

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 حمدة 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 fondamentale et appliquée

THEME

Etude de la capacité épuratrice des eaux usées
par *Arthrospira platensis*

Présenté Par :

M^{elle} : AMMARI Amel

M^{elle} : BERRAH Abir

M^{elle} : DRID Khalissa

M^{elle} : ZAID Naoual

Devant le jury composé de :

Présidente :	Mr. GHAHTAR Abdelouahab	M.C.A	Université d'El Oued
Examinatrice :	Mme RAMDANE Farah	M.C.A	Université d'El Oued
Promotrice :	Mr KIRAM Abdelrazzak	M.A.A	Université d'El Oued



Remerciements

Merci à Dieu Tout-Puissant, qui nous ont aidé à terminer de notre remerciement, et que la paix et les bénédictions soient sur l'envoyé comme une miséricorde pour les mondes, Muhammad que Dieu le bénisse et lui accorde la paix.

Le devoir de gratitude nous invite à exprimer nos grands remerciements au notre promoteur Dr KIRAM Abderrazak, qui a été crédité après Dieu Tout-Puissant pour avoir supervisé cette étude.

Nous présentons nos remerciements aux membres de jury Et qu'ils trouvent ici notre haute considération pour avoir accepté d'examiner et de juger notre travail.

Nous tenons à remercier tous ceux qui nous ont aidés à terminer ce message, Surtout Mme SAI Khaoula qui a communiqué avec nous et nous a fourni les informations nécessaires.

Enfin, tous ceux qui nous a aidé de près ou de loin, que ce soit par leur amitié, leurs conseils ou leurs soutien moral, trouveront dans ces quelque lignes l'expression de notre remerciement les plus vifs.



Dédicace

*Mon Dieu, les moments ne peuvent être beaux que par ton mentionner
et tes remerciements, et l'au-delà ne peut être qu'avec ton pardon, et le
paradis n'est pas merveilleux sauf pour te voir.*

*A celui qui a atteint le message et dirigé le secrétariat et conseillé la
nation, au prophète de la miséricorde Muhammad que Dieu le bénisse
et lui accorde la paix.*

Je dédie ce travail:

*A qui Dieu a donné le prestige et le dignité, à qui porte fièrement son
nom, vos paroles resteront les étoiles guidées aujourd'hui, demain et
pour toujours, au grand cœur, mon cher père AZZEDDINNE.*

*A mon ange dans la vie, au sens de l'amour et de la tendresse, au
sourire de la vie et au secret de l'existence, à qui sa prière était le
secret de mon succès, à ma bien-aimée mère BADRA.*

A mon deuxième parent KAMEL, MALIKA.

*A mon soutien, ma force et mon refuge après Dieu, aux cœurs purs,
mes frères RAMZI, MOUATAZ, MESSAOUD, ABDENOUR, WAIL. Et
mes sœurs ANFEL, SAFA, EMAN.*

A mes tantes et oncles : NAZIHA, HADJER, ASMA, ZAHRA, ASSIA

*Aux petits-enfants de la famille querelleuses : BASEM, ANAS,
TAKOUA*

*A l'âme de mon grand-père, grand-mère et cher oncle" que Dieu leur
fasse miséricorde."*

*Aux sœurs qui n'ont pas donné naissance à ma mère, à ceux qui se
sont distingués par la fraternité, fidélité et le donnant, et
ils m'ont accompagné dans les chemins de vie doux et tristes de
ceux que j'aimais mes chers amis. Et à tous mes camarades de classe sans
exception, je t'aime en Dieu.*

AMEL



Dédicace

*-A celui qui a éclairé pour moi les chemins de la vie, mon modèle et ma
force, mon amour, mon père*

*- A mon refuge et sanctuaire, aux plus belles bénédictions de ma vie,
mon amour, ma mère*

*- A mon cher grand-père, que Dieu nous le préserve et prolonge sa vie
A mon soutien dans la vie mes frères et soeurs AbdelFetah, sa femme
Ibtissam, Wahiba et son mari Djafer, AbdelaAziz, Ahmed, Abderrazzak,
Olaya, Abd-Elrahmen*

*- À la joie de la maison, les petits-enfants de la famille, Ibrahime El-
Khalile et Abrar*

- A mes très chers amis

Tasnim, Haniya, Nawal, Khalisa, Amel, asma...

A toute la famille et proches

ABIR



Dédicace

*A qui Dieu a confié avec prestige et dignité.. à celui qui m'a appris à
donner sans attendre.. à celui dont je porte fièrement le nom..*

Mon père

A mon ange dans la vie.. au sens de l'amour et au sens de la tendresse

ma mère

A mon frère Mouhammad

*A mes sœurs, Hana, Samia, Oum el-Khair, Hania, Nour el-Houda
Amour et loyauté, tu es mon soutien, mon dos, mon être et mon foie
Celui qui est proche du cœur, dont la présence a émergé cette année,
que Dieu vous bénisse*

A taleb Moustafa...

Aux petits-enfants de la famille querelleuse

*Issra, Youcef, Maria, Ahmed Noaman, Med mouatez, Ayoub, Taha,
Maram, Meriem*

*A mes amis, camarades, le premier pas et le dernier pas, à ceux qui
étaient dans les années de vaches maigres, nuages pluvieux, je suis très
reconnaisant*

*A ceux que j'ai oublié en écrivant ce cadeau, mais ils sont gravés dans
la mémoire pour toujours
Dieu vous bénisse et vous tous*

Qui t'aime toujours :

Khalissa



Dédicace

*Je remercie Dieu, le directeur de la lumière après les ténèbres. Je le loue
À celui qui a transmis le message, conduit la confiance et conseillé la
nation au Prophète de la Miséricorde, Muhammad, que les prières et la
paix de Dieu soient sur lui .*

*des mots de remerciements de gratitude à ceux qui ont été pour nous,
comme des bougies dans les nuits noires,*

*Je dédie ce travail à celui qui récolte les épines du mon chemin de la
connaissance à mon cher père pour celui qui m'a nourri d'amour de
tendresse et de baume guérisseur .*

*Pour celle qui a fait le ciel sous ses pieds, pour celle qui a brûlé pour
éclairer mon chemin comme un bouclier protecteur et le trésor qui
reste, ma chère mère, que Dieu prolonge sa vie...*

A ceux qui rendent mon cœur heureux et ma vie ...

*A ceux qui partagent mes joies et mes peines ceux avec qui j'ai grandi
et ils ont été le meilleur bien. Pour moi avec mes frères et sœurs,
chacun en son nom ...*

A mes frère : Ali, Elhachmi, oualid, Hani, Hocine.

A mes sœurs : Fadila, chahira, Djemaa, Chaima, Fatin.

Et aux petits de la maison : Zine, Ayat EL Rahman, Sirine .

A mes très chère amis : Soumaia, Asma, Abir, Khalissa, Amel .

A toute la promotion de la 2eme Master en toxicologie.

Nawal

Résumé

L'objectif principal de ce travail est d'étudier la capacité d'élimination des polluants organiques par *Arthrospira platensis* dans la STEP Kouinine n°1 à El-Oued. Les résultats des analyses des paramètres physico-chimiques ont montré une diminution de DBO₅ avec 79.48% et de MES sont observés avec 84.03%, et Légère augmentation de DCO avec 1.02%.

Le suivi de croissance d'*Arthrospira platensis* a montré une stabilité de la température (32°C), augmentation du pH du milieu, augmentation de la biomasse.

Quant aux résultats obtenus à partir du suivi du traitement biologique des polluants organiques par *Arthrospira platensis*, il y a une stabilité en température (32°C) une augmentation du pH. Une augmentation puis une diminution de la biomasse, une diminution de la conduction, une élimination des polluants organiques NH₃ avec un taux de réduction est égale 76.47%.

De cela, nous voyons qu'*Arthrospira platensis* est capable d'éliminer efficacement les polluants organiques des eaux usées.

Mots-clés : Spiruline, *Arthrospira platensis*, biomasse, bioremédiation, eaux usées, polluants organiques, STEP Kouinine.

الملخص

الهدف الرئيسي من هذا العمل هو دراسة القدرة على التخلص من الملوثات العضوية بواسطة *Arthrospira platensis* في محطة كوينن 1 في الوادي. أظهرت نتائج تحليلات المتغيرات الفيزيائية والكيميائية انخفاضاً في BOD_5 بنسبة 79.48% ولوحظ انخفاض MES بنسبة 84.03% وزيادة طفيفة في DCO بنسبة 1.02%. أظهرت مراقبة نمو *Arthrospira platensis* استقرار درجة الحرارة (32 درجة مئوية) ، وزيادة في درجة الحموضة في الوسط ، وزيادة الكتلة الحيوية.

أما بالنسبة للنتائج التي تم الحصول عليها من مراقبة المعالجة البيولوجية للملوثات العضوية بواسطة *Arthrospira platensis* ، فهناك استقرار في درجة الحرارة (32 درجة مئوية) وزيادة في الرقم الهيدروجيني. زيادة ثم نقص في الكتلة الحيوية ، انخفاض في التوصيل ، إزالة الملوثات العضوية NH_3 بمعدل اختزال يساوي 76.47%. من هذا نرى أن *Arthrospira platensis* قادر على إزالة الملوثات العضوية بشكل فعال من مياه الصرف الصحي.

الكلمات المفتاحية: سبيروليينا ، *Arthrospira platensis* ، الكتلة الحيوية ، المعالجة الحيوية ، مياه الصرف الصحي ، الملوثات العضوية ، محطة كوينن .

Abstract

The main objective of this work is to study the capacity of elimination of organic pollutants by *Arthrospira platensis* in STEP Kouinine n°1 in El-Oued. The results of the analyzes of the physico-chemical parameters showed a decrease in BOD₅ with 79.48% and MES are observed with 84.03%, and a slight increase in COD with 1.02%.

Growth monitoring of *Arthrospira platensis* showed temperature stability (32°C), increase in pH of the medium, increase in biomass.

As for the results obtained from the monitoring of the biological treatment of organic pollutants by *Arthrospira platensis*, there is a stability in temperature (32°C) an increase in pH. An increase then a decrease in biomass, a decrease in conduction, an elimination of organic pollutants NH₃ with a reduction rate is equal to 76.47%.

From this we see that *Arthrospira platensis* is able to effectively remove organic pollutants from wastewater.

Keywords: Spirulina, *Arthrospira platensis*, biomass, bioremediation, wastewater, organic pollutants, STEP Kouinine.

Liste des Figures

Figure 1 : Morphologie de <i>S. Platensis</i>	9
Figure 2 : Cycle biologique de la Spiruline (Charpy, L.2008)	10
Figure 3 : Courbe de croissance d'une microalgue en fonction de temps (Grobbelaar ; 2004).	11
Figure 4 : Composition moyenne de la spiruline.....	12
Figure 05: Production artisanale au Mali (Sguera, 2008).....	15
Figure 06 : Bassins de production de micro-algues de la société Alpha Biotech situés sur les côtes normandes (Sguera, 2008).....	16
Figure 07: Applications des microalgues (Niangoran, 2017).....	17
Figure 8 : Consommation d'eau et production d'eaux usées par les principaux secteurs (Boukary, S. 2018).	21
Figure 9 : Traitement des eaux usées (Aussel. H, 2004)	23
Figure 10 : Filière d'épuration des eaux usées par un lit bactérien	25
Figure 11 : Filière d'épuration des eaux usées par boues activées (Aba Aaki, 2012).....	25
Figure 12 : Illustration graphique des procédés aérobie et anaérobie (Boukary. S, 2018).....	26
Figure 13 : Filière d'épuration des eaux usées par lagunage naturel (Aba Aaki, 2012)	27
Figure 14 : Caractéristiques de traitement des métaux des bactéries requises pour leur utilisation dans la bioremédiation (Surajit D, 2014).....	32
Figure 16 : Représentation schématique de simulations de traitement des eaux usées avec culture de biomasse de microalgues. (Salama <i>et al.</i> 2017).....	35
Figure 17 : Carte de situation de STEP 01 Kouinine (ZOBEDI A, 2017).	41
Figure 18 : Schéma présenté station de lagunage aéré de STEP de Kouinine N°01 (ONA, 2011).	42
Figure 19 : Dégrillage.....	43
Figure 21 : Répartiteur vers les bassins d'aération.....	44
Figure 22 : Lagune aéré.....	44
Figure 23 : Aérateur.....	45
Figure 24 : Lagune de finition.	45
Figure 25 : Lit de séchage des boues	46
Figure 26 : Région de prélèvement de la souche	48
Figure 27: Souche d' <i>Arthrospira platensis</i>	48
Figure 28 : Système de tests en cuve LCK 314.....	52
Figure 29 : Système de tests en DBO5	54

Figure 30: Température de la souche	56
Figure 31: Observation microscopique en G×10	
Figure 32 : <i>Arthrospira platensis</i> en G×40 ...	58
Figure 33: Variation journalière de pH des eaux usées brutes et traitées dans le temps.	62
Figure 34 : Variation journalière de la conductivité des eaux usées brutes et traitées dans le temps.....	63
Figure 35 : Variation journalière de la salinité des eaux usées brutes et traitées dans le temps.	64
Figure 36 : Variation journalière de l'Oxygène dissous des eaux usées brutes et traitées dans le temps.....	65
Figure 37 : Courbe d'analyse de MES des eaux usées brutes et traitées dans le temps.....	66
Figure 38 : Courbe d'analyse de la demande biologique en oxygène (DBO5) des eaux brutes et traitées dans le temps.....	67
Figure 40 : Evolution de la Température dans le milieu de culture.	69
Figure 41 : Evolution du pH dans le milieu de culture.....	70
Figure 42 : Zarrouk Evolution de la biomasse dans le milieu de culture.	71
Figure 43 : Evolution de la Conductivité électrique (CE) dans le milieu de culture.....	72
Figure 44 : Evolution du nitrate dans le milieu de culture.	73
Figure 45: Evolution du nitrogène totale dans le milieu de culture.....	73
Figure46 : Evolution de variation de Température T°C dans milieu ordinaire.	74
Figure 47 : Evolution de variation potentiel hydrique (PH) dans milieu ordinaire.....	75
Figure 48 : Evolution de variation biomasse dans milieu ordinaire.	76
Figure 49 : Evolution de variation conductivité dans milieu ordinaire.	77
Figure 50 : Evolution de variation des valeurs de NH3 dans milieu ordinaire.	78
Figure 51 : Evolution de variation des valeurs de NO2 et NO3 dans milieu ordinaire.....	78
Figure 52 : Evolution de variation des valeurs de NT dans milieu ordinaire.....	79

Liste des tableaux

Tableau 1 : Diversité des microalgues eucaryotes et procaryotes, marines et d'eau douce (d'après, Jeffrey et al, 1997 ; Sharma et Rai, 2011)	7
Tableau 2 : Classification de SPIRULINE (MANET.A, 2016)	8
Tableau 3 : Composition en acides aminés de <i>Spiruline platensis</i> . (Sguera, 2008).....	12
Tableau 4 : Analyse typique (spiruline sèche): mg/kg(Falquet et Hurnl,2006)	13
Tableau 5 : Teneur en vitamines en µg/g de matière sèche de Spiruline d'après (Charpy,L.2008)	14
Tableau 6 : Teneurs en pigments exprimées en mg pour 10g de matière sèche de <i>Spirulinaplatensis</i> (Charpy, L.2008)	15
Tableau 7:Matérielnon biologique.....	49
Tableau 8 :Composition chimique du milieu de culture (Zarrouk ,1966).....	55
Tableau 01: Analyse physico-chimiques des eaux brutes et traités de la S.T.E.P 1 de Kouinine.	91
Tableau 02 : Résultats des analyses de DCO des eaux brutes et traitées.	92
Tableau 03: Résultats des analyses de DB05 des eaux brutes et traitées.	92
Tableau 04 : Résultats des analyses de MES des eaux brutes et traitées.....	92
Tableau 05 : Normes physico-chimiques de rejets de l'OMS, appliquées en Algérie.....	93
Tableau 06 : Suivi de croissance Milieu Zarrouk.....	94
Tableau 07 : Milieu ordinaire + 8g Bicarbonate de sodium.....	95

ONA : Office National de l'Assainissement

STEP 1 (STEP): Station de traitement des eaux polluée

DCO : Demande chimique en oxygène.

MES : Matière en suspension.

DBO₅ : Demande biochimique en oxygène en 5 jours

O₂ : Oxygène dissous

S % : La salinité

CON : Conductivité électrique

Eb : Eaux brute (entrée)

Et : Eaux traitée (sortie)

pH: Potentiel hydrogène

T : Température

NO₃ : Nitrates (mg/l)

NO₂: Nitrites (mg/l)

NH₄: Ammonium (mg/l)

NT : Azote total

PO₄ : Le phosphate

Pt : Le phosphate total

C° : Degré Celsius

Sommaire

Remercîments	
Dédicace.....	
Liste des Figures	
Liste des tableaux	
Liste des abréviations.....	
Sommaire.....	
Introduction générale.....	1

Premiere partie : Etude bibliographique

Chapitre I : Généralités sur la d'*Arthrospira platensis*

1. Définition des microalgues.....	6
2. Classification des microalgues (Taxonomie)	6
3. Définition d' <i>Arthrospira platensis</i>	7
4. Classification d' <i>Arthrospira platensis</i>	8
5. Morphologie d' <i>Arthrospira platensis</i>	8
6. Cycle de Reproduction d' <i>Arthrospira platensis</i>	9
7. Croissance d' <i>Arthrospira platensis</i>	10
8. Condition de croissance d' <i>Arthrospira platensis</i>	11
9. Valeur nutritionnelle d' <i>Arthrospira platensis</i>	12
9.1. Protéines	12
9.2. Glucides	13
9.3. Lipides (acide gras)	13
9.4. Minéraux.....	13
9.5. Vitamines.....	13
9.6. Pigments	14
10. Production d' <i>Arthrospira platensis</i>	15
10.1. Production artisanale	15
10.2. Production industrielle.....	16
10.3. Production semi-industrielle.....	16
11. Applications d' <i>Arthrospira platensis</i>	17
11.1. Alimentation humaine et animale.....	17
11.2. Développement de molécules biochimiques pour l'industrie.....	17
11.3. Applications environnementales	18

Chapitre II : Généralités sur les eaux usées

1. Définition des eaux usées	20
2. Origine	20
2.1. Eaux usées domestiques	20
2.2. Eaux agricoles.....	21
2.3. Eaux pluviales	21
3. Définition de la pollution de l'eau.....	21
4. Principaux types de pollution	22
4.1. Pollution toxique et substances dangereuses	22
4.2. Pollution organique et eutrophisation.....	22
4.3. Pollution particulaire	22
5. Traitement des eaux usées	23
5.1. Objectifs du traitement	23
5.2. Processus de traitement des eaux usées	24
5.2.1. Pré-traitements.....	24
5.2.2. Traitements Physico-chimiques (traitements primaires).....	24
5.2.3. Traitements Biologiques (traitements secondaires).....	25
5.2.3.1. Procédés biologiques intensifs.....	26
5.2.3.2. Procédés biologiques extensifs.....	27
5.2.4. Traitements tertiaires	27
5.2.5. Traitements et destinations finales des boues résiduaires.....	28

Chapitre III : Bioremediation par des microalgues

1. Historique de la bioremédiation	30
2. Définition des bioremédiations.....	30
3. Bioremédiation par les microorganismes	31
4. Stratégies de bioremédiation	32
4.1. Bioatténuation.....	32
4.2. Biostimulation	32
4.3. Bioaugmentation.....	33
4.4. Bioadsorption	33
5. Phycoremédiation	34
6. Avantages de la bioremédiation	36
7. Inconvénients de bioremédiation.....	36

Deuxieme partie: Partie pratique

Chapitre IV : Présentation de la station STEP 1

1. Présentation de la station d'épuration STEP1	40
2. Situation géographique de la station d'épuration	40
3. Objectif de traitement de la station.....	41
4. Description de STEP1	41
5. Procédés d'épurations des eaux usées dans la station	42
5.1. Prétraitement.....	42
5.2. Traitement secondaire des eaux usées	44
5.3. Décharge des boues	46

Chapitre V: Matériel et méthode

1. Matériel d'étude.....	48
1.1. Matériel biologique	48
1.2. Matériel non biologique.....	49
2. Méthodes d'étude	50
2.1. Analyses des paramètres physico-chimiques des eaux usées polluant et des eaux usées traitée.....	50
2.1.1. Prélèvement et echantillonnage	50
2.1.2. Lieu de prélèvement	50
2.1.3. Méthodes d'analyses	50
2.2. Suivi de croissance d'Arthrospira platensis par milieu Zarrouk	54
2.2.1. Préparation du milieu de culture.....	54
2.2.2. Évolution de la croissance d'Arthrospira platensis	55
2.2.2.1. Étude de l'évolution des paramètres physico-chimiques	55
2.2.2.2. Étude des caractéristiques d'Arthrospira platensis.....	58
2.3. Suivi de bioremédiation des polluants organiques par Arthrospira platensis.....	58
2.3.1. Préparation du milieu ordinaire	58
2.3.2. Bioremédiation	58
2.3.3. Étude de l'évolution des paramètres physico-chimiques	58

Chapitre VI: Résultats et discussion

1. Analyses des paramètres physico-chimiques des eaux usées polluant et des eaux usées traitée	62
1.1. Potentiel hydrique (pH)	62
1.2. Conductivité	63

Sommaire

1.3. Salinité (Sal)	64
1.4. Oxygène dissous (O ₂)	64
1.5. Matières en suspension (MES).....	65
1.6. Demande biochimique en oxygène (DBO5)	67
1.7. Demande chimique en oxygène (DCO).....	68
2. Suivi la croissance de <i>Arthrospira platensis</i> dans le milieu Zarrouk.....	69
2.1. Température (T°C)	69
2.2. Potentiel hydrique (pH)	69
2.3. Biomasse.....	70
2.4. Conductivité	71
2.5. Ammoniac et Nitrite	72
2.6. Nitrate	73
2.7. Azote totale.....	73
3. Suivi la bioremédiation des polluants organiques par <i>Arthrospira platensis</i>	74
3.1. Température (T°C)	74
3.2. Potentiel hydrique (pH)	74
3.3. Biomasse.....	75
3.4. Conductivité	76
3.5. Ammoniac, Nitrate et Nitrite	77
3.6. Azote totale.....	79
Conclusion	80
Références bibliographiques.....	83
Annexes.....	90

Introduction générale

La pollution de l'environnement est un problème majeur qui affecte le monde aujourd'hui. Je pense que la pollution due à toute substance physique, chimique ou biologique rejetée dans une eau naturelle qui perturbe l'équilibre de cette eau (**Derhoek, 2007**). Les activités humaines, domestiques, agricoles et industrielles produisent toutes sortes de déchets et de souillures qui sont susceptibles d'engendrer différentes sortes de pollution et de nuisances dans le milieu récepteur. Cet ensemble d'eau rejetée et de déchets constitue ce qu'on appelle les eaux usées (**Aba aaki, 2012**).

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

Dans les méthodes biologiques, des procédés aérobies et anaérobies sont mis en oeuvre. Dans ceux-ci, des micro-organismes jouent un rôle majeur permettant de dégrader les composés organiques présents dans l'effluent. (**Abouzlam, 2006**)

La biorémediation est un processus métabolique actif de l'absorption des toxiques par les cellules vivantes. Les métaux ou d'autres substances sont transportés à l'intérieur des cellules, puis accumulés intracellulaires (**Inga et Liliana, 2016**).

La bioremédiation par les micro-algues trois mécanismes de prise en charge des métaux ont été identifiés pour les algues, transport facilité du cation, impliquant, soit un transporteur transmembranaire protéique, soit un canal transmembranaire. C'est la voie qui prédomine transport facilité d'un complexe métallique anionique, impliquant un transporteur d'anions relativement peu sélectif c'est un transport " accidentel ", qui sert normalement à transporter les éléments essentiels transport passif par simple diffusion d'un complexe métallique neutre ces complexes peuvent traverser les membranes biologiques directement, sans devoir emprunter les systèmes (canaux) impliqués dans le transport membranaire (**Benelmouaz, 2015**).

Dans le monde, *Arthrospira platensis* est un objet approprié pour les recherches dans le domaine de la bioremédiation de deux points de vue principaux : (1) c'est un objet commode pour la réalisation d'expériences modèles en laboratoire et pour leur transfert dans des conditions industrielles en raison de ses particularités biotechnologiques ; (2) étant un micro-organisme extrêmophile, évite facilement la concurrence avec d'autres espèces en culture en

plein air, offrant la possibilité d'avoir une biomasse relativement bon marché pour la recherche et la mise en oeuvre de technologies de bioremédiation in situ et ex situ. **(Cepoi, L,2020).**

A Tamanrasset (sud algérien), des mini-fermes comprenant trois bassins agités ont été installées en vue de la culture de *Spirulina (Arthrospira)* et depuis, de petites unités de productions sont envisagées pour développer la culture de cette cyanobactérie à Tamanrasset même et de là, l'étendre à toute l'Algérie **(Salès,2004).**

Dans cette étude, on va étudier la capacité de bioremédiation par la souche *Arthrospira platensis* et des polluants organiques dans les STEP N°1 Kouinine ?

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

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

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 sur les eaux usées, et leurs traitements dans le deuxième chapitre, le troisième est bioremédiation par des microalgues et différents techniques.

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

- Le premier chapitre est présentation de région d'étude.
- Le chapitre deux décrit tout le matériel (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.

*Premiere partie : Etude
bibliographique*

***Chapitre I : Généralités sur
Arthrospira platensis***

1. Définition des microalgues

Les microalgues constituent un groupe très hétérogène d'organismes procaryotes et eucaryotes d'une importance écologique capitale, représentant environ 50% de la fixation mondiale du carbone organique et possédant un énorme potentiel biotechnologique. (**Rosa L, Aurora G, Emilio F, 2007**). Elles sont des organismes photosynthétiques microscopiques que l'on trouve dans les environnements marins et d'eau douce. Leur mécanisme photosynthétique est similaire à celui des plantes terrestres, en raison d'une structure cellulaire simple et du fait qu'elles sont immergées dans un environnement aqueux, où elles ont un accès efficace à l'eau, au CO₂ et à d'autres nutriments, ainsi qu'en raison de leur teneur en lipides, production à l'état semi-stationnaire et aptitude à divers climats. (**Luisa G ; 2011**)

Les microalgues sont des micro-organismes qui ont la capacité unique de fixer le CO₂ atmosphérique et de convertir les déchets organiques en produits de bioraffinerie précieux. Le problème de contamination peut être résolu en utilisant des microalgues extrêmophiles qui poussent à des pH bas (1,0 à 2,0) et à des températures élevées (20 à 40 °C). (**Asraful A ; Zhongming W , 2019**)

De nombreuses espèces ont été utilisées pour la production de composés à haute valeur ajoutée d'application dans divers procédés tels que le traitement des eaux usées ou la biofertilisation. (**Rosa L, Aurora G, Emilio F, 2007**)

2. Classification des microalgues (Taxonomie)

Les microalgues présentent une diversité plus grande que celle de toutes les plantes terrestres. Il existerait sur le globe au moins 200 000 espèces différentes. Certains auteurs avancent même des chiffres supérieurs à un million d'espèces. Ces organismes constituent un groupe polyphylétique et très diversifié de procaryotes (les algues bleues ou cyanobactéries) et eucaryotes (où l'on retrouve les algues vertes, rouges et brunes). Le classement en divisions est basé sur diverses propriétés telles que la pigmentation, la nature chimique des produits de stockage issus de la photosynthèse, l'organisation des membranes photosynthétiques et d'autres caractéristiques morphologiques. (**PERSON J ; 2010**)

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

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

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

3. Définition d'*Arthrospira platensis* (Spiruline)

Les noms « cyanobactéries » et « algues bleues » (Cyanophycées) sont des termes systématiques valides et compatibles. La cyanobactérie est spiralée de couleur bleu-vert photoautotrophe. Ce groupe de micro-organismes comprend des procaryotes unicellulaires à multicellulaires qui possèdent de la chlorophylle a et effectuent une photosynthèse oxygénée associée aux photosystèmes I et II. La majorité des cyanobactéries sont des photoautotrophes aérobies. Leurs processus vitaux ne nécessitent que de l'eau, du dioxyde de carbone, des substances inorganiques et de la lumière. La photosynthèse est leur principal mode de métabolisme énergétique. Dans le milieu naturel, cependant, on sait que certaines espèces sont capables de sur vivre de longues périodes dans l'obscurité totale. De plus, certaines cyanobactéries montrent une capacité distincte pour la nutrition hétérotrophe. (WHO, 1999)

Apparues il y a environ 3,8 milliards d'années elles auraient permis la production d'oxygène dans l'atmosphère en réalisant la photosynthèse. La photosynthèse se produit directement dans le cytoplasme. (PERSON J ; 2010)

La spiruline est utilisée comme source de protéines et de vitamines car elle a une teneur élevée en protéines. (Rosa L, Aurora G, Emilio F, 2007)

4. Classification d'*Arthrospira platensis*

Arthrospira platensis était à l'origine considérée comme une algue. Cependant, en 1960 une claire distinction entre procaryote et eucaryote a été définie, basée sur la différence d'organisation cellulaire (Tsarahevitra.J, 2005)

Tableau 2 : La classification de SPIRULINE (MANET.A, 2016)

Règne	Monera
Sous règne	Procaryota
Phylum	Cyanophyta
Classe	Cyanophyceae
Ordre	Nastocales
Famille	Oscillatoriacées
Genre	Arthrospirastizenberger

5. Morphologie d'*Arthrospira platensis*

La spiruline ou *Arthrospira platensis* est une cyanobactérie appartenant aux bactéries Gram négatif et pouvant être unicellulaire ou pluricellulaire. Elle est photo-autotrophe. La spiruline possède en moyenne une longueur de 250µm. Elle est constituée de cellules transparentes empilées bout à bout appelées filaments ou trichomes. Ces derniers ont un diamètre de 10 à 12 µm, sont mobiles, non ramifiés, et enroulés en 6 ou 7 spires. L'enroulement du trichome sur lui-même s'effectue suivant le sens d'un minuscule ressort à l'origine de son appellation : «spiruline» du latin «spira» qui signifie enroulement. Plusieurs facteurs environnementaux peuvent influencer l'orientation de l'hélice. Cette forme hélicoïdale typique lui permet de se déplacer dans l'eau en adoptant le mouvement d'une vis. On parle alors de déplacement par motilité (Charpy et al, 2008).

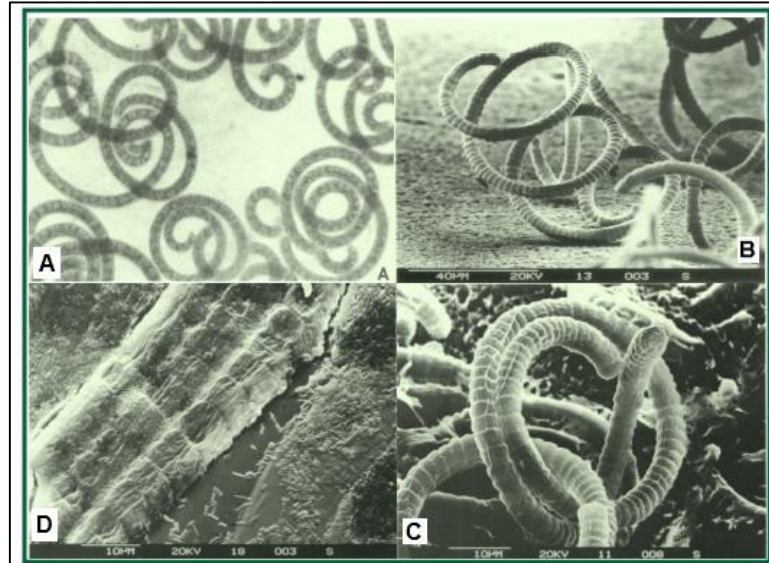


Figure 1 : Morphologie de *S. Platensis*.

- (A) Microscopie optique (X400) axénique .(B) Micrographie électronique à balayage d'un trichome.
 (C) Micrographie électronique à balayage d'une partie d'un trichome.
 (D) Micrographie électronique à balayage de trichomes non axéniques (Ciferri. O,1983)

Ces différentes formes dépendent des conditions écologiques dans lesquelles vivent les Spirulines (Tsarahevitra.J, 2005) Quand la température est trop élevée , la spiruline passe en état de repos et ne se reproduit plus, Les filaments prennent des formes irrégulières voire linéaires. De couleur habituellement bleu-vert qui devient blanc nacré. Les filaments prennent une forme hélicoïdale uniquement quand l'environnement est favorable. La spiruline se déplace à la vitesse de 5 $\mu\text{m/s}$. (MANET.A, 2016).

6. Cycle de Reproduction d'*Arthrospira platensis*

La spiruline se développe de 25% chaque jour, sa quantité doublant en 4 jours. Sa reproduction est végétative (asexuée) et s'effectue par scission simple, fission binaire ou multiple, par bourgeonnement ou fragmentation au hasard. Les 3 étapes fondamentales de son cycle de vie sont :

- ✓ la fragmentation des trichomes,
- ✓ puis les cellules s'élargissent, le trichome mature,
- ✓ se divise en filaments par fission binaire, ces filaments prenant une forme hélicoïdale (Manet, 2016).

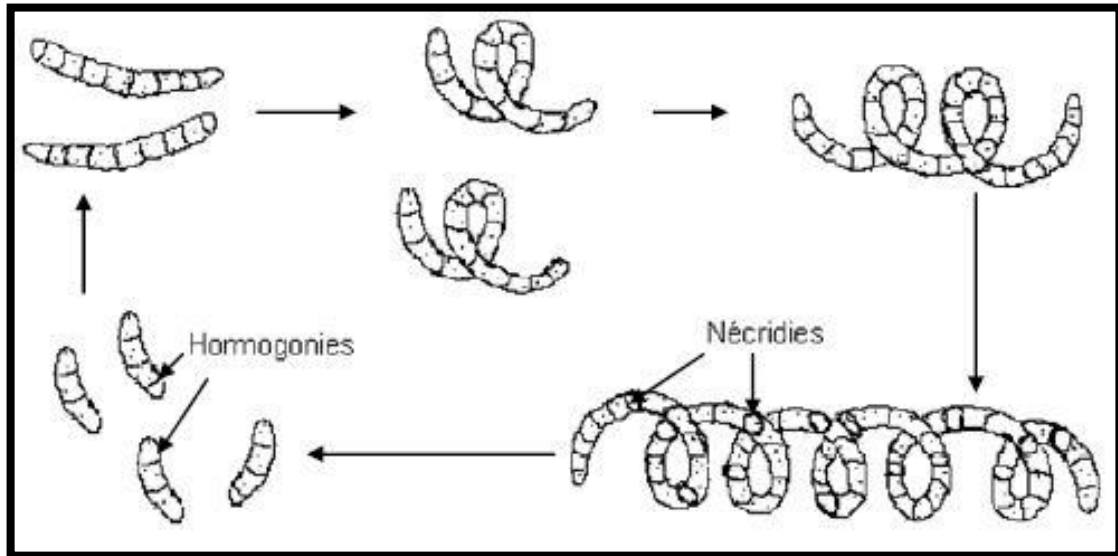


Figure 2 : Cycle biologique de la Spiruline (Charpy, L.2008)

7. Croissance d'*Arthrospira platensis*

Similaire à celle des bactéries la courbe de croissance des microalgues se caractérise par la présence de quatre phases (Fig03) :

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

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

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

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

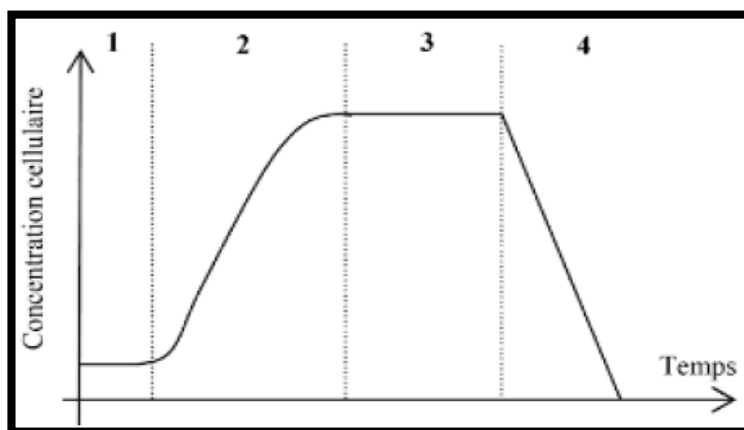
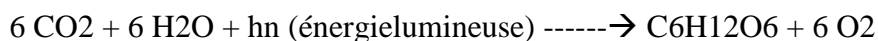


Figure 3 : courbe de croissance d'une microalgue en fonction de temps (Grobbeelaar ; 2004).

8. Condition de croissance d'*Arthrospira platensis*

Grâce à ses pigments chlorophylliens, la spiruline est une espèce photo-autolithotrophe aérobie. Par analogie, contrairement aux bactéries photoautotrophes aérobies qui n'ont que le photosystème I.

La formule générale de la photosynthèse peut donc s'écrire de la façon suivante :



(CRUCHOT H, 2008)

Pour se développer, la Spiruline a besoin d'éléments minéraux simples dans l'eau, les sels minéraux, le CO_2 et l' O_2 qu'elle puise directement dans son milieu tout en utilisant la lumière solaire comme source d'énergie grâce à son système pigmentaire. Ce mode de synthèse de biomasse est la photo autotrophie (Charpy et al, 2008)

La cyanobactérie a besoin de lumière, d'une eau alcaline, avec un pH allant de 8,5 à 11 (pH optimum = 9,5), riche en azote et en carbone, et d'une température comprise en 25 et 40°C. Elle est produite dans des bassins, dans une eau peu profonde, brassée en permanence pour assurer une répartition régulière des éléments nutritifs. Une intensité lumineuse élevée sans agitation conduirait à la photolyse des microalgues. Une forte intensité lumineuse conjuguée avec une forte agitation donnera la croissance optimale. À l'inverse, en lumière et agitation faibles, la croissance sera lente, mais la pigmentation plus marquée, c'est-à-dire que la couleur sera d'un vert plus foncé et le bleu de la phycocyanine apparaîtra (Sébastien S, 2008)

9. Valeur nutritionnelle d'*Arthrospira platensis*

La spiruline contient en moyenne, en poids sec, jusqu'à 70 % de protéines, 15 à 25 % de glucides et près de 11 % de lipides ainsi que des vitamines, des minéraux et des pigments (Niangoren.N, 2017).

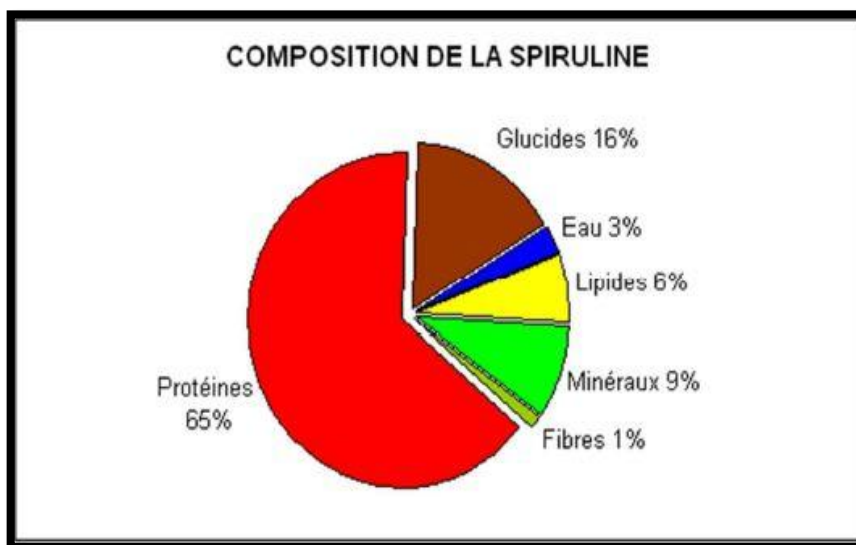


Figure 4 : composition moyenne de la spiruline

(<http://vertleburkina.unblog.fr/la-spiruline-outil-de-sante/>).

9.1. Protéines

La spiruline contient la plupart des acides aminés et notamment tous les acides aminés essentiels constituant près de 60% du poids protéines. Ce spectre d'acides aminés montre que la valeur biologique des protéines de la spiruline est élevée et pourrait sûrement être optimisée par les procédés de culture. (Sguera, 2008)

Tableau 3 : Composition en acides aminés de *Spiruline platensis*. (Sguera, 2008)

Acidesaminés	%	Acidesamines	%
Asp	0,9	Met*	0,8
Thr*	0,5	Ile*	1,3
Ser	0,6	Leu*	0,8
Glu	1	Tyr	3,3
Pro	0,3	Phe*	2,5
Gly	0,6	His	4,7
Ala	1	Lys*	1,9
Val*	1,3	Arg	2,1

9.2. 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 Ce sont le glucose, le fructose et le saccharose; on trouve aussi des polyols comme le glycérol, le mannitol et le sorbitol. (Falquet et Hurnl, 2006).

9.3. Lipides (acide gras)

Le taux de lipides dans les spirulines est d'environ 5 à 6%. (SallM.G, 1999)

9.4. Minéraux

Les minéraux spécialement intéressants chez la spiruline sont le fer, le zinc, le magnésium, le calcium, le phosphore et le potassium. (Falquet et Hurnl, 2006).

Tableau 4 : Analyse typique (spiruline sèche): mg/kg(Falquet et Hurnl,2006)

Minéraux	Teneur de la Spiruline (mg/kg)	Doses requises* (Mg/jour)
Calcium	1300-1400	1200
Phosphore	6700- 9000	1000
Magnésium	2000 – 4000	250-350
Fer	600-60009**	18
Zinc	21-6000**	15
Cuivre	8-2000**	1,5-
Chrome	28	0,5-2
Manganèse	25-37	5
Sodium	4500	500
Potassium	6400-15400	3500
Sélénium	0,01-50**	0,05

9.5. Vitamines

La Spiruline contient une large gamme de vitamines (Tableau 3). Les valeurs du tableau sont variables car elles concernent différentes productions avec des procédés de conservation variés. (Charpy, L.2008)

Tableau 5 : Teneur en vitamines en µg/g de matière sèche de Spiruline d'après
(Charpy,L.2008)

Vitamine	Teneur
Vitamines hydrosolubles	
B1 (thiamine)	34-50
B2 (riboflavine)	30-46
B3 (niacine)	130
B5 (pantothénate)	4,6-25
B6 (pyridoxine)	5-8
B8 (biotine)	0,05
B9 (folate)	0,5
B12 (cobalamine)	0,10-0,34
C (acide ascorbique)	Traces
Vitamines liposolubles	
Provitamine A (β-carotène)	700-1700
Cryptoxanthine	100
Vitamine E (alpha-tocophérol)	120
	50-190
	13

9.6. Pigments

La Spiruline contient des chlorophylles dont la chlorophylle *a* (typique des végétaux), de scaroténoïdes dont le principal est le β-carotène et des phycobiliprotéines telles la phycocyanine et la phycoérythrine. Les teneurs en pigments de *Spirulina platensis* apparaissent dans le Tableau. Ces pigments sont responsables de la couleur caractéristique de certaines espèces de flamants qui consomment cette cyanobactérie. (Charpy,L.2008)

Tableau 6 : Teneurs en pigments exprimées en mg pour 10g de matière sèche de *Spirulina platensis* (Charpy, L.2008)

Pigments	Teneur en mg/10g
Chlorophylles totales	115
Chlorophylle a	61-75
Caroténoïdes (orange)	37
Phycocyanine (bleu)	1500-2000
Phycoérythrine (rouge)	2900-10000

10. Production d'*Arthrospira platensis*

La Spiruline commence à être connue pour ses qualités diététiques, la demande au niveau mondial augmente de plus en plus, aussi la culture évolue-t-elle de l'échelle locale et artisanale à l'échelle industrielle (JARISOA T,2005)

La production de Spiruline se fait à plusieurs échelles : artisanale, semi-industrielle et industrielle (Charpy et al, 2008)

10.1. Production artisanale

Est destinée aux populations locales pauvres et en état de dénutrition plus ou moins sévère. Elle n'est pas un luxe pour eux et ils doivent pouvoir l'acheter avec le peu de moyens ils disposent. C'est en partie pour cela que les techniques utilisées sont simples et accessibles, de façon à ne pas faire flamber les coûts de production et donc les prix de vente. (CRUCHOT H, 2008)



Figure 05: production artisanale au Mali (Sguera, 2008)

10.2. Production industrielle

Est commercialisée dans les pays riches. Elle est vendue dans certaines pharmacies ou commerces de produits diététiques, à des prix très élevés. Evidemment, la spiruline dans ces pays ne correspond pas à un besoin vital : elle est surtout utilisée pour stimuler l'appétit, comme complément alimentaire en accompagnement des régimes amaigrissants ou pour renforcer la masse musculaire des sportifs de haut niveau (CRUCHOT H, 2008)



Figure 06 : bassins de production de micro-algues de la société Alpha Biotech situés sur les côtes normandes (Sguera, 2008)

10.3. Production semi-industrielle

Sont des unités de production qui peuvent être modulaires et démarrer à partir de petites exploitations de type artisanal. Ces fermes sont constituées de 25 bassins de 200 à 1000 m² avec une surface totale exploitée entre 3000 m² et 1 hectare. Leur capacité de production annuelle est de 10 à 50 tonnes.

La demande de Spiruline au niveau mondial est en augmentation et certaines exploitations sont passées à une échelle industrielle (Charpy et al, 2008).

11. Applications d'*Arthrospira platensis*

Les applications des microalgues sont nombreuses et variées. Ces applications peuvent se regrouper en trois parties : l'alimentation humaine et animale, le développement de molécules biochimiques pour l'industrie et les applications environnementales. La figure (07) présente les applications des microalgues de façon générale (Niangoran, 2017).

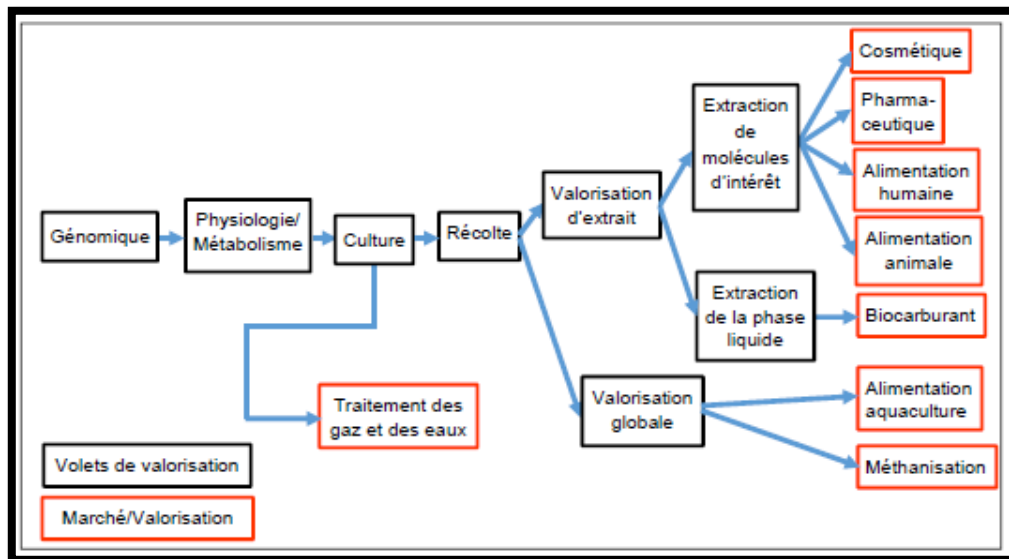


Figure 07: Les applications des microalgues (Niangoran, 2017)

11.1. Alimentation humaine et animale

La nutrition humaine: valorisation directe des algues ou extraction de composants additifs (pigments colorants : caroténoïdes, et pigments bleu, rouge, jaune et vert ; texturants ; aromes ; corps gras) L'alimentation animale :aquaculture (valorisation et coquillages, unique source alimentaire pour les écloseries et intérêt pour le contrôle de la toxicité), animaux d'élevage et animaux de compagnie (pet foods), comme source de valorisation (en substitution aux farines de valorisation qui constituent un prélèvement minier sur la valorisation pélagique) et/ou de valorisation nutritifs(RASTOINJ-L.2006)

11.2. Développement de molécules biochimiques pour l'industrie

Industrie cosmétique : la phycocyanine valorisation de la spiruline est aussi utilisée dans le domaine de la cosmétologie, notamment pour la variété de couleurs qu'elle peut donner lors de son mélange avec d'autres valorisations. Depuis de nombreuses années, elle rentre ainsi dans la composition de rouges à lèvres et de crayons pour souligner les yeux, disponibles sur le marché asiatique. En Europe, le marché est moins développé car plus varié. Par ailleurs, la spiruline

renferme toutes les 18analiza et minéraux nécessaires pour avoir une peau, des cheveux et des ongles sains. **(CRUCHOT H, 2008)**

Les matériaux bio sources : bioplastiques algaux, adjuvants pour les BTP (béton et 18analiz, matériaux de construction), adhésifs, polysaccharides, polyesters et hydroxy acides **(RASTOINJ-L.2006)**

La production d'énergie : algocarburants diesel principalement, mais également 18analiz et 18anali (en utilisant les microalgues comme intrants en méthanisation) **(RASTOINJ-L.2006)**

11.3. Applications environnementales

L'agriculture : intrants pour l'agriculture biologique et l'agro écologie (fertilisants et traitements sanitaires des plantes et des animaux par bio mimétisme : stimulateurs de 18analiza naturelles et phytohormones) **(RASTOINJ-L.2006)**.

*Chapitre II : Généralités sur
les eaux usées*

1. Définition des eaux usées

La pollution de l'eau s'entend comme, une modification défavorable ou nocive des propriétés physico-chimiques et biologiques, produite directement ou indirectement par les activités humaines, les rendant impropres à l'utilisation normale établit (**Metahri M.S,2012**)

Les eaux réjétés après leurs utilisations pour les activités domestiques, industrielles, artisanales ou agricoles et celles deversées à la suite d'évènements pluvieux constituent les eaux usées (**Boukary S,2018**)

2. Origine

Suivant l'origine et la qualité des substances polluantes, on distingue quatre categories d'eaux usées (**Metahri M.S,2012**)

2.1. Eaux usées domestiques

Ce sont les eaux usées qui proviennent des établissements et services résidentiels, produites essentiellement par le métabolisme humain et les activités ménagères (eaux ménagères et eaux de vannes) (**Aba Aaki.,2012**)

Elles proviennent des différents usages domestiques de l'eau. Elles sont constituées essentiellement d'excréments humains, des eaux ménagères de vaisselle chargées de détergents, de graisses appelées eaux grises et de toilette chargées de matières organiques azotées, phosphatées et de germes fécaux appelées eaux noires (**Metahri M.S,2012**)

1.1.Eaux usées industrielles

Pour les eaux usées industrielles, leurs caractéristiques sont fonction de l'industrie considérée. Elles peuvent être chargées d'une grande variété de polluants : matières organiques, métaux lourds, produits toxiques, hydrocarbures, etc (**Abouzlam. M, 2006**)

Les eaux usées industrielles doivent faire l'objet, avant rejet vers le réseau public, d'un traitement adapté à leur nature afin d'assurer la protection du milieu récepteur (**Aba Aaki, 2012**)

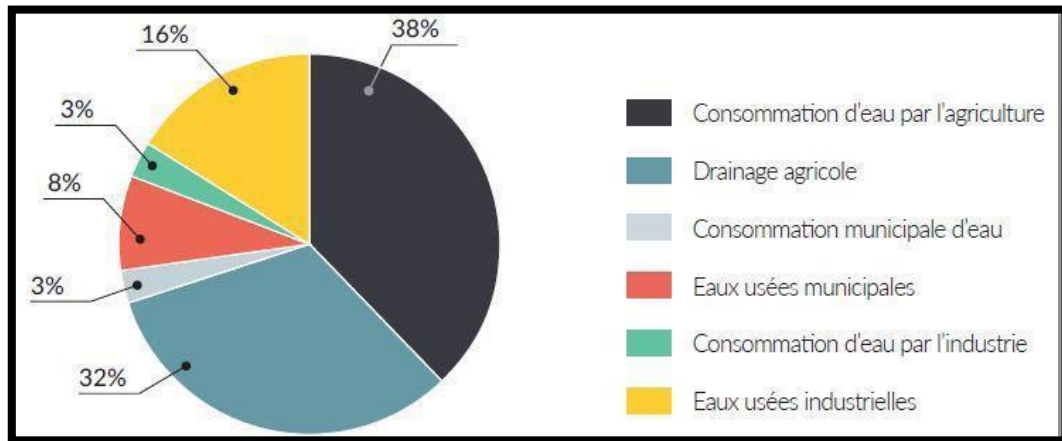


Figure 8 : Consommation d'eau et production d'eaux usées par les principaux secteurs (Boukary, S. 2018).

2.2. Eaux agricoles

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

2.3. Eaux pluviales

Ce sont les eaux usées qui proviennent des précipitations atmosphériques, elles sont chargées de matières minérales en suspension, d'hydrocarbures (Aba Aaki, 2012)

Les eaux de pluie ruissellent dans les rues où sont accumulés polluants atmosphériques, poussières, débris, suies de combustion et hydrocarbures rejetés par les véhicules. Les eaux de pluies, collectées normalement à la fois avec les eaux usées puis déversées dans la canalisation d'assainissement et acheminées vers une station d'épuration, sont souvent drainées directement dans les rivières entraînant ainsi une pollution intense du milieu aquatique (Metahri M.S,2012)

3. Définition de la pollution de l'eau

La pollution est une modification défavorable du milieu naturel qui apparaît en totalité ou en partie comme un sous-produit de l'action humaine, au travers d'effets directs ou indirects (RAMADE.F, 2005).

Polluer l'eau d'une réserve superficielle ou profonde, c'est modifier ses caractéristiques naturelles (physiques, chimiques, biologiques et bactériologiques) en y rejetant certaines substances soit à l'état solide (matières en suspension), soit à l'état dissous, susceptibles :

- De perturber, à plus ou moins longue échéance, l'équilibre biologique du milieu en rendant toute vie animale et végétale aléatoire ;
- De rendre l'eau impropre à toute réutilisation ultérieure (production d'eau destinée à la consommation humaine, usage industriel...). (**Jean-Claude BOEGLIN, 1997**)

4. Principaux types de pollution

4.1. Pollution toxique et substances dangereuses

On peut classer qualitativement la pollution en plusieurs catégories en fonction de sa nature, de sa nocivité et de ses effets. Elle est due, d'une manière générale, aux rejets industriels qui renferment des substances d'origine minérale (éléments traces métalliques, cyanures, sulfures, etc.) ou organique (composés phénolés, hydrocarbures, pesticides, etc.) dont les effets sur les organismes vivants peuvent être toxiques à de très faibles concentrations (de l'ordre du microgramme au milligramme par litre). Notons cependant que les effets des micropolluants sur les écosystèmes aquatiques sont très variables, car ils ne dépendent pas uniquement du niveau de concentration, mais aussi d'autres caractéristiques comme leur biodisponibilité, bioaccumulation, persistance, spéciation (ensemble des espèces chimiques sous lesquelles un élément se présente dans un environnement donné), etc.

On distingue généralement trois grands groupes de micropolluants : les organiques, les minéraux et les organométalliques (**Marc ELSKENS, 2010**).

4.2. Pollution organique et eutrophisation

Elle a pour origine les eaux usées domestiques et industrielles renfermant des matières organiques non toxiques en elles-mêmes, mais dont la dégradation par voie bactérienne consomme l'oxygène dissous dans le cours d'eau en entraînant la mort des poissons par asphyxie et le développement (par les dépôts des matières au fond des rivières) de fermentations anaérobies (putréfaction) génératrices de nuisances (**Marc ELSKENS, 2010**) (**Jean-Claude BOEGLIN, 1997**) .

4.3. Pollution particulaire

Elle est due à des rejets urbains et industriels par des matières en suspension qui provoquent des dépôts et envasements nuisibles à la navigation en favorisant les inondations, endommagent les organismes des poissons par simple action mécanique en colmatant les voies respiratoires, enfin, et surtout, augmentent la turbidité de l'eau, gênant ainsi la pénétration des rayonnements lumineux, c'est-à-dire le phénomène de photosynthèse (**Jean-Claude BOEGLIN, 1997**) .

5. Traitement des eaux usées

Les eaux usées, qu'elles soient d'origine domestique ou industrielle, sont collectées par un réseau d'assainissement complexe pour être traitées dans une station d'épuration avant 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.

De l'entrée de l'usine jusqu'au rejet dans le milieu naturel, les différentes étapes du traitement des eaux usées et les principales tâches effectuées sont schématiquement les suivantes : (Aussel. H, 2004)

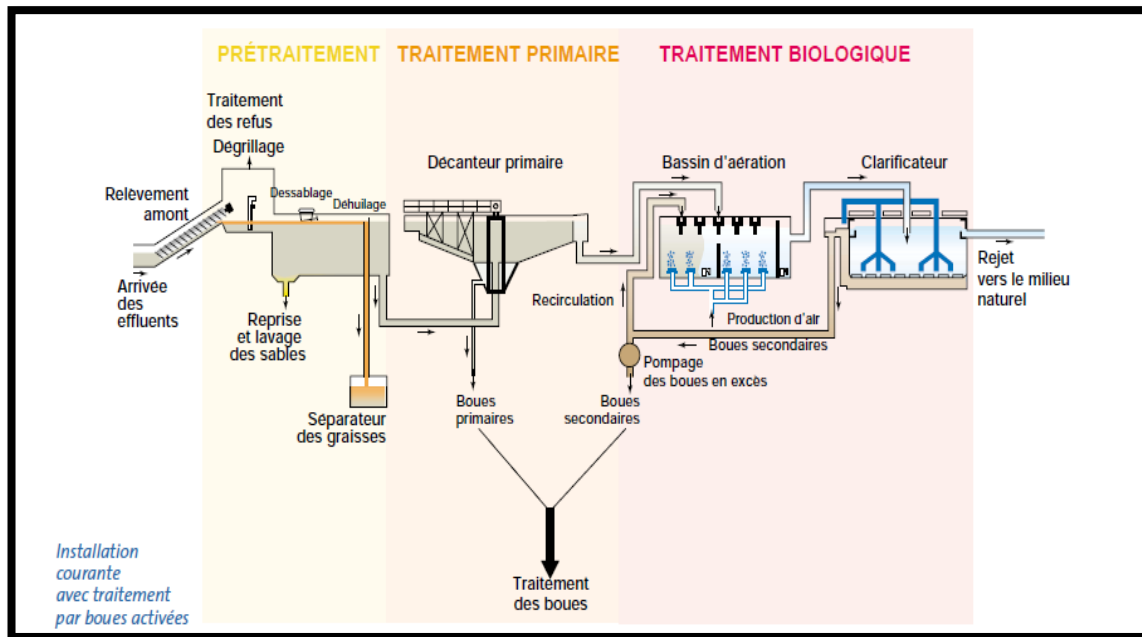


Figure 9 : traitement des eaux usées (Aussel. H, 2004)

5.1. Objectifs du traitement

Qu'ils s'agissent de boues urbaines ou industrielles, on s'appuie, dans la conception d'un schéma de traitement de boues, sur les mêmes principes, dans la mesure où l'on poursuit en réalité deux objectifs principaux :

- La réduction des nuisances olfactives.
- La réduction du volume des boues, afin de faciliter leur manu-tention et diminuer leurs frais d'élimination finale.

On procède généralement en deux stades, afin d'assurer une élimination plus ou moins poussée de l'humidité des boues :

1-er stade : épaissement (sédimentation – centrifugation– flottation)

2^{-er} stade : déshydratation mécanique selon les principes de centrifugation (décanteuses continues) ou de filtration (filtres sous vide, sous pression ou à bandes presseuses) (**Jean-C B**)

5.2. Processus de traitement des eaux usées

5.2.1. Pré-traitements

Cette étape importante est destinée à retenir les débris solides volumineux, les sables, les huiles et les graisses à l'entrée de la chaîne de traitement. (**Abouzlam M,2006**).

5.2.1.1. Dégrillage

Les dégrilleurs assurent la protection des équipements électromécaniques et réduisent les risques de colmatage des conduites mises en place dans la station d'épuration. Le plus souvent il s'agit de grilles qui récupèrent les déchets plus ou moins volumineux entraînés par les eaux s'écoulant dans les canalisations d'assainissement. Une grande diversité de grilles est disponible sur le marché (droite, courbe, nettoyage amont, aval).(**PRONOST.J.2002**)

5.2.1.2. 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. (**Aussel.H,2004**)

5.2.1.3. Dégraissage et déshuilage

Les graisses et les huiles étant des produits de densité légèrement inférieure à l'eau issues non seulement des habitations, mais aussi des restaurants, des garages, des chaussées, des usines, des abattoirs, ... etc.

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

5.2.2. Traitements Physico-chimiques (traitements primaires)

Le traitement primaire au sens strict est un traitement physico-chimique. Il est possible d'ajouter dans l'eau des agents coagulants et flocculants. On peut alors récupérer un grand nombre de particules en suspension par décantation ou floculation (Boues physico-chimiques) (**Moulin. S, Rozen-rechels D.et Stankovic. M, 2013**) Les performances de la décantation peuvent être améliorées par l'ajout des produits chimiques (sulfate d'alumine, chlorure

ferrique...) qui neutralisent les particules chargées, en augmentant ainsi la probabilité de collision entre les particules (coagulation et floculation), ainsi que la formation des flocs par la suite facilement décantables. Cette étape permet d'éliminer 90% des particules et objets en suspension (Aba Aaki, 2012)

5.2.3. 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 (Moulin et al, 2013). Ces procédés, basés sur l'activité bactérienne dégradant les composés, sont classés en deux groupes selon le genre de bactéries présentes dans l'eau (Abouzlam. M, 2006) :

- Les procédés aérobies nécessitant la présence d'oxygène.

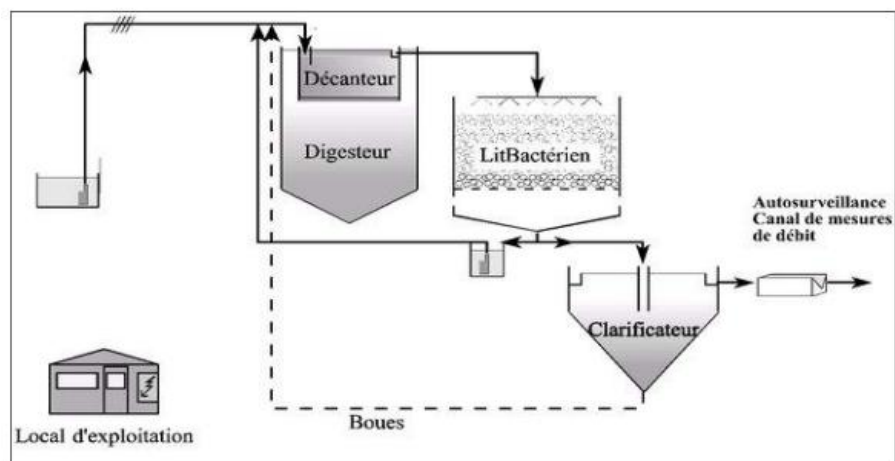


Figure 10 : Filière d'épuration des eaux usées par un lit bactérien (Aba Aaki, 2012)

- Les procédés anaérobies se développant en absence d'oxygène.

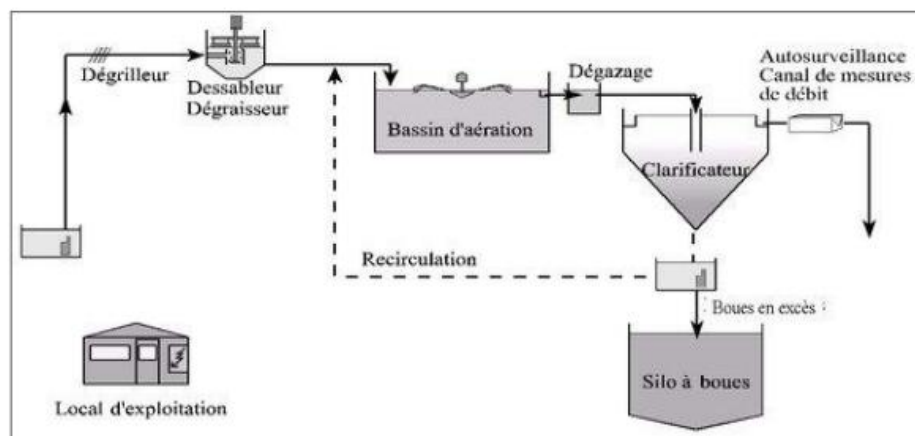


Figure 11 : Filière d'épuration des eaux usées par boues activées (Aba Aaki, 2012)

Dans la pratique, il existe plusieurs systèmes biologiques de traitement des effluents : le traitement aérobie (présence d'oxygène naturel ou artificiel) et le traitement anaérobie (absence d'oxygène). Dans l'environnement industriel, l'espace est un élément économique de grande importance et induit de ce fait une préférence pour les techniques intensives. La figure 8 présente une représentation graphique des procédés aérobi et anaérobie .

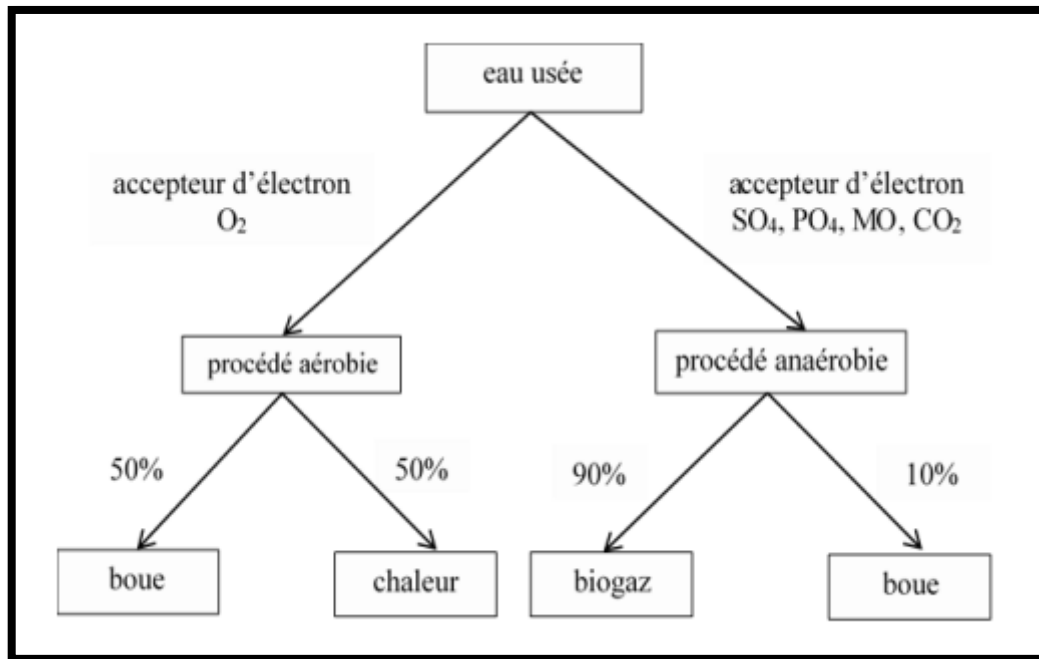


Figure 12 : Illustration graphique des procédés aérobie et anaérobie (Boukary. S, 2018)

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

5.2.3.1. Procédés biologiques intensifs

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

- ✚ Procédés biologiques à "culture libre" : les bactéries sont en suspension (boues activées) (Abouzlami, 2006) constituent l'étape de traitement secondaire dans les stations d'épuration, cette étape a pour but d'éliminer la charge carbonée par une épuration biologique de l'eau usée. C'est un procédé mettant en œuvre un réacteur aérobie à biomasse en suspension. (Aba Aaki, 2012) Où De l'oxygène est diffusé par agitation ou injection d'air ou d'oxygène.
- ✚ Procédés biologiques à "culture fixe" : sont tous les procédés où la biomasse épuratrice est accrochée, (Maref. N, 2019) Où se développent les micro-organismes sur un support

comme des cailloux, du plastique, ...Ce film bactérien développé sur les surfaces du support constitue ce qui s'appelle le biofilm à travers lequel percole l'eau à traiter.

5.3.2.2. Procédés biologiques extensifs

Dans ces procédés, tout se passe naturellement sans intervention artificielle et mécanique. Parmi ces procédés, on peut citer :

- ✚ L'épuration par le sol qui compte sur les propriétés de filtration et la capacité du sol à assimiler une masse bactérienne active.
- ✚ Lagunage qui consiste en un bassin d'eau, appelé lagune, peu profond, aéré ou non aéré (**Abouzlam, 2006**) Les micro-organismes qui sont à la base de la dépollution se développent en suspension dans des bassins dont la profondeur n'excède pas 1,2 m. Il convient de prévoir trois bassins en série. La production de l'oxygène est assurée par des algues qui se développent naturellement dans les bassins et à partir du phénomène de la photosynthèse, Le procédé permet d'obtenir des rendements d'élimination de la pollution de l'ordre de 70 à 80% et un très bon abattement de la pollution bactériologique. schéma d'épuration des eaux usées par lagunage naturel.

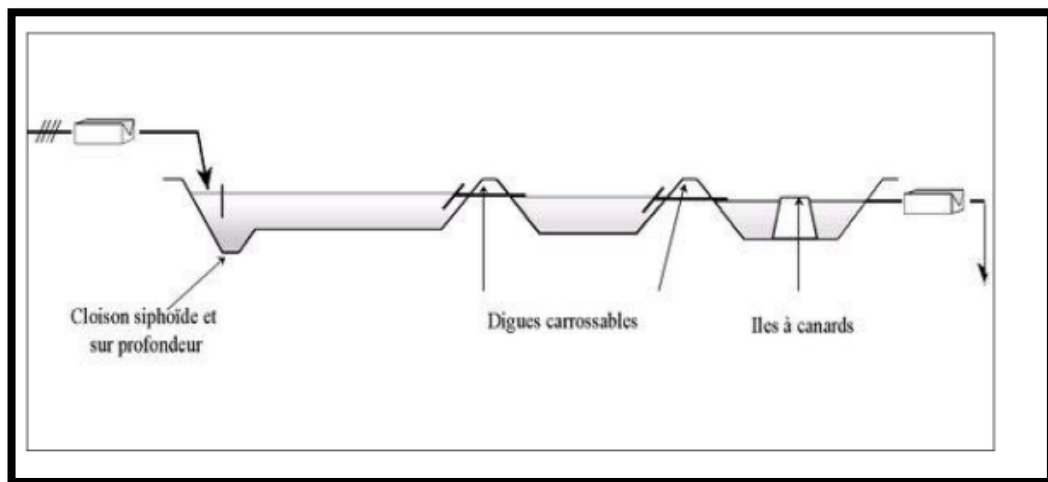


Figure 13 : Filière d'épuration des eaux usées par lagunage naturel (**Aba Aaki, 2012**)

5.2.4. Traitements tertiaires

Ces traitements sont à la fois physico-chimiques et biologiques. On les réalise après les traitements primaires et secondaires afin d'éliminer des éléments nutritifs résiduels, des polluants organiques résistants, des métaux, des pigments. . . Par exemple, on peut utiliser des traitements biologiques avancés pour éliminer le phosphore par le Déplacement Nutritif Biologique (DNF). On fait passer l'eau par différents réservoirs avec des bactéries et dans des

conditions environnementales différentes (différence de concentration en dioxygène par exemple). On récupère ensuite les boues lors d'un nouveau passage dans un clarificateur.

Un autre type de traitement que l'on pourrait classer comme tertiaire est le traitement aux UV. On dénature alors des molécules, comme les œstrogènes, sensibles à ces rayons. (**Moulin. S, Rozen-rechels D.et Stankovic. M. (2013)**).

5.2.5. Traitements et destinations finales des boues résiduares

La chaîne de traitement de l'eau concentre la pollution et la biomasse excédentaire dans les boues, qui sont évacuées au niveau des décanteurs primaire et secondaire (clarificateur), ou du lavage des biofiltres. Les boues sont un "liquide" comprenant entre 1 et 4 % de matières sèches (**Sébastien Renou, 2006**) Afin d'élimination finale comprend une suite d'opérations élémentaires assurant une fonction bien déterminée, et pour la quelle il existe un grand nombre d'options possibles ; parmi elles doit être fait le meilleur choix, en tenant compte des contraintes en amont (nature, caractéristiques et quantités de boues) et en aval, et cela au meilleur coût.

***Chapitre III : Bioremediation
par des microalgues***

1. Historique de la bioremédiation

La bioremédiation a commencé il y a plus de 50 ans avec des recherches examinant le devenir des pesticides dans les sols agricoles. Compte tenu du large éventail de réactions cataboliques médiées par les enzymes bactériennes, il n'est pas surprenant que dès le début la recherche en bioremédiation se soit concentrée sur les bactéries. La capacité des bactéries à dégrader les xénobiotiques était si impressionnante que les autres organismes vivants ont été pratiquement ignorés pendant 30 ans. En conséquence, la bioremédiation a été considérée comme une dégradation des contaminants organiques par les bactéries, même si le préfixe bio suggérait l'implication de toutes les formes de vie. Les premiers chercheurs dans les travaux d'assainissement des plantes ont été confrontés à l'attitude de certaines personnes selon lesquelles si l'assainissement d'un contaminant ne pouvait pas être réalisé par des bactéries avec leur gamme diversifiée d'enzymes cataboliques, il ne pouvait certainement pas être réalisé avec des plantes. Cette attitude est peut-être la raison pour laquelle les chercheurs s'efforçant d'attirer l'attention sur les caractéristiques uniques de remédiation des plantes se sont sentis obligés d'établir un champ de remédiation séparé, la phytoremédiation, et d'inclure plusieurs subdivisions (c'est-à-dire la phytoextraction, la rhizoremédiation, etc.) (MACKOVA M; DOWLING D; MACEK T, 2006) .

2. Définition des bioremédiations

La bioremédiation est une branche des biotechnologies qui utilise des mécanismes biologiques naturels ou détournés pour traiter des problèmes environnementaux (VAVASSEUR A, 2014). La bioremediation est définie comme l'utilisation de micro-organismes pour éliminer et détoxifier efficacement les polluants grâce à leurs diverses capacités métaboliques. Les polluants environnementaux, y compris les produits rejetés par les industries pétrolières, sont efficacement éliminés par cette technologie émergente (Y.V. Nancharaiah, Vayalam P.V, 2020) . La bioremédiation est une alternative intéressante aux autres procédés du fait de son impact environnemental réduit et de son faible coût . Cette technique est particulièrement avantageuse en ce qui concerne des contaminations de faibles teneurs en polluant sur de grandes surfaces. Différentes stratégies regroupées sous le terme de bioremédiation peuvent être employées afin de dégrader efficacement les contaminants par voie microbienne. L'atténuation naturelle contrôlée correspond à l'étude de l'ensemble des phénomènes physiques, chimiques et biologiques intervenant dans la dégradation ou la transformation de contaminants dans l'environnement (FAYEULLE A, 2018).

La bioremédiation est le meilleur processus de dépollution en raison de sa haute efficacité, son faible coût et surtout ne provoque pas de pollution secondaire. Le procédé de la bioremédiation consiste à activer la capacité naturelle que possèdent de nombreux microorganismes (bactéries, micro algues, champignons), à dégrader les polluants en composés inertes, comme l'eau et le gaz carbonique. Ces organismes peuvent être indigènes (déjà présents dans la zone polluée), ou exogènes (ajoutés au milieu), ou encore être prélevés sur le site contaminé, cultivés au laboratoire puis réintroduits dans le sol (bioaugmentation) (**Chadli a, 2015**).

3. Bioremédiation par les microorganismes

La sélection de microalgues indigènes potentielles avec des caractéristiques intrinsèques pour la production de bioressources et l'atténuation des déchets est considérée comme la voie la plus durable pour le développement de la biotechnologie algale. Dans le cas de la phytoremédiation (atténuation des déchets à l'aide d'algues), son succès dépend de plusieurs facteurs, dont la productivité algale qui peut être atteinte, l'efficacité de l'élimination des nutriments et des polluants et les coûts de récolte.

De plus, l'utilisation de souches d'algues aux attributs particuliers tels que la tolérance aux températures extrêmes, la composition chimique à haute teneur en produits à haute valeur ajoutée, un comportement de sédimentation rapide et une capacité de croissance mixotrophe, sont d'autres facteurs à prendre en compte. L'amélioration des souches à l'aide de la technologie de modification génétique pour améliorer l'applicabilité des microalgues pour la bioremédiation est une approche qui a reçu beaucoup d'attention en raison de l'avènement des outils de génomique moléculaire et fonctionnelle. Les constituants des eaux usées varient selon le type d'eaux usées et un traitement préalable peut être nécessaire avant de pouvoir les utiliser pour cultiver des microalgues (**Seckbach j ; Dinabandhu S, 2015**).

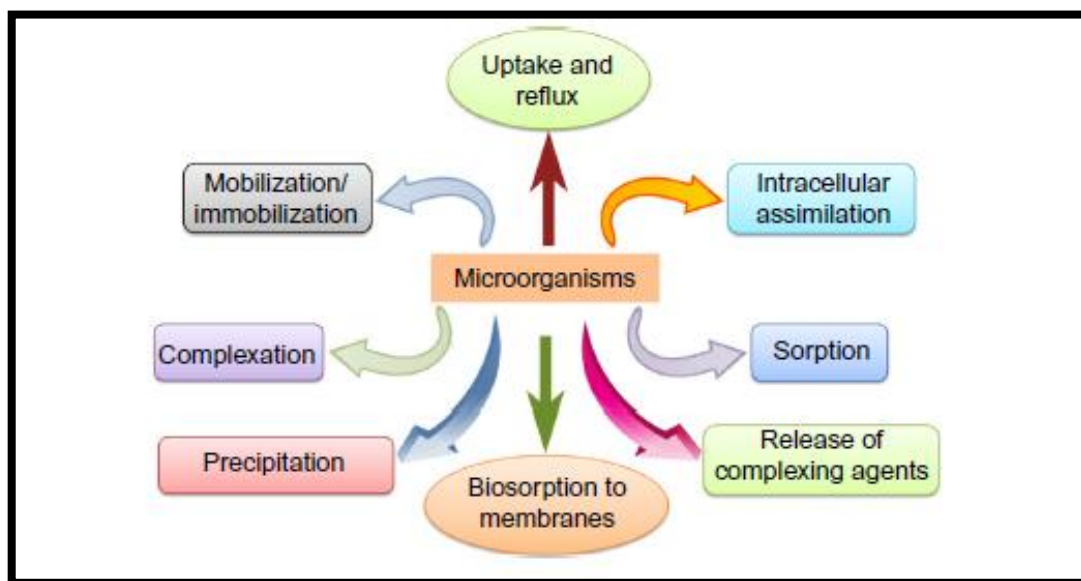


Figure 14 : caractéristiques de traitement des métaux des bactéries requises pour leur utilisation dans la bioremédiation (Surajit D, 2014)

4. Stratégies de bioremédiation

La dégradation microbienne est l'une des principales stratégies utilisées pour la bioremédiation des composés organiques et des métaux lourds. La durabilité du processus de bioremédiation dépend du potentiel de dégradation et de transformation des micro-organismes. Le caractère unique de la méthode de bioremédiation est dû au fait qu'elle élimine les polluants de l'environnement naturel ou qu'elle atténue les polluants en utilisant la communauté microbienne indigène disponible et spécifique au site. De manière générale, la bioremédiation peut être divisée en (Shuklaa.SK,et al...,2014)

4.1. Bioatténuation

Qui dépend du processus naturel de biodégradation (Shuklaa.SK,et al...,2014)

4.2. Biostimulation

Fait référence à l'ajout d'un ou plusieurs nutriments limitant la vitesse pour accélérer les taux de biodégradation des contaminants. Dans la plupart des écosystèmes côtiers qui ont été fortement contaminés par des hydrocarbures, les éléments nutritifs sont probablement les facteurs limitants de la biodégradation du pétrole. Les hydrocarbures pétroliers déversés représentent une importante source de carbone alors que dans la plupart des environnements marins, la présence d'azote et de phosphore est limitée. L'oxygène représente un autre nutriment très important et potentiellement limitant qu'il convient de garder à l'esprit avant de se lancer dans une application de biostimulation sur le terrain (Dash.HR et al...,2014)

4.3. Bioaugmentation

La bioaugmentation est l'introduction d'un groupe de souches microbiennes naturelles ou d'une variante génétiquement modifiée pour traiter le sol ou l'eau contaminés. Il implique un groupe de microbes comme les bactéries, les protozoaires, les nématodes, les rotifères et les champignons (**Asha. A et al, 2014**)

Des éléments nutritifs sont généralement apportés dans la solution contenant les microorganismes. Cette suspension de microorganisme est apporté à la surface du sol dans les conditions naturelles ou injecte dans le site contaminé sous pression. Cette technologie est largement utilisée pour décontaminer les sites contenant des hydrocarbures : Les microorganismes choisis sont des bactéries dotées d'une grande capacité de digestion de ces hydrocarbures (**Chedly ABDELLY, 2006**)

4.4. Bioadsorption

La bioadsorption est un processus physico-chimique dans lequel la concentration de sorbate (métaux lourds) est adsorbée sur la bio-surface. En général, cette surface biologique n'est pas de la biomasse vivante. Il s'agit donc d'un métabolisme passif mécanisme, un mécanisme rapide et réversible liant les ions métalliques des solutions aqueuses sur des groupes fonctionnels.

La bioaccumulation ou la bioabsorption fait référence à un sorbate accumulé dans les cellules. La bioaccumulation est donc un processus métaboliquement actif qui suit la première étape, la bioadsorption. L'adsorption des métaux lourds à la surface d'un biosorbant est un mécanisme physico-chimique comprenant différents processus. (**Aridane. G et al, 2006**) such as electrostatic interaction, surface complexation, ion exchange, absorption, and precipitation. Therefore, the efficiency of pesticide adsorption is mainly affected by the surface active groups and proper-ties of microalgae. (**Nie.j et al, 2020**)

Ce processus d'adsorption est affecté par de nombreuses conditions physico-chimiques, non seulement celles affectant le biosorbant mais aussi celles du sorbate et des milieux tels que le poids moléculaire, l'état d'oxydation, la concentration à la fois de l'adsorbant et du sorbate, les propriétés du biosorbant, le pH, la température, la force ionique, etc. Afin de proposer un nouveau biosorbant, il faut le caractériser précisément en termes d'adsorption. Cela nécessite de prendre en compte la présence de groupes fonctionnels sur les surfaces cellulaires, les capacités d'adsorption, à la fois en fonction du pH et de la concentration en métal en solution, de la cinétique d'adsorption, ainsi que d'autres facteurs tels que la température et la biomasse. (**Aridane. G et al, 2006**)

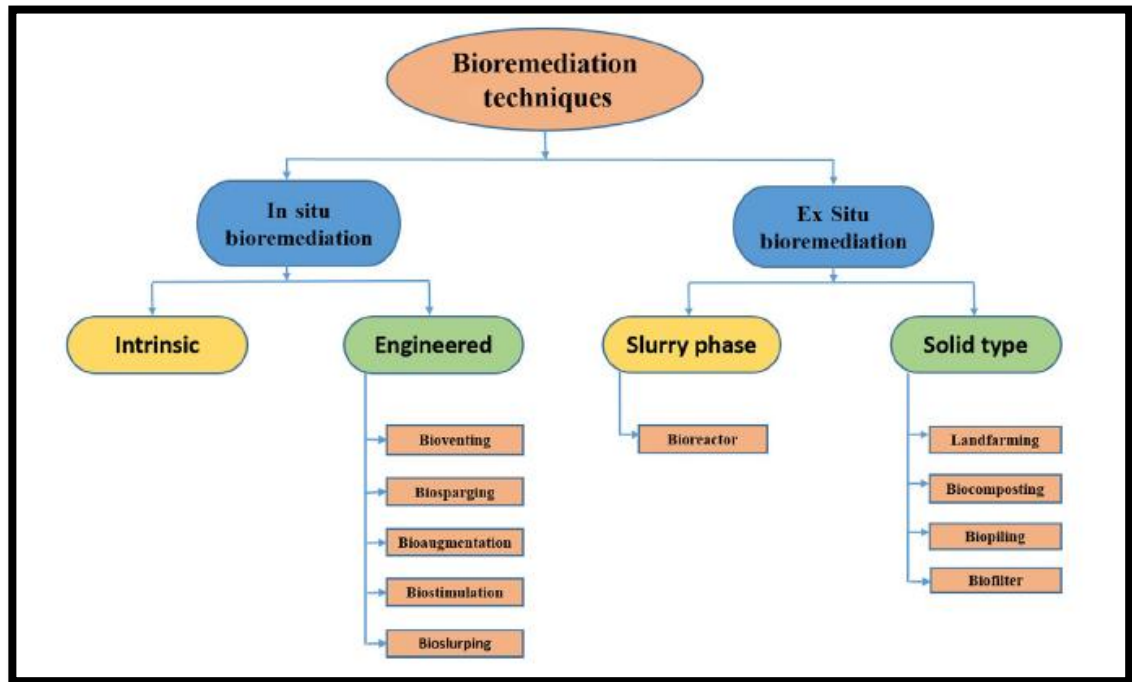


Figure 15 : types des bioremédiation (Gaurav S, 2021)

5. Phycoremédiation

Le terme phycoremédiation fait référence à la combinaison des mots « phyco » signifiant « algues » et « remédiation » qui signifie « traiter ou ramener à l'état d'origine » (Seckbach j ; Dinabandhu S, 2015). La phycoremédiation peut être définie comme l'utilisation de macroalgues, de microalgues et de cyanobactéries, vivantes ou mortes, pour l'élimination ou la biotransformation de polluants, y compris les nutriments, composés organiques et inorganiques, toxiques et récalcitrants, d'origine naturelle ou anthropique, à partir de des eaux usées, des sols contaminés ou des courants d'air résiduels (Olguín EJ; Sánchez-Galván G, 2011) . L'utilisation d'algues pour traiter les déchets ou les eaux usées remonte aux premières civilisations où les voies navigables telles que les rivières et la mer étaient utiles comme toilettes où les déchets humains et plus tard les déchets animaux étaient rejetés directement en tant que systèmes d'élimination naturels. Les nutriments provenant des déchets en décomposition ont favorisé la prolifération des microalgues qui ont ensuite fourni à la fois la photo-oxygénation des eaux et de la nourriture pour le reste du réseau trophique de l'écosystème aquatique (Seckbach j ; Dinabandhu S, 2015).

Les applications de la phycoremédiation sont diverses et certaines sont plus développées que d'autres ; certains d'entre eux sont au niveau commercial, tandis que d'autres sont encore au stade de la recherche et du développement. Les procédés d'élimination des nutriments des eaux usées domestiques, tels que les Advanced Integrated Wastewater Pond Systems (AIWPS), ont

déjà été commercialisés, grâce aux efforts de longue haleine du pionnier de l'utilisation des microalgues pour le traitement des eaux usées, le professeur Williams J. Oswald. D'autre part, l'élimination des éléments nutritifs des effluents contenant des matières organiques à haute résistance est toujours un domaine de recherche et de développement pertinent, car les déchets animaux ou les effluents agro-industriels ne sont pas éliminés correctement dans de nombreux pays et l'eutrophisation des masses d'eau de surface est un problème courant. D'autres applications importantes de la phytomédiation qui sont des domaines de recherche très actifs sont l'élimination des métaux lourds à l'aide de biosorbants à base d'algues et l'élimination des polluants organiques toxiques et persistants (POP). La transformation et la dégradation des POP à l'aide de microalgues est un domaine de recherche assez jeune avec un fort potentiel. En raison de la préoccupation actuelle concernant le réchauffement climatique, la séquestration du CO₂ à l'aide de microalgues attire beaucoup l'attention et devrait également devenir une priorité.

D'autre part, quelques facteurs clés ont limité la mise à l'échelle de plusieurs processus de phytoremédiation testés avec succès au niveau du laboratoire, et des recherches supplémentaires sont nécessaires pour surmonter ces limitations (Olguín EJ; Sánchez-Galván G, 2011).

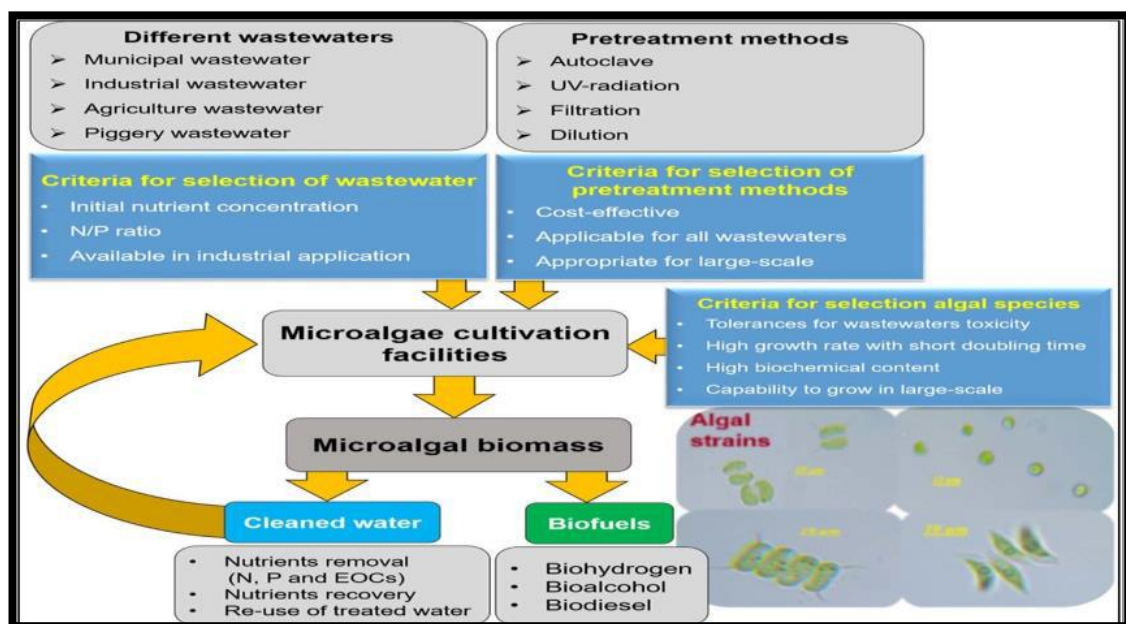


Figure 16 : Représentation schématique de simulations de traitement des eaux usées avec culture de biomasse de microalgues. (Salama *et al.* 2017)

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 la 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 d'algue biomasse (**Salama et al.2017**).

6. Avantages de la bioremédiation

Le processus de bioremédiation présente plusieurs avantages par rapport aux techniques de remédiation conventionnelles (mise en décharge et incinération).(**SINGH A et WARD O. P ,2004**)

- Elle est souvent applicable sur le site (bioremédiation *in situ*) ou à proximité immédiate (quand des installations *ex situ* sont nécessaires), ce qui réduit les coûts de transport et de manutention.
- Elle perturbe généralement moins le biotope que les méthodes physico-chimiques (sauf pour les sols excavés).
- Elle élimine le polluant en permanence et, appliquée *in situ*, rend le biotope apte à relancer un processus d'autoépuration en cas de nouvelle pollution du même genre.
- Elle élimine les effets à long terme possibles avec les méthodes fondées sur le confinement.
- On peut associer, dans une chaîne de traitement, plusieurs techniques biologiques (exemples : un composteur et un biofiltre ; deux ou plusieurs réacteurs en cascade, etc...)
- Les techniques biologiques peuvent également être couplées aux techniques de dépollution physico-chimiques (**ROGER P et JACQ V, 2000**)

7. Inconvénients de bioremédiation

Le processus d'utilisation des bactéries présente certains inconvénients. Dans le cas de contaminants mixtes, trouver un consortium approprié devient difficile. Dans le même cas, le processus prend du temps, prenant parfois des années à se terminer. Bien qu'il y ait moins de chances de former des sous-produits, dans certains cas, des sous-produits mortels peuvent se former. Une fois le processus terminé, la biomasse bactérienne est dégradée et le grave problème d'encrassement biologique peut survenir. Un autre problème lié à l'utilisation de souches recombinantes est l'instabilité des gènes clonés dans l'environnement contaminé en

raison du changement d'habitat. Ces problèmes persistent non seulement avec les micro-organismes marins mais également avec des entités bactériennes isolées de tout environnement. Cependant, lorsque le potentiel des micro-organismes est concerné par la bioremédiation, les bactéries marines se sont révélées être les candidats les plus précieux et les plus efficaces. **(Surajit D, 2014).**

Deuxieme partie

Partie pratique

*Chapitre IV : Présentation de
la station STEP 1*

1. Présentation de la station d'épuration STEP1

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

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

2. Situation géographique de la station d'épuration

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

Kouinine est la maire de l'une des municipalités qui appartiennent au groupe et de la vallée sera oasis, le désert au sud de l'Atlas et se situe sur zone de 116 Km² elle est situe au centre de la route national N°48, donc loin du siège du département d'état, environ sept kilomètres, elle est située sur niveau de 97 m au-dessus de la mer, et d'augmenter l'élévation vers le sud, tandis que la baisse dans la Nord.

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

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

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

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

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

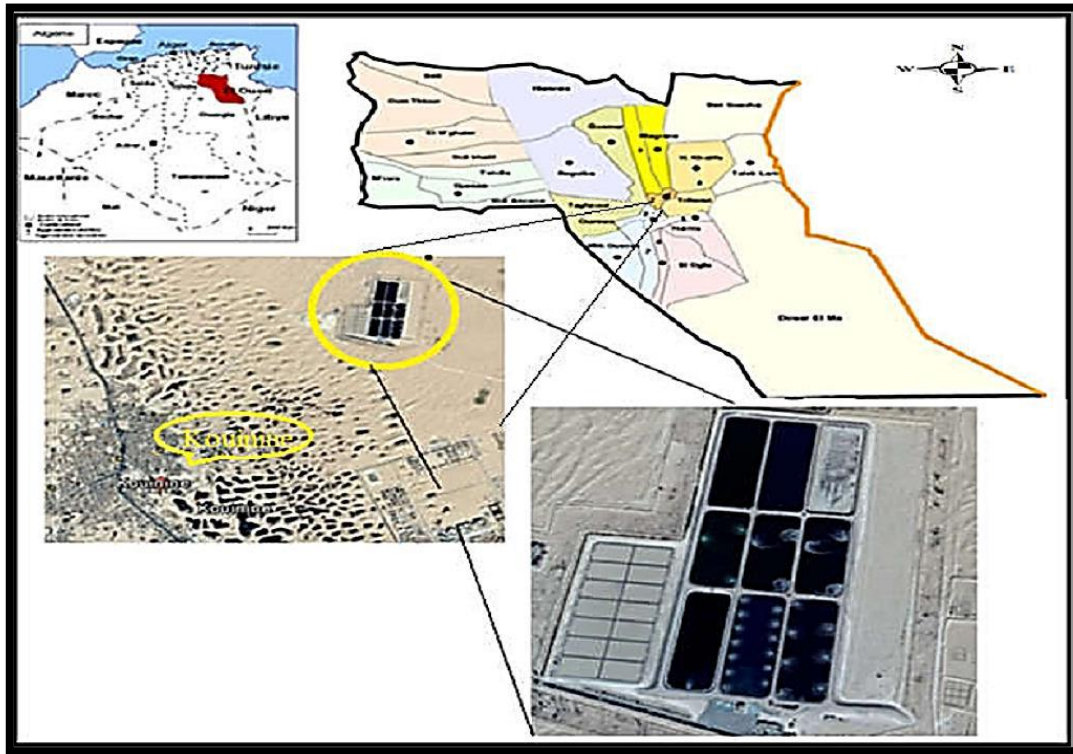


Figure 17 : Carte de situation de STEP 01 Kouinine (ZOBEDI A, 2017).

3. Objectif de traitement de la station

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

4. Description de STEP1

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

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

- Prétraitement avec dégrillage et dessablage longitudinal.
- Bassins d'activation primaire (étape 1 avec 3 lagunes aérées parallèles).
- Bassins d'activation secondaire (étape 2 avec 3 lagunes aérées parallèles).

- Bassins de traitement d'affinage ou maturation (3 lagunes de post-traitement parallèles).
- Traitement de boues (14 lits de séchage des boues).

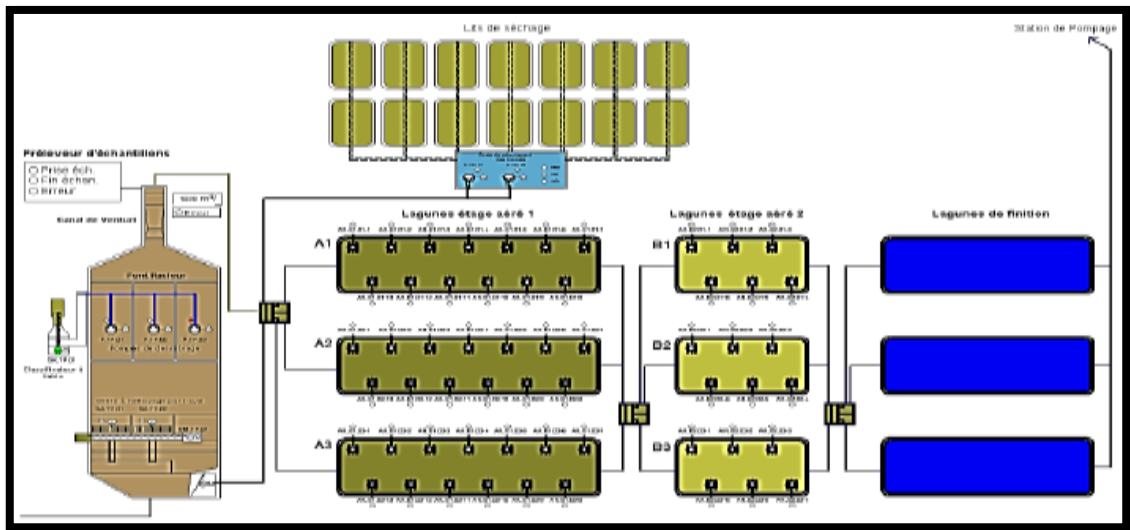


Figure 18 : schéma présenté station de lagunage aéré de STEP de Kouinine N°01(ONA, 2011).

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

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



Figure 19 : Dégrillage (Photo originale, 2022).

Dessablage : construit en béton, avec trois chambres. Dans cette zone, le sable contenu dans les eaux usées est décanté grâce à une réduction de la 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 20 : Dessablage (Photo originale, 2022).

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

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



Figure 21 : Répartiteur vers les bassins d'aération (Photo originale, 2022).

5.2. 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 22 : Lagune aéré (Photo originale, 2022).

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



Figure 23 : Aérateur (Photo originale, 2022).

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

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



Figure 24 : Lagune de finition (Photo originale, 2022).

5.3. Décharge des boues

❖ Lit de séchage des boues

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

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

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



Figure 25 : Lit de séchage des boues (Photo originale, 2022).

*Chapitre V: Matériels et
méthodes*

1. Matériel d'étude

1.1. Matériel biologique

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



Figure 26 : la région de prélèvement de la souche



Figure 27: La souche d'*Arthrospira platensis* (Photo originale, 2022).

1.2. Matériel non biologique

Tableau 7 : matériel non biologique

Matériels non biologique utilisée		Réactive utilisée
Appareil utilisée	Instrument	
- Conductimètre	- Verrerie	- Eau distillé
- pH mètre	- Micropipette à différente	- LCK 338
- Oxy-mètre (INOLABO-OXI	volume	- LCK 339
730 WTW)	- Barrou	-LCK 341
- Réacteur (CR 2200)	-magnétique	-LCK 342
-Adaptation de tube DCO	- Béchers	-LCK 514
-Spectrophotomètre jaugée 2,00	- Pipette de Pasteur	-LCK 314
ml Poire à pipete	- Eprouvette de réaction	- bichromate de
-Papier filtre en verre diamètre 47	sèche	potassium (K ₂ Cr ₂ O ₇)
µm	- spatule	- acide sulfurique
-Rampe de filtration sous vide	- lame et lamelle	(H ₂ SO ₂)
-Pompe à vide ou sous vide	- Résistance aquarium	- sulfate d'argent (Ag ₂
-Etuve chauffé (105°C)	- Lampe	SO ₄)
-Balance (0.001 g de précision)	- Pompe air aquarium	-sulfate de mercure
- Le dessiccateur.	- flacons en verre stériles	(HgSO ₄)
-Thermo-réacteur	des 2l et 250ml	
- Agitateur	- entonnoir	
-thermomètre	-Lunette de protection	
- Réfrigérateur conservant	- Gants.	
-autoclave		
- Microscope optique		

2. Méthodes d'étude

2.1. Analyses des paramètres physico-chimiques des eaux usées polluant et des eaux usées traitée

2.1.1. Prélèvement et échantillonnage

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

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

2.1.2. Lieu de prélèvement

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

2.1.3. Méthodes d'analyses

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

❖ 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.

- **Mode opératoire (PH)**

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

- **Mode opératoire (température)**

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

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

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 ($\mu\text{S}/\text{cm.}$)

- **Mode opératoire**

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

- ❖ **Détermination de l'oxygène dissous**

Principe : La concentration réelle en oxygène dépend de la température, de la pression de l'air, de la consommation d'oxygène due à des processus microbiologiques 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.

- **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 ;

- Rincer bien l'électrode après chaque usage avec l'eau distillée.

❖ Détermination de la demande chimique en oxygène DCO

Principe : Il s'agit d'une oxydation chimique des matières réductrices contenues dans l'eau par excès de bichromate de potassium ($K_2Cr_2O_7$) en milieu acidifié par acide sulfurique (H_2SO_4), en présence de sulfate d'argent (Ag_2SO_4) et de sulfate de mercure ($HgSO_4$).

• Mode opératoire

- Agiter le tube à essai pour amener le résidu en suspension;
- Ajouter 2 ml d'échantillon en tube de réactif DCO;
- Boucher hermétiquement le tube avec le bouchon fileté;
- Mélanger énergiquement le contenu de tube. Toujours saisir le tube par son bouchon;
- Chauffer le tube pendant 120 minutes à $148^\circ C$ dans le thermo réacteur portoir;
- Retirer le tube brulant du thermo réacteur et le laisser refroidir dans un portoir;
- Au but de 10 minutes, agiter le tube et le remettre dans le portoir jusqu'à refroidissement à température ambiante (temps de refroidissement au moins 30 minutes). Ne pas refroidir à l'eau froide;
- Mesurer l'échantillon dans le photomètre (la valeur mesuré est longtemps stable).

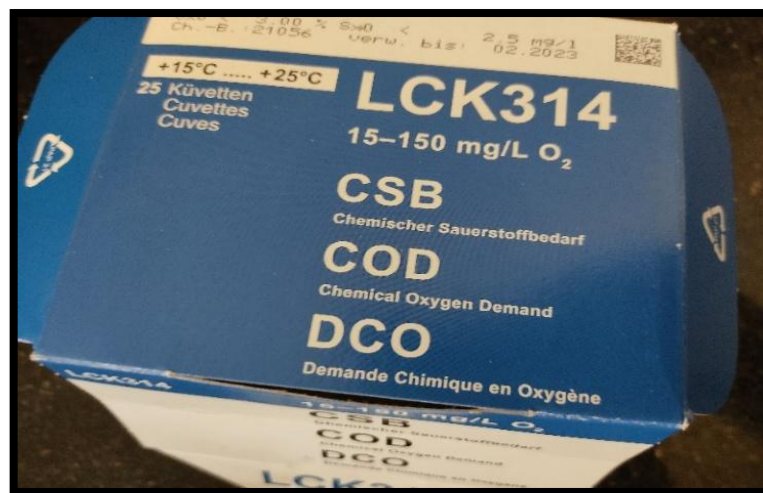


Figure 28 : système de tests en cuve LCK 314 (Photo originale, 2022).

❖ Détermination des matières en suspension (MES)

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

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

Avec :

- ✓ **P1** : Poids de filtre en vide.
- ✓ **P2** : Poids de filtre en plein
- **Mode opératoire**
 - Mouiller le filtre avec de l'eau distillée;
 - Mettre le filtre pendant quelque minute dans l'étuve chauffée à 105°C préalablement ;
 - Laisser refroidir les filtres dans dessiccateur quelque minute après l'étape précédente
 - Peser le filtre sur la balance (soit P0 en mg);
 - Placer le filtre (la partie lisse en bas) dans la rampe de filtration et la connecter à pompe à vide;
 - Filtrer un volume (V ml) de l'échantillon, puis rincer l'éprouvette graduée avec environ 20 ml d'eau distillée, et rincer les parois internes de l'entonnoir avec un autre volume de 20 ml d'eau distillée;
 - Retirer avec précaution le filtre de l'entonnoir à l'aide de pinces à extrémités plates. si nécessaire. Le filtre peut être pilé;
 - Placer le filtre dans l'étuve à (105±2) °C pendant 2 heures;
 - Laisser s'équilibrer à température ambiante dans le dessiccateur sans le contaminer et le peser comme précédemment (soit Pi en mg).

❖ Détermination de la demande biochimique en oxygène (DBO5)

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

- **Mode opératoire**
 - Mettre le Barrou-magnétique dans la bouteille de DBO;
 - Mettre le volume (V) dans la bouteille de DBO;
 - Mettre le support d'alcalin (caoutchoute) sur la bouteille;
 - Ajouté 3 ou 4 pastilles de KOH sur le support d'alcalin en évitant la chute d'une masse de KOH dans l'eau à analyser;
 - Fermer bien la bouteille par DBO sensor.
 - Régler la DBO sensor à partir de la gamme;

- Appuyer sur le bouton (A) et (B) au même temps pour changer le programme ;
 - Appuyer sur le bouton (A) pour réglé la gamme ;
- Appuyer sur bouton (B) pour enregistrer la valeur chaque jour pendant l'incubation



Figure 29 :système de tests en DBO5 (Photo originale, 2022).

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

2.2.1. Préparation du milieu de culture

- Pour 2 litres nous avons pesé chaque composant séparément du milieu de culture et nous l'avons dissous dans un flacon de 150 ml en ajoutant 50 ml d'eau distillé (la quantité de chaque composant est dans le **tableau N° 08**).
- Nous avons mélangé les composants dissous dans un bécher de 2 litres sous agitation continue par d'agitateur.
- Nous avons ajouté 1 ml de la solution A5 pour chaque 1litre du milieu de culture.
- Nous avons ajouté de l'eau distillée jusqu'à ce qu'elle atteigne le volume à préparer (2litres).
- Le milieu de culture est placé dans un flacon en verre de 2 litres. Le flacon est scellé et placé dans l'autoclavage pondant 20 minutes dans température 131 C° pour stérilisation.
- Après stérilisation, le milieu de culture est conservé au réfrigérateur jusqu'à son utilisation.

Pour notre expérimentation nous avons préparé 20 litres du milieu de culture.

Tableau 8 :Composition chimique du milieu de culture (Zarrouk ,1966)

Elément	Quantité g/l
NaHCO ₃	16,8 g/l
K ₂ HPO ₄	0,5 g/l
NaNO ₃	2,5 g/l
K ₂ SO ₄	1,0 g/l
NaCl	1,0 g/l
MgSO ₄ , 7H ₂ O	0,2 g/l
CaCl ₂	0,04 g/l
FeSO ₄ , 7 H ₂ O	0,01 g/l
EDTA	0,08 g/l
Solution A5	1,0 g/l
Composition de la « solution A5 »	
H ₃ BO ₃	2,86 g/l
MnCl ₂ , 4 H ₂ O	1,81 g/l
ZnSO ₄ , 7 H ₂ O	0,222 g/l
CuSO ₄ , 5 H ₂ O	0,079 g/l
MoO ₃	0,015 g/l

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

2.2.2.1. Étude de l'évolution des paramètres physico-chimiques

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

❖ Détermination des pH et Température

• Mode opératoire (PH)

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

- **Mode opératoire (température)**

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



Figure 30: Température de la souche (Photo originale, 2022).

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

- **Mode opératoire**

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

- ❖ **Détermination du nitrate (N-NO₃⁺)**

- **Définition de nitrate**

Est un composé inorganique, ion de charge négative, composé d'un atome d'azote et trois molécules d'oxygène. Sa formule chimique est NO₃⁻. L'ion nitrate est la base conjuguée de l'acide nitrique (HNO₃), acide très fort. Bien que de structure covalente, il présente une grande stabilité chimique. Le nitrate est un oxydant ; leur réduction ménagée conduit à la formation du nitrite et d'oxyde nitrique (NO) (Robert B., 1987).

- **Mode opératoire**

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

- Laisser reposer pendant 15 minutes ;
- En mettez tube de réactif à essai dans le Spectrophotomètre HACK et lire le résultat.

❖ Détermination de l'azote total NT

• Définition de l'azote

L'azote est un élément chimique très répandu dans la nature. L'ensemble des réactions biologiques de croissance requiert la présence de cet élément. La forme azotée la plus abondante et la plus stable (N₂), représentant 79 % de l'atmosphère terrestre [Martin, 1979]. En effet il constitue entre 16 et 23 % de protéines cellulaires et environ 12 % des acides nucléiques (Patureau, 1995).

• Mode opératoire

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

❖ Mesure de l'absorbance

• Mode opératoire

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

2.2.2.2. Étude des caractéristiques d'*Arthrospira platensis*

a. L'étude morphologique par observation microscopique

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

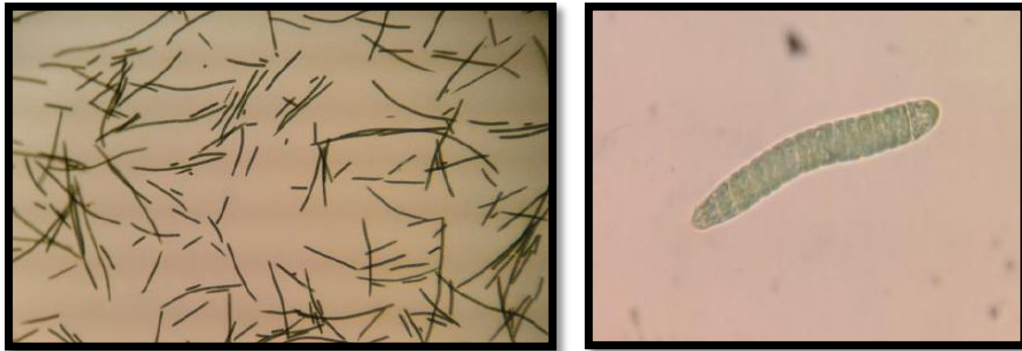


Figure 31: observation microscopique en $G \times 10$ **Figure 32 :** *Arthrospira platensis* en $G \times 40$

b. Mesure de l'absorbance

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

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

2.3.1. Préparation du milieu ordinaire

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

2.3.2. Bioremédiation

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

2.3.3. Étude de l'évolution des paramètres physico-chimiques

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

❖ Détermination des pH et Température**• Mode opératoire (PH)**

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

• Mode opératoire (température)

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

❖ Détermination de la conductivité électrique, salinité**• Mode opératoire**

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

❖ Détermination du nitrate (N-NO₃⁺)**• Mode opératoire**

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

❖ Mesure le nitrite (N-NO₂⁻)**• Mode opératoire**

- Ouvrez le couvercle du couvercle du tube de réactif ;
- Ouvrez le couvercle du de réactif ;
- Ajouter 2 ml de l'échantillon ;

- Tournez le couvercle et fermer le tube de réactif ;
- Bien mélanger le tube de réactif ;
- Laisser reposer pendant 10 minutes ;
- En mettez tube de réactif dans le Spectrophotomètre HACK et lire le résultat.

❖ **Mesure l'ammoniac NH₃**

- **Mode opératoire**

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

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

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

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

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

- **Mode opératoire**

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

*Chapitre VI: 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 à ère 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.

Les tableaux des eaux brutes et des eaux traitées des résultats d'analyse sont présents en annexes (01).

Puis, nous avons suivi la croissance de *Arthrospira platensis* dans le milieu Zarrouk et dans un milieu ordinaire +8g Bicarbonate de sodium, nous avons effectué sur les analyses de paramètres physico-chimiques de pollution.

1. Analyses des paramètres physico-chimiques des eaux usées polluées et des eaux usées traitées

1.1. Potentiel hydrique (pH)

Les résultats journaliers d'analyse du potentiel hydrique pH sont traduits comme une courbe (Figure 33) et dans l'annexe (01).

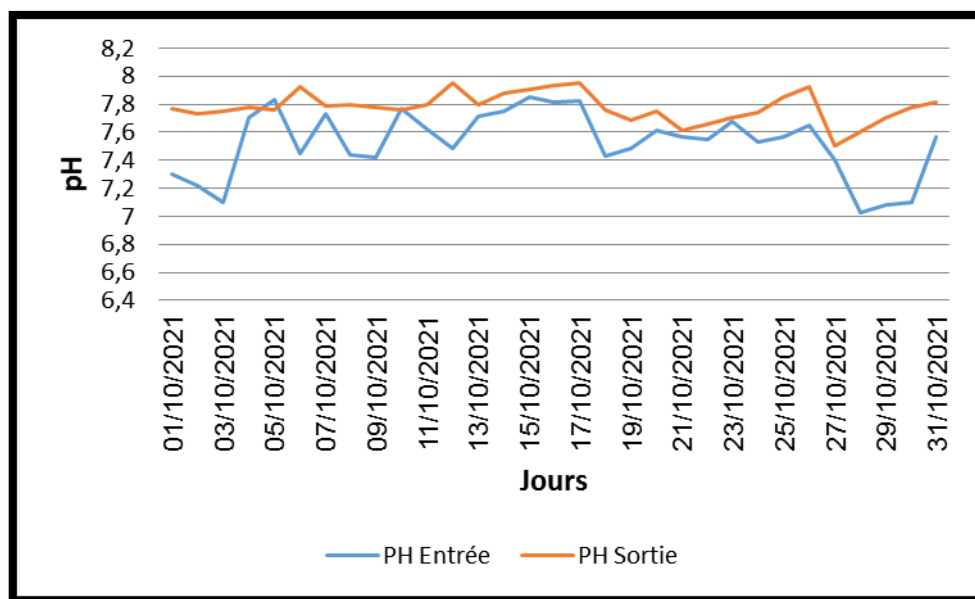


Figure 33: Variation journalière de pH des eaux usées brutes et traitées dans le temps.

On remarque que les valeurs du pH mesurées durant notre période d'étude varient pour les eaux brutes entre 7,03 et 7,85, avec une valeur moyenne de 7,52.

Pour les eaux traitées, le pH varie entre 7,5 et 7,95, avec une valeur moyenne de 7,78 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) (annexe 03).

1.2. Conductivité

Les résultats que nous avons obtenus sont rassemblés dans la figure (34) et dans l'annexe(01).

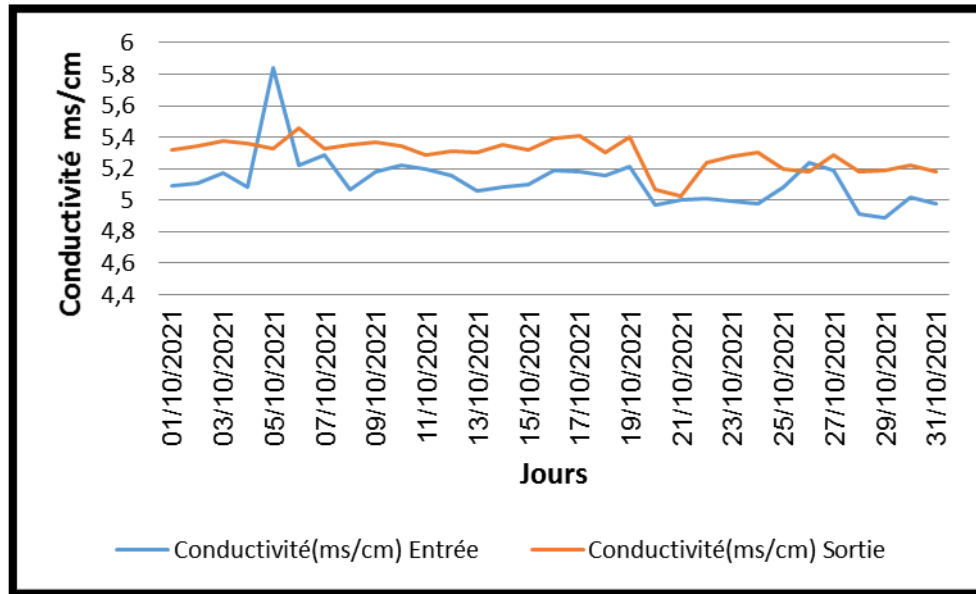


Figure 34 : Variation journalière de la conductivité des eaux usées brutes et traitées dans le temps.

D'après les résultats, nous notons que les valeurs moyennes de conductivité électrique mesurées sont de l'ordre de 5.12 ms/cm pour les eaux brutes, et de 5.29 ms/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 4.89 ms/cm au maximum de 5.84 ms/cm.

Cette variation est due au changement de la concentration en sels dissous (chlorures, sulfates, calcium, sodium, magnésium...) dans l'eau 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.

1.3. Salinité (Sal)

Les résultats que nous avons obtenus sont rassemblés dans la figure (35) et dans l'annexe (01).

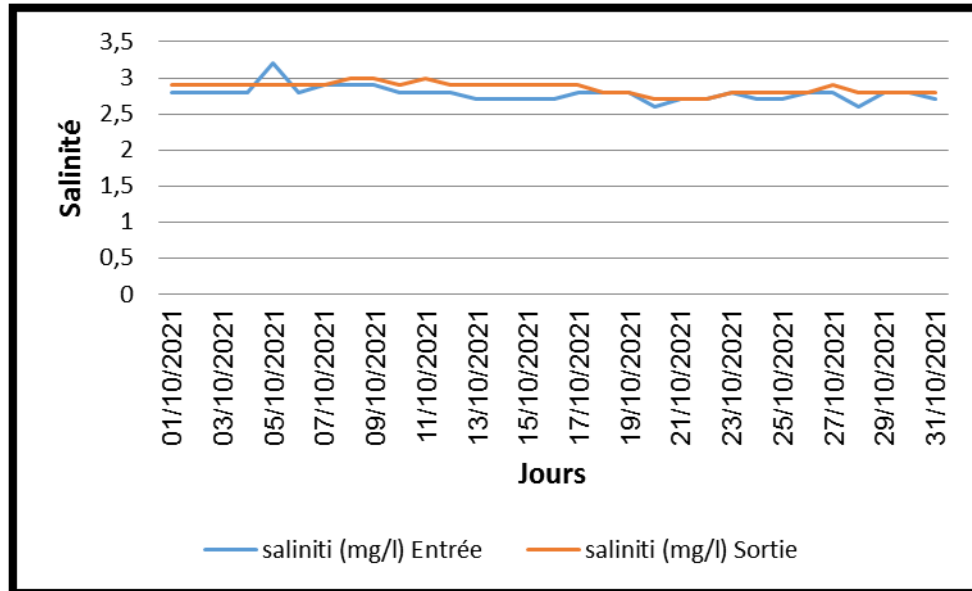


Figure 35 : Variation journalière de la salinité des eaux usées brutes et traitées dans le temps.

Les résultats de la salinité montrent que les valeurs journalières de cette dernière varient d'un minimum de 2,6 g/l à un maximum de 3,2 g/l avec une moyenne de 2,78 g/l pour les eaux brutes. En outre, pour les eaux traitées, les valeurs de la salinité varient d'un minimum de 2,7 g/l à un maximum de 3 g/l avec une moyenne de 2,85 g/l.

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

Nos résultats sont inférieurs aux valeurs obtenues par DAHOU et al. (2013), qui est 8,08 g/l.

1.4. Oxygène dissous (O₂)

Les résultats que nous avons obtenus sont rassemblés dans la figure (36) et dans l'annexe (01).

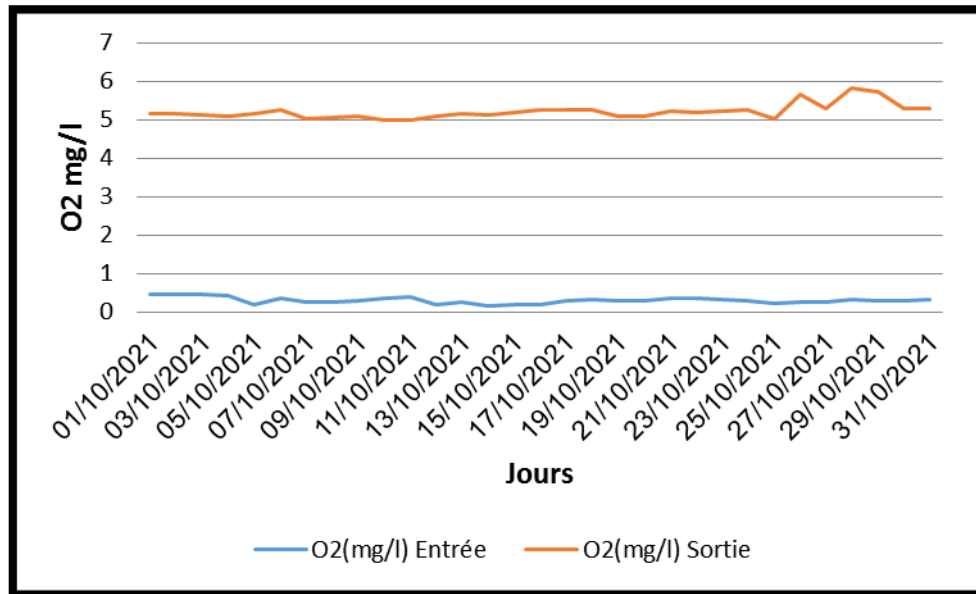


Figure 36 : Variation journalière de l'Oxygène dissous des eaux usées brutes et traitées dans le temps.

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 (0.30 mg/l). Pour les eaux traitées, l'O2 dissous varie entre 4.98 mg/l et 5.82 mg/l, avec une valeur moyenne de 5.21 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 5.21 mg/l. Cette valeur est proche des normes OMS de rejets (O2 dissous = 5 mg/l) (annexe 03), ce qui conforme l'efficacité du traitement.

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

1.5. Matières en suspension (MES)

Les résultats que nous avons obtenus sont rassemblés dans la figure (37) et dans l'annexe(02).

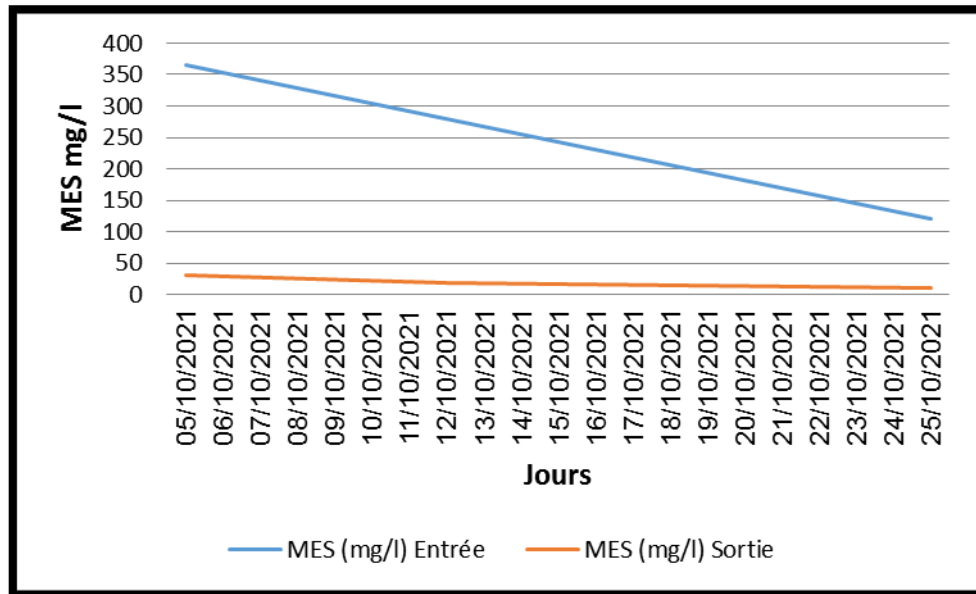


Figure 37 : Courbe d'analyse de MES des eaux usées brutes et traitées dans le temps.

D'après les résultats obtenus nous observons que les valeurs de MES varient dans un intervalle qui va d'un minimum de 120 mg/l à un maximum de 365 mg/l pour les eaux brutes et entre 10 mg/l et 32 mg/l pour les eaux traitées.

Par comparaison entre les valeurs de MES des eaux brutes qui ont une moyenne de 255 mg/l et celles des eaux traitées qui sont de l'ordre de 20.33 mg/l.

A la sortie, nous avons obtenu une valeur moyenne de l'ordre de 20.33 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) (annexe 03).

Malgré cela, mais au début du mois ont été enregistrés dans les valeurs de MES d'une augmentation significative, et cette augmentation ne répond pas aux normes de l'OMS, et la raisons sont due à la présence d'un grand nombre d'huiles dans l'eau brutes, le changement climatique (vent) et la croissance excessive des algues en particulier durant la période expérimental.

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

1.6. Demande biochimique en oxygène (DBO5)

Les résultats que nous avons obtenus sont rassemblés dans la figure (38) et dans l'annexe(02).

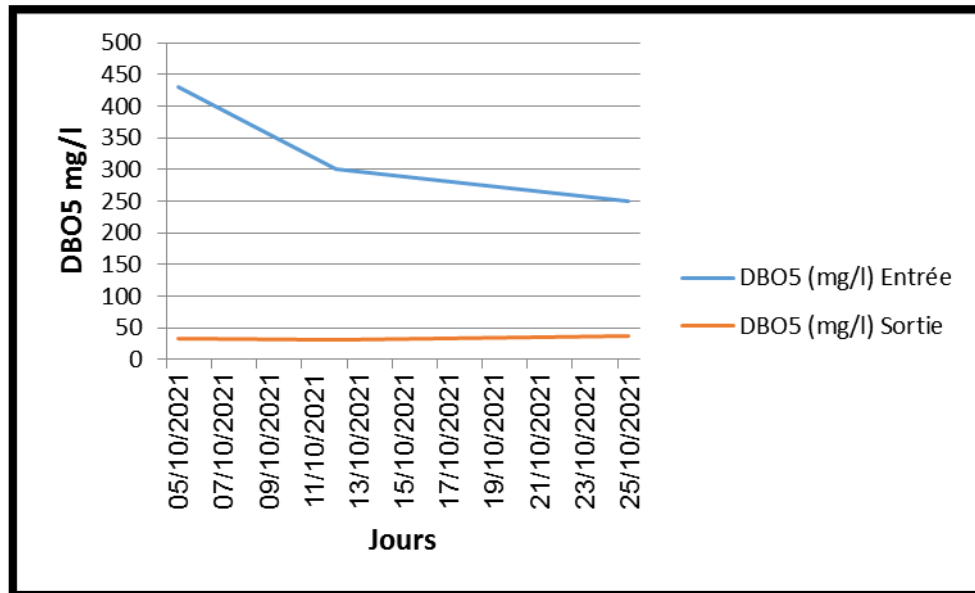


Figure 38 : Courbe d'analyse de la demande biologique en oxygène (DBO5) des eaux brutes et traitées dans le temps.

D'après les résultats obtenus, nous remarquons que la moyenne des valeurs de la DBO5 brute est de 326.66 mg/l et celles de l'eau traitée est de 33.33 mg/l .

Cette dernière valeur est inférieure aux normes de rejets de l'OMS appliquées en Algérie (40 mg/l) (annexe 03).

Cependant, nous avons constaté une augmentation de la proportion de DBO5 dans l'eau brute enregistrée au début de mois, 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 obtenue par DAHOU et al, (2013), qu'est 52.66mg/l.

1.7. Demande chimique en oxygène (DCO)

Les résultats que nous avons obtenus sont rassemblés dans la Figure (39) et dans l'annexe(02).

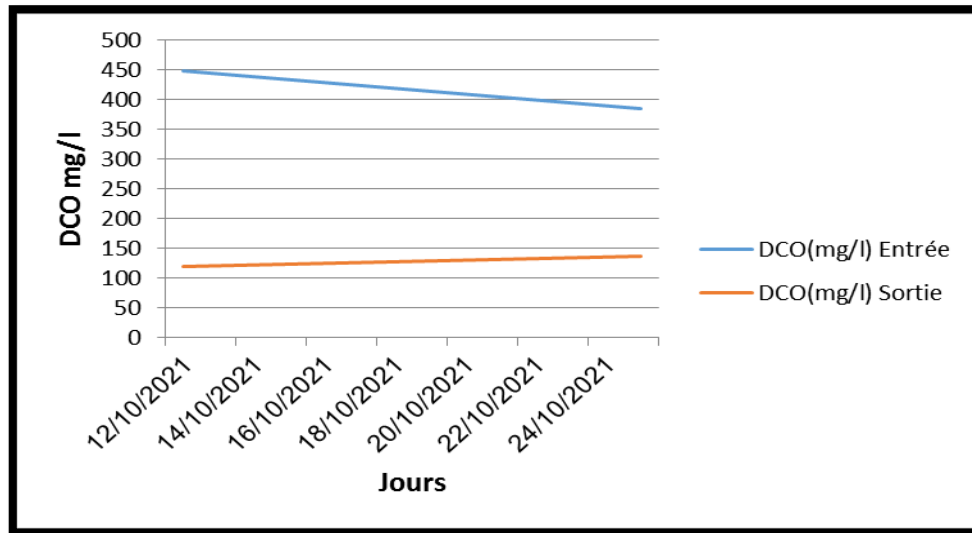


Figure 39 : Courbe d'analyse de la demande chimique en oxygène (DCO) des eaux brutes et traitées dans le temps.

Les valeurs de concentration de la DCO des eaux brutes de la STEP 1 varient entre un maximum de 449 mg/l et un minimum de 386 mg/l, avec une moyenne de 417.5 mg/l. En revanche, les valeurs des concentrations des eaux traitées varient entre un maximum de 137 mg/l et un minimum de 119 mg/l, avec une moyenne de 128 mg/l durant la durée de notre expérience.

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 dépassent la norme de l'OMS appliquée en Algérie (125 mg/l) (annexe 03).

Malgré cela, mais nous avons remarqué une augmentation de la valeur de DCO de l'eau traitée enregistré au cours à la fin du mois. Ces augmentations dépassent la norme de l'OMS appliqué en Algérie (125 mg / L), et cette variation est due à la présence d'un grand nombre d'huiles dans l'eau qui arrive à la STEP et les changements du climat.

Ces valeur de DCO qui trouvé de notre travail, sont supérieurs, de celle de HALEM et al, (2011), qui ont obtenu des valeurs à 69.27 mg/l dans les eaux traitée.

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

2.1. Température (T°C)

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 40) (annexe 4).

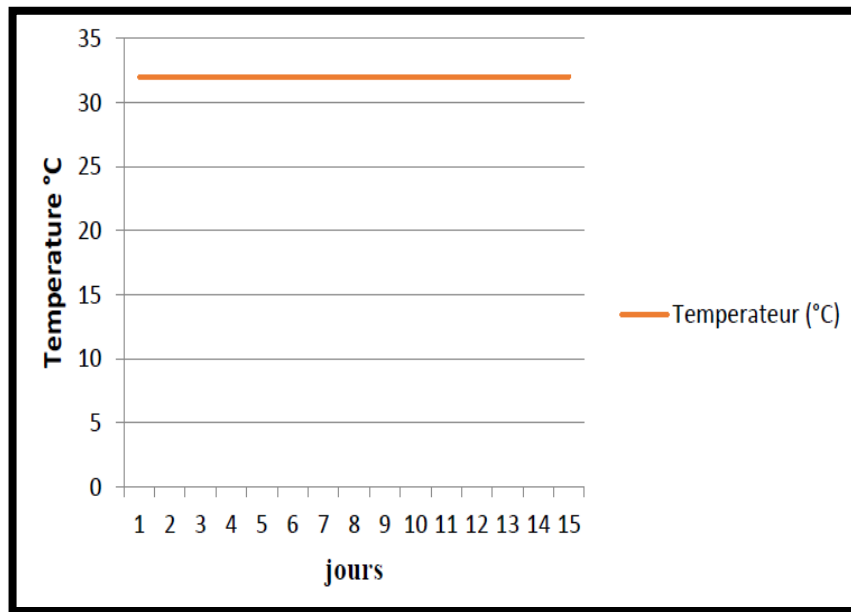


Figure 40 : Evolution de la Température dans le milieu de culture.

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

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

FERHAT Wafa et LAKEHAL Sara a servi culture et production de la spiruline *Arthrospira platensis* dans la région d'El 'Oued nous avons trouvé le résultat inférieur.

2.2. Potentiel hydrique (pH)

D'après les résultats du pH mesuré au niveau d'aquarium on observe une évolution du pH pendant les 15 jours (figure 41) (annexe 4).

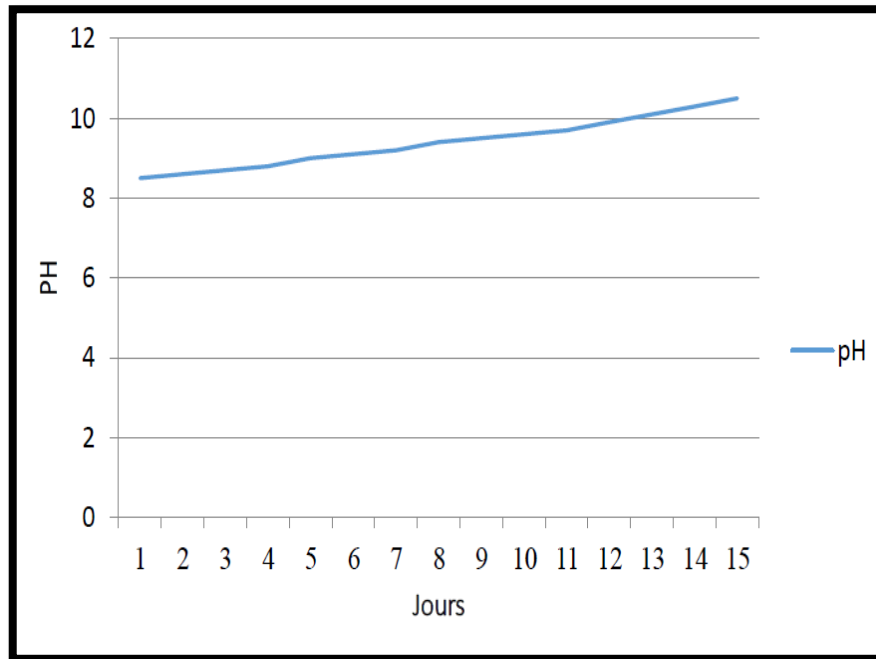


Figure 41 : Evolution du pH dans le milieu de culture.

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 jours.

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 au 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 absorbé, plus le pH est élevé.

FERHAT Wafa et LAKEHAL Sara a servi culture et production de la spiruline *Arthrospira platensis* dans la région d'El 'Oued nous avons trouvé leurs résultats sont presque constants mais pour nous les valeurs augmentent.

2.3. Biomasse

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 42) (annexe 4).

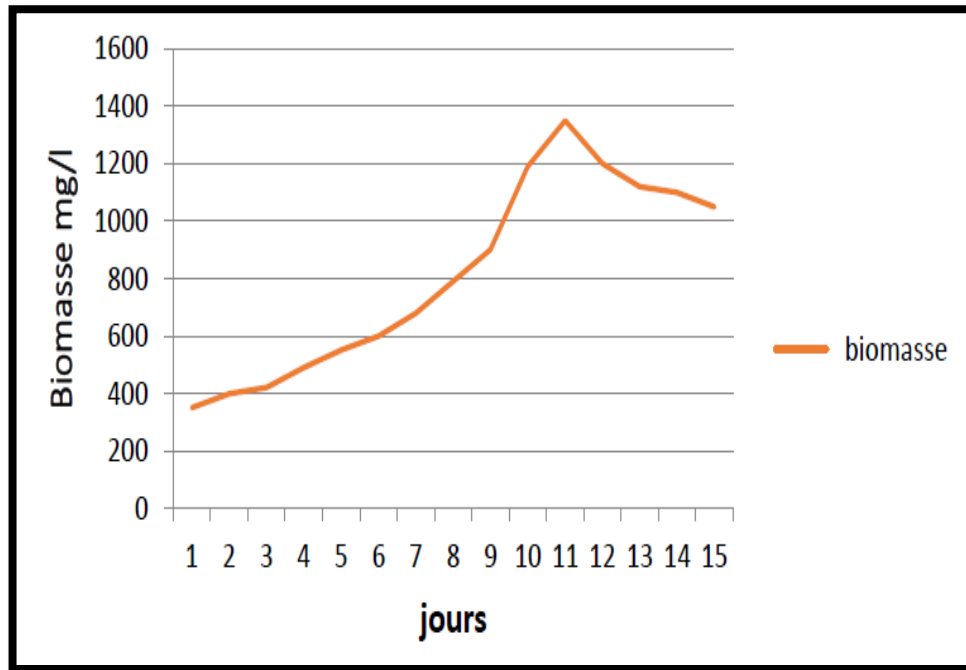


Figure 42 : Zarrouk Evolution de la biomasse dans le milieu de culture.

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

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

FERHAT Wafa et LAKEHAL Sara 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).

2.4. 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 43) (annexe 4).

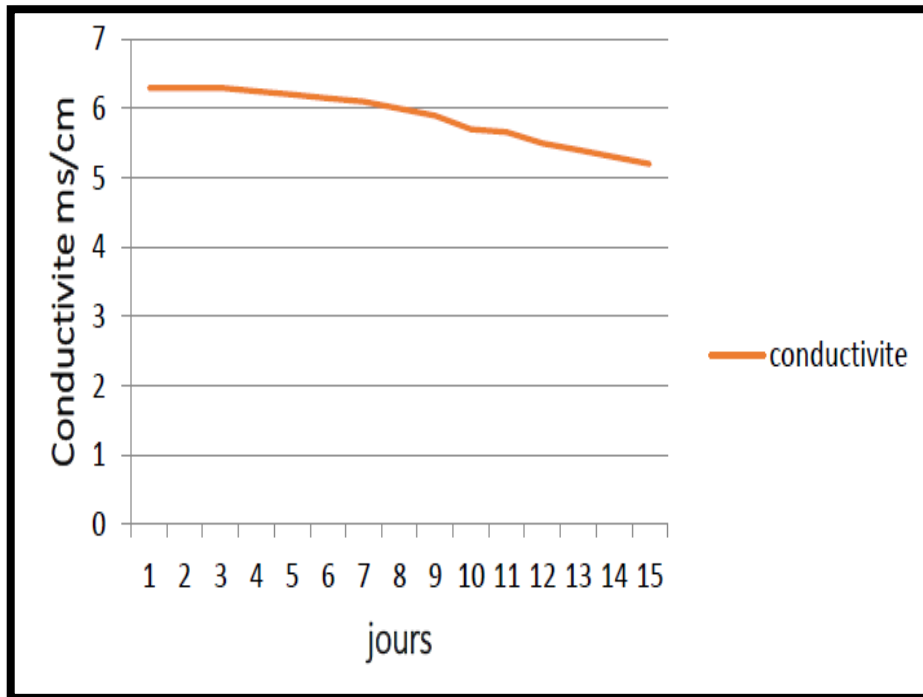


Figure 43 : Evolution de la Conductivité électrique (CE) dans le milieu de culture.

On observe une diminution des valeurs de conductivité.

La consommation des micro-algues pour les sels minéraux à l'absorption de chlorure sodium entraîne une diminution de la conductivité.

FERHAT Wafa et LAKEHAL Sara a servi culture et production de la spiruline *Arthrospira platensis* dans la région d'El 'Oued nous avons trouvé leurs résultats sont augmenté mais pour nous les valeurs diminuent.

2.5. Ammoniac et Nitrite

D'après les résultats de la NH_3 et NO_2 mesurée au niveau d'aquarium dans (annexe 4) on observe un manque de valeur de dioxyde d'azote (NO_2) et de l'ammoniac (NH_3).

Le manque de dioxyde d'azote (NO_2) et ammoniac (NH_3) est de fournir de l'absence de NH_3 et NO_2 dans l'aquarium.

2.6. Nitrate

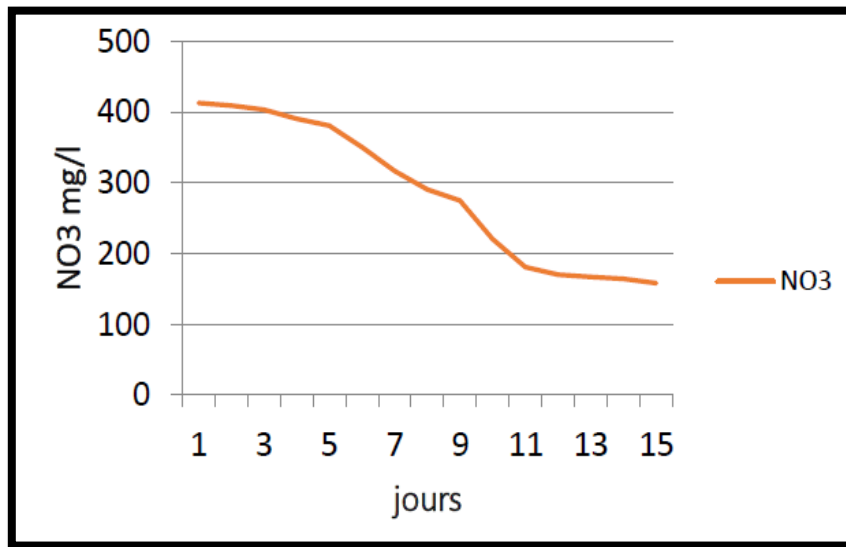


Figure 44 : Evolution du nitrate dans le milieu de culture.

Notez une diminution continue de la valeur de la NO₃, la diminution de NO₃ se référer à la capacité de spiruline à l'absorption de NO₃ dans les PH inférieur 10.5.

2.7. Azote totale

Les résultats que nous avons obtenus de l'azote total sont rassemblés dans le 15 jour (figure 45) (annexe 4).

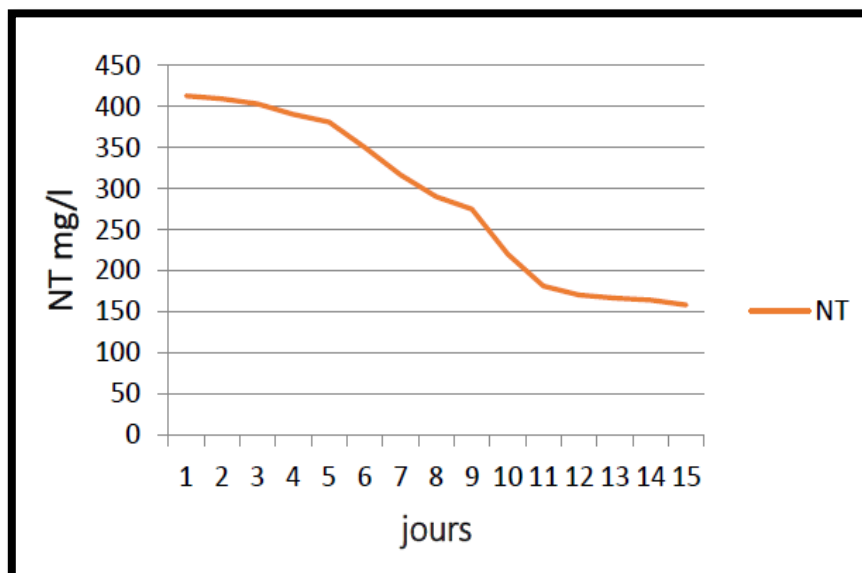


Figure 45: Evolution du nitrogène totale dans le milieu de culture.

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

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

3.1. Température (T°C)

D'après les résultats du Température mesuré au niveau d'aquarium on observe une stabilité de valeur température (32 °C), cette stabilité est due à la présence de thermorégulateur (figure 46) (annexe 5).

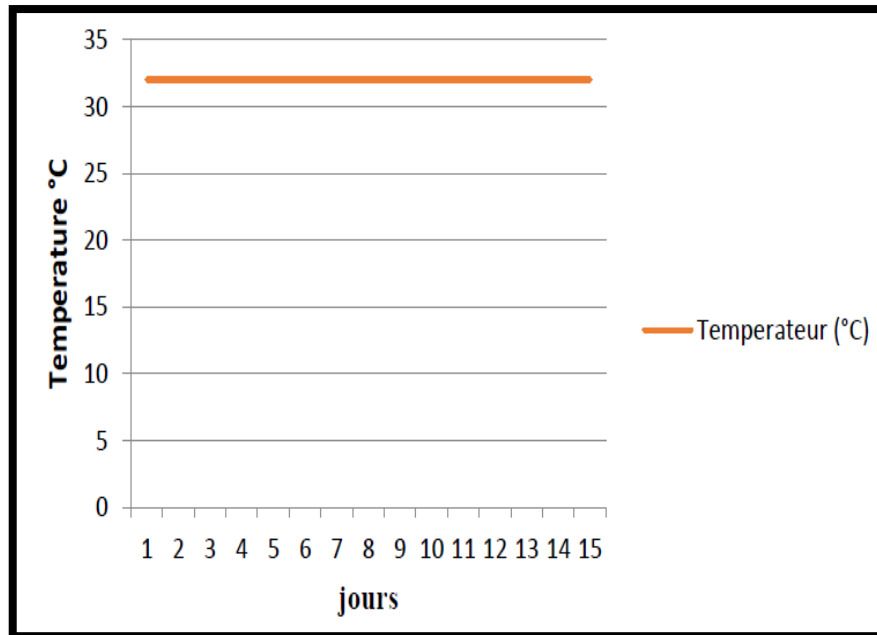


Figure46 : Evolution de variation de Température T°C dans milieu ordinaire.

On observe les valeurs de température fixée à 32° C

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

3.2. Potentiel hydrique (pH)

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 47) (annexe 5).

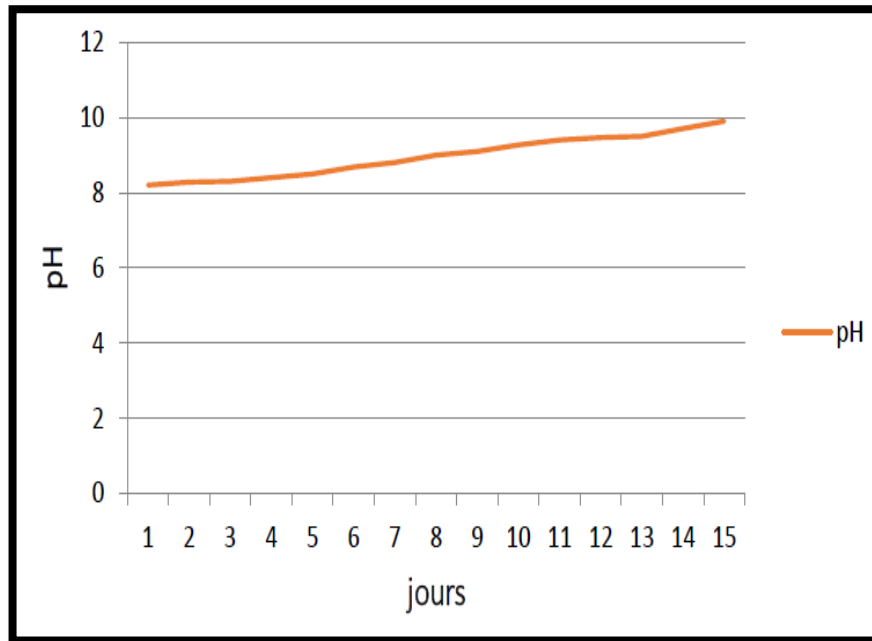


Figure 47 : Evolution de variation potentiel hydrique (PH) dans milieu ordinaire.

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

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

3.3. Biomasse

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 48) (annexe 5).

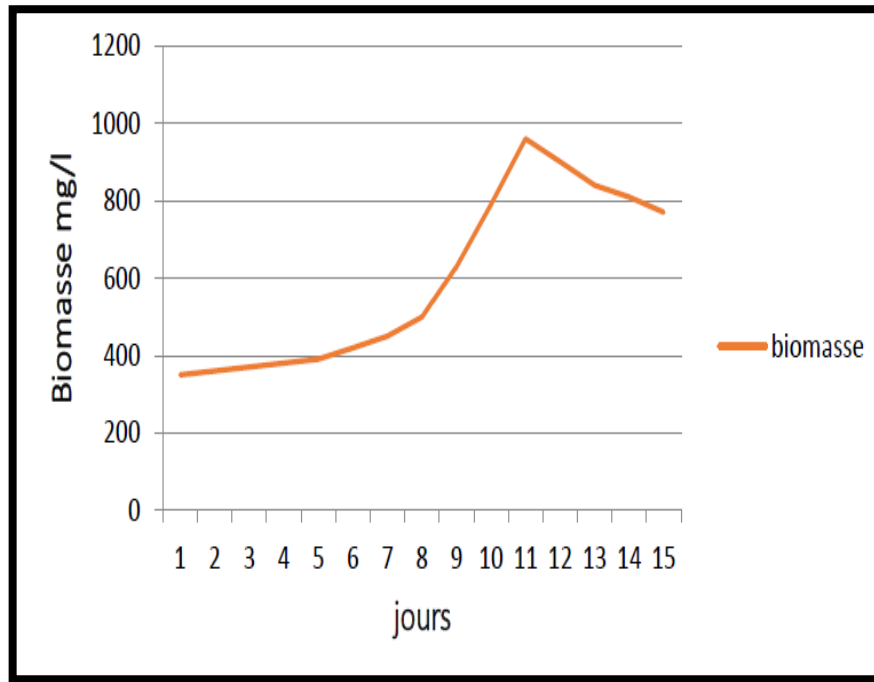


Figure 48 : Evolution de variation biomasse dans milieu ordinaire.

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

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

3.4. Conductivité

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 49) (annexe 5).

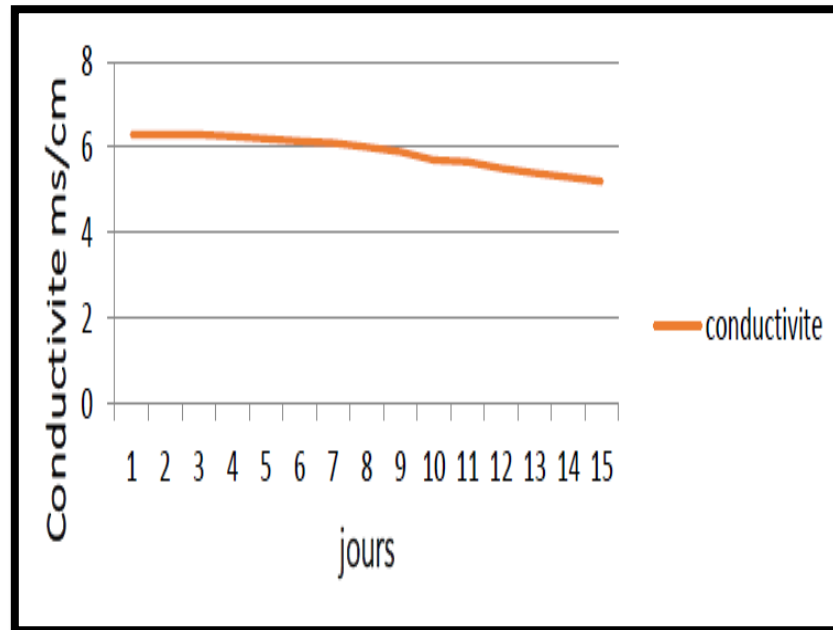


Figure 49 : Evolution de variation conductivité dans milieu ordinaire.

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.

3.5. Ammoniac, Nitrate et Nitrite

D'après les résultats de la NH_3 et NO_2 et NO_3 mesurée au niveau d'aquarium on observe une diminution de la NH_3 de 80 jusque-là 18 mg/l (figure 50) (annexe 5). NO_2 et NO_3 on note une augmentation jusque 3,650 mg/l pour le NO_2 et 2,390 mg/l pour le NO_3 et après une diminution par jusque-là 0,620 mg/l pour le NO_2 et 1,270 mg/l pour le NO_3 (figure 51) (annexe.05).

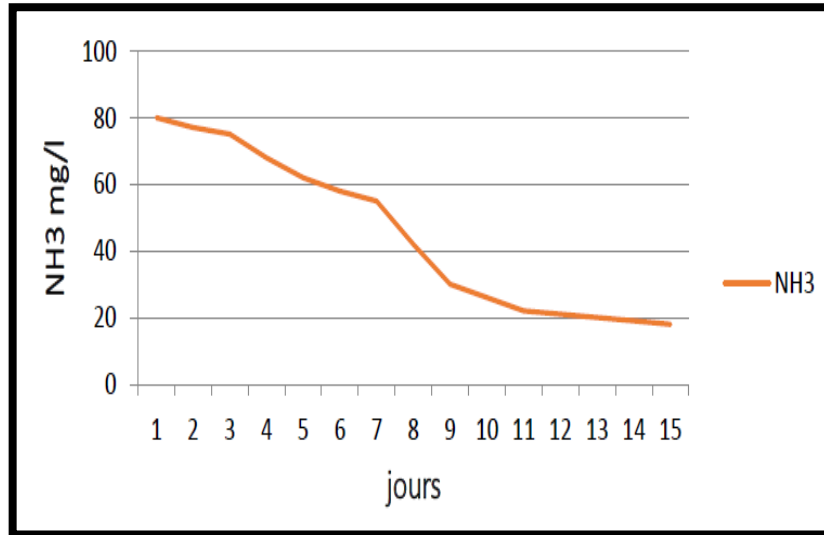


Figure 50 : Evolution de variation des valeurs de NH3 dans milieu ordinaire.

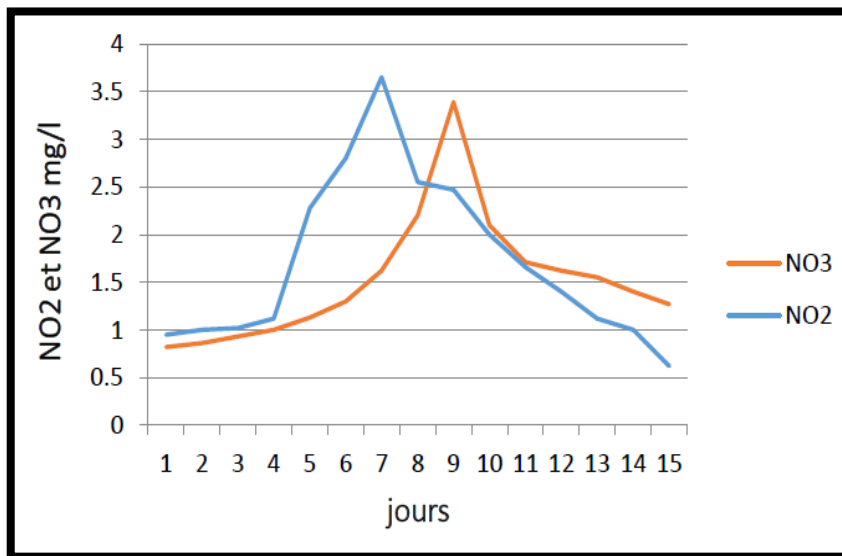
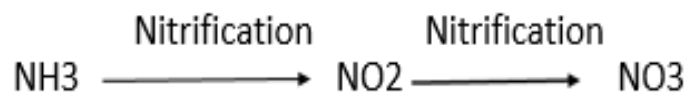


Figure 51 : Evolution de variation des valeurs de NO2 et NO3 dans milieu ordinaire.

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

Dans milieu ordinaire se déroule :



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



Nos résultats sont en accord avec (**Mostafa M. EL-Sheekh, 2016**) qui utilisent les souches *C.vulgaris* et *C.salina* et qui obtiennent aussi diminution des valeurs de NO₂, NH₃ et NO₃. mais cette diminution a été inférieure à celle de la spiruline.

3.6. Azote totale

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 52) (annexe 5).

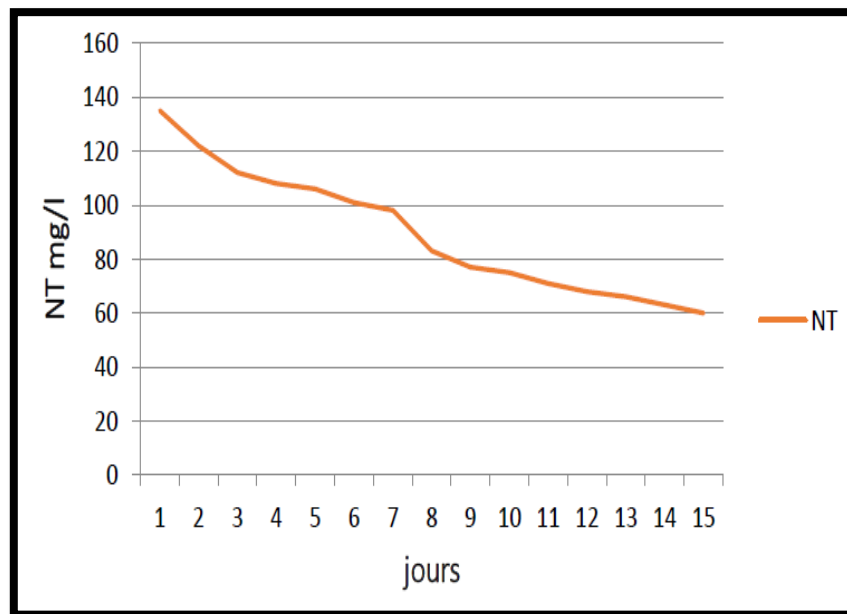


Figure 52 : Evolution de variation des valeurs de NT dans milieu ordinaire.

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

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

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

Conclusion

L'utilisation de la bioremédiation par les micro-organismes pour éliminer efficacement les polluants et se détoxifier grâce à leurs divers processus métaboliques, les microalgues ont une grande capacité à absorber les substances toxiques et peuvent être utilisées pour traiter différents types d'eaux usées, la bioremédiation est une alternative intéressante aux autres processus en raison de son impact Faible impact environnemental et faible coût.

Dans notre étude nous avons obtenu les resultat suivants :

Les résultats physico-chimiques obtenus ont révélé que les eaux usées brutes entrant à la STEP présentent une pollution organique 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 DBO₅ avec 79.48% et de MES sont observés avec 84.03%, et Légère augmentation de DCO avec 1.02%.

Les résultats du suivi de croissance d'*Arthrospira platensis*, Les valeurs de température fixée à 32° C. Cette stabilisation de température assurée par résistance électrique pour aquarium réglée à 32°C. Une augmentation dans les valeurs de PH de 8,5 jusqu'à 10,5. Une augmentation de biomasse de premier jour jusqu'à jour 11 suivie par diminution. Une diminution des valeurs de conductivité. Un manque de NH₃ et NO₂, avec une diminution de NO₃. Une diminution de NT.

Les résultats du suivi de la bioremédiation du polluant organique par *Arthrospira platensis*, les valeurs de température fixée à 32° C. Une augmentation de valeur PH. Augmentation de biomasse. Une diminution des valeurs de conductivité. Augmentation de NO₂ synchronisée avec diminution de NH₃ (de 1 jours jusqu'à 3 jours) suivie par diminution de NO₂ et NH₃ (de 3 jours jusqu'à 5 jours) avec augmentation de NO₃ et suivie par manque de NO₂, diminution de NH₃ et augmentation de NO₃. Diminution de valeur d'azote totale, (%), une élimination des polluants organiques NH₃ avec un taux de réduction est égale 76.47%. Ce qui correspond avec a été enregistré (Mostafa M. El-Sheekh, 2016) et (K. Chojnacka, 2003).

En conclusion, la spiruline (*Arthrospira platensis*) ayant la capacité d'élimination de polluant organique dans la bioremédiation d'eaux usée.

❖ **Perspective et recommandation :**

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

- Utilisation des eaux traitées dans les différentes activités agricoles, par exemple, on l'utilise dans l'irrigation des végétaux (les arbres) et de forêt ; quand cet eau est riche en minéralisation et en sels minéraux.
- - Obligation d'effectuer un traitement biologique efficace des eaux usées à l'aide d'un mélange des microalgues et de bactéries comme une étape supplémentaire au traitement physique, chimique et biologique présent dans la station d'épuration.
- - Si nous avons les capacités nécessaires, nous utilisons plus d'une expérience et utilisons le témoin positif.
- - l'utilisation de technologies modernes et avancées dans la bioremédiation.
- - Développer et promouvoir le domaine de la recherche dans la culture de la spiruline et son importance dans le traitement d'eaux usées.

Références bibliographiques

- ABDELLY.Ch, 2006, Bioremédiation / Phytoremédiation, Université de Tunis, p7-8.
- Abouzlam. M, (2006). Optimisation d'un procédé de traitement des eaux par ozonation catalytique. Thèse de Doctorat. Université de Poitiers, p8.
- Andersen et al. In sialve B, steyer J.P, 2013. les microalgues, promesses et défis. Innovations agronomiques ; 26, p26.
- Andersen R.A, 1992.Diversity of eukaryoticalgae. Biodiversity and conservation ; 1(4) : 267-292.
- ANRH ,2004. Annuaire hydrogéologique de la nappe alluviale du haut et moyen Cheliff. Agence Nationale des Ressources Hydrauliques, Algérie.
- Aridane G. González, Oleg S. Pokrovsky,J. Magdalena Santana-Casiano and Melchor González-Dávila .2017, Bioadsorption of Heavy Metals, Université de Bretagne Occidentale, France, p234.235.
- Asha A. Juwarkar, Rashmi R. Misra, and Jitendra K. Sharma, 2014, Recent Trends in Bioremediation, Article, p86.
- Asraful A ; Zhongming W, 2019, Microalgae Biotechnology for Development of Biofuel and Wastewater Treatment, p1-5.
- Aussel.H, LeBade.C, Dornier. G, 2 004, LE POINT DES CONNAISSANCES sur...Le traitement des eaux usées, (INRS) nstitut national de recherche et de sécurité pour la prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles, p1-2.
- Benelmouaz, A. (2015). Performances épuratoires d'une station d'épuration de Maghnia (Memoire de Master). Universite Abou Bekr Belkaid Tlemcen, Algerie. Derhoek, 2007.
- Boukary. S, 2018, Traitement des eaux usées industrielles par des procédés membranaires sous climat sahélien : cas des eaux usées de brasserie au Burkina Faso, Ecole doctorale Sciences et Technologies de l'Eau, l'Energie et l'Environnement, p9-10.
- Chadli a, 2015, isolement et caracterisation de bacteries biodegradantes d'hydrocarbures a partir du lixiviat du centre d'enfouissement technique d'ain temouchent, thèse de doctorat microbiologie appliquée, université d'Oran1. P54.
- CHARPY L., LANGLADE M. J., ALLIOD R., 2008 : La Spiruline peut-elle être un Atou pour la Santé et le Développement en Afrique ? Institut de recherche pour le développement Marseille, p6-28.
- Ciferri. O, 1983. Spirulina the edible microorganism, microbiological reviews. P560-562.
- CRUCHOT Hélène. 2008. la spiruline bilan et perspectives ; facute de medecine et de pharmacie de Besancon, p18-138.

- Das.S et Dash.HR, 2014, Microbial Bioremediation: A Potential Tool for Restoration of Contaminated Areas, Laboratory of Environmental Microbiology and Ecology (LEnME), Department of Life Science, National Institute of Technology, Rourkela, Odisha, India, P04.
- Falquet J. et Hurni J.P, (2006). Spiruline : aspects nutritionnels. Antenna Technologies, p9-13.
- FAYEULLE A, 2018, Etude des mécanismes intervenant dans la biodégradation des Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques par les champignons saprotrophes telluriques en vue d'applications en bioremédiation fongique de sols pollués, Ecole doctorale 104 Sciences de la Matière, du Rayonnement et de l'Environnement Filière Ingénierie des Fonctions Biologiques ; p 9-10.
- Fox, D.R. (1996). SPIRULINA : Production&Potential, Edisud, France, p232.
- Fox, R. D. (1999). La spiruline : technique, pratique et promesse. Edisud : 246. ISBN 2-7449-0100-8. p18-129.
- Gaurav S, Vineet K, Maulin P. S, 2021, Bioremediation for Environmental Sustainability, India, p6.
- Grobbelaar JU 2004 Algae nutrition. In : richmond a ed .hqnbook of microalgal culyure :Biotechnology and applied phycology. blackwell publishing Ltd, p107.
- Inga et Liliana, 2016. Cyanobacteria for Bioremediation of Wastewaters. Format Kindle.
- J. Komárek, H. Kling, J. Komárková, Filamentous cyanobacteria, In John D. Wehr & Robert G. Sheath (ed), Freshwater Algae of North America: Ecology and Classification, New York, 1998, p117-196.
- Jarisoa, T. (2005). Adaptation de la spiruline du sud de madagascar a la culture en eau de mer. Mise au point de structures de production à l'échelle villageoise, p26.
- Jean-Claude BOEGLIN. 1997, Analyse des eaux résiduaires : Mesure de la pollution, PE 4 200, p2-3.
- Jeffrey S.W, Brown M.R, Volkman J.K, Dustan GA, 1997.Nutrition properties of microalgae for mariculture; Aquaculture; 151(1), p315-331.
- Luisa G ; 2011 ; Microalgae as a Feedstock for Biofuels ; Springer Heidelberg Dordrecht London New York, p2.
- MACKOVA M; DOWLING D; MACEK T, 2006, PHYTOREMEDIATION RHIZOREMEDIATION, p 01.

- MANET A., 2016 : La spiruline : Indications Thérapeutiques, Risques Sanitaires et Conseils à l'Officine, Thèse présentée pour l'obtention du titre de Docteur en pharmacie, Diplôme d'état Université Grenoble Alpes, Faculté de Pharmacie de Grenoble, p12.
- Marc ELSKENS, 2010, Analyse des eaux résiduaires : Mesure de la pollution, 249 rue de Crimée - 75019 – Paris. P 4 200v2, p3-4.
- Metahri M.S., (2012). Élimination simultanée de la pollution azotée et phosphatée des eaux usées traitées, par des procédés mixtes. Cas de la STEP Est de la ville Tizi-Ouzou. Thèse pour l'obtention de grade de Docteur en Génie des procédés. Université de Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, p17-19.
- Moulin. S, Rozen-rechels D. et Stankovic M., (2013). Traitement des eaux usées Environmental Research and Teaching Institute Moulin S., Rozen-rechels D. et Stankovic M, Traitement des eaux usées Environmental Research and Teaching Institute p 15.
- NIANGORAN N'GORAN U. F., 2017 : Optimisation de la culture de la spiruline en milieu contrôlé : Eclairage et Estimation de la Biomasse, Thèse de Doctorat de l'Université de Toulouse, Université Toulouse 3, Paul Sabatier, p39-40.
- Nie.j et al, 2020, Bioremediation of water containing pesticides by microalgae: Mechanisms, methods, and prospects for future research, p4.
- Nikolopoulou. M et Kalogerakis. N, 2019, Biostimulation Strategies for Enhanced Bioremediation of Marine Oil Spills Including Chronic Pollution, School of Environmental Engineering, Technical University of Crete, Chania, Greece, P 91.
- Office Nationale d'Assainissement O.N.A, 2009.
- Olguín E J ; Sánchez-Galván G, 2011, Phycoremediation: Current Challenges and Applications, p 215.
- OMS, 1997, Aspects sanitaires et nutritionnels des oligo-éléments et des éléments en Traces. Editions de l'OMS, p366.
- ONA., Rapport de centre de formation aux métiers de l'Assainissement (ONA), thème : conception et dimensionnement d'un système d'épuration par lagunage naturel, (Février, 2011), p120.
- Pelaez, F. (2006). The historical delivery of antibiotics from microbial natural products—Can history repeat?, *Biochem. Pharmacol.*, 71 (7), p.981.
- PERSON J ; 2010 ; LIVRE TURQUOISE (Algues, filières du futur), Adebitech, Romainville, p4.

-
- PRONOST.J, PRONOST.R, DEPLAT. L, MALRIEU.J, BERLAND.JM, 2002, STATIONS D'EPURATION : DISPOSITIONS CONSTRUCTIVES POUR AMELIORER LEUR FONCTIONNEMENT ET FACILITER LEUR EXPLOITATION, DOCUMENT TECHNIQUE, p15-18.
 - R. Rippka, J. Deruelles, J.B. Waterbury, M. Herdman, R.Y. Stanier, Generic assignments, strain histories and properties of pure cultures of cyanobacteria, *J.Gen. Microbio.*111 (1979) 1–6.
 - R.Y. Stanier, R. Kunisawa, M. Mandel, G. Cohen-Bazire, Purification and properties of unicellular blue-green algae (order Chroococcales). *Bacterio. Rev.*35 (1971) 171–205.
 - RAMADE.F, 2005 : Eléments d'écologie : écologie appliquée, édition DUNOD (6ème édition), Paris.
 - RASTOIN, J, L. (2006) : Le secteur des micro-algues en Méditerranée Perspectives et contribution au développement durable, *ÉTUDES & ANALYSES*, p23.
 - Robert,B., (1987). Analyse des risques mutagenes et cancerogenes : nitrates, nitrites,Composes n-nitroses. Confrontationavec les risques radioactif. Rapport CEA R- 5403 ; 174p.
 - RODIER J, C, BROUTIN J.-P., CHAMBON P., CHAMPSAUR, H. et RODI, L., 2005, L'analyse de l'eau. Eaux naturelles, eaux résiduaire, eau de mer. 8 eme édition. Ed. Dunod, Paris. p1383.
 - RODIER J., 2009, « (L'analyse de l'eau » 9ème édition, Dunond, Paris.
 - RODIER, J., 2005, L'analyse de l'eau. Ed Dunod, Paris.
 - ROGER P et JACQ V, 2000, Introduction à la bioremediation des sols, des eaux et de l'air, Université de Provence AIX-Marseille 1 E.S.G.B.M.A - E.S.I.L. Luminy, p85.
 - Rosa L, Aurora G, Emilio F, 2007, Transgenic Microalgae as Green Cell Factoreries, *ADVANCES IN EXPERIMENTAL MEDICINE AND BIOLOGY*, p1-12.
 - Salés, S. (2004). Compte-rendu du Mini-colloque sur la spiruline à Tamanrasset. Association Targuinca.
 - SALL M.G., DANKOKO B., BADIANE M., EHUA E., KUWAKUWI N., 1999 : La Spiruline, Une Source Alimentaire à Promouvoir, Laboratoire de Chimie Thérapeutique, Dakar Sénégal, Article 46.
 - 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

- Sanjay K G / Faizal B, 2019, Application of Microalgae in Wastewater Treatment, Volume 2, p 03.
- Sébastien SGUERA, 2008. Spirulina platensis et ses constituants, intérêts nutritionnels et activités thérapeutiques. Université Henri Poincaré - Nancy 1. faculte de pharmacie, p24-133.
- Seckbach j ; Dinabandhu S, 2015, The Algae World : Cellular Origin, Life in Extreme Habitats and Astrobiology, volume 26, p 357-360.
- Sguera S., (2008). Spirulina platensis et ses constituants intérêts nutritionnels et activités thérapeutiques. Diplôme d'État de Docteur en Pharmacie. Université Henri Poincaré, Nancy, p 162.
- Sharma N.K et Rai A.K, 2011. biodiversity and biogeography of mircoalgue. Progress and pitfalls ; 19, p1-5.
- Shuklaa.SK, Mangwanib.N, Raa.TS et Dasb.S, 2014, Biofilm-Mediated Bioremediation of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons, Department of Life Science, National Institute of Technology, Rourkela, Odisha, India, P209.
- SINGH A et WARD O. P, 2004, Applied Bioremediation and Phytoremediation ,Original ly published by Springer-Verlag Berlin Heide1berg New York, p9.
- Surajit D, 2014, Microbial Biodegradation and Bioremediation, p6-18.
- Tsarahevitra J, 2005. Adaptation de la spiruline de sud de Madagascar a la culture en eau de mer. Mise au point de structures de production a l'echelle villageoise, Doctorate es sciences en océanologie appliquée. P13.
- VAVASSEUR A, 2014, Bioremédiation des sols et des eaux : application aux pollutions chimique et nucléaire, POLLUTION ATMOSPHERIQUE - NUMÉRO SPÉCIAL, p 80.
- WHO (Luuc R. Mur ; Olav M. S ; Hans U) ; 1999, Toxic Cyanobacteria in Water : A guide to their public health consequences, monitoring and management, p26.
- Y.V. Nancharaiah, Vayalam P. V, 2020, Microbial Biofilms in Bioremediation and Wastewater Treatment, p 02.
- Zarrouk C. "Contribution à l'étude d'une cyanophycée : influence de divers facteurs physiques et chimiques sur la croissance et la photosynthèse de Spirulina maxima (Setch et Gardner) Geitler", Thèse de doctorat, Faculté des Sciences de l'Université de Paris, 06/12/1966.
- Zarrouk C., (1966). Contribution à l'étude d'une cyanophycée : influence de divers facteurs physiques et chimiques sur la croissance et la photosynthèse de Spirulina maxima

- (Setch et Gardner) Geitler. Thèse Doctorat. Université de Paris BANKS J., 2007 : Etude de la Spiruline au Palacret, Etudier la Faisabilité de la Mise en Place d'une Filière Spiruline sur le site du Palacret, dans les Côtes d'Armor, Manuel, p 10, 11.
- Zarrouk C., (1966). Contribution à l'étude d'une cyanophycée : influence de divers facteurs physiques et chimiques sur la croissance et la photosynthèse de *Spirulina maxima* (Setch et Gardner) Geitler. Thèse Doctorat. Université de Paris Becker E.W. et Venkataraman L.V., 1984). Production and Utilization of the Blue-green Algae *Spirulina* in India. Biomass. Vol 4, p 105-125.
 - ZOBEIDI, A 2017. Epuration des eaux usées par lagunage aère dans les zones arides et semi-aride paramètre influant et condition optimale. Doctorat en Génie de Procédé, Université Kasdi Merbah-Ouargla.
 - <http://verteburkina.unblog.fr/la-spiruline-outil-de-sante>.

Annexes

Annexe 1:

Tableau 01: Analyse physico-chimiques des eaux brutes et traités de la S.T.E.P 1 de Kouinine.

Jour	PH		Conductivité(ms/cm)		salinité (mg/l)		Oxygène dissous (mg/l)	
	Entrée	Sortie	Entrée	Sortie	Entrée	Sortie	Entrée	Sortie
01-10-2021	7.3	7.77	5.09	5.32	2.8	2.9	0.47	5.17
02-10-2021	7.22	7.73	5.11	5.34	2.8	2.9	0.46	5.15
03-10-2021	7.1	7.75	5.17	5.38	2.8	2.9	0.44	5.12
04-10-2021	7.7	7.78	5.08	5.36	2.8	2.9	0.43	5.09
05-10-2021	7.83	7.76	5.84	5.33	3.2	2.9	0.19	5.17
06-10-2021	7.45	7.92	5.22	5.46	2.8	2.9	0.35	5.26
07-10-2021	7.73	7.79	5.29	5.33	2.9	2.9	0.25	5.03
08-10-2021	7.44	7.8	5.07	5.35	2.9	3	0.26	5.05
09-10-2021	7.42	7.78	5.18	5.37	2.9	3	0.28	5.08
10-10-2021	7.77	7.76	5.22	5.34	2.8	2.9	0.36	5
11-10-2021	7.62	7.8	5.2	5.29	2.8	3	0.38	4.98
12-10-2021	7.48	7.95	5.16	5.31	2.8	2.9	0.2	5.09
13-10-2021	7.71	7.8	5.06	5.3	2.7	2.9	0.27	5.17
14-10-2021	7.75	7.88	5.08	5.35	2.7	2.9	0.17	5.12
15-10-2021	7.85	7.91	5.1	5.32	2.7	2.9	0.19	5.2
16-10-2021	7.81	7.93	5.19	5.39	2.7	2.9	0.2	5.25
17-10-2021	7.82	7.95	5.18	5.41	2.8	2.9	0.29	5.27
18-10-2021	7.43	7.76	5.16	5.3	2.8	2.8	0.31	5.25
19-10-2021	7.48	7.69	5.21	5.4	2.8	2.8	0.3	5.1
20-10-2021	7.61	7.75	4.97	5.07	2.6	2.7	0.28	5.09
21-10-2021	7.57	7.61	5	5.03	2.7	2.7	0.37	5.21
22-10-2021	7.55	7.66	5.01	5.24	2.7	2.7	0.35	5.2
23-10-2021	7.68	7.7	4.99	5.28	2.8	2.8	0.32	5.21
24-10-2021	7.53	7.74	4.98	5.3	2.7	2.8	0.29	5.27
25-10-2021	7.57	7.85	5.08	5.2	2.7	2.8	0.23	5.01
26-10-2021	7.65	7.92	5.24	5.18	2.8	2.8	0.27	5.66
27-10-2021	7.4	7.5	5.19	5.29	2.8	2.9	0.25	5.29
28-10-2021	7.03	7.6	4.91	5.18	2.6	2.8	0.31	5.82
29-10-2021	7.08	7.7	4.89	5.19	2.8	2.8	0.29	5.72
30-10-2021	7.1	7.78	5.02	5.22	2.8	2.8	0.3	5.3
31-10-2021	7.57	7.81	4.98	5.18	2.7	2.8	0.31	5.29

Annexe 2

Tableau 02 : Résultats des analyses de DCO des eaux brutes et traitées.

Jour	DCO(mg/l)	
	Entrée	Sortie
12-10-2021	449	119
25-10-2021	386	137

Tableau 03: Résultats des analyses de DB05 des eaux brutes et traitées.

Jour	DBO5 (mg/l)	
	Entrée	Sortie
05-10-2021	430	32
12-10-2021	300	30
25-10-2021	250	38

Tableau 04 : Résultats des analyses de MES des eaux brutes et traitées.

Jour	MES (mg/l)	
	Entrée	Sortie
05-10-2021	365	32
12-10-2021	280	19
25-10-2021	120	10

Annexe 3**Tableau 05** : Normes physico-chimiques de rejets de l'OMS, appliquées en Algérie.

Paramètres	Normes
T°	30°C
PH	5.5-8.5
O ₂ dissous	5 mg/l
Conductivité	/
Salinité	/
DCO	125 mg/l
DBO ₅	40 mg/l
MES	40 mg/l

Annexe 4

Tableau 06 : Suivi de croissance Milieu Zarrouk.

Jour	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

Annexe 5

Tableau 07 : Milieu ordinaire + 8g Bicarbonate de sodium.




Jour	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)	353	369	406	466	690	1030	910	850	
Conductivité (ms/cm)	6.3	6.25	6.2	6.1	5.9	5.7	5.4	5.3	
NH3 (mg/l)	85	79	67	58	34	26	23	20	
NO2 (mg/l)	0.940	1.420	2.310	3.500	2.410	1.320	1.110	0.700	
NO3 (mg/l)	0.760	0.830	1.040	1.700	2.430	1.920	1.510	1.470	
NT (mg/l)	135	122	106	98	77	71	66	60	

Annexe 6



❖ Les matériels :

		
Thermo-réacteur	conductivité mètre	Etuve
		
Dessiccateur	Débit mètre	PH mètre
		
Oxymètres	les sondes	DBO mètre (WTW)
		
Autoclave et etuve	Spectrophotomètre	Spectrophotomètre électrique

❖ Les réactifs :

		
Eaux entrée/sortie	Tests en cuve LCK 514 Tests en cuve LCK 314	Bouteille DBO (oxitop)

❖ Méthode :

	
Les papiers filtres déshydratés	Les papiers filtres de MES