaux usées domestiques
<i>Micractinium reisseri</i>	Eaux usées municipales
<i>Galdieria sulphuraria</i>	Eaux usées urbaines
<i>Leptolyngbya sp</i>	Eaux usées municipales

Les chercheurs ont montré que les microalgues indigènes isolées des milieux naturels avoir plus de potentiel pour assainir les déchets toxiques ainsi que produire des bioproduits par rapport aux microalgues obtenu des centres de collecte de la culture. C'est principalement dû à leur meilleure acclimatation en natif environnements (Zhou et al., 2012 ; Bhatnagar et al., 2011). Parmi les différentes microalgues utilisées pour le traitement des eaux usées, le genre de microalgues de *Chlorella* et *Scenedesmus* est l'espèce la plus dominante principalement en raison de leur grande capacité d'élimination des nutriments ainsi que de leur capacité à résister une grande variété de paramètres environnementaux (Chiu et al., 2015 ; Kim et al., 2016). En dehors de ces deux algues vertes, diverses autres souches comme *Galdieria sulphuraria*, *Micractinium minimum*, *Chlorococcum sp.* etc. avoir aussi été signalé pour leur aptitude à corriger eaux usées pour produire divers bioproduits.

Ruiz-Marin et al, 2010 a signalé qui l'immobilisé *Scenedesmus obliquus* et *Chlorella vulgaris* ayant haute possibilité de supprimer nutriments provenant des eaux usées. Ce indiqué que la culture stratégie est également important pour la phycoremédiation des eaux usées.

Chapitre III: les eaux usées et leur traitement

I. Eaux usées

I.1 Définition des eaux usées

Les eaux usées sont des liquides de composition hétérogène, chargées de matières minérales ou organiques, pouvant être en suspension ou en solution, et dont certains peuvent avoir un caractère toxique.

C'est l'eau qui a été utilisée et qui doit être traitée avant d'être réintroduite vers d'autres sources d'eaux pour qu'ils ne causent pas de pollution de ces autres sources.

Les eaux usées, sont un mélange de plusieurs types d'eaux et pour éviter la pollution, sont acheminées par un réseau d'assainissement vers une station d'épuration pour y être traitées et si possible réutilisées (**Bachi, 2010**).

I.2. Origine des eaux usées

I.2.1. Les eaux usées domestiques

Les eaux usées domestiques comprennent les eaux ménagères (eaux de toilette, de Lessive, de cuisine) et les eaux vannes (urines et matières fécales), dans le système dit « tout-à-l'égout. Les eaux usées domestiques contiennent des matières minérales et des matières Organiques. Les matières minérales (chlorures, phosphates, sulfates, etc.) et les matières Organiques constituées de composés ternaires, tels que les sucres et les graisses (formés de Carbone, oxygène et hydrogène, mais aussi d'azote et, dans certains cas, d'autres corps tels Que soufre, phosphore, fer, etc.) (**VAILLANT J R, 1974**)

I.2.2 Les eaux usées 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.

La variété des eaux usées industrielles est très grande. Certains de ces eaux sont toxiques pour la flore et la faune aquatiques, ou pour l'homme. Il faut bien distinguer les eaux résiduaires et les liquides résiduaires de certaines industries.

Les rejets industriels peuvent donc suivre trois voies d'assainissement

- Ils sont directement rejetés dans le réseau domestique. - Ils sont prétraités puis rejetés dans le réseau domestique. - Ils sont entièrement traités sur place et rejetés dans le milieu naturel (Baumont et al, 2004).

I.2.3. Les eaux usées urbaines

Les eaux usées urbaines comprennent les eaux usées domestiques et les eaux de ruissellement (eaux pluviales, eaux d'arrosage des voies publiques, eaux de lavage des caniveaux, des marchés et des cours).

Les eaux qui ruissellent sur les toitures, les cours, les jardins, les espaces verts, les voies publiques et les marchés entraînent toutes sortes de déchets minéraux et organiques : de la terre, des limons, des boues, des silts, des sables, des déchets végétaux (herbes, pailles, feuilles, graines, etc.) et toutes sortes de micropolluants (hydrocarbures, pesticides venant des jardins, détergents utilisés pour le lavage des cours, des voies publiques, des automobiles, débris microscopique de caoutchouc venant de l'usure des pneumatiques des véhicules.

Plomb venant du plomb tétra éthyle contenu dans l'essence, retombées diverses de l'atmosphère, provenant notamment des cheminées domestiques et des cheminées d'usines (DESJARDINS R, 1997)

I.1.4. Les eaux agricoles

L'agriculture est une source de pollution des eaux non négligeable car elle apporte les engrais et les pesticides, elle est la cause essentielle des pollutions diffuses. Les eaux agricoles issues de terres cultivées chargées d'engrais nitrates et phosphates sous une forme ionique ou en quantité telle qu'ils ne seraient pas finalement retenus par le sol et assimilés par les plantes, conduisent par ruissellement à un enrichissement en matières azotées ou phosphatées des nappes les plus superficielles et des eaux des cours d'eau ou des retenues (Mertahri, 2012).

I.3. Pollution des eaux

I.3.1 Définition

La pollution de l'eau est une dégradation physique, chimique, biologique ou bactériologique de ses qualités naturelles, provoquée par l'homme et ses activités. Elle perturbe les conditions de vie de la flore et de la faune aquatiques ; elle compromet les utilisations de l'eau et l'équilibre du milieu naturel.

La pollution des eaux est provoquée par le rejet d'eau salie par nos activités domestiques (lavages et nettoyages divers, évacuation de nos urines et fèces, etc.) mais également par les diverses activités industrielles et agricoles, nécessaires pour fournir les aliments et biens dont nous avons besoin.

C'est ainsi que, à partir de nos maisons, nous rejetons avec l'eau usée, parfois en quantités infimes et parfois sans le savoir: des matières fécales et du papier de toilette, du sable et de la terre, des déchets d'aliments et des graisses, des détergents divers, des cosmétiques, des médicaments, des germes pathogènes, des hormones, des biocides (eau de Javel, pesticides, herbicides), des micro-plastiques, des fibres textiles, des nanomatériaux, etc.

Les eaux usées sont parfois qualifiées d'eaux grises lorsqu'il s'agit d'eaux peu chargées en matières polluantes, par exemple des eaux d'origine domestique résultant du lavage de la vaisselle ou des mains, des bains ou des douches. On parle d'eaux noires lorsqu'elles contiennent diverses substances plus polluantes ou plus difficiles à éliminer tels que des matières fécales ou tout type de sous-produit industriel.

Les eaux de pluie qui ruissellent sur des surfaces imperméables sont souvent considérées comme polluées. Ainsi, les eaux de pluie ruissellant sur des parcs de stationnement sont considérées comme des eaux usées car elles entraînent divers polluants comme les hydrocarbures ou les poussières d'usure des pneumatiques ou des systèmes de freinage. De même, les produits herbicides utilisés pour désherber rapidement et sans effort des aires extérieures dallées ou pavées se retrouvent dans les eaux de ruissellement.

Les eaux usées rejetées par les hôpitaux, les écoles, les commerces, les hôtels et restaurants, les dentistes, les laboratoires, les artisans (boulangers, bouchers, coiffeurs, etc.) sont souvent, pour des raisons techniques ou d'hygiène, chargées de produits professionnels spécifiques.

La pollution agricole est également une source de pollution des cours d'eau. Les engrais et pesticides mal utilisés polluent les eaux souterraines en s'infiltrant dans le sol avec les eaux de pluie et d'arrosage, et les eaux de surface par ruissellement et entraînement de ces produits dans les cours d'eau.

Les industries produisent également des eaux usées et rejettent des pollutions très diverses. Selon les produits fabriqués, les processus de fabrication et l'usage de l'eau dans ces

processus, on retrouve dans ces eaux des matières organiques, des sels, des hydrocarbures, des métaux, des biocides, des micropolluants et des produits chimiques divers. (Site 01,2022)



Figure 06: Le pollution de l'eau (site 02, 2022)

I.3.2 Principaux type de pollution

Trois grandes familles caractérisent la pollution :

Elle résulte de différents éléments solides entraînés par les rejets domestiques et industriels.

On distingue :

I.3.2.1 Pollution physique

- Pollution solide : elle provient des particules solides apportées par les eaux industrielles ainsi que les eaux de ruissellement et issue des décharges de déchets à ciel ouvert.

- Pollution thermique : causée généralement par les eaux des circuits de refroidissement des usines, en effet tout changement de température de l'eau a des conséquences significatives sur l'équilibre écologique du milieu aquatique naturel et la survie des organismes vivants.

- Pollution radioactive : liée aux rejets des éléments radioactifs par les installations et les centrales nucléaires ainsi que les usines de traitement de déchets radioactifs (**BENKADDOUR B, 2018**)

I.3.2.2 Pollution chimique

Humaines : les pollutions chimiques.

Les pollutions chimiques humaines croissent avec la civilisation industrielle. Leurs origines sont multiples : agriculture, industrie, vie en agglomération, transports, vie dans le monde moderne, accidents et négligences (parfois même intention coupable). Existe-t-il des polluants chimiques non toxiques ? Il est impossible d'affirmer que telle substance est inoffensive si nous ignorons aussi bien les interactions de cette substance avec d'autres corps que l'action des produits de dégradation.

La pollution par des produits d'origine agricole affecte les Eaux superficielles et les Eaux souterraines ; elle s'accuse, d'ailleurs, avec l'emploi généralisé et intensif des engrais chimiques et des pesticides.

Les fumiers et les purins créent de leur côté une pollution biologique non négligeable en raison du grand nombre de points de pollution.

Mais les engrais chimiques, (les principaux étant les nitrates, les chlorures de potassium, les phosphates et les superphosphates), polluent les nappes par entraînement partiel lors de l'infiltration des pluies et des Eaux d'arrosage. Les pesticides sont aussi une source de pollution:

Herbicides, insecticides et fongicides. Parmi ces derniers, de nombreux composés minéraux et organiques à base de mercure ont été utilisés dans le passé (Ils étaient seuls à posséder des propriétés fongitoxiques) et sont encore utilisés (bien que leur emploi diminue depuis une quinquennie) pour le traitement des graines de semence, des semences de pommes de terre, des bulbes floraux contre les maladies fongiques.

L'extrême diffusion de ce produit dans le milieu naturel agricole, dont une partie par l'Eau, rend sa récupération impossible. En général, les pesticides sont caractérisés par une certaine solubilité et sont transportés par les Eaux. Selon leur degré de dégradabilité, ils subissent une évolution plus ou moins rapide ; les organo-chlorés et les organophosphorés ne sont que lentement dégradables et certains d'entre eux donnent des produits d'hydrolyse qui, parfois, sont plus toxiques que le produit initial. (**Chartier Marcel M, 1974**)

I.3.2.3. Pollution biologique

Par définition, une pollution biologique est issue du milieu lui-même. C'est par le surdéveloppement de micro-organismes ou de végétaux micro ou macroscopiques qu'un déséquilibre du milieu environnant peut entraîner une mortalité élevée chez les autres organismes présents. Ce surdéveloppement est généralement la conséquence d'une action humaine : enrichissement en nitrates d'un milieu (rejets organiques), développement de virus, de bactéries, modification de la température d'un milieu (rejet d'eau chaude), introduction d'espèces invasives etc...

Tableau 03 Principaux types de pollution des eaux continentales, nature de produits polluants et leurs origines (Dr-HDR-TOUATI Laid, 2021)

Type de pollution	Nature	Source ou agent causal
Physique:		
Pollution thermique	Rejets d'eau chaude	Centrales thermiques
Pollution radioactive	Radio-isotopes	Installations nucléaires
Pollution mécanique	Matières en suspension	Eaux résiduaires industrielles
Chimique:		
Fertilisants	Nitrates, phosphates	Agriculture, lessives
Métaux et métalloïdes	Mercuré, cadmium, plomb Aluminium, arsenic	Industries, agriculture, pluies acides, combustion
Pesticides	Insecticides, herbicides, fongicides	Agriculture, industries
Organochlorés	PCB, solvants	Industries
Composés organiques de synthèse	Nombreuses molécules	Industries
Détergents	Agents tensio-actifs	Effluents domestiques
Hydrocarbures	Pétrole et dérivés	Industrie pétrolière, transports
Biologique:		
Matières fermentescibles	Glucides, lipides, protéines	Effluents domestiques, agricoles, agro-alimentaire
	Ammoniac, nitrates	Elevages et piscicultures
Pollution microbiologique	Bactéries, virus, champignons	Effluents urbains et d'élevages
Espèces invasives	Espèces végétales, espèces animales, OGM	Jardins botaniques, laboratoires de recherche

• Pollution organique

C'est les effluents chargés de matières organiques fermentescibles (biodégradables), fournis par les industries alimentaires et agroalimentaires (laiteries, abattoirs, sucreries...). Ils provoquent une consommation d'oxygène dissous de ces eaux, en entraînant la mort des poissons par asphyxie et le développement (dépôts de matières organiques au fonds des rivières) de fermentation anaérobie (putréfaction) génératrices de nuisances olfactives.

• Pollution microbiologique

✓ La pollution microbiologique résulte de la présence dans l'eau de microorganismes qui sont véhiculés par l'eau et sont responsables de beaucoup de maladies hydriques (Figure 07).

✓ L'eau peut être un milieu favorable aux développements des bactéries et virus nuisibles à la santé humaine des populations qui l'utilisent pour leurs besoins.

✓ Les bactéries pathogènes (*Vibrionacea*, *Enterobacteriaceae*, etc...) sont responsables des principales maladies hydriques.

✓ Les parasites sont eux aussi la cause de plusieurs autres maladies (hépatite infectieuse, méningite, etc...).



Figure 07. Sources de contamination et transfert jusqu'au milieu littoral.(Dr-HDR-TOUATI Laid, 2021)

• Les espèces invasives

La pollution biologique est l'introduction d'espèces exogènes (végétales ou animales) ou d'organismes génétiquement modifiés dans un milieu. Ainsi que les modifications environnementales qui aboutissent à une modification des peuplements.

(Dr-TOUATI Laid, 2021)

II. Traitement des eaux usées

II.1 Définition

Les eaux usées, qu'elles soient d'origine domestique ou industrielle, sont collectées par un d'être rejetées dans le milieu naturel. En station, les traitements varient en fonction de la nature de ces eaux usées et de la sensibilité à la pollution du milieu récepteur.

Aujourd'hui, les usines de traitement des eaux usées sont devenues des usines de dépollution, compactes, couvertes, désodorisées, automatisées. Elles mettent en œuvre des traitements de plus en plus performants, capables d'éliminer à la fois la pollution carbonée, l'azote et le phosphore. Ces usines sont dimensionnées pour traiter une certaine charge de pollution et assurer un rejet conforme à l'arrêté préfectoral d'autorisation. (**Aussel H, Le Bacle C et Graziella D) INRS, (2004)**

II.2 Procédés de traitement des eaux usées

Le traitement des eaux usées comprend plusieurs étapes : le prétraitement, le traitement primaire, le traitement secondaire, le traitement tertiaire, le traitement des boues, et le traitement des odeurs. Les eaux usées domestiques ou industrielles sont dépolluées avant leur rejet au milieu récepteur, en respectant la convention de déversement

Pour traiter la pollution carbonée, on utilise des procédés physico-chimiques qui consistent à piéger des matières en suspension décantables, et des procédés biologiques qui assimilent les matières solubles ou colloïdales par le principe de floculation biologique. Les procédés biologiques utilisent des techniques dites intensives et extensives. Ces techniques seront associées aux traitements secondaires qui utilisent des procédés biologiques pour améliorer l'abattement épuratoire de la station de dépollution des eaux usées. (**Mampuya Kinda FIDELE, 2020)**

II.2.1 Prétraitement

Le prétraitement est un procédé physique qui consiste à retirer de l'effluent les matières les plus grossières susceptibles de provoquer des colmatages des tuyauteries afin de protéger les équipements et procédés d'épuration en aval. Il comprend différentes unités de l'installation dont le dégrillage, le dessablage, le déshuilage et dégraissage. (**Aussel H, Le Bacle C et Graziella D) INRS, (2004)**

II.2.1.1 Dégrillage

A l'arrivée, l'eau usée en provenance des égouts passe entre les barreaux métalliques d'une grille (ou d'un tamis) qui retiennent les déchets volumineux (papiers, feuilles, matières plastiques, objets divers...) et l'effluent est relevé jusqu'au niveau de l'usine à l'aide de vis d'Archimède ou de pompes.

II.2.1.2 Dessablage

Les sables et graviers susceptibles d'endommager les installations en aval (ensablement de conduites, des bassins, usure des pompes et autres organes métalliques...) se déposent au fond de bassins conçus à cet effet. Ils sont récupérés de différentes façons : raclage vers une fosse de collecte, pompe suceuse...

II.2.1.3 Dégraissage et déshuilage

L'injection de fines bulles d'air dans un bassin permet de faire remonter les huiles et les graisses en surface où elles sont raclées selon le principe de l'écumage. **(Aussel H, Le Bacle C et Graziella D) INRS, (2004)**

II.2.2 Traitements physico-chimiques : traitements primaires

Nous traiterons ici à la fois des prétraitements et des traitements primaires au sens strict.

Les prétraitements sont une phase d'épuration grossière. On élimine tous les éléments solides volumineux et grossiers (sables, corps gras) qui pourraient d'ailleurs endommager les installations par la suite. Notons qu'on retire alors environ 35% des éléments polluants. [8] Tout d'abord on réalise le dégrillage : on fait passer l'eau à travers des grilles plus ou moins grossières pour récupérer tous les éléments solides plus gros que les espacements des grilles.

L'eau qui est issue de ce premier traitement subit ensuite le dessablage et le déshuilage-dégraissage. La vitesse d'écoulement de l'eau est ralentie, des particules de taille alors plus petite vont sédimenter (boues primaires) et les graisses, moins denses vont remonter à la surface. On va alors retirer les sables par pompage et prélever l'écume.

Le traitement primaire au sens strict est un traitement physico-chimique. Il est possible d'ajouter dans l'eau des agents coagulants et flocculants. On peut alors récupérer un grand nombre de particules en suspension par décantation ou flottation. (boues physico-chimiques). Cette étape permet d'éliminer 90% des particules et objets en suspension. Elle est commune à une très grande majorité des stations d'épuration.

Mais il reste alors dans l'eau tout ce qui y est dissous : éléments azotés, phosphatés, composés actifs et des particules fines.

Se rajoutent ensuite les traitements secondaires voire tertiaires.

II.2.3 Traitements biologiques : traitements secondaires

Ces traitements sont biologiques et permettent d'éliminer les polluants dissous. Pour cela on utilise des populations de micro-organismes capables de les consommer. Dans les cas étudiés, le principe général est de favoriser la croissance de communautés de bactéries aérobies, c'est-à-dire qui prélève l'O₂ pour leur métabolisme.

On en distingue différents types :

Le lagunage naturel : Les eaux usées sont stockées dans des plans d'eau peu profonds : les lagunes. L'activité microbienne se fait naturellement : échange avec l'atmosphère, photosynthèse. . .

Des aérateurs peuvent être utilisés pour brasser l'air et optimiser l'activité des bactéries. Ces processus induisent la formation de boues de lagunage au fond des bassins qui sont récupérées.

Les boues activées : On force ici le mélange du dioxygène, des eaux usées et des bactéries dans des bassins.

Les espèces sont sélectionnées selon ce que l'on souhaite éliminer : carbone, azote, phosphore. Les bactéries et leurs déchets du métabolisme forment, dans un bassin appelé clarificateur, des boues (boues secondaires) qui sont ensuite traitées et utilisées pour la fertilisation des sols par exemple. Une partie de ces boues retourne dans les bassins pour éviter une trop grande perte en bactéries.

Les biofiltres et filtres bactériens : On peut également faire percoler l'eau à travers un matériau où se développent des bactéries. Cela peut être des galets ou des supports (lits bactériens) ou des argiles cuites, des schistes, des sables. . .

(biofiltres). Ces traitements sont utilisés en plus du processus des boues activées, permettant d'éliminer une plus grande diversité de polluants. En effet, on va alors concentrer les bactéries et ainsi localiser leur action, la rendant plus efficace.

De nombreuses stations d'épuration cumulent aujourd'hui les traitements primaires et secondaires. Certaines plus rares utilisent des traitements avancés ou tertiaires. En effet, à la bactéries n'auront pas absorbés (azote, phosphore) et des éléments qu'elles ne sont de toute manière pas aptes à traiter (œstrogènes par exemple). (Cours .Solone M, David R, et Milena S, 2013)

II.2.4 Traitement tertiaire

Le traitement tertiaire est l'amélioration du traitement secondaire par traitement spécifique de l'azote et du phosphore sous l'action des bactéries, en milieu de culture fixée ou libre. L'action bactérienne dépend des conditions de culture (anaérobie, aérobie, anoxie, etc.) favorable à la pollution à dégrader. Pour assurer une meilleure précipitation de phosphore, des méthodes chimiques sont appliquées par ajout de coagulant dans le bassin aérobie où s'effectue la nitrification de la matière organique. La figure 08 ci-dessous montre une configuration classique des boues activées pour le traitement des eaux usées. (AUDRA P, 2020)



Figure 08. Configuration classique des boues activées (Veolia Eau, 2008, modifiée)

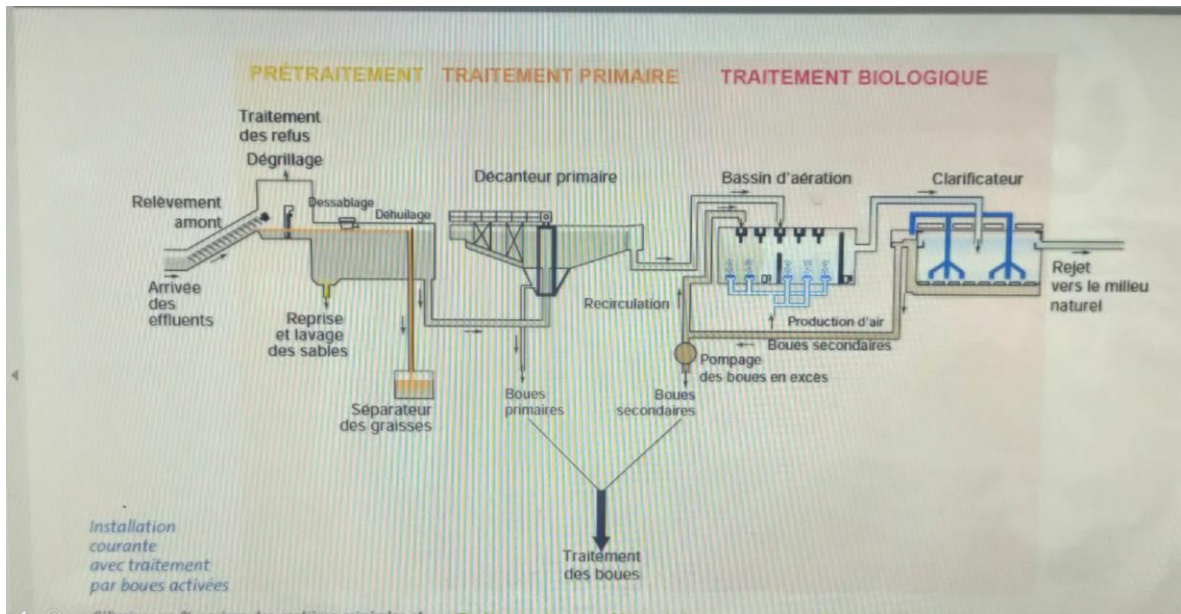


Figure 09. Type de traitement des eaux usées. (Aussel H, Le Bacle C et Graziella D) INRS, (2004)

Partie expérimentale

Chapitre I :
Présentation de la
station STEP 1

I. Présentation de la station d'épuration STEP1

La station d'épuration des eaux usées N°1 (STEP1) est celle de type lagunage aérée. Qui composée de six lagunes aérées réparties en deux étages de traitement et de trois lagunes de finition (3ème étage), d'un ouvrage de prétraitement (Dégrillage, dessablage), de 14 lits de séchage des boues d'épuration et de bâtiments d'exploitation, ainsi que le montage des équipements hydromécaniques et électriques. Notre étude permettra notamment de déterminer le pouvoir épurateur physico-chimique des eaux usées de la ville d'El-Oued par la station d'épuration de Kouinine (STEP1) (ANRH, 2004).

II. 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 situé au centre de la routenational 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 : Oermase. (DUC).

Cette station occupe une superficie de l'ordre de 100 hectares, permet de répondre aux besoins

fonciers. La forme géométrique du site s'apparente à un rectangle, orienté sud-nord, dont les dimensions sont :

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

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

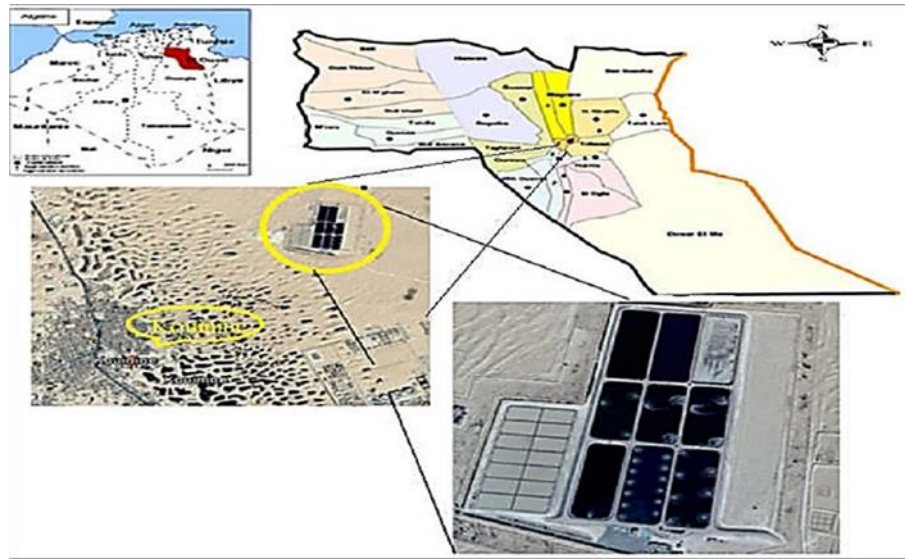


Figure 10 : Carte de situation de STEP 01 Kouinine (ZOBEDI A, 2017).

III. 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.

IV. Description de STEP1

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

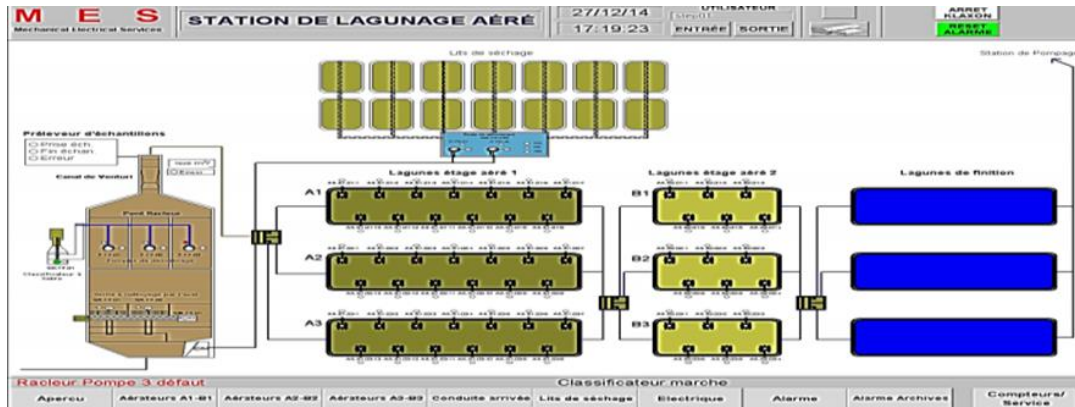


Figure 11: schéma présenté station de lagunage aéré de STEP de Kouinine N°01(ONA, 2011).

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

V.1. Prétraitement

Le prétraitement comporte les éléments suivants :

Dégrillage :

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

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



Figure 12: Dégrillage.

Dessablage :

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



Figure 13 : Dessablage

Ouvrage de répartition :

Disposé en tête de station en aval des ouvrages de prétraitement, il permet de répartir les eaux usées vers les lagunes du premier étage. Cette répartition est assurée par six seuils déversant identiques, de 1,50 m de largeur, munis de obstacles pour pouvoir au besoin mettre une la gune quelconque hors service (ONA, 2009).



Figure 14: Répartiteur vers les bassins d'aération.

V.2. Traitement secondaire des eaux usées

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

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, 2009).



Figure 15: Lagune aéré

Lagunes d'aération (deuxième étape) :

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



Figure 16: Aérateur.

Traitement complémentaire (lagune de finition) : Les lagunes de finition ont été conçues et construites selon le même système que les lagunes aérées 1 et 2.

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



Figure 17: Lagune de finition.

Décharge des boues :

Lit de séchage des boues : Construire 14 lits de séchage dans 2 lignes avec 7 lits par ligne en est remplis des graviers de différente granulométrie et couverts du sable comme couche de couverture. Conçues comme bâches terrestres avec revêtement en feuille, tuyaux perforé de drainage pour la déshydratation et des rampes d'accès pour la décharge de la boue sèche.

Pour le raclage de la boue déposée au radier des lagunes d'eau usée, un racleur de boue avec une pompe à piston rotatif aspire le mélange boue-eau et le transmet par une conduite de refoulement flexible, la boue pompée s'écoule par la suite vers les lits de séchage. Elle stockée dans les lits de séchage et déshydratée dans les conditions naturelles. Dans les conditions climatiques locales on peut assumer un temps de séjour d'environ 15-18 jours. Ainsi, on atteint un taux de matière sèche de 400- 450kg/m³(ONA, 2009).



Figure 18: Lit de séchage des boues.

Chapitre II: Matériels et Méthodes

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

Nous avons donné dans ce chapitre un aperçu sur les principales analyses faites sur les échantillons des eaux usées pour connaître la qualité des eaux traitées. Pour cela, différents appareils et méthodes d'analyses sont utilisées, donc nous avons suivi les paramétrées suivant à : T, pH, Con, Salinité, DBO₅, DCO, O₂ dissous ; biomasse ; NO₂ ; NO₃ .NH₃.NT

I. Matériel

I.1. Matériel biologique

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



Figure 19 : La souche de spiruline *Arthrospira platensis* (Photo originale, 2022).

I.2. Matériel non biologique

Matériels non biologique utilisée		Reactive utilisée
Appareil utilisée -	Instrument	
- Conductimètre (Terminal 740). - pH mètre - Oxy-mètre INOLABO-OXI 730 WTW - Spectrophotomètre - Rampe de filtration - Balance électrique - réacteur - Agitateur - thermomètre - Réfrigérateur conservant - autoclave	- verrerie - Micropipette de taille différente - barre magnétique - Lunettes - Pipette Pasteur - échantillon de réaction sec - cuillère plate - résistance pelvienne - Flacons en verre stérilisés de 2 litres et 250 ml - entonnoir en plastique - Solde - Acte de candidature- Lunette de protection - Gants.	- Eau distillé - LCK 338(azote totale) - LCK 342(nitrite) - LCK 339(nitrate) - Solution étalons 4, 7,10 - Solution étalons NaCl. - (LCK 314) (nitrite) - (LCK 142) (nitrite) - (LCK 114)

II. méthodes

II.1. Les analyse physico-chimique

II.1.1. Le but général de la manipulation

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

II.1.2. Prélèvement

II.1.2.1. Echantillonnage

Le prélèvement d'un échantillon d'eau est une opération délicate à laquelle le plus grand soin doit être apporté ; il conditionne les résultats analytiques et l'interprétation qui en sera donnée. L'échantillon doit être homogène, représentatif et obtenu sans modifier les caractéristiques physicochimiques de l'eau (gaz dissous, matières en suspension, etc.) (RODIER, 2005).

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

II.1.2.2. Lieu de prélèvement

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

II.1.3. Méthodes d'analyses

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

II.1.3.1. Détermination des pH et Température

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

But d'analyse

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

Electrode : Electrode de pH combinée

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

II.1.3.2. Détermination de l'oxygène dissous

Principe : La concentration réelle en électrode spécifique 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.

II.1.3.3. Détermination du conductivité électrique, salinité

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

Matériel : Conductimètre (Terminal 740).

II.1.3.4. Détermination du 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 ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) 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).

Réactifs:

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

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

II.1.3.5. Détermination du demande biochimique en oxygène (DBO₅)

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

Expression des résultants : Lecteur de la valeur après 5 jours. DBO₅ (mg/l) = Lecteur × Facteur.

II.1.3.6. Détermination du nitrite (NO₂⁻)

Réactifs

- Réactifs nitrite (LCK 341) gamme (2 à 20 mg/l) pour les faibles concentrations.
- Réactifs nitrite (LCK 142) gamme (0.05 à 2.0 mg/l) pour les fortes concentrations.

Expression des résultants : Les résultats sont donnés directement en mg/l.

II.1.3.7. Détermination du nitrate (NO₃⁺)

Réactifs

- Réactifs nitrate (LCK 339) gamme (1 à 60 mg/l)

Expression des résultants : Les résultats sont donnés directement en mg/l.

II.1.3.8. Détermination de l'azote total NT

Réactifs

- Réactifs azote total (LCK 338) gamme (20 à 100 mg/l)
- Mesure l' ammoniac NH₃
- Mode opératoire
- Pour l'échantillon d'eau brute, utilisée le boit de réactif de 302 en gamme (47-130 mg/l ; 60-167 mg/l)

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

II.2. Suivi de croissance d'*Arthrospira platensis*

II.2.1. préparation des milieux des cultures (milieu de Zarrouk)

Le milieu de culture retenu est celui de milieu de Zarrouk. Le choix de ce milieu est effectué de fait que ce milieu est le plus convenable pour la culture de la Spiruline est fabriqué à partir d'eau distillée et contient, en g/litre. Les constituants des milieux de culture sont cités dans le Tableau 04.

Tableau 04 : Composition chimique du milieu de culture (milieu de Zarrouk).

Elément	Quantité g /l	Quantité g/20l
NaHCO ₃	16,8	336
K ₂ HPO ₄	0,5	10
NaNO ₃	2 ,5	50
K ₂ SO ₄	1	20
Na Cl	1	20
MgSO ₄ , 7 H ₂ O	0,2	4
CaCl ₂	0,04	0,8
FeSO ₄ , 7 H ₂ O	0,01	0,2
EDTA	0,08	1;6
solution A5 :	1	20
H ₃ BO ₃	2,86	57,2
MnCl ₂ , 4 H ₂ O	1,81	36,2
ZnSO ₄ , 7 H ₂ O	0,222	4,44
CuSO ₄ , 5 H ₂ O	0,079	15,8
MoO ₃	0,015	0,3

➤ Méthode des préparations

Pour la préparation 1 litre de milieu de cultures de zarrouk ont :

- Nous pesons la quantité de chaque élément séparément jusqu'à ce que nous obtenions la quantité requise, puis on la verse dans une bouteille en verre de 250 ml à travers un entonnoir avec une quantité d'eau distillée puis on mélange la bouteille.

- Après avoir terminé le processus de pesage des éléments, nous collectons 5 composants (H_3BO_3 ; $\text{MnCl}_2, 4 \text{H}_2\text{O}$; $\text{ZnSO}_4, 7 \text{H}_2\text{O}$; $\text{CuSO}_4, 5 \text{H}_2\text{O}$; MoO_3) dans un bécher puis on mélange par l'agitateur magnétique pour obtenue la solution A5.

- Nous collectons également les 9 composants restants (NaHCO_3 ; K_2HPO_4 ; NaNO_3 ; K_2SO_4 ; Na Cl ; $\text{MgSO}_4, 7 \text{H}_2\text{O}$; CaCl_2 ; $\text{FeSO}_4, 7 \text{H}_2\text{O}$; EDTA) dans un bécher puis on mélange par l'agitateur magnétique , puis on ajoute 1ml de solution A5, puis on prend ce mélange et on le met dans un flacon de 1 L, et on ajoute de l'eau distillée jusqu'à ce que le mélange atteigne 1 L pour obtenir un milieu de culture.

- On verse le milieu de culture dans une bouteille en verre, on la ferme, puis on la met à l'autoclave pendant 20 minutes, puis on la met au réfrigérateur jusqu'à utilisation.

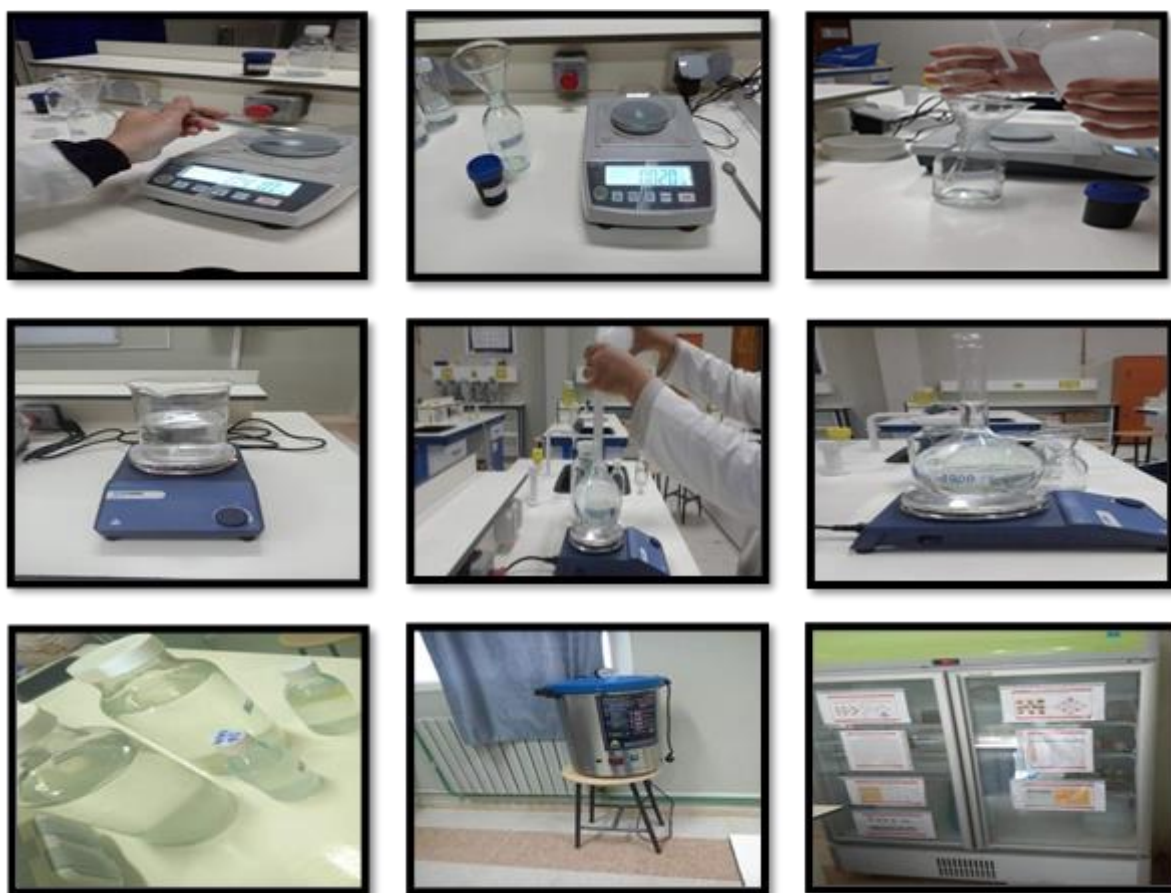


Figure 20 : étape de préparation des milieux de culture (Photo originale, 2022).

➤ **Remarque :** Dans cette expérimentale nous avons préparé volume 20l des milieux deculture.

II.2.2. Suivi de croissance de spiruline

II.2.2.1. Mesure du Température

La température est déterminée par Thermomètre.

Méthode d'analyse

- On rince bien thermomètre avant chaque usage avec l'eau distillée ; On Plonge thermomètre dans la culture de spiruline ; On lit la température ; On rince bien thermomètre après chaque usage avec l'eau distillée.

II.2.2.2. Mesure du pH

Détermination de l'acidité, la neutralité ou la basicité de la culture de spiruline.

➤ Méthode d'analyse

Pendre environ = 40 ml de culture de spiruline à analyser ; Allumer le pH mètre ; Rincer l'électrode avec de l'eau distillée ; Tremper l'électrode de pile dans la solution tampon ; Laisser stabiliser un moment jusqu'à affichage du standard ; Enlever l'électrode et la rincer abondamment avec l'eau distillée.

II.2.2.3. Mesure du Biomasse

- On a mesuré l'absorbance pour avoir une estimation de la concentration de la biomasse.

- On fait le blanc (milieu de culture sans spiruline) à longueur d'onde 625 nm dans le spectrophotomètre UV-VIS, puis on fait 3 ml de culture de spiruline à la même longueur d'onde.



Figure 21 : spectrophotomètre (*Photo originale, 2022*).

II.2.2.4. Mesure du Conductivité

La conductivité électrique mesurée par la conductimètre pour déterminer la conductivité, stabilité et TDS de culture de spiruline.

➤ Méthode d'analyse

On Plonge l'électrode dans la solution à analyser. On lit la conductivité, dés stabilité, TDS de celle-ci. On rince bien l'électrode après chaque usage avec l'eau distillée. La valeur est lire directement sur l'écran de l'appareil en milli-siemens par centimètre ($\mu\text{S}/\text{cm}$).

II.2.2.5. Mesure de l'Ammoniac

➤ Mode opératoire

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

II.2.2.6. Mesure du Nitrite (NO_2^-)

➤ Mode opératoire

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

Les résultats sont donnés directement en mg/l.

II.2.2.7. Mesure du Nitrate (NO_3^+)

➤ Mode opératoire

- ✓ Pipeter lentement dans la cuve 1.0 ml d'échantillon.
- ✓ Pipeter lentement 0.2 mL de la solution LCK 339 A.
- ✓ Fermer la cuve et mélanger le contenu en la retournant plusieurs fois jusqu'à ce

que le mélange soit complet.

- ✓ Attendre 15 min, bien nettoyer l'extérieur de la cuve et mesurer.

II.2.2.8. Mesure de L'azote Total (NT)

➤ Mode opératoire

- ✓ Doser dans une éprouvette de réaction sèche.
- ✓ 0.2 ml d'échantillon, 2.3ml de solution A (LCK 338 A), 1 tablette B (LCK 138/238/338B), fermer immédiatement. Ne pas mélanger.
- ✓ Chauffer directement à Thermo réacteur 60 mn à 100° C.
- ✓ HT 15 mn.
- ✓ Refroidir et ajouter 1 MicroCap C (LCK 138/238/338 C).
- ✓ Fermer l'éprouvette de réaction et mélanger jusqu'à ce que le lyophilisat se soit complètement dissous du MicroCap C (aucune particule restante).
- ✓ Pipetter lentement dans le test en cuve 0.5 ml d'échantillon désagrégé.
- ✓ Pipetter lentement 0.2 ml de solution D (LCK 138/238/338 D), fermer immédiatement la cuve et mélanger le contenu jusqu'à qu'aucun dépôt ou agrégat ne soit observable.
- ✓ Attendre 15 min, bien nettoyer l'extérieur de la cuve et mesurer.

II.2.3. Bioremédiation par de *Arthrospira platensis*

II.2.3.1. Analyse des eaux polluées et des eaux traitées

II.2.3.1.1. Mesure de la Conductivité

La conductivité électrique mesurée par le conductimètre pour déterminer la conductivité, salinité, TDS de l'eau.

➤ Méthodes d'analyse

On plonge l'électrode dans la solution à analyser. On lit la conductivité, dès stabilité, TDS de celle-ci. On rince bien l'électrode après chaque usage avec l'eau distillée. La valeur est lue directement sur l'écran de l'appareil en milli-siemens par centimètre ($\mu\text{S}/\text{cm}$).



Figure 22: Conductimètre (Sens ion5) (Photo originale, 2022).

II.2.3.1.2. Mesure du pH

Détermine l'acidité, neutralité, ou la basicité de l'eau.

➤ Mode Opérateur

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



Figure 23 : PH mètre (Sens ion 1) (Photo originale, 2022).

II.2.3.1.3. Mesure du Température

La température est déterminée en même temps que la mesure l'oxygène dissous par l'oxymétrie.

➤ Mode opératoire

Allumer l'oxymétrie ; Rincer l'électrode avec de l'eau distillée ; Prendre environ 100 ml d'eau à analyser ; Tremper l'électrode dans le bécher ; Laisser stabiliser un moment ; Lire la concentration de l'oxygène dissous et température ; Rincer bien l'électrode après chaque usage avec l'eau distillée. Le résultat est donné directement en mg/l.



Figure 24 : Oxymètres (LDO HQ 30d) (Photo originale, 2022).

II.2.3.1.4. Mesure de L'azote Total (NT)

Quantité totale d'azote (en N mg/L) correspondant à l'azote organique (Norg) et ammoniacal (ion ammonium, NH_4^+) et aux formes minérales oxydées de l'azote nitrates (NO_3^-).

3) et nitrites (NO_2^-) (Graini, 2011). Les formes réduites d'azote (organiques et ammoniacal) est appelé l'azote Kjeldahl (NTK) (Mizi, 2006 ; Koller, 2004).

A- Objectif

Détermination de la teneur en Azote Total d'une eau brute ou traitée.

B- 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.



Figure 25: Etapes de mesure l'azote totale (Photo originale, 2022).

II.2.3.1.5. Mesure d'Ammoniac

➤ Mode opératoire

Pour l'échantillons d'eau brute, utilisée le boit de réactif de 302 en gamme (47-130 mg/l; 60-167 mg/l)

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

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

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

II.2.3.1.6. Mesure de Nitrite

- Considéré comme un élément toxique, le NO_2^- est la forme la moins stable dans le cycle de l'azote. Il est issu de la réduction de l'ammonium NH_4^+ . Son origine est liée à l'agriculture et aux rejets urbains et industriels (Aouissi & Houhamdi, 2009).

➤ Mode opératoire

Pour les échantillons d'eau brute, utilisée le boit de réactif de 341 en gamme (0,015-0,6 mg/l; 0,05-2 mg/l)

- Ouverture le tube de réactif et ajouter 2 ml de l'eau brute puis agiter le tube; Laisser le tube repose pendant 15 minutes; Mettre le tube en spectrophotomètre, le résultat est donné directement en mg/l.

Pour les échantillons d'eau épurée, utilisée le boit de réactif de 342 en gamme (2-47 mg/l; 2,5-60 mg/l)

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



Figure 26 : système de tests en cuve LCK 342.

II.2.3.1.7. Mesure de Nitrate

Les nitrates sont présents dans l'eau par lessivage des produits azotés dans le sol, par décomposition des matières organiques ou des engrais de synthèse ou naturels (Belghiti *et al*, 2013).

Mode opératoire

- Prélever 1 ml à l'aide d'une pipette d'échantillons (eau brute et eau usée) ;
- Ajouter 0,2 ml de réactif A (le boîtier de réactif LCK 339 en gamme (0,23-13,50 mg/l; 1-60mg/l) dans chaque tube puis agiter les tubes;
- Laisser les tubes reposer pendant 15 minutes ;
- Mettre les tubes en spectrophotomètre, le résultat est donné directement en mg/l.



Figure 27: système de tests en cuve LCK 339.

II.3. Suivi de bioremédiation de polluant organique par *Arthrospira platensis*

Nous avons préparé du milieu ordinaire qui contient de l'eau stérilisée + 8g de bicarbonate de sodium puis nous avons ajouté 350g/l de la souche de *Arthrospira platensis*. Les analyses suivantes (PH ; T ; Conductivité ; NO₃ ; NO₂ ; NH₃) ont été mesurées de la même manière qu'en titre (2.2.1. analyse des eaux polluées et des eaux traitées).

Chapitre III: Résultats et discussion

I. 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 (01).

I.1. les analyses physicochimiques

I.1.1. Variation la température

On constate que les valeurs journalières de la température présentent une moyenne de 17.85°C elles varient entre une valeur maximale relevée (35,7°C) et une valeur minimale relevée en de (31.4C) pour les eaux brutes, et entre (35°C) et (28.4°C) pour les eaux traitées

Figure :

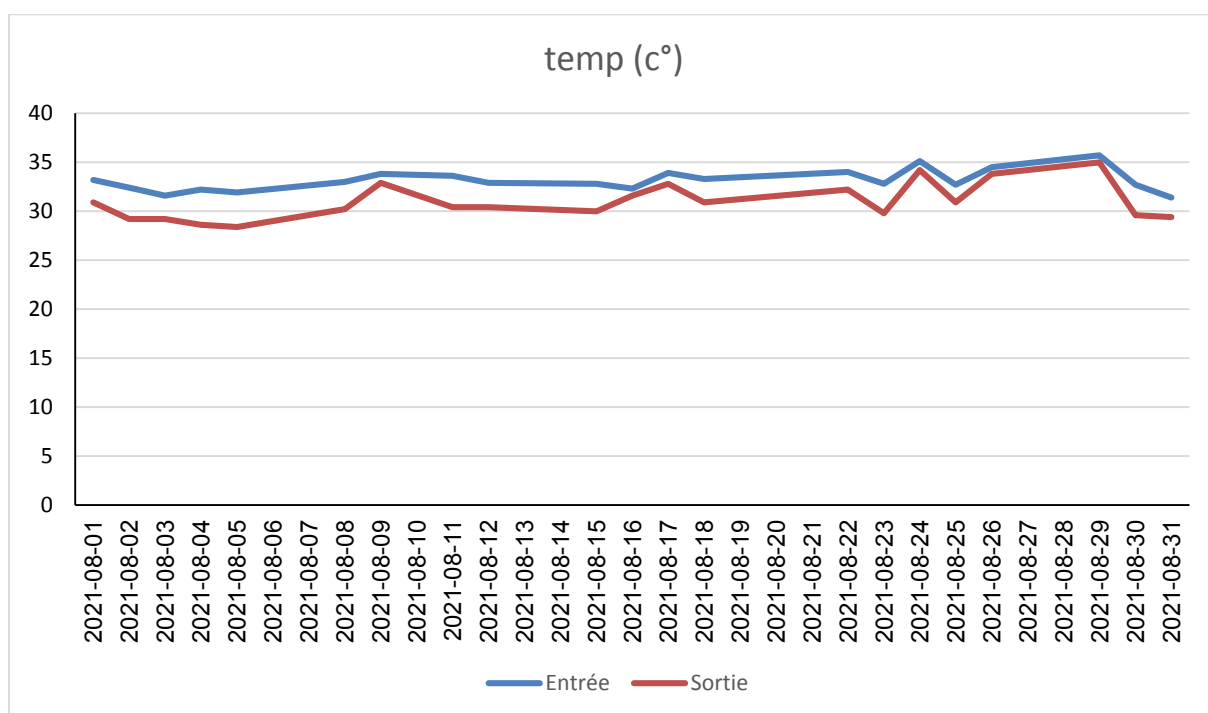


Figure 28: Variation journalière de la température des eaux brutes et traitées dans le temps

Ces fluctuations de ce paramètre abiotique sont en relation avec les conditions climatiques locales et plus particulièrement avec la température de l'air et les phénomènes d'évaporation d'eau.

On observe une diminution des valeurs de température des eaux traitées par rapport aux eaux brutes à cause, notamment, ceci peut s'expliquer l'effet de brassage exercé par les aérateurs mécaniques et des mouvements des eaux dans les bassins et entre les étages.

Ces valeurs sont conformes aux normes algériennes de rejets des eaux usées dans la nature qui sont de l'ordre de 30°C.

Nos résultats sont inférieures aux valeurs obtenues par DAHOU et al., (2013), qu'est 23.22 C°.

I.1.2. Variation du pH

Les résultats journaliers d'analyse le potentiel hydrique pH sont traduit comme de courbe Figure:

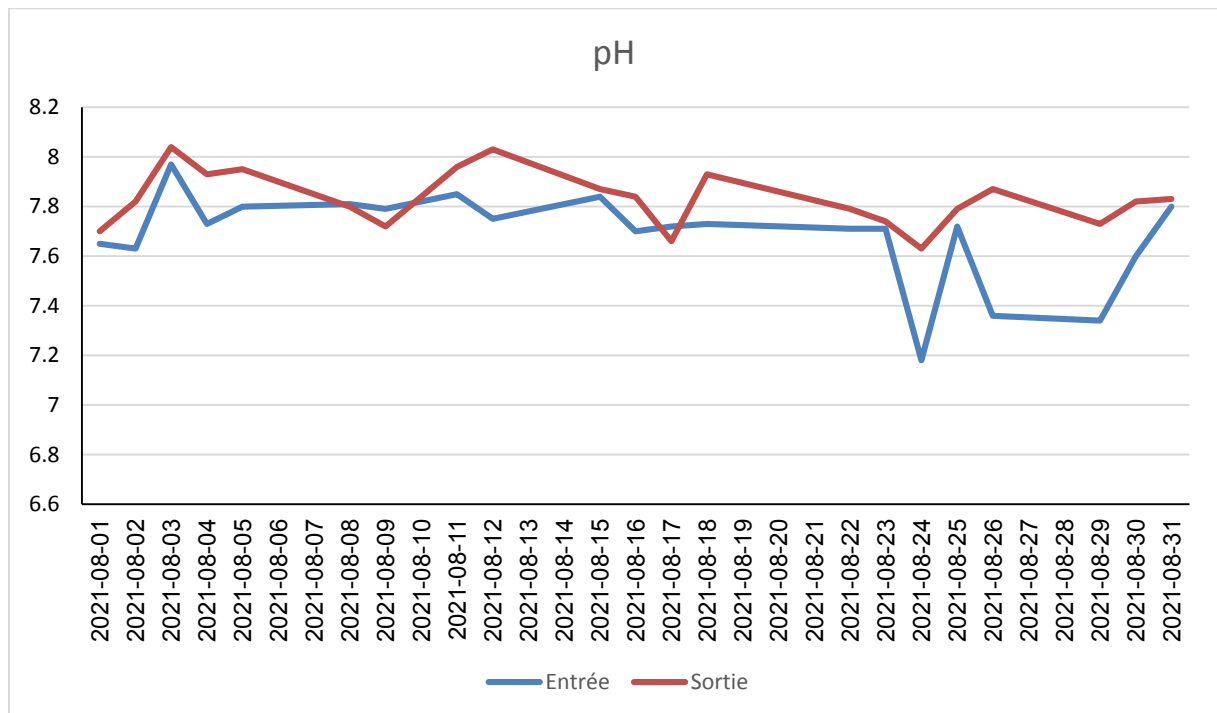


Figure 29: Variation journalière de Ph des eaux brutes et traitées dans le temps

On remarque que les valeurs du pH mesurées durant notre période d'étude varient pour les eaux brutes entre 7.18 et 7.85, avec une valeur moyenne de 7.4.

Pour les eaux traitées, le pH varie entre 7.7 et 8.04 avec une valeur moyenne de 8.01 sur la durée totale de l'expérience.

Les résultats du pH des eaux brutes montrent que ces valeurs sont caractéristiques des eaux résiduaires urbaines et ceux des eaux traitées montrent que ces valeurs répondent aux normes de rejet Algérienne (5.5-8.5).

I.1.3. Variation de la conductivité

Les résultats que nous avons obtenus sont rassemblés dans la figure

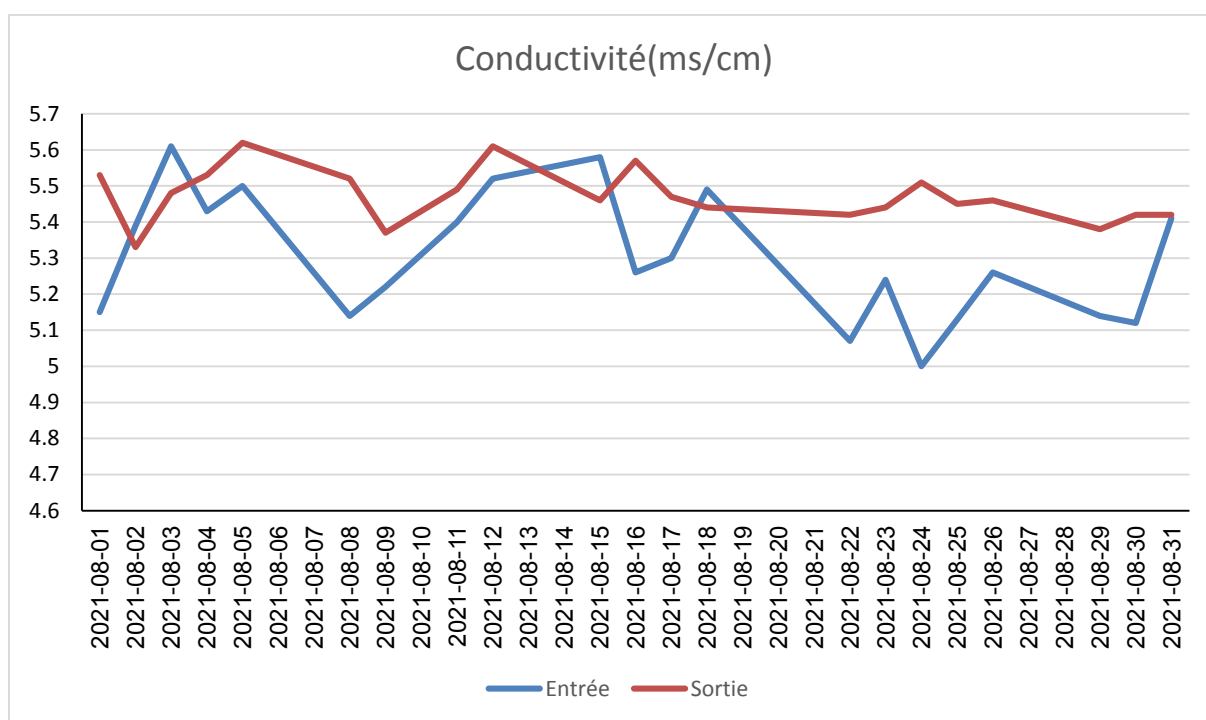


Figure 30: Variation journalière de la conductivité des eaux brutes et traitées dans le temps

D'après les résultats, nous notons que les valeurs moyennes de conductivité électrique mesurées sont de l'ordre de 5.39 ms/cm pour les eaux brutes, et de 5.51ms/cm pour les eaux traitées.

Les valeurs journalières de la conductivité électrique des eaux brutes varient dans un intervalle qui va d'un minimum de 5 ms/cm au maximum de 5.61 ms/cm.

Cette variation est due au changement de la concentration en sels dissous (chlorures, sulfates, calcium, sodium, magnésium...) dans le eaux qui arrivent à la STEP 1, ainsi que les eaux de drainage qui aboutissent aux réseaux d'assainissement.

A la sortie on constate une stabilisation de la conductivité suite au traitement, la concentration en sels se stabilise.

I.1.4. Variation de la salinité (Sal)

Les résultats que nous avons obtenus sont rassemblés dans la figure

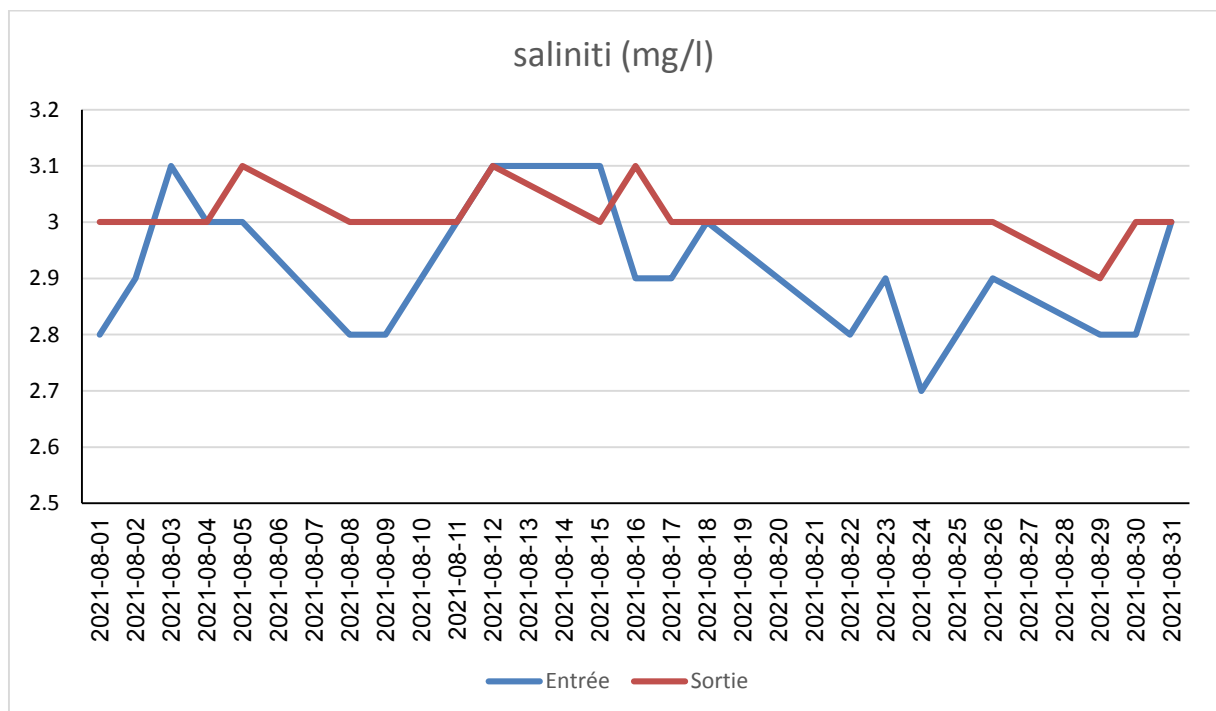


Figure 31: Variation journalière de la salinité des eaux brutes et traitées dans le temps

Les résultats de la salinité montrent que les valeurs journalières de cette dernière varient d'un minimum de 2.7 g/l à un maximum de 3.1 g/l avec une moyenne de 2.9 g/l pour les eaux brutes. En outre, pour les eaux traitées, les valeurs de la salinité varient d'un minimum de 2.9 g/l à un maximum de 3.1 g/l avec une mode de 2.7 g/l.

D'une façon générale, pour chaque la concentration moyenne de la salinité des eaux traitées est inférieure à celle des eaux brutes dû principalement à la précipitation des sels dissous de l'eau au fond du bassin.

Nos résultats sont inférieures aux valeurs obtenues par DAHOU et al., (2013), qui est 8.08 g/l.

I.1.5. L'oxygène dissous (O₂)

Les résultats que nous avons obtenus sont rassemblés dans la figure et dans l'annexe

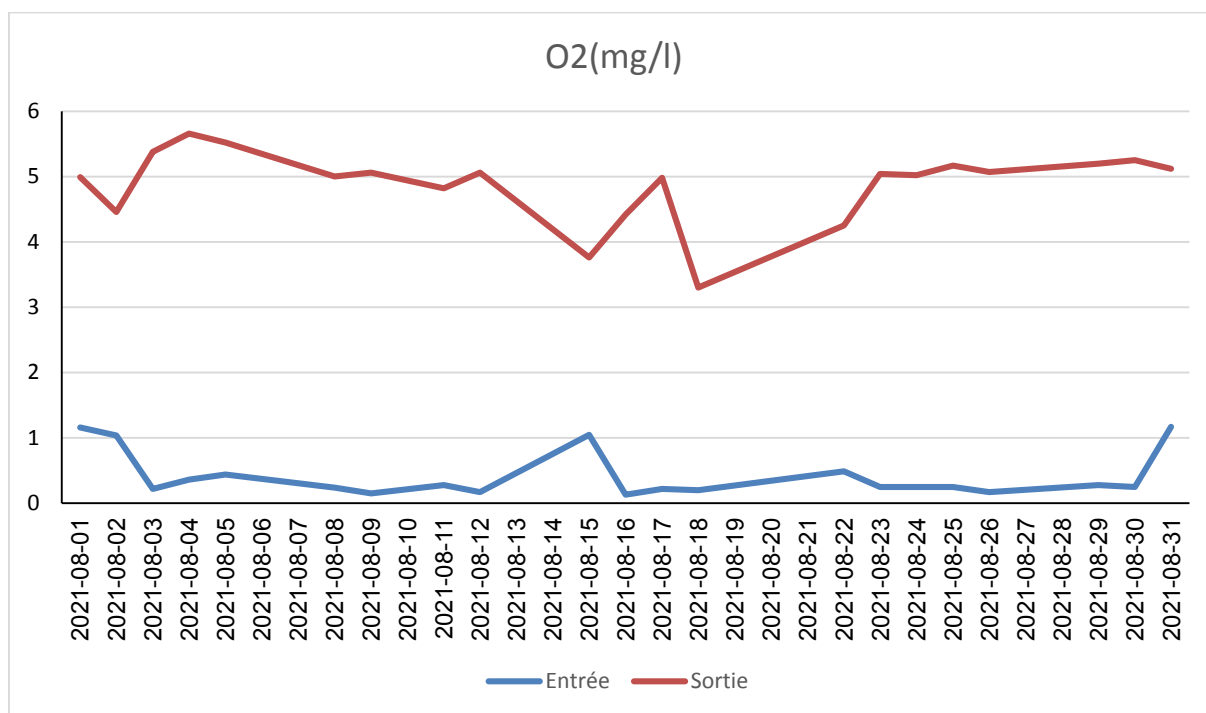


Figure 32: Variation journalière de L'oxygène dissous des eaux brutes et traitées dans le temps

D'après la figure, on remarque que les tenures en oxygène dissous varient journalière ment dans les eaux brutes et les eaux traitées. Pour les eaux brutes, la concentration moyenne, est faible (0.48 mg/l) et souvent proches de zéro (0.01 mg/l) enregistré, exceptée pour un seul prélèvement où l'oxygène a augmenté jusqu'à 2.65 mg/l . Pour les eaux traitées, l'O₂ dissous varie entre 1.76 mg/l et 5 mg/l, avec une valeur moyenne de 3.98 mg/l pour toute la durée de l'expérience.

Les fluctuations de la teneur en oxygène dissous de l'eau sont liées aux variations saisonnières de la température et la salinité de l'eau qui ont un impact direct sur le processus de solubilité de l'oxygène. Nous notons en effet, une augmentation des valeurs moyennes mensuelle des concentrations en oxygène des eaux traitées par rapport aux eaux brutes. Cette augmentation peut être expliquée par la présence de l'aération artificielle, et par l'action photosynthétique des algues dans les bassins d'aération.

La valeur moyenne obtenue sur toute la période de l'expérience pour les eaux traitées est de 3.98 mg/l. Cette valeur est proche des normes OMS de rejets (O₂ dissous = 5 mg/l) ce qui conforme l'efficacité du traitement.

Nos résultats sont inférieurs à la valeur obtenues par DAHOU et al., (2013), qu'est 6.31 mg/l.

I.1.6. Demande biochimique en oxygène (DBO5):

Les résultats que nous avons obtenus sont rassemblés dans la figure

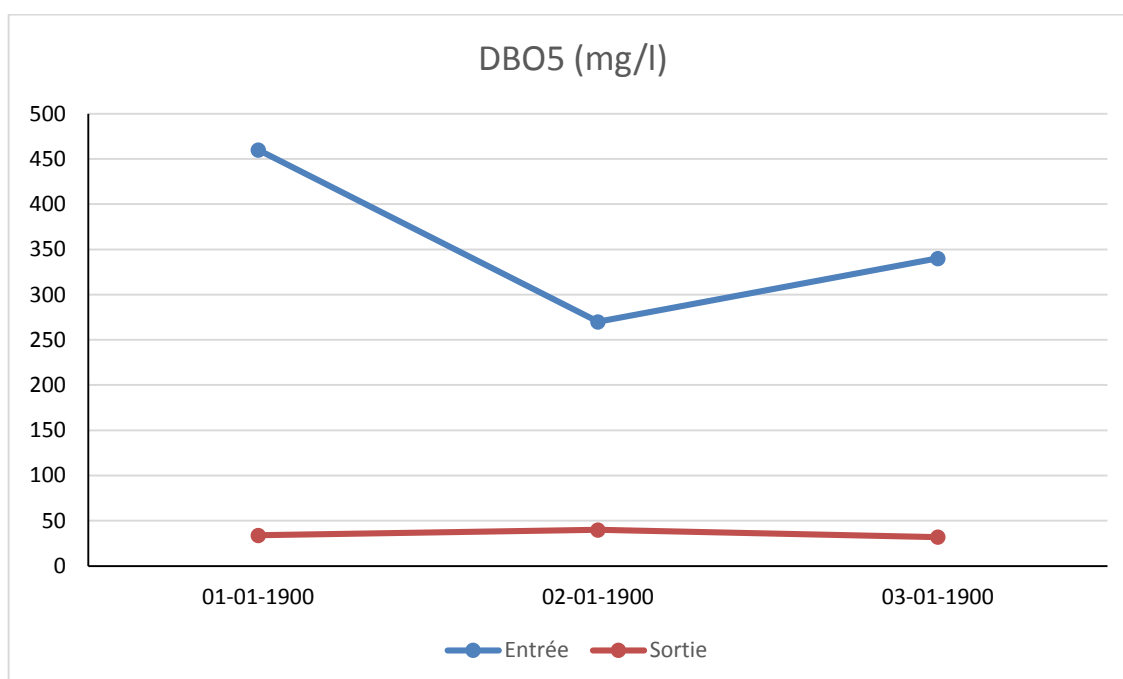


Figure 33 : Courbe d'analyse de la demande biologique en oxygène (DBO5) des eaux brutes et traitées dans le temps.

D'après les résultats obtenus, nous remarquons que la moyenne des valeurs de la DBO5 brute est de 388.2 mg/l et celles de l'eau traitée est de 39.65 mg/l.

Cette dernière valeur est inférieure aux normes de rejets de l'OMS appliquées en Algérie

Cependant, nous avons constaté une augmentation de la proportion de DBO5 dans l'eau brute enregistrée le 04 et 12 avril en ordre (50 mg/l) et (52 mg/l), cette augmentation ne répond pas aux normes de rejets de l'OMS appliquées en Algérie en raison de l'augmentation des huiles trouvées dans l'eau brute.

Nos résultats sont inférieurs à la valeur obtenues par DAHOU et al., (2013), qu'est 52.66 mg/l.

I.1.7. Demande chimique en oxygène (DCO)

Les résultats que nous avons obtenus sont rassemblés dans la Figure

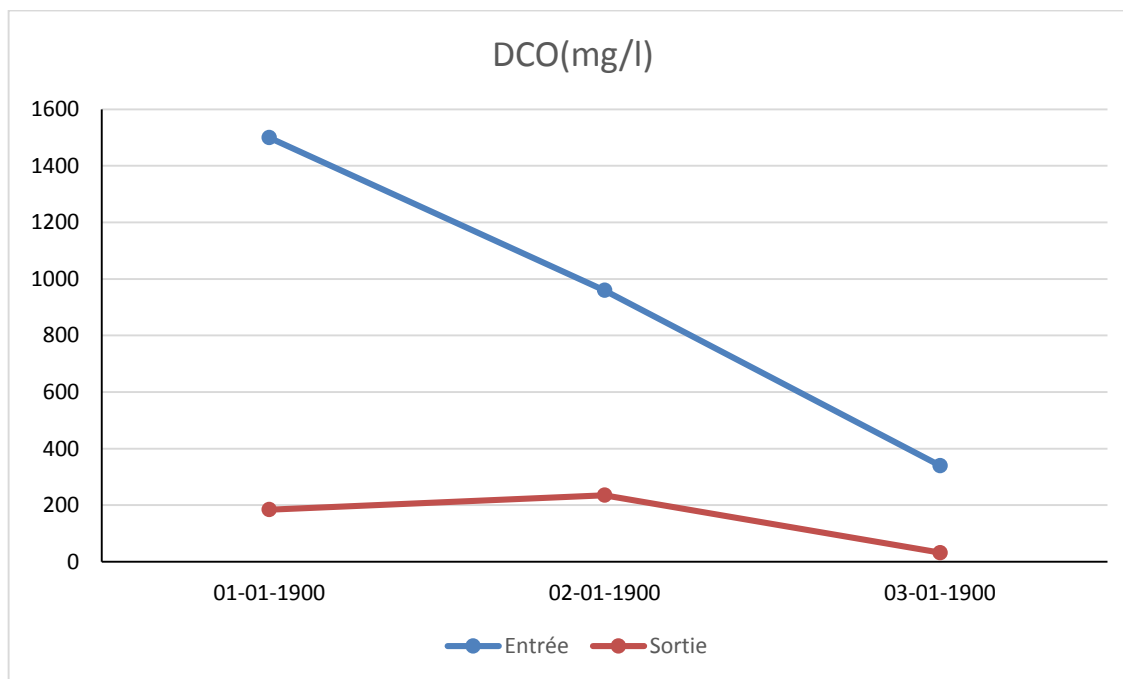


Figure 34: Courbe d'analyse de la demande chimique en oxygène (DCO) des eaux brutes et traitées dans le temps.

Les valeurs de concentration de la DCO des eaux brutes de la STEP 1 varient entre un maximum de 1500mg/l et un minimum de 540mg/l, avec une moyenne de 600 mg/l. En revanche, les valeurs des concentrations des eaux traitées varient entre un maximum de 235mg/l et un minimum de 176mg/l, avec une moyenne de 180.5 mg/l durant la durée de notre expérience.

La figure (34) présente l'évolution des valeurs de DCO de l'eau brute et traitée de la STEP de El-Oued Durant la durée de notre expérience. On observe un intervalle très important entre les valeurs de DCO de l'entrée et de la sortie des bassins de la station. Ces dernières ne dépassent pas la norme de l'OMS appliquée en Algérie (125 mg/l).

I.1.8. Matières en suspension (MES)

Les résultats que nous avons obtenus sont rassemblés dans la figure

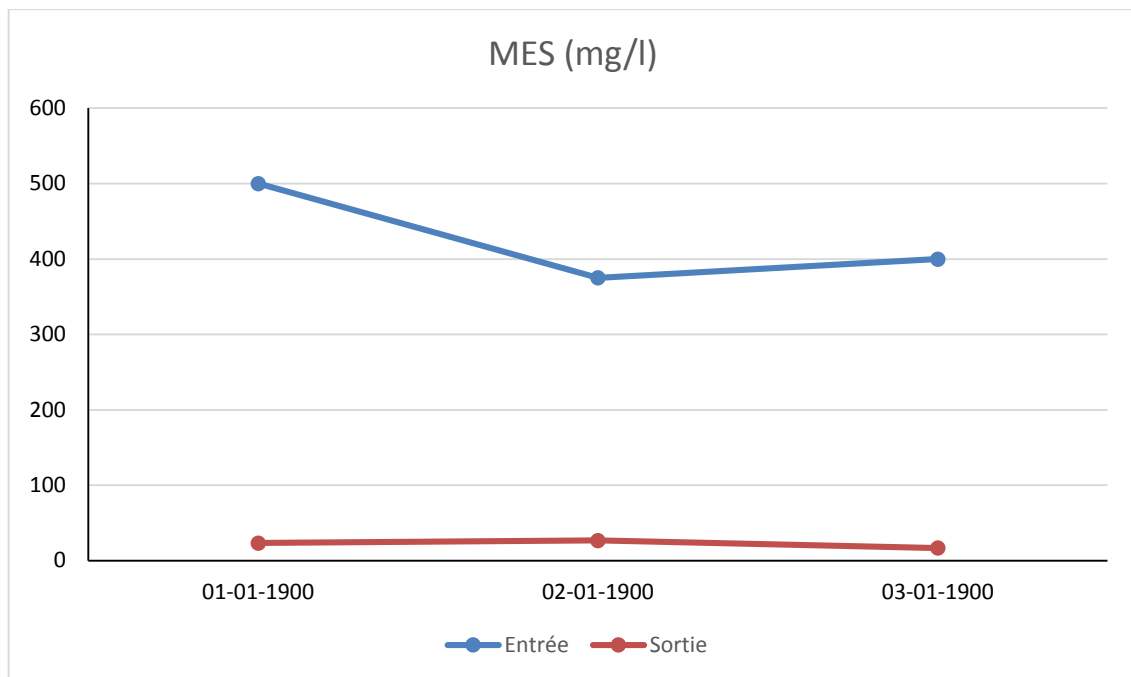


Figure 35: Variation journalière de MES des eaux brutes et traitées dans le temps

D'après les résultats obtenus nous observons que les valeurs de MES varient dans un intervalle qui va d'un minimum de 375 mg/l à un maximum de 500mg/l pour les eaux brutes et entre 16.66 mg/l et 26.66 mg/l pour les eaux traitées.

Par comparaison entre les valeurs de MES des eaux brutes qui ont une moyenne de 375mg/l et celles des eaux traitées qui sont de l'ordre de 23.33mg/l.

A la sortie, nous avons obtenu une valeur moyenne de l'ordre de 38.56 mg/l sur la durée de l'expérience. Cette valeur est inférieure à la norme de rejet de l'OMS appliquée à l'Algérie (40 mg/l)

Nos résultats sont inférieures aux valeurs obtenues par DAHOU et al, (2013), qu'est 52.66 mg/l.

I.1.9. L'azote total (Nt):

Les résultats d'analyse d'azote total sont traduits comme de courbe (Figure)

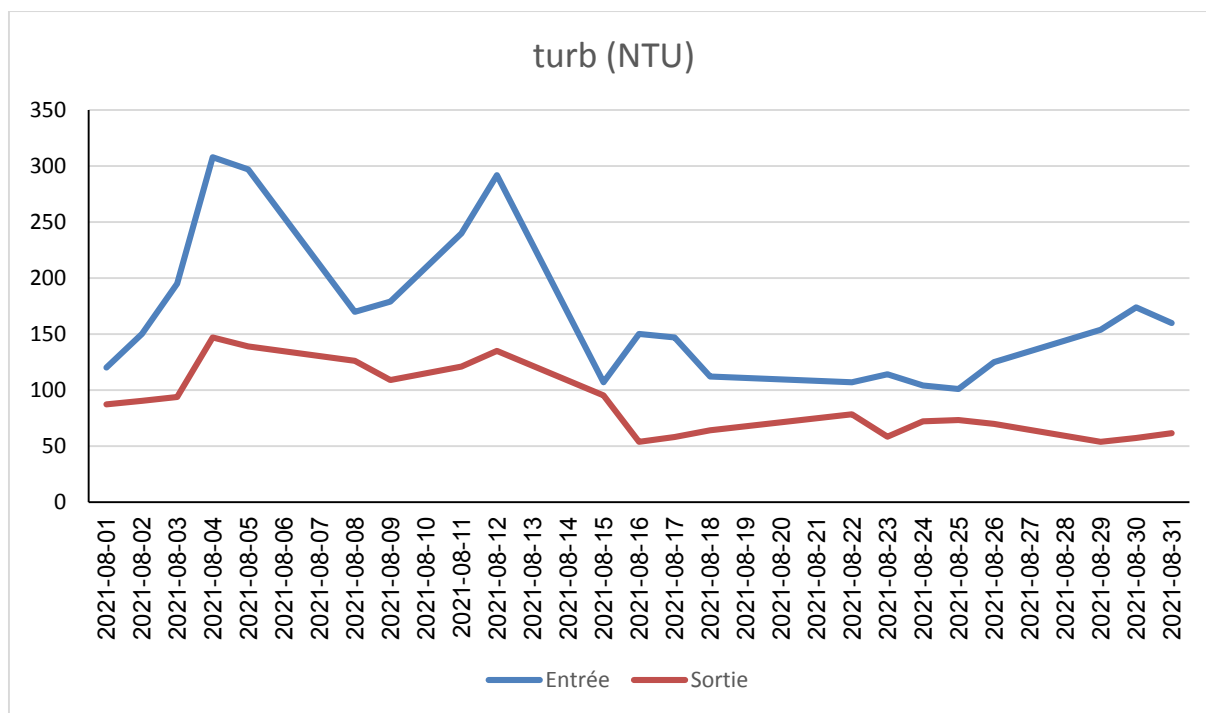


Figure 36 : Courbe d'analyse de Nt des eaux usées brutes et traitées dans le temps.

La valeur moyenne de N-NH₄⁺ Pour l'eau à l'entrée et à la sortie sont (49.63 mg/l) et (37.3 mg/l).

La valeur moyenne de N-NO₃⁻ Pour l'eau à l'entrée sont et à la sortie (0.92 mg/l) et (4.46 mg/l).

La valeur moyenne de N-NO₂⁻ pour l'eau à l'entrée et à la sortie sont (0.22 mg/l) et (1.03 mg/l).

On enregistre une valeur moyenne de Nt pour l'eau à l'entrée (brutes) est 68.6 mg/l et à la sortie (traitées) est 46.16 mg/l, ces résultats sont convenables avec les normes (50 mg/l).

Il y a une augmentation en teneurs des nitrates et nitrites après d'épuration, à cause des résultats de nitrification des eaux résiduaires dans les bassins d'aération ou les conditions favorables de pH, d'oxygène et le temps.

Alors les concentrations moyennes en nitrates et nitrites sont plus grandes dans les eaux usées traitées que dans les eaux usées brutes. Cette variation des concentrations s'explique par une possibilité de réaction de transformation des composées azotées en nitrites ensuite en nitrates.

Tableau 05 : Suivi de croissance d'*Arthrospira platensis* dans le Milieu Zarrouk.

	1	3	5	7	9	11	13	15
T	32	32	32	32	32	32	32	32
pH	8.5	8.7	9	9.2	9.5	9.7	10.1	10.5
Biomasse(mg/l)	350	420	550	680	900	1350	1120	1050
Conductivité(ms/cm)	20.3	20.1	20	19.8	19.6	19.2	18.9	18.6
NH₃(mg/l)	0	0	0	0	0	0	0	0
NO₂(mg/l)	0	0	0	0	0	0	0	0
NO₃(mg/l)	412.5	403	380.6	316.3	274.5	180.9	166.5	158
NT(mg/l)	412.5	403	380.6	316.3	274.5	180.9	166.5	158

II. Evolution des paramètres

II.1. physico-chimiques Température

D'après les résultats de la température mesurée au niveau d'aquarium on observe une stabilité de valeur température (32°C), cette stabilité est due à la présence d'un thermostat.

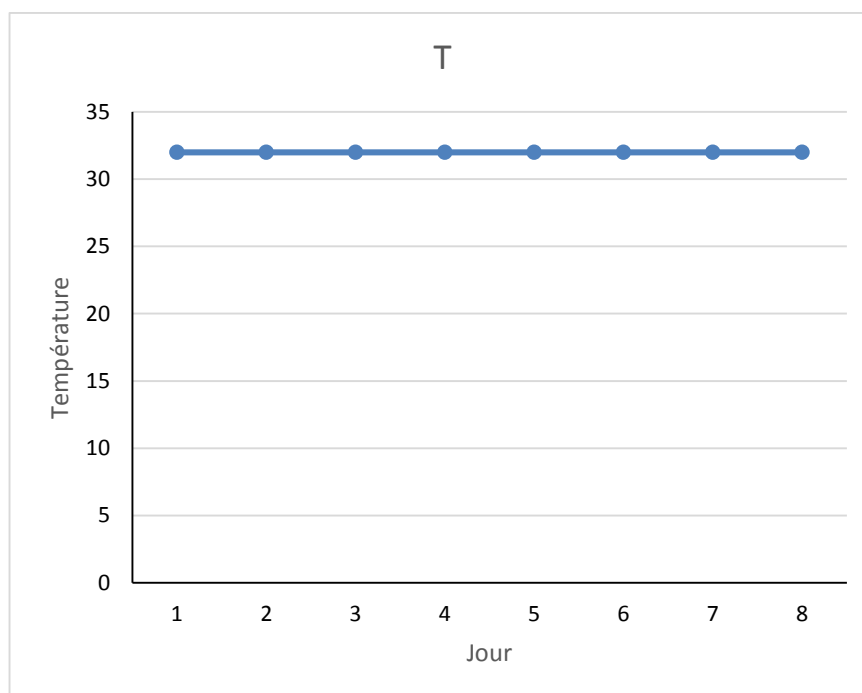


Figure 37 : Evolution de la Température dans le milieu de culture.

Gharmouli Donia et Abdaoui Aya et Souide Amira a servi culture et production de la spiruline

Arthrospira platensis dans la région d'El 'Oued nous avons trouvé le résultat inferieur.

II.2. PH

D'après les résultats du pH mesuré au niveau d'aquarium on observe une évolution du pH pendant les 15 jours.

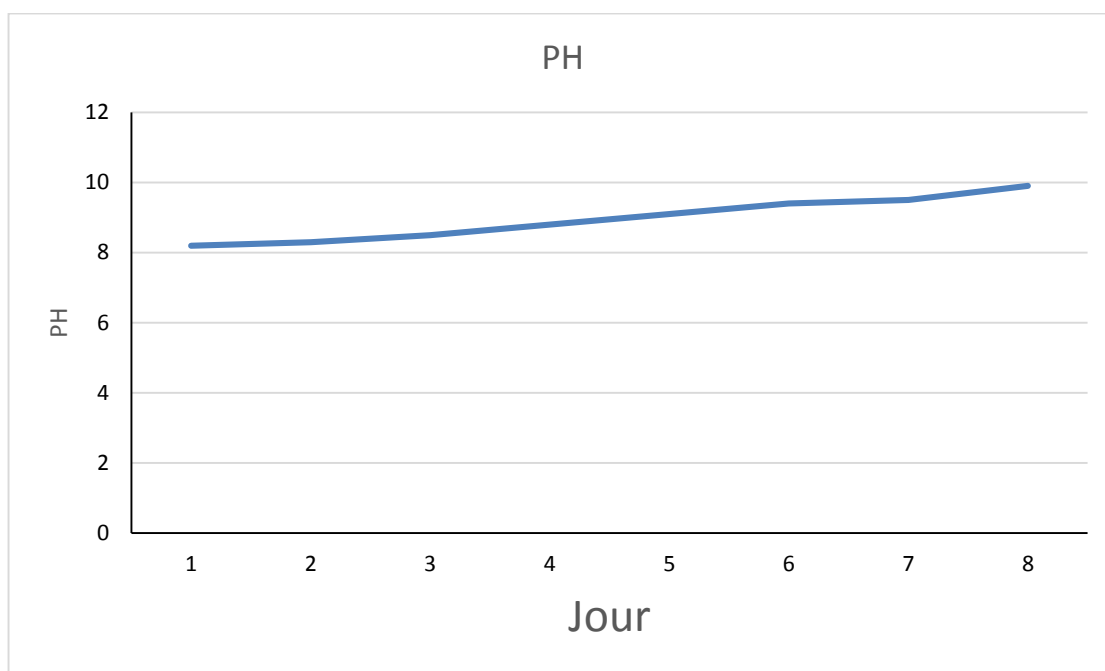


Figure 38: Evolution du pH dans le milieu de culture de la spiruline.

On observe quelques augmentations de valeur de pH de 8,5 le premier jour jusqu'à ce qu'il atteigne 10,5 dans le 15 jour.

L'augmentation du pH est due à la présence de bicarbonate de sodium dans milieu de culture, la spiruline pour la photosynthèse est besoins de CO₂, elle arrive à l'air ou à la bicarbonate de sodium. la bicarbonate de sodium est transfère a la CO₂ liquide+ sodium, le CO₂ liquide aquee dans l'eau et absorbe par la spiruline et le sodium augmente le valeur de OH⁻, et ce dernier due l'augmentation de pH.

Plus le processus de photosynthèse augmente, plus le CO₂ est absorbe, plus le pH est élevé. Gharmouli donia et Abdou aya et souide amira a servi culture et production de la spiruline *Arthrospira platensis* dans la région d'El 'Oued nous avons trouvé leurs résultat sont presque constants mais pour nous les valeurs augmente.

II.3. Biomasse (mg/l)

D'après les résultats de la biomasse mesurée au niveau d'aquarium on observe une augmentation de la biomasse de premier jour 350mg/l jusqu'au 1350mg/l dans 11 jours et puis une diminution jusqu'à ce que vous atteigniez 1050mg/l dans 15 jours.

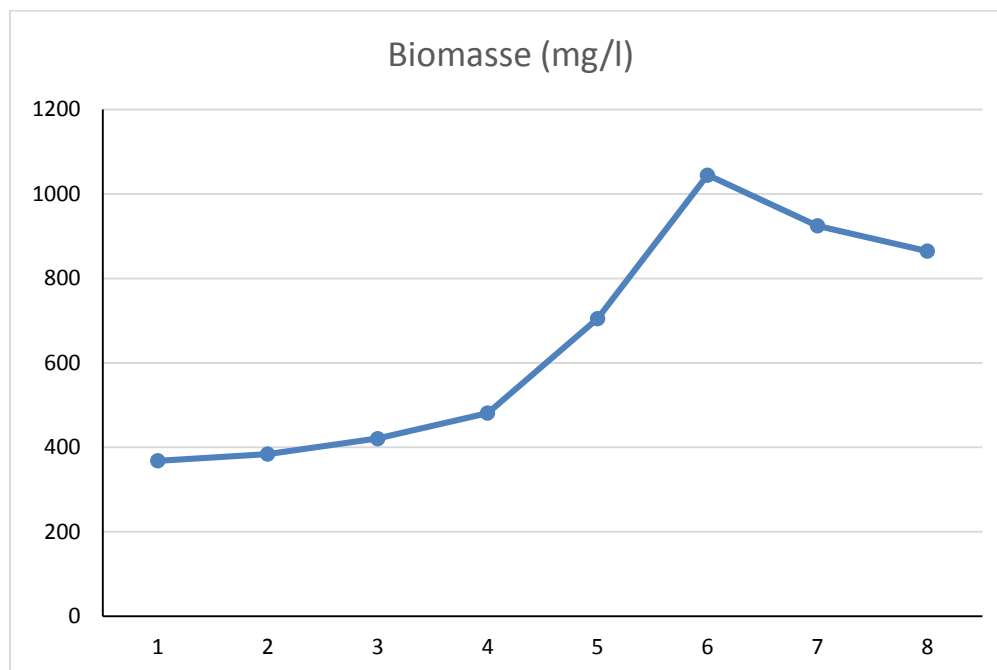


Figure 39: Evolution de la biomasse dans le milieu de culture de la spiruline.

L'augmentation de la biomasse est due de fournir toutes les conditions appropriées de la croissance (pH, Température, nutriment, lumière...) et la diminution due à la diminution une ou plusieurs condition de croissance

Gharmouli donia et Abdou aya et souide amira a servi culture et production de la spiruline *Arthrospira platensis* dans la région d'El 'Oued nous avons trouvé le même résultat (augmentation de la biomasse).

II.4. Conductivité électrique (CE)

D'après les résultats de la CE mesurée au niveau d'aquarium on observe une diminution de la CE de 20,3 ms/cm le premier jour jusqu'à ce qu'il atteigne 18,6 ms/cm dans le 15 jour .

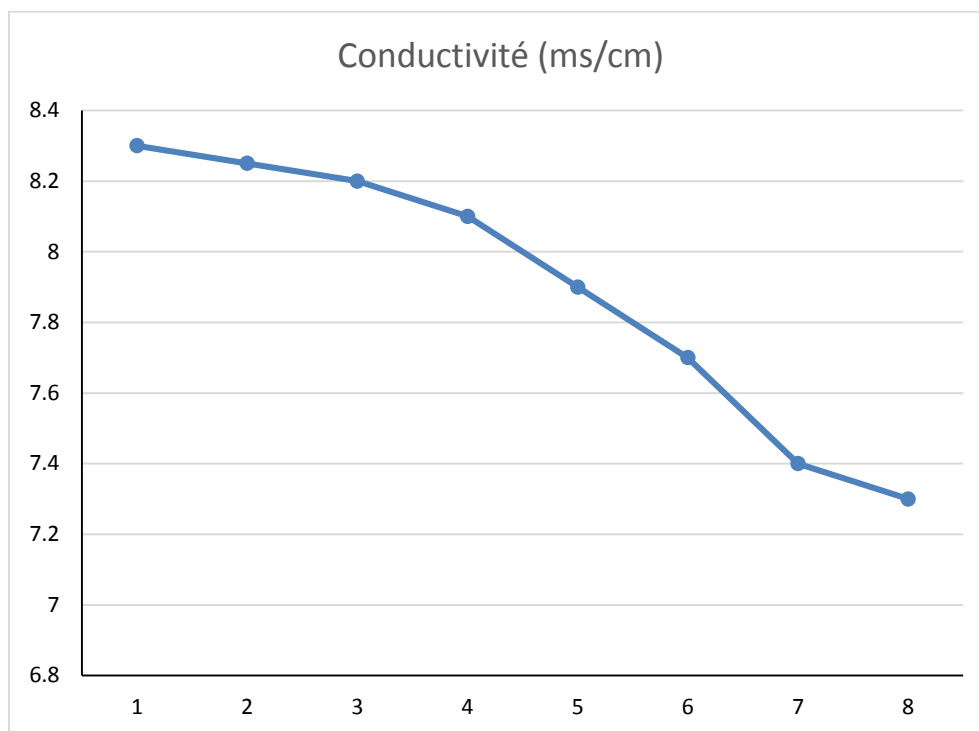


Figure 40 : Evolution de la Conductivité électrique (CE) dans le milieu de culture de la spiruline.

La diminution de la CE est due au manque de salinité, et ce dernier est due à l'absorption de chlorure sodium par la spiruline.

Gharmouli donia et Abdou aya et souide amira a servi culture et production de la spiruline *Arthrospira platensis* dans la région d'El 'Oued nous avons trouvé leurs résultat sont augmenté mais pour nous les valeurs diminuent.

II.5. NH₃ et NO₂

D'après les résultats de la NH₃ et NO₂ mesurée au niveau d'aquarium on observe un manque de valeur de dioxyde d'azote(NO₂) et de l'ammoniac (NH₃).

Le manque de dioxyde d'azote (NO₂) et ammoniac (NH₃) est de fournir de l'absence de NH₃ et NO₂ dans l'aquarium.

II.6. NO₃ et NT

D'après les résultats du nitrate et nitrogène totale de mesuré au niveau d'aquarium on observe une diminution de la NO₃ et de NT pendant les 15 jours .

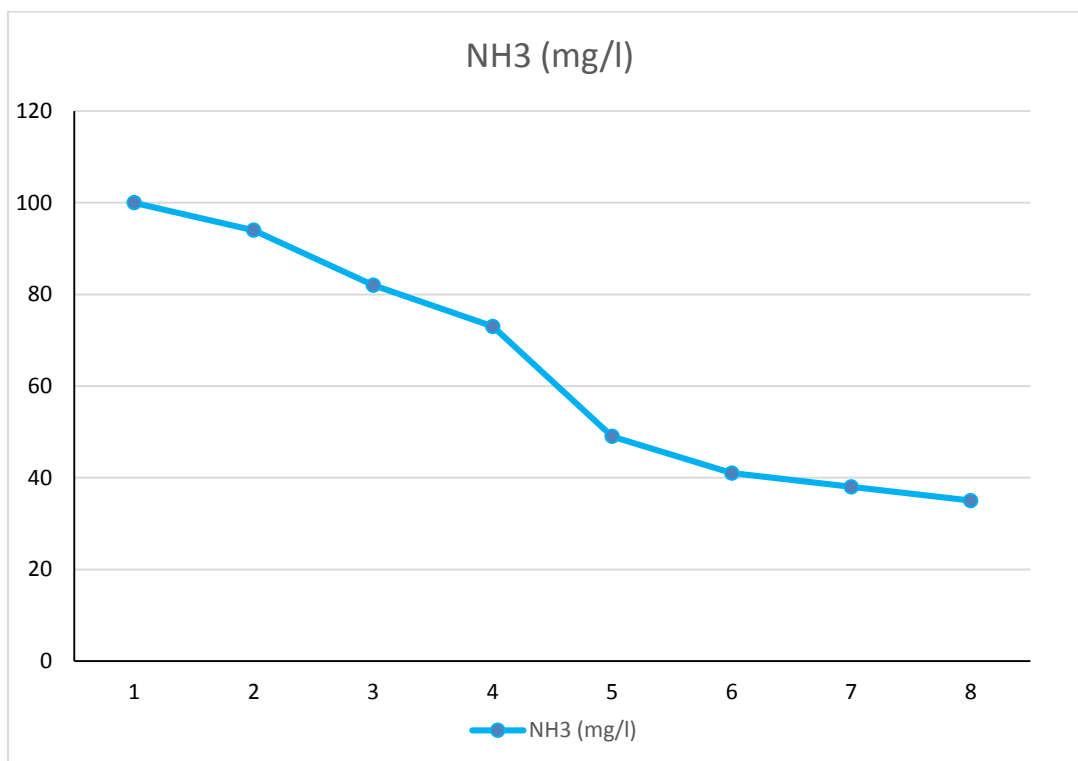


Figure 41: Evolution du nitrogène totale dans le milieu de culture de la spiruline

Notez une diminution continue de la valeur de la NO_3 et de NT de 412,5 mg/l le premier jour jusqu'à ce qu'il atteigne 158 mg/l dans le 15 jour.

La diminution du nitrate et nitrogène totale est due à l'absorption nitrate par la spiruline pour la source d'azote et la diminution nitrogène totale est due au nitrate dans le milieu.

Tableau 06: Suive de la bioremédiation du polluant organique par *Arthrospira platensis*.

Milieu ordinaire + 8g Bicarbonate de sodium

	1	3	5	7	9	11	13	15
T	32	32	32	32	32	32	32	32
pH	8.2	8.3	8.5	8.8	9.1	9.4	9.5	9.9
Biomasse (mg/l)	368	384	421	481	705	1045	925	865
Conductivité (ms/cm)	8.3	8.25	8.2	8.1	7.9	7.7	7.4	7.3
NH₃(mg/l)	100	94	82	73	49	41	38	35
NO₂(mg/l)	1.94	2.42	3.31	4.5	3.41	2.32	2.11	1.7
NO₃(mg/l)	1.76	1.83	2.04	2.7	3.43	3.92	3.51	3.47
NT(mg/l)	140	127	111	103	82	76	71	65

III. Evolution des paramètres

III.1. physico-chimiques Température

D'après les résultats de la température mesurée au niveau d'aquarium on observe une stabilité de valeur température (32 °C), cette stabilité est due à la présence de thermorégulateur.

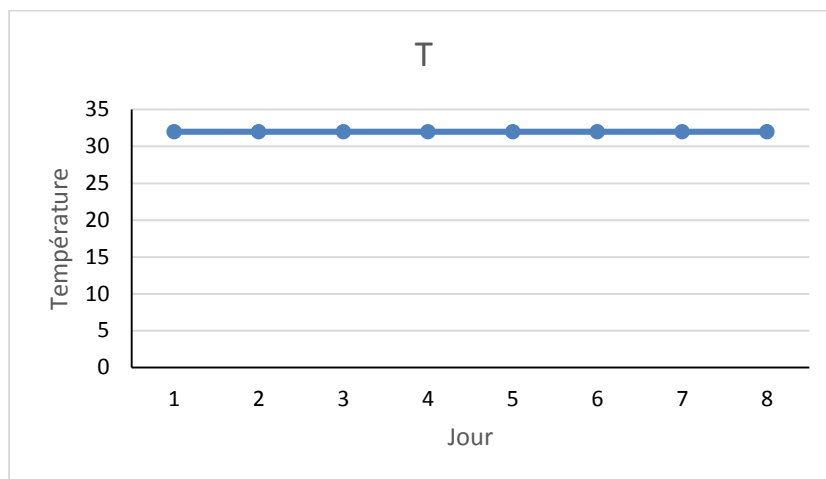


Figure 42: Evolution de la Température dans l'eau d'entre filtre.

Servi culture et production de la spiruline *Arthrospira platensis* dans la région d'El 'Oued nous avons trouvé le résultat inférieur.

III.2. pH

D'après les résultats du pH mesuré au niveau d'aquarium on observe une évolution du pH pendant les 15 jours, de 8,2 le premier jour jusqu'à ce qu'il atteigne 9,9 dans le 15 jour.

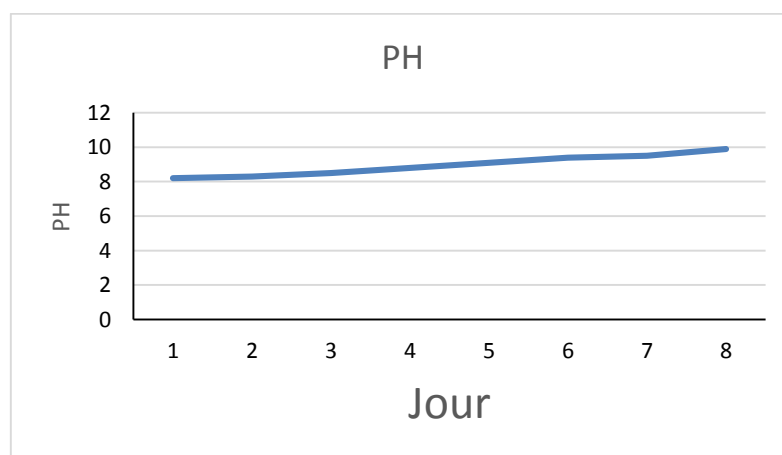


Figure 43 : Evolution du pH dans l'eau d'entre filtre.

L'augmentation du pH est due à la présence de bicarbonate de sodium dans milieu de culture, la spiruline pour la photosynthèse est besoins de CO_2 , elle arrive à l'air ou au bicarbonate de sodium. la bicarbonate de sodium est transfère a la CO_2 liquide+ sodium, le CO_2 liquide aquee dans l'eau et absorbe par la spiruline et le sodium augmente le valeur de OH^- , et ce dernier due l'augmentation de pH.

Plus le processus de photosynthèse augmente, plus le CO_2 est absorbe, plus le pH est élevé. Dans mémoire d'étude comparative de deux types d'eau (eau de source, eau de forage) pour la culture de la spiruline *Arthrospira platensis* nous avons trouvé le même résultat (une augmentation de pH).

III.3. Biomasse

D'après les résultats de la biomasse mesurée au niveau d'aquarium on observe une évolution de la biomasse de premier jour 350mg/l aux 11 jours 960mg/l et une diminution de 13 jours à la 770mg/l dans 15 jours.

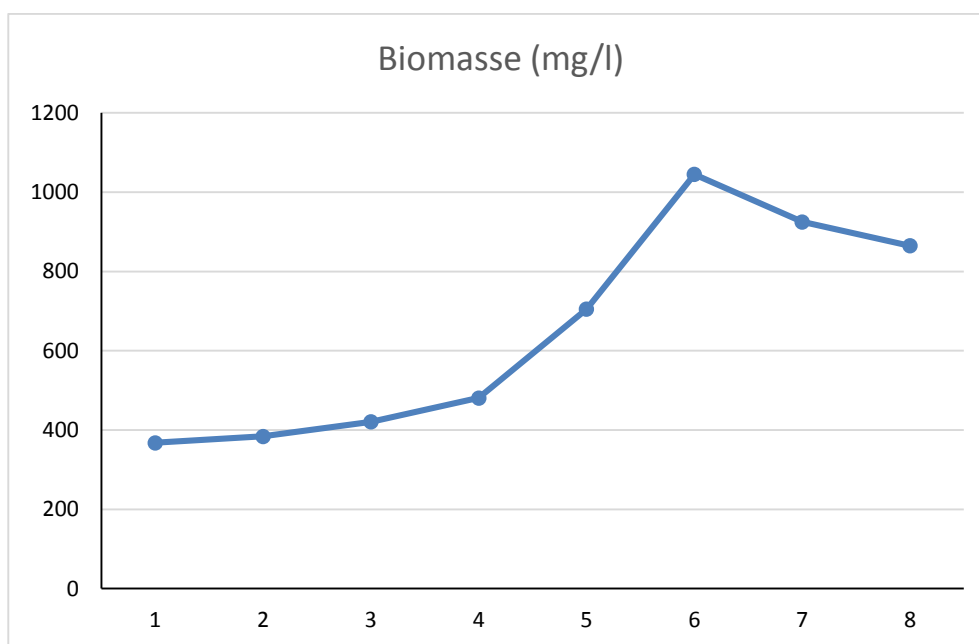


Figure 44: Evolution de la biomasse dans l'eau d'entre filtre.

L'augmentation de la biomasse est due de fournir toutes les conditions appropriées de la ou plusieurs condition de croissance.

L'augmentation de la biomasse de spiruline dans la bioremédiation du polluant organique par *Arthrospira platensis* était moins par rapport à la croissance d'*Arthrospira platensis* dans le Milieu Zarrouk parce que la condition de croissance dans le Milieu Zarrouk il est optimale.

Walter W. Mulbry 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 le même résultat quant à biomasse (une augmentation de biomasse et puis un diminution mais l'augmentation plus grand par rapport biomasse de walter) .

III.4. Conductivité

D'après les résultats de la CE mesurée au niveau d'aquarium on observe une diminution de la CE de 20,3 ms/cm le premier jour jusqu'à ce qu'il atteigne 18,6 ms/cm dans le 15 jour

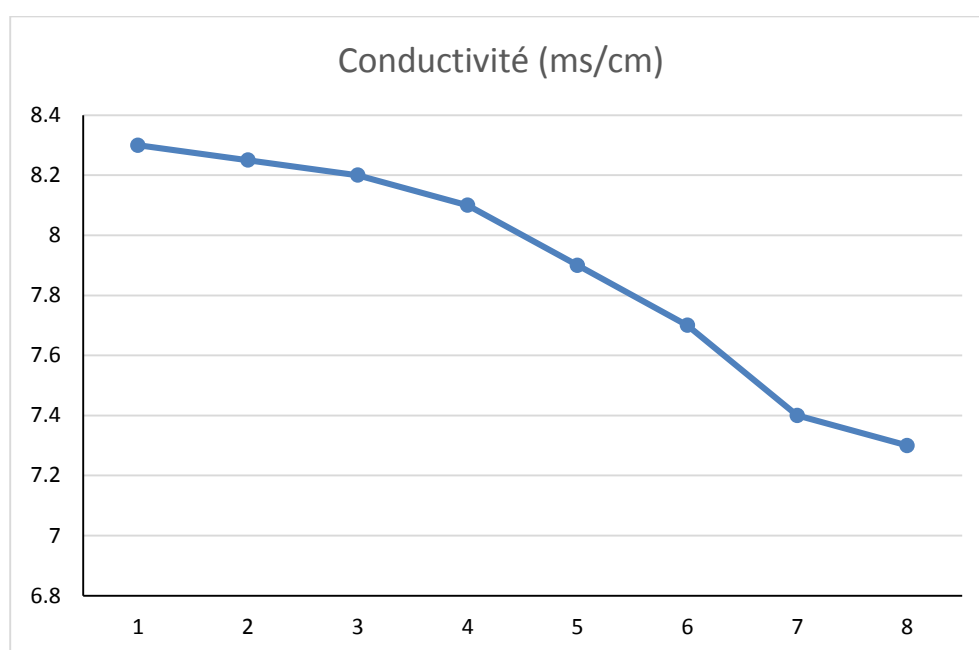


Figure 45 : Evolution du Conductivité électrique dans l'eau d'entre filtre

La diminution de la CE est due à l'utilisation d'*Arthrospira platensis* les minéraux des eaux comme des nutriments.

Djaghoubi. A a servi effet de la bioaccumulation sur la qualité des eaux d'irrigation de la région de Ouargla, nous avons trouvé le même résultat quant à Conductivité électrique.

III.5. NH₃ et NO₂ et NO₃

D'après les résultats de la NH₃ et NO₂ et NO₃ mesurée au niveau d'aquarium on observe une diminution de la NH₃ de 80 jusque-là 18 mg/l .NO₂ et NO₃ on note une augmentation jusque 3,650 mg/l pour le NO₂ et 2,390 mg/l pour le NO₃ et après une diminution par jusque-là 0,620 mg/l pour le NO₂ et 1,270 mg/l pour le NO₃.

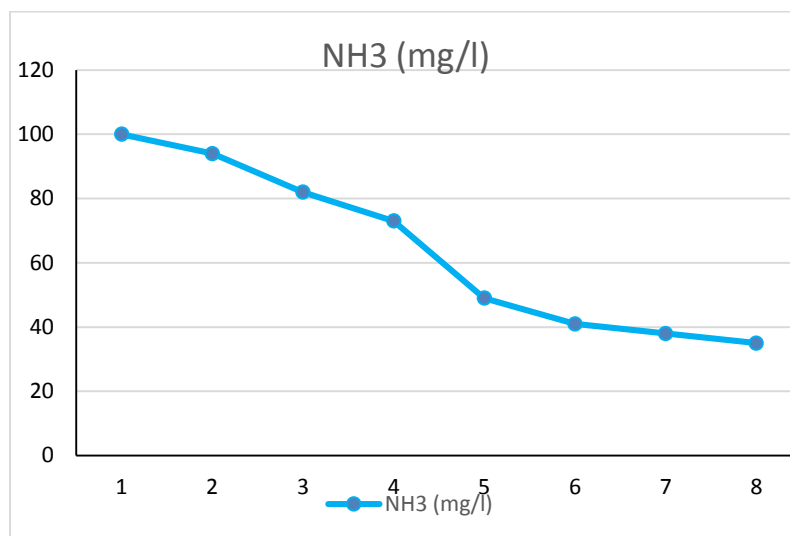


Figure 46 : Evolution de l'Ammoniac (NH₃) dans l'eau d'entre filtre.

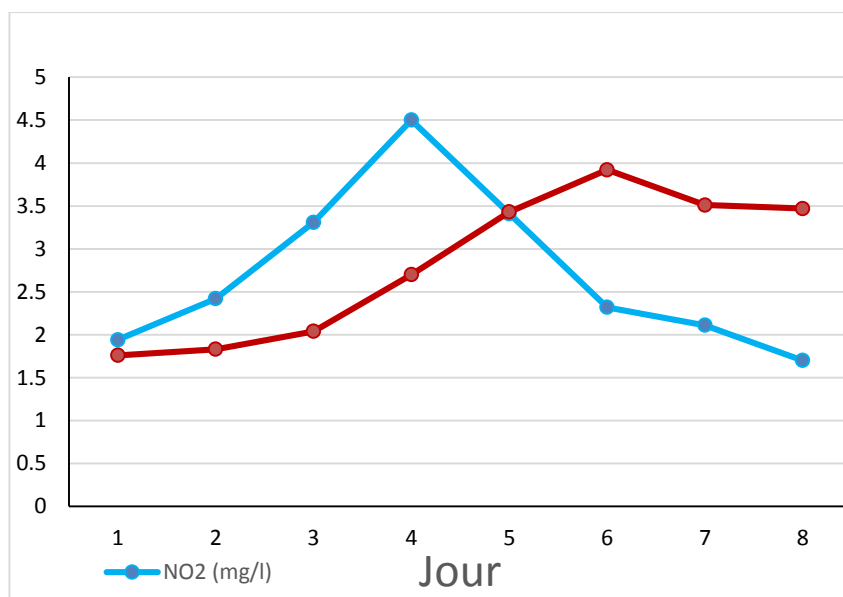
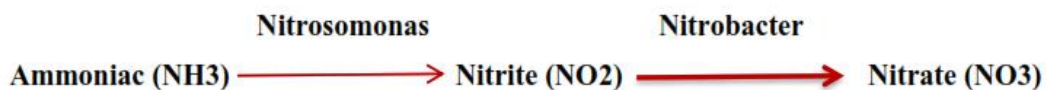


Figure 47 : Evolution de Nitrite (NO₂) et Nitrate (NO₃) dans l'eau d'entre filtre.

La augmentation et la diminution NH₃ et NO₂ et NO₃ est due à la bioconversion biologique et chimique de ammoniac, nitrite, nitrate de cycle d'azote.



La spiruline absorbe le ammoniac (préférée) et nitrate (acceptable) dans de pH inferieur 10,5 Yuwadee Peerapornpisal a servi culture de la spiruline platensis en anaérobie porcine effluent de traitement des eaux usées nous avons trouvé le même résultat quant à l'ammoniac,

comme pour le nitrate nous avons trouvé qu'il diminuait légèrement diminué et après une légère augmentation puis diminuait avec le temps.

Meng Fanping 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.

III.6. NT

D'après les résultats de la NT mesurée au niveau d'aquarium on observe une diminution de la NT par rapport les tempes, de 135 mg/l le premier jour jusqu'à ce qu'il atteigne 60 mg/l dans le 15 jour.

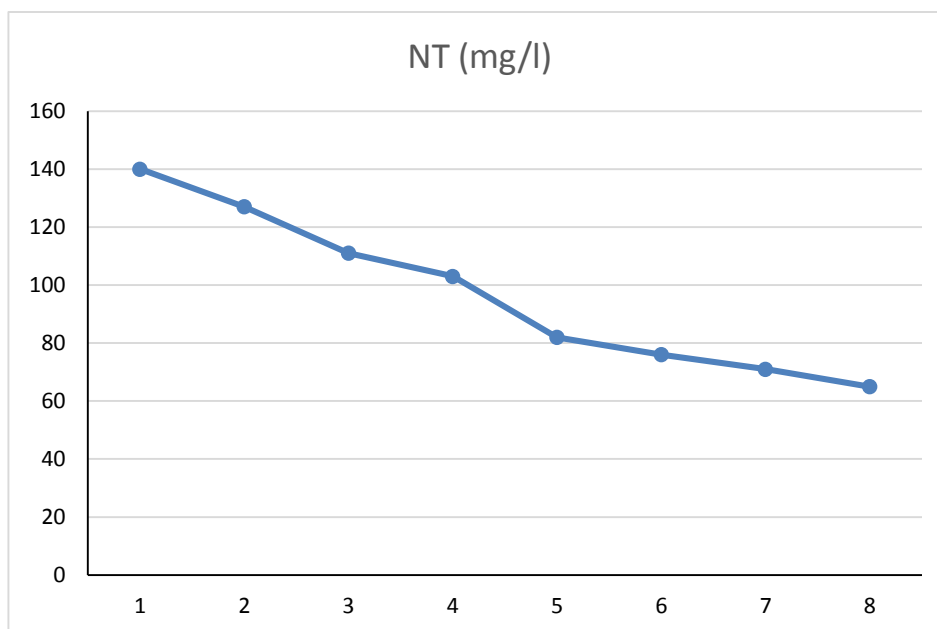


Figure 48 : Evolution de Nitrogène totale (NT) dans l'eau d'entre filtre.

La diminution du nitrogène total est due à la diminution ammoniac et de nitrite et le nitrate.

Walter W.Mulbry 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 générale

Un système de management environnemental de la sécurité de laboratoire fournit aux la STEP une structure pour gérer efficacement les risques. Par conséquent la STEP ont besoin d'outils pour gérer ce système. L'audit de la STEP (l'audit de laboratoire) est l'un de ces outils. Il répond aussi à la problématique de la mise en place et de l'entretien d'un système de management dans l'optique d'une amélioration continue.

L'objectif de cette étude a consisté de faire un audit interne pour suivre la qualité de laboratoire et la qualité physicochimique des eaux usées brutes et épurées de la STEP 1 de Kouinine pour voir l'application le système de politique environnemental au niveau de la STEP.

Les résultats physicochimiques obtenus ont révélé que les eaux usées brutes entrant à la STEP présentent une pollution organique et azotée assez élevée.

Au terme de notre étude, et selon les résultats obtenus, nous distinguons une grande différence entre les valeurs de pollution des eaux traitées et celles des eaux brutes, ce ci dénote que le procédé de lagunage aéré est très utile pour l'épuration des eaux usées, des abattements de 77.29% pour la DCO, de 79.48% pour la DBO₅ et de 84.03% pour les MES sont observés.

D'autres résultats disponibles au niveau de la station montrent une forte élimination de la pollution azotée (ammonium, nitrites et des nitrates) ainsi qu'une forte élimination du phosphore total.

Il ressort également de cette étude que la pratique de l'audit interne ne peut plus, et ne doit plus être une simple activité de vérification de conformité, mais un véritable moyen d'amélioration continue pour la STEP. La mise en œuvre des propositions participera à faire de l'audit un formidable outil de communication, en même temps qu'un outil d'analyse.

En conclut, après l'audit interne de laboratoire que le système de politique environnemental autorise par ISO 14001 est bien appliqué dans la STEP 1 et la qualité des eaux traitées est conforme avec les normes.

Références

Références

- 1) **AFAA, (1982).** Association française pour l'algologie appliquée. Actes du premiersymposium sur la spiruline *Spirulina Platensis* (Gom). Geitler de l'AFAA.
- 2) **Ali, H., Khan, E., Sajad, M.A., (2013).** Phytoremediation of heavy metals-concepts and applications. *Chemosphere* 91, 869–881, p870.
- 3) **Arrignon, J. (2002),** L'aquaculture de A à Z. France. TEC et DOC. 439 p.
- 4)**Bachi, O.E.K. (2010),** mémoire présenté en vue de L'obtention du diplôme de magister thème diagnostic sur la valorisation de quelques plantes du jardin d'épuration de station du vieux ksar Témacin. Ouargla, 105P.
- 5) **Balloni, W., Tomaselli, L., Giovannetti, L. et Margheri, M.C. (1980),** Biologiafondamentale del genere *Spirulina*. Materassi R. (ed) Prospective della coltura di *Spirulina* in Italia. Consilio Nazionale delle Ricerche, Rome [en ligne], 49-85.
- 6) **Barsanti, L. et Gualtieri, P. (2006),** *Algae: Anatomy, Biochemistry and Biotechnology.*Taylor Et Francis Group. 320 p.
- 7) **Batello, C., Marzot, M., Touré, A.H. et FAO. (2005),** Futur est un ancien lac. Savoirstraditionnels, biodiversité et ressources génétiques pour l'agriculture et l'alimentation dans les écosystèmes du bas du lac Tchad. Food and Agriculture Organization of the United Nations. 320 p.
- 8)**Baumont S., Camard J.P., Lefranc A et Franconi A. (2004),** « Réutilisation des eaux usées épurées : Risques sanitaires et faisabilité en Île-de-France. Rapport ORS » (Observatoire régional de santé d'Ile-de-France), France, 220 p.
- 9) **Belay, A. (1997),** Mass culture of *Spirulina platensis* - The Earthrise farms Experience In "*Spirulina platensis* (Arthrospira)" Ed. Avigad Vonshak, Taylor & Francis, Londre, pp.131-158.
- 10) **BELGHITI M.L., CHAHLAOUI A., BENGOUIMI D., EL MOUSTAINE R (2013),** Etude De La Qualité Physico-Chimique Et Bactériologique Des Eaux Souterraines De La Nappe Plio-Quaternaire Dans La Région De Meknès, Université Moulay ismail, Maroc.<http://larhyss.net/ojs/index.php/larhyss/article/viewFile/3/1>

- 11) **Benkaddour, Batoul (2018)**, Contribution à l'étude de la contamination des eaux et des sédiments de l'Oued Chélif (Algérie). Thèse doctorat, UNIVERSITÉ DE PERPIGNAN VIA DOMITIA, et UNIVERSITÉ DE MOSTAGANEM Diss. Perpignan.
- 12) **B-H (2017)**, Recent progress in microalgal biomass production coupled with wastewatertreatment for biofuel generation. *Renew Sust Energ Rev* 79:1189–1211p.
- 13) **Bhatnagar A, Chinnasamy S, Singh M, Das KC (2011)**, Renewable biomass productionby mixotrophic algae in the presence of various carbon sources and wastewaters. *ApplEnergy* 88:3425–3431p.
- 14) **Bujard E., Braco U., Mauron J., Mottu F., Nabholz A., Wuhrmann J.J. et Clement G. (1970)**. Composition and nutritive value of blue-green algae (spirulina) and their possible usein food formulations. 3rd International Congress of Food Science & Technology. Washington.
- 15) **C. Sili, G. Torzillo, A. Vonshak, Arthrospira (spirulina) (2012)**, in: B.A. Whitton (Ed.), *Ecol.Cyanobacteria II Their Divers. Sp. Time*, Springer, , pp. 677–705.
- 16) **Cai T, Park SY, Li Y (2013)**, Nutrient recovery from wastewater streams by microalgae:status and prospects. *Renew Sust Energ Rev* 19:360–369p.
- 17) **Charpy, L., Langlade, M.J., Vincent, N. et Riva, A. (2004)**, Colloque international surles cyanobactéries pour la santé, la science et le développement. France. Institut océanographique Paul Ricard. [en ligne]. 203 p.
- 18) **Chartier Marcel M (1974)**, Les types de pollutions de l'eau. In : *Norois*, n°82, Avril-Juin. pp. 183-193.
- 19) **Chedly ABDELLY (2007)**, Bioremédiation / Phytoremédiation, SN 232, Année Universitaire, UNIVERSITE DE TUNIS.
- 20) **Chen G, Zhao L, Qi Y (2015)**, Enhancing the productivity of microalgae cultivated inwastewater toward biofuel production: a critical review. *Appl Energy* 137:282–291p.
- 21) **Chiu S-Y, Kao C-Y, Chen T-Y, Chang Y-B, Kuo C-M, Lin C-S (2015)**, Cultivation ofmicroalgal Chlorella for biomass and lipid production using wastewater as nutrientresource. *Bioresource Technology* 184:179–189p.
- 22) **Chokshi K, Pancha I, Ghosh A, Mishra S (2016)**, Microalgal biomass generationbyphycoremédiation of dairy industry wastewater: an integrated approach towardssustainable biofuel production. *Bioresour Technol* 221:455–460p.

- 23) **Ciferri, O. (1983)**, Spirulina, the Edible Microorganism. Microbial. Rev. Vol. 47:551-578.
- 24) **Clément, G., Giddey, C. et Menzi, R. (1967)**, Amino Acid Composition and Nutritive Value of the Alga Spirulina maxima. J. Sci. Fd. Agric. Vol. 18: 497-501.
- 25) **Compere P et Leonard J. (1967)**, Spirulina platensis (Gom.) Geitler, algue bleue de grande valeur alimentaire par sa richesse en protéines; 37 (1): p. Suppl. 23 p.
- 26) **Cornet, J.F., Dussap, C.G. et Dubertret, G. (1992)**, A structured model for simulation of cultures of the cyanobacterium Spirulina platensis in photobioreactors. I. Coupling between light transfer and growth kinetics. Biotechnology and Bioengineering [en ligne], 40, 817-825.
- 27) **Cruchot H, (2008)**. La Spiruline, Bilan et Perspective. Thèse docteur en pharmacie. Faculté de médecine et de pharmacie de Besançon. Université de France-Comite. 332 p.
- 28) **DAHOU A et BREK A., (2013)**, Mémoire de lagunage aéré en zone aride performance épuratoires cas de (Région d'Ourgla) ,90p.
- 29) **DESJARDINS R, (1997)**, Le traitement des eaux, 2ème édition, Ed. Ecole polytechnique de Montréal, Canada, pp 303.
- 30) **Dipesh Kumar, Bhaskar Singh, and Ankit, (2019)**, Phycoremediation of Nutrients and Valorisation of Microalgal Biomass: An Economic Perspective, 2-4p.
- 31) Données sur les pollutions de l'Eau. « Journée de la Pollution », Paris, S. H. F., mai 1972, 23 p.
- 32) **Doumenge, F., Durand-Chastel, H. et Toulemont, A. (1993)**, Spirulina, algue of life. Bulletin de l'Institut Océanographique de Monaco. Numéro spécial 12. Monaco. Musée Océanographique. 222 p
- 33) **Dr-HDR-TOUATI Laid, (2021)**, Cours de pollution des eaux, Université Frères Mentouri Constantine 1, Département Biologie & Ecologie Végétale, Niveau Master 1 Écologie Fondamentale & Appliquée.
- 34) Education et enseignement peuvent-ils contribuer à prévenir la pollution de l'Eau ? Coll. Intern, sur la protection de la Nature et de l'Environnement », Rouen, 18 octobre 1971, 6 p.

- 35) **Euzen, J-P., Trambouze, P. et Wauquier, J-P. (1993).** Méthodologie pour l'extraction des procédés chimiques. Publication de l'institut français du pétrole. Paris. Edition TCHNIP. [enligne]. 244 p.
- 36) **Falquet J. et Hurni J-P. (2006).** Spiruline : aspects nutritionnels. Antenna Technologies Technologies.
- 37) **Falquet, J. (1996).** Spiruline : aspects nutritionnels. Antenna Technologie. Vol. 29, r. de Neuchâtel CH-1201 Genève, Suisse. P. 1-16.
- 38) **Fidèle, Mampuya Kinda (2020),** Conception d'une station expérimentale de traitement des eaux usées par filtres plantés des macrophytes : «Cas de l'Université Kimpa Vita d'Uíge/Angla». THÈSE DE DOCTORAT, Diss. Université Côte d'Azur.
- 39) **FILALI R., (2012).** Estimation et commande robustes de culture de microalgues pour la valorisation biologique de CO₂. thèse doctorat Sciences et Technologies de l'Information des télécommunications et des Systèmes, AUTOMATIQUE. HAL.p20, 22, 23, 25, 26,28
- 40) **Fox, D. (1999).** Spiruline : technique, pratique et promesse. Aix en Provence. EdiSud. 246 p.
- 41) **G. Sheath (ed), (1998),** Freshwater Algae of North America: Ecology and Classification, New York, pp. 117-196.
- 42) **Ghobrinid D. Aiboud K. et Yakoub-Bougdal S., (2014),** Effect of red and far-red light on biomass productivity on *Chlorella vulgaris* cultivated on photobioreactor. BioTech 2014 and Czech-Swiss symposium, 11 – 14 Jun 2014, Praha Czech Republic.
- 43) **Girardin-Andréani C. (2005),** Spiruline : système sanguin, système immunitaire et cancer. Phytothérapie ; 4, p. 158-161.
- 44) **HADJIK, (2011).** Initiation à la gestion environnementale référentielle iso 14001:2004, session N°27 du 21 au 22/09/2011, version 2.25p.
- 45) **Humenik, F. J., Hanna, G. P, (1971-),** Algal-bacterial symbiosis for removal and conservation of wastewater nutrients. J.W.P.C.F., 43 (4): 580-594. INRA. Paris. P210.
- 46) **Imran Pancha, Kaumeel Chokshi, and Sandhya Mishra, (2019),** Industrial Wastewater-Based Microalgal Biorefinery: A Dual Strategy to Remediate Waste and Produce Microalgal Bioproducts, 175-178p.

- 47) **INRS, Aussel H, Le Bacle C et Graziella D, (2004)**, paris, ED5026 2004, p01-02.
- 48) **Jourdan, J.-P. (2018)**. « Cultivé votre spiruline, Manuel de culture artisanale de spiruline». Edition Antenna Technologie [en ligne]. 239 p.
- 49) **Khalil HANNA, (2004)**, Etude de faisabilité de l'utilisation de molécules "cage" dans la dépollution des sols : Solubilisation et extraction de polluants organiques par les cyclodextrines, présentée devant L'Institut National des Sciences Appliquées de Lyon pour obtenir le grade de docteur, 2004.
- 50) **Khan, Z., Bhadouria, P., et Bisen, P.S. (2005)**. Nutritional and Therapeutic Potential of Spirulina. Current Pharmaceutical Biotechnology. India [en ligne], 6, 373-379.
- 51) **Kim HC, Choi WJ, Chae AN, Park J, Kim HJ, Song KG (2016)**, Evaluating integrated strategies for robust treatment of high saline piggyery wastewater. Water Res 89:222–231p.
- 52) **LAZHAR GRAINI (2011)**, Contrôle de la pollution de l'eau par méthode acousto-optique, Présenté à l'Institut d'Optique et de Mécanique de Précision Pour l'Obtention du Diplôme de MAGISTER UNIVERSITE FERHAT ABBAS-SETIF.
- 53) **METAHRI Mohammed Saïd, (2012)**, Elimination simultanée de la pollution azotée et phosphatée des eaux usées traitées, par des procédés mixtes, Cas de STEP Est de ville de Tizi-Ouzou, Thèse de doctorat, Université Mouloud Mammeri de Tizi Ouzou, pp 172.
- 54) **MICHEL CARALLA. (2000)**, les algues –les microalgues _ l'utilisation des algues <http://manuel.gonzales.free.fr/pages/utilisation2.html> Consulter le, 08/03/2018]
- 55) **Niangoran, N.U.F (2017)**. Optimisation de la culture de la spiruline en milieu contrôlé: éclairage et estimation de la biomasse .Université Paul Sabatier-Toulouse III France.(en ligne).124p.
- 56) **OUAFAE EL HACHEMI. (2012)**, Traitement des eaux usées par lagunage naturel en milieu désertique (oasis de Figuig) : performances épuratoires et aspect phytoplanctonique thèse doctorat. N° d'ordre : 220/ p55.
- 57) **Parhad, N. M., Rao, N. U, (1974)**, Effect of pH on survival of Escherichia coli. J. Water Poll. Control. Fed., 46: 980-986p.

- 58) **Pearson, H. W, Mara, D. D, Mills S W, Smallman, D. L, (1987)**, Factors determining algal population in waste stabilization ponds and the influence of algae on pond performance, 131-140p.
- 59) **Pouliot, Y., Delanoue, J, (1985)**, Mise au point d'une installation pilote d'épuration tertiaire des eaux usées par production de microalgues. Rev. Franç. des sci. De l'eau, 4: 207-222p
- 60) **R.Y. Stanier, R. Kunisawa, M. Mandel, G. Cohen-Bazire, (1971)**, Purification and properties of unicellular blue-green algae (order Chroococcales). Bacterio. Rev.35 171–205.
- 61) **Rawat I, Kumar RR, Mutanda T, Bux F (2011)**, Dual role of microalgae: phycoremediation of domestic wastewater and biomass production for sustainable biofuels production. Appl Energy 88:3411–3424p.
- 62) **Reviere, B. (2003)**. Biologie et phylogénie des algues. Paris. Belin. Tome 2. 255 p.
- 63) **RODIER, J., (2005)**, L'analyse de l'eau. Ed Dunod, Paris.
- 64) **Ruiz-Marin A, Mendoza-Espinosa LG, Stephenson T (2010)**, Growth and nutrient removal in free and immobilized green algae in batch and semi-continuous cultures treating real wastewater. Bioresour Technol 101:58–64p.
- 65) **S. Ge, P. (2015)**, Champagne, Nutrient removal, microalgal biomass growth, harvesting and lipid yield in response to centrate wastewater loadings, Water Res. 88 p604–612.
- 66) **SADI M., (2012)**. Les micro algues : un défi prometteur pour des biocarburants propres. des Energies Renouvelables SIENR.vol.12 (195-200) p195.
- 67) **Sall, M.G., Dankoko, B., Badiane, M., Ehua, E. et Kuakuwi, N. (1999)**. La spiruline : une source alimentaire à promouvoir. Médecine d'Afrique Noire. Vol. 46 (3): 140-141.
- 68) **SGUERA S., (2008)** , Spirulina Platensis et ses Constituants, Intérêts Nutritionnels et Activités Thérapeutiques, Thèse pour obtenir le Diplôme d'Etat de Docteur en Pharmacie, Université Henri Poincaré - Nancy 1, Faculté de Pharmacie, p12,18,29,34,136.
- 69) **Sguera, S. (2008)**. Spirulina platensis et ses constituants: intérêts nutritionnels et activités thérapeutiques. Thèse de Doctorat. Faculté de pharmacie. France. Université Henri Poincaré - Nancy 1 [en ligne]. 326 p.

- 70) **Sialve, B., & Steyer J-P., (2013).** Les microalgues, promesses et défis. *InnovationsAgronomiques*, 26 : 25-39.
- 71) **Sili, C., Torzillo, G., & Vonshak, A. (2012).** *Arthrospira (Spirulina). Ecology of Cyanobacteria II*, [en ligne], 677–705.
- 72) **Solène MOULIN, David ROZEN-RECHELS, Milena STANKOVIC, (2013)** (Traitement des eaux usées), Centre d'Enseignement et de Recherches sur l'Environnement et la Société Environmental Research and Teaching Institute, paris.
- 73) **SOUISSI, Sara. LOGRAB, Donia, LADGHEM CHIKOUCHE. khadidja, Asma (2021),** Gestion et traitement des déchets en M'sila, Mémoire présenté pour l'obtention Du diplôme de Master, UNIVERSITÉ MOHAMED BOUDIAF - M'SILA.
- 74) **Sunita J. Varjani Avinash Kumar Agarwal Edgard Gnansounou Baskar Gurunathan, (2018),** *Bioremediation: Applications for Environmental Protection and Management.*
- 75) **VAILLANT J R, (1974),** Perfectionnement et nouveautés pour l'épuration des eaux résiduaires : eaux usées urbaines et eaux résiduaires industrielles, Edition, Eyrolles, Paris.
- 76) **Varjani, S. J., Agarwal, A. K., Gnansounou, E., & Gurunathan, B. (Eds.), (2018),** *Bioremediation: applications for environmental protection and management.* Springer Singapore.
- 77) **Vonshak, A. (1997).** *Spirulina platensis (Arthrospira): physiology, cell-biology and biotechnology.* Taylor and Francis. UK, USA. [en ligne]. 233p.
- 78) **Whitton, B.A et Potts, M. (2000).** *The Ecology of Cyanobacteria: Their Diversity in Time and Space.* Illustrée. [en ligne]. 669p.
- 79) **Zarrouk, C. (1966).** Contribution to the study of a Cyanophyceae. Influence of various physical and chemical factors on growth and photosynthesis of *Spirulina maxima* (Setch. and Gardner) Geitler. Ph.D Thesis. France. University of Paris.
- 80) **Zeng X, Guo X, Su G, Danquah MK, Zhang S, Lu Y et al (2015),** Bioprocess considerations for microalgal-based wastewater treatment and biomass production. *Renew Sust Energ Rev* 42:1385–1392p.
- 81) **Zhou W, Chen P, Min M, Ma X, Wang J, Griffith R et al (2014),** Environment-enhancing algal biofuel production using wastewaters. *Renew Sust Energ Rev* 36:256–269.

- 82) **Zhou W, Hu B, Li Y, Min M, Mohr M, Du Z et al (2012)**, Mass cultivation of microalgae on animal wastewater: a sequential two-stage cultivation process for energy crop and omega-3-rich animal feed production. *Appl Biochem Biotechnol* 168:348.
- 83) Site (01) <https://www.aide.be/epuration/pollution-des-eaux>
- 84) Site (02) <https://www.plasticcollectors.com/blog/water-pollution-solutions/>
- 85) **Site 03:** <https://traitement-eau.ooreka.fr/> (10/04/2022: 14:23)
- 86) <https://link.springer.com/book/10.1007/978-981-10-7485-1?noAccess=true>