



N° de série:.....

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 حمه لخضر الوادي

Université Echahid Hamma Lakhdar - El OUED

كلية علوم الطبيعة والحياة

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

قسم البيولوجيا الخلوية والجزيئية

Département de biologie Cellulaire et Moléculaire

MEMOIRE DE FIN D'ETUDE

En vue de l'obtention du diplôme de Master Académique

en Sciences Biologiques

Spécialité : Toxicologie

THEME

Contribution à l'inventaire des microalgues d'intérêt
bioremédiable isolées de la région de Biskra et d'El-oued

Présente par :

GHENABZIA Sara(39077089)

GHENABZIA Sara(39077093)

Devant le jury composé de:

Présidente : GUMMOUDA Messouda

M.C.B. Université d'El Oued

Examinatrice : HASNA Zetal

M.A.A. Université d'El Oued

Promoteur: KIRAM Abderazzak

M.A.A. Université d'El Oued

Année universitaire : 2019/2020

بسم الله الرحمن الرحيم

«يرفع الله الذين امنوا منكم والذين
اوتوا العلم درجات»

صدق الله العظيم

سورة المجادلة الآية 11

Remerciements

Merci à Dieu Tout-Puissant, qui nous a aidé à terminer de notre mémoire, 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 Abderrazak Kiram, qui a été crédité après Dieu Tout- Puissant pour avoir supervisé cette étude, Il était la meilleur guide et mentor, Avec les plus sincères prières à la santé permanente et la conciliation au service de la science et de son peuple. Nous remercions sincèrement les membres de jury; de m'avoir fait l'honneur de présider le jury et évaluer ce travail, et d'avoir accepté d'examiner ce travail.

Nous remercions tous ceux qui nous ont aidés à termine de ce mémoire, nous tendons la main et nous fournissent les informations nécessaires.

Nous n'oublions pas de transmettre les plus belles expressions de remerciements, gratitude, d'appréciation et d'amour à ceux qui ont transmis le message le plus saint de la vie à ceux qui ont ouvert la voie pour la science et la savoir, à tous nos meilleurs enseignants de la faculté des Sciences de la nature et de la vie.



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 **LAMINE**.*

*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 **DJEMAA**.*

*A mon soutien, ma force et mon refuge après Dieu, aux cœurs purs, mes frères **ABDEL-HAMIDE** et sa femme **AMEL**, **BACHIR** et sa femme **AMEL**, **TAYEB** et sa femme **MARIEM**. Et mes sœurs **HANA**, **FAIZA**, **RAHMA**, **DALILA** et son mari **REDA**.*

*Aux âmes innocentes à ceux qui ont apporté le bonheur et la joie dans notre monde aux bourgeons de main, les enfants de ma famille **MONIR FATEH**, **ABDEL-HAI**, **MARIEM**, **ASINET**, **BOUCHRA**, **TOUJAN**.*

*Au 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 **Wafa**, **Hadda**, **Sara**, **Mabrouka**, **Nadjah**, **Marwa**, **Souad** Et à tous mes camarades de classe sans exception, je t'aime en Dieu.*

SARA.





Dédicace

A l'homme que j'adore et porte fièrement son nom.....à celui qui a mis ses efforts et son argent à notre service ...pour mon exemple dans la vie .mon cher père

♥*MOHAMMED*♥

A la source de la patience, de l'optimisme de l'espoir ma chère mère ♥BACHIRA♥

A mon frères et sœurs ♥TAYEB♥ ABDERRAZAK♥EL-AMINE♥ELZOHRA♥AMINA ♥à SAMIRA et son mari BOUBAKER♥MARWA et son mari SALEM♥ETAICHA et ses fiancés ABDEL MAJEED♥

Bourgeons : ABDEL NASSER♥ADAM♥RIMASSE♥ANFALE♥

A mes sœurs en dieu, mes amis: ♥SARA♥HADDA♥Wafa♥MABROUKA♥

NADJAHE ♥MARWA♥ETRADJA♥

SARA.



Résumé

L'objectif de la présente étude est d'estimer et de montrer la capacité épuratrice des eaux usées par certaines espèces microalgales isolées des régions de Biskra et d'El-oued.

Après une bonne stratégie d'échantillonnage des eaux, au niveau de six zones humides dans la wilaya de Biskra (Barrage de Manbaa Elghizlane, Barrage Foum Elkharza, Oued L'abyad, Oued de Abdi, Oued de Djemina, Oued Djedi), et trois zones humides dans la wilaya d'El-Oued (STEP1 Kouinine, STEP2 Hassani Abdelkrim, Lac d'El-oued), les analyse physicochimique de l'eau prélevée ont montré que le pH alcalin et la température modérée constituent des conditions de milieu idéales pour la prolifération des microalgues, et remarque la diminution des éléments chimiques (NO₃, NO₂, NH₄, PO₄, SiO₂ et Fe).

L'observation microscopique a été permis d'identifier 43 espèces des microalgues vertes dans les zones d'étude.

Les trois souches isolées, dans les régions de wilaya Biskra sont : *Closteriopsis sp* dans Barrage de Manbaa Elghizlane et les souches isolées dans les régions de wilaya d'El-oued sont: *Chlorella sp* dans STEP1 Kouinine, et *Scenedesmus sp* dans STEP2 Hassani Abdelkrim.

En conclusion, nous n'avons pas pu terminer nos recherches sur les bioremédiation à cause de virus Corona.

Mots-clés: Microalgues, Eaux usées, Bioremédiation, Isolement, Biskra, El-oued.

Abstract

The objective of the present study is to estimate and show the purification capacity of wastewater by certain microalgal species isolated from the regions of Biskra and El-oued.

After a good sampling strategy, at the level of six places in wilaya Biskra (Manbaa Elghizlane Dam, Foum Elkharza Dam, Oued L'abyad, Oued de Abdi, Oued de Djemina, Oued Djedi), and three areas in wilaya d ' El-Oued (STEP1 Kouinine, STEP2 Hassani Abdelkrim, Lac d'El-oued), the physicochemical analysis of the water sampled showed that the alkaline pH and the moderate temperature constitute ideal environmental conditions for the proliferation of microalgae, and note the decrease in chemical elements (NO₃, NO₂, NH₄, PO₄, SiO₂ and Fe) .

The observations by the optical microscope were phenotypically identified 43 species of green microalgae in the study areas.

The three strains isolated in the regions of wilaya Biskra are: *Closteriopsis sp* in Barrage de Manbaa Elghizlane and the strains isolated in the regions of wilaya of El-oued are: *Chlorella sp* in STEP1 Kouinine, and *Scenedesmus sp* in STEP2 Hassani Abdelkrim.

In conclusion, we could not complete our research on bioremediation because of Corona virus.

Keywords: Green microalgae, Wastewater, Bioremediation, Isolation, Biskra, El-oued.

الملخص

الهدف من هذه الدراسة هو تقدير وإظهار قدرة تنقية مياه الصرف الصحي بواسطة بعض أنواع الطحالب الدقيقة المعزولة من منطقتي بسكرة والواد.

بعد القيام بعملية جمع العينات من ست مناطق من ولاية بسكرة (سد منبع الغزلان، سد فم الخرزة، واد الابيض، واد عبدي، واد الجمينة، واد الجدي) وثلاث مناطق من ولاية الوادي: (محطة كوينين، محطة حساني عبد الكريم، بحيرة الوادي)، أظهر التحليل الفيزيوكيميائي لعينات المياه أن الأس الهيدروجيني القلوي ودرجة الحرارة المعتدلة يشكلان ظروفًا بيئية مثالية لتكاثر الطحالب الدقيقة ، مع ملاحظة انخفاض العناصر الكيميائية (NO_3 ، NO_2 ، NH_4 ، PO_4 ، SiO_2 و Fe).

تم التعرف على الملاحظات بواسطة المجهر الضوئي 43 نوعًا من الطحالب الدقيقة الخضراء في مناطق الدراسة. السلالات الثلاثة المعزولة في مناطق ولاية بسكرة هي *Closteriopsis* sp: في سد منبع الغزلان والسلالات المعزولة في مناطق ولاية الوادي هي *Chlorella* sp: في STEP1 كوينين، و *Scenedesmus* sp في STEP2 حساني عبد الكريم.

في الختام ، لم نتمكن من استكمال بحثنا حول المعالجة الحيوية بواسطة الطحالب المجهرية بسبب فيروس كورونا.

الكلمات المفتاحية: الطحالب الدقيقة الخضراء، مياه الصرف الصحي، المعالجة الحيوية ، العزل، بسكرة، الوادي.

Sommaire

Remerciements.....	i
Dédicace.....	ii
Résumé.....	iv
Sommaire.....	vii
Liste des tableaux	xi
Liste des figures	xii
Introduction générale	1
Première partie Synthèse bibliographiques	3
CHAPITRE I : Les eaux usées et leur traitement	4
1- Eaux usées	5
1- 1-Définition.....	5
1-2- Origine des eaux usées	5
1-2-1- Eaux domestiques.....	5
1-2-2- Eaux industrielles	5
1-2-3- Eaux usées urbaines.....	6
1-2-4- Eaux agricoles	6
1-3 - Pollution de l'eau	6
1-3-1- Définition.....	6
1-3-2- Principaux types de pollutions	6
1-3-2-1 Pollution physique.....	6
1-3-2-2- Pollution chimique.....	6
1-3-2-3- Pollution biologique	7
2- Traitement des eaux usées	8
2-1- Définition.....	8
2-2- Procédés de traitements des eaux usées.....	8
2-2-1- Prétraitements	8
2-2-2- Traitements primaires.....	9
2-2-2-1- Décantation physique naturelle.....	9
2-2-2-2- Traitements de décantation physico-chimiques.....	9
2-2-2-3- Filtration	10
2-2-3- Traitements secondaires ou les traitements biologiques	10
2-2-3-1-Traitements anaérobies	10

2-2-3-2- Traitements aérobies	10
2-2-3-2-A- Cultures fixes (lits bactériens et disques biologiques)	10
2-2-3-2-B- Cultures libres (boues activées).....	11
2-2-3-2-C-Lagunage	11
2-2-4-Traitement tertiaire	11
2-2-4-1- Déphosphatation	11
2-2-4-2- Désinfection.....	12
2-2-5- Traitement des boues.....	12
CHAPITRE II : Les microalgues	13
1-Définition et Caractéristiques des microalgues	14
2-Morphologie	14
2-1- Eucaryote	14
2-2-Procaryote.....	15
3-Classification	15
3-1-Critères de la classification des grandes lignées	16
3-2-Pigmentation	16
4- Ecologie	16
5-Différentes modes de production de biomasse microalgales	17
6- Domaines d'application des microalgues.....	18
6-1- Application alimentaire	20
6-2- Application pharmaceutique.....	20
6-3- Application cosmétique	20
6-4-Agrofournitures	21
CHAPITRE III : Bioremédiation par des microalgues	21
1-Définition de bioremédiation.....	22
2- Différentes techniques de bioremédiation dans le traitement des eaux usées	22
3- Phytoremédiation.....	23
3-1-Définition.....	23
3-2-Défférents types de phytoremédiation.....	23
4- Phycoremédiation	24
5- Importance des micro-algues dans le traitement des eaux usées	25
6- Espèces des microalgues utilisées pour traitement des eaux usées.....	26
Deuxième partie : Partie pratique.....	27

CHAPITRE I : Présentation de région d'étude	28
1-Situation géographique de la région d'étude	29
2-Présentation et Description générale de site d'étude: Station d'épuration des eaux usées urbaines (STEP1 Kouinine).....	31
2-1-Présentation de la station d'épuration STEP 01	31
2-2-Situation géographique de la station d'épuration.....	31
2-3-Description de STEP 01	32
2-4- Etapes du traitement dans la station	32
2-4-1-Prétraitement des eaux usées	32
2-4-1-1-Dégrillage	32
2-4-1-2-Dessablage	33
2-4-2-Traitement secondaire des eaux usées.....	33
2-4-2-1- Lagunages aérée –première étape.....	33
2-4-2-2-Lagunes aérée –deuxième étape :	34
2-4-2-3-Lagunes de finition	34
2-4-3- Décharge des boues	35
CHAPITRE II : Matériels et Méthodes.....	36
1-Matériels	37
1-1-Matériels d'échantillonnage	37
1-2-Matériels de laboratoire	37
2-Méthodes	38
2-1-Méthode d'échantillonnages	38
2-1-1-Prélèvement	38
2-1-2-Condition de conservation et de transport.....	39
2-2- Analyse physicochimique d l'eau de Prélèvement	39
2-2-1-Détermination des paramètres physiques	39
2-2-2-Détermination des paramètres chimiques.....	39
2-3-Inventaires des microalgues	40
2-3-1-Observation microscopique des microalgues	40
2-3-2- Identification phénotypiques des microalgues	40
2-4-Isolement et identification des microalgues	40
2-4-1-Préparation de milieu des cultures.....	40
2-4-2-Ensemencement et conditions d'incubation.....	43
CHAPITRE III : Résultats et Discussion	45

Sommaire

1- Paramètres physicochimiques des eaux de Prélèvement.....	46
1-1- Paramètres physiques	46
1-2- Paramètres chimiques.....	47
2- Inventaire des microalgues	48
2-1- Résultats de l'observation microscopique.....	48
3- Isolement et identification des microalgues	52
3-1- Etude microscopique des microalgues isolées	52
Conclusion générale.....	54
Reference bibliographie	57

Liste des tableaux

Tableau 01 : Diversité des microalgues eucaryotes et procaryotes, marines et d'eau douce.	16
Tableau 02: Quelques Microalgues utilisées pour le traitement des différentes eaux usées.....	26
Tableau 03 : Caractérisations géographiques des sites étudiés.	30
Tableau 04 : Caractéristiques physicochimiques des eaux de Prélèvement des régions de Biskra et El-oued	46
Tableau 05 : Observation microscopique et dénombrement des microalgues.	48

Liste des figures

Figure 01 : Coagulation-Floculation.	9
Figure 02 : Type d'une station de traitement de l'eau.	12
Figure 03: Structure des microalgues eucaryotes Chlamydomonas.....	14
Figure 04 : Structure des microalgues Procaryote Cyanobactérie.....	15
Figure 05 : Principaux modes de transformation de la biomasse algale.	18
Figure 06: Représentation schématique de simulations de traitement des eaux usées avec culture de biomasse de microalgues..	24
Figure 07 : Carte de localisation des point de prélèvement dans le wilaya El-oued et Biskra.	29
Figure 08 : Les régions étudiés.....	30
Figure 09 : STEP Kouinine.	31
Figure 10 : Localisation de la commune dans la wilaya d'El Oued.....	31
Figure 11 : Dégrillage.....	32
Figure 12 : Dessablage.	33
Figure 13 : Lagunages aérée –première étape	34
Figure 14 : Lagunes aérée –deuxième étape.....	34
Figure 15 : Lagunes de finition	35
Figure 16 : Lits de séchage des boues	35
Figure 17 : Matériels d'échantillonnage.	37
Figure 18 : Matériels de laboratoire.	38
Figure 19: Appareil de multi paramètre.	39
Figure 20 : matériel de tests rapides.	39
Protocole de préparation de milieu de culture BG11.	41
Protocole de préparation de milieu de culture BBM.	42
Figure 23 : milieu de culture solide et liquide de BBM et BG11.....	43
Figure 24 : Ensemencement sur milieu de culture solide et liquide.....	43
Figure 25: Disposition des boites de Pétri et des tubes avis au cours l'incubation.....	44
Figure 26 : Les espèces des microalgues identifiées à grossissement x40.	51
Figure 27 : Les souches des microalgues isolées.	52

Liste des abréviations

μS: micro siemens.

A1,A2,A3: lagunes aérée.

BBM: Bold Basal Medium.

BG11: Blue-Green Medium.

DBO5: Demande biologique en oxygène.

DCO: Demande chimique en oxygène.

EDTANa2: Ethylene Diamine Tetraacetatic Acide Disodium.

ERU: eaux résiduelles urbaines.

MES: matière en suspension.

MgSO4.7H2O: magnesium sulfate heptahydrate.

Na2CO3: sodium carbonate.

NaNO3: sodium nitrate.

NH₄: ammonium.

NO₂: nitrite.

NO₃: nitrate.

ONA: Office National d'Assainissement.

P1: point1.

PBR: photo bioréacteurs.

PCBs: polychlorobiphényles.

pH: potentiel hydrogène.

Po₄: phosphate.

Sio2: dioxyde de silicium.

STEP: Station de Traitement d'Eaux Pollués.

UV: Ultra violé.

INTRODUCTION GENERALE

Introduction générale

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

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

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

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

Les microalgues sont des organismes photosynthétiques, à la base de la chaîne alimentaire en milieu aquatique **(Bougaran Gaël , Saint-Jean Bruno, 2014)**, d'un point de vue économique les microalgues, avec plusieurs milliers d'espèces potentiellement utilisables constituent un réservoir majeur de bioressources avec les applications multiples déjà parvenues au stade de la commercialisation (intrants pour la santé, l'agriculture, compléments pour l'alimentation humaine et animale, composants pour la cosmétique, molécules pour l'industrie pharmaceutique, l'énergie). D'autres voies d'application émergentes sont en cours d'étude et intéressent plus particulièrement nos sociétés actuelles telles que la bioremédiation ou plus lointain biocarburants. **(Jean-Louis, 2006).**

La technologie à faible coût et de bioremédiation signifie qu'elle peut être utilisée pour s'attaquer aux problèmes environnementaux dans plus d'endroits à travers le monde, en particulier ceux qui manquent de main-d'œuvre et d'argent.

Par sa superficie et sa biodiversité, l'Algérie représente un immense gisement, sinon un réservoir important pour la recherche et la production de nouvelles sources

alimentaires et énergétiques. Ces dernières peuvent atténuer un tant soit peu le déséquilibre alimentaire des populations vivants dans les régions enclavées et isolées du pays (**Chader, 2009**). Plusieurs organismes d'enseignement supérieur et de recherche travaillent en Algérie sur les microalgues, Ces recherches sont encore embryonnaires, car dotées de peu de moyens.

L'objectif principal de notre étude est d'étudier la capacité épuratrice des quelques espèces microalgales isolées des régions de Biskra et d'El-oued dans le traitement des eaux usées.

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

La synthèse bibliographique s'étend sur trois chapitres, le premier chapitre présente des généralités sur les eaux usées, et leurs traitements, généralités sur les microalgues et les divers domaines d'applications est abordé dans le deuxième chapitre, le troisième est bioremédiation par des microalgues et différentes techniques.

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

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

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

Première partie
Synthèse bibliographiques

CHAPITRE I :
Les eaux usées et leur
traitement

1- Eaux usées

1- 1-Définition

Une eau usée, appelée encore eau résiduaire ou effluent est une eau qui a subi une détérioration après usage (**Der hoek, 2007**), chargées de polluants, solubles ou non, provenant essentiellement de l'activité humaine (**Gros claude, 1999**).

L'aspect des eaux résiduaires fraîches est celui d'un liquide brun gris avec une odeur typique. Durant leur transport, ces eaux se modifient d'autant plus vite que la température est élevée; environ un tiers des matières contenues est en suspension, le reste est en solution (matières minérales dissoutes et produits minéraux) (**Bouziyani, 2000**).

1-2- Origine des eaux usées

Les eaux usées regroupent en différents types Suivant l'origine et la qualité des substances polluantes (**Metahri Mohammed Saïd, 2012**), on distingue quatre sources principales:

1-2-1- Eaux domestiques

Elles proviennent des différents usages domestiques de l'eau (**Metahri Mohammed Saïd, 2012**), en général, ces eaux sont chargées en matières organiques, graisses et produits d'entretiens ménagers (**Majouri et Amouria, 2000**).Elles se répartissent en deux catégories : les eaux ménagères des salles de bain et des cuisines qui sont généralement chargées de substances biodégradables, de détergents, de produits nettoyants, désinfectants, et détartrants ainsi que de pesticides pour usage domestique et de solvants pour le bricolage ; ces eaux peuvent aussi contenir des polluants cosmétiques et médicamenteux. La deuxième catégorie d'eaux usées domestiques sont les eaux vannes comprenant les rejets de toilettes. Ces dernières sont chargées de diverses matières organiques azotées et de germes fécaux (**Picard, 2011**).

1-2-2- Eaux industrielles

Elles sont très différentes des eaux usées domestiques. Leurs caractéristiques varient d'une industrie à l'autre. En plus des matières organiques, azotées ou phosphorées, elles sont chargées en différentes substances chimiques organiques et métalliques. Selon leur origine industrielle elles peuvent également contenir :

- des graisses (industries agroalimentaires).
- des hydrocarbures (raffineries).
- des métaux (traitements de surface, métallurgie).
- des acides, des bases et divers produits chimiques (industries chimiques divers, tanneries).
- des matières radioactives (centrales nucléaires, traitement des déchets radioactifs).

(**Metahri Mohammed Saïd, 2012**).

1-2-3- Eaux usées urbaines

Les eaux usées urbaines sont d'abord formées par un mélange d'eaux usées domestiques et industrielles. Il s'y ajoute une troisième composante formée par les eaux de pluie et les effluents des installations à caractère collectif (hôpitaux, commerces, etc.) (**Bountoux, 1993**).

1-2-4- Eaux agricoles

L'agriculture est une source de pollution des eaux non négligeable car elle apporte les engrais et les pesticides (**Metahri Mohammed Saïd, 2012**), des herbicides ou des rejets organiques dus à un élevage important (**Junger, 2000**).

Elle est la première cause des pollutions diffuses (**Zahir Bakiri, 2007**). Les eaux agricoles issues de terres cultivées chargées d'engrais nitrates et phosphates, sous une forme ionique ou en quantité telle, qu'ils ne seraient pas finalement retenus par le sol et assimilés par les plantes, conduisent par ruissellement à un enrichissement en matières azotées ou phosphatées des nappes les plus superficielles et des eaux des cours d'eau ou des retenues.

1-3 - Pollution de l'eau

1-3-1- Définition

La pollution est due à toute substance physique, chimique ou biologique rejetée dans une eau naturelle qui perturbe l'équilibre de cette eau, induit d'importantes nuisances (mauvaise odeur, fermentation, inconforts divers, risques sanitaires, etc.) dont les causes sont directement ou indirectement en relation avec les activités humaines (**Der hoek, 2007**). et qui se répercute, à court ou à long terme, sur notre organisme à travers la chaîne alimentaire de laquelle nous dépendons (**Ladjet, 2006**).

1-3-2- Principaux types de pollutions

1-3-2-1 Pollution physique

IL s'agit d'une pollution qui se traduit par la présence des particules de taille et de matière très variées dans l'eau, qui lui confèrent un caractère trouble. On distingue aussi les matières décantées (plus lourdes que l'eau), les matières flottantes (plus légères que l'eau) et les matières non séparables (de même densité que l'eau) (**Bouziani, 2000**).

La pollution physique désigne l'autres types de pollution, telle que la pollution thermique du eaux températures élevées qui cause une diminution de la teneur en oxygène dissous ainsi qu'une réduction de la solubilité des gaz et la pollution radioactive (**Boudjeal, Djoudi, 2003**).

1-3-2-2- Pollution chimique

La pollution chimique de l'eau est due essentiellement aux déversements de polluants organiques et des sels de métaux lourds par les unités industrielles. L'enrichissement des sols

pour intensifier l'agriculture par diverses catégories d'engrais et de pesticides est également à l'origine de la pollution chimique des sources et des nappes souterraines (**Aroua, 1994**). Ces substances exercent un effet toxique sur les matières organiques et les rendent plus dangereuse (**Boudeal et Djouid, 2003**).

Les polluants chimiques sont classés en cinq catégories (**Aroua, 1994**).

- ☒ Les polluants chimiques dits indésirables (nitrate, les composés phosphorés et les sels ammoniacaux).
- ☒ Les polluants chimiques toxiques.
- ☒ Les pesticides et produits apparentés.
- ☒ Les hydrocarbures.
- ☒ Les détergents.

1-3-2-3- Pollution biologique

Un grand nombre de microorganismes peut proliférer dans l'eau qui sert d'habitat naturel ou comme un simple moyen de transport pour ces microorganismes .L'importance de la pollution dépend également des conditions d'hygiène des populations, mais aussi des caractéristiques écologiques et épidémiologiques.

Les principaux organismes pathogènes qui se multiplient ou qui sont transportés dans l'eau sont : les bactéries, les virus, les parasites et les champignons. On parle ainsi de pollution bactérienne, virale ou parasitaire (**Thomas, 1995**).

2- Traitement des eaux usées

2-1- Définition

C'est un ensemble de techniques qui consistent à purifier l'eau soit pour recycler les eaux usées dans le milieu naturel, soit pour transformer les eaux naturelles en eau potable(**Anonyme, 2004**).

2-2- Procédés de traitements des eaux usées

Selon le degré d'élimination de la pollution et les procédés mise en œuvre à plusieurs niveaux de traitements sont définis :les prétraitements, le traitement primaire et le traitement secondaire. Dans certains cas, des traitements tertiaires sont nécessaires, notamment lorsque l'eau épurée doit être rejetée en milieu particulièrement sensible (**Kettab, 1992**).

2-2-1- Prétraitements

La première étape du traitement consiste à débarrasser les effluents de tout élément susceptible de gêner le fonctionnement des ouvrages (**Grosclaude, 1999**). Ils permettent d'éliminer les matières les plus grossières, susceptibles d'endommager les organes mécaniques ou de perturber l'efficacité des étapes ultérieure, Ils font appel :

- ✓ A des procédés mécaniques, comme des grilles ou des tamis, pour éliminer des grosses particules transportées par les eaux ; (**Rejsek, 2002**) .Les gros déchets sont tout d'abord éliminés par un dégrilleur constitué de barre aux espacés de 10 à 50 mm suivi d'un dégrilleur plus fin (3 à 10 mm) ou d'un tamisage (0,1 à 3mm). (**Grosclaude, 1999**).
- ✓ A des procédés physiques, comme des phénomènes de décantation pour éliminer les sables, ou de flottation pour éliminer les graisses (matières grasses). (**Rejsek, 2002**).

Le prétraitement se poursuit par l'élimination des particules denses ou abrasives ; cette étape est souvent couplée avec l'élimination des flottants, et en particulier des graisses, dans un ouvrage appelé dégraisseur/dessableur(**Grosclaude, 1999**). La pollution présente dans les eaux résiduaires, une fois prétraitées, se compose d'une fraction de fines particules (les MES) qui n'ont pas été arrêtées par le dégrillage ou le tamisage et des molécules organiques et minérales en solution vraie ou colloïdale .

En règle générale, l'élimination de MES est obtenue par décantation gravitaire, alors que celle de la pollution soluble subit une dégradation biologique, mais pour certaines stations d'épuration, l'élimination de MES est réalisée dans l'ouvrage du traitement biologique. (**Grosclaude, 1999**).

2-2-2- Traitements primaires

Le traitement "primaire" fait appel à des procédés physiques naturels, filtration et décantation plus ou moins aboutie, éventuellement as sortie de procédés physicochimiques, tels que la coagulation-floculation (Faby, 1997).

2-2-2-1- Décantation physique naturelle

La décantation est un procédé qu'on utilise dans, pratiquement, toutes les usines d'épuration et de traitement des eaux. Son objectif est d'éliminer les particules dont la densité est supérieure à celle de l'eau par gravité. La vitesse de décantation est en fonction de la vitesse de chute des particules, qui elle-même est en fonction de divers autres paramètres par miles quels grosseur et densité des particules (Cardot, 2010) .

2-2-2-2- Traitements de décantation physico-chimiques

La turbidité et la couleur d'une eau sont principalement causées par des particules très petites, dites particules colloïdales. Ces particules, qui peuvent rester en suspension dans l'eau durant de très longues périodes, peuvent même traverser un filtre très fin. Pour les éliminer, on a recours aux procédés de coagulation et de floculation (Moulin et al, 2013).

- ❖ La coagulation: a pour but principale de déstabiliser les particules en suspension, c'est-à dire de faciliter leur agglomération. En pratique, ce procédé est caractérisé par l'injection et la dispersion rapide de produits chimiques: sels minéraux cationiques (sels de fer ou d'aluminium) (Lazarova et al, 2003).
- ❖ La floculation: a pour objectif de favoriser, à l'aide d'un mélange lent, les contacts entre les particules déstabilisées. Ces particules s'agglutinent pour former un floc qu'on peut facilement éliminer par les procédés de décantation et de filtration (Moulin et al, 2013).

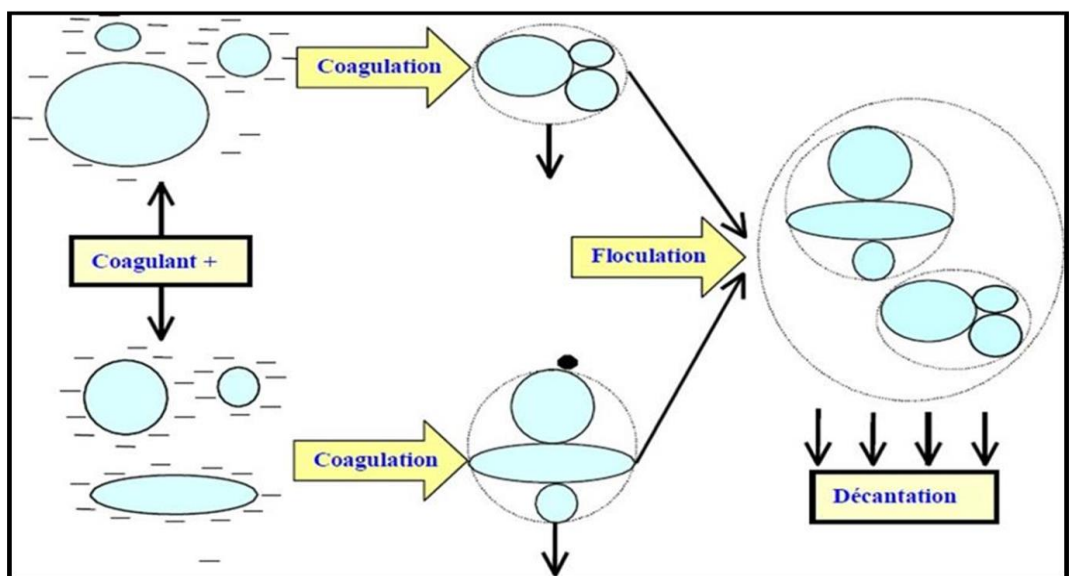


Figure 01 : Coagulation-Floculation (Graini , 2011).

2-2-2-3- Filtration

La filtration est un procédé physique destiné à clarifier un liquide, qui contient des matières solides en suspension en le faisant passer à travers un milieu poreux. Les solides en suspension, ainsi retenus par le milieu poreux, s'y accumulent ; il faut donc nettoyer ce milieu de façon continue ou de façon intermittente (**Cardot, 1999**).

2-2-3- Traitements secondaires ou les traitements biologiques

Dans la grande majorité des cas, l'élimination des pollutions carbonées et azotées s'appuie sur des procédés de nature biologique, basés sur la croissance de micro-organismes aux dépens des matières organiques "biodégradables" qui constituent pour eux des aliments (**Metahri Mohammed Saïd, 2012**). L'ensemble de la pollution avec les microorganismes vivants forme la liqueur mixte ou boue biologique contenue dans des bassins de traitement biologique (**Baudot, Perera, 1991**).

En règle générale, l'élimination complète de la pollution organique de ces bassins se déroule en conditions aérées par des souches aérobies strictes ou facultatives. Plusieurs procédés existent à ce stade du traitement biologique (**Asano, 1998**).

2-2-3-1-Traitements anaérobies

Les traitements anaérobies font appel à des bactéries n'utilisant pas de l'oxygène, en particulier, aux bactéries méthanogènes qui conduisent, comme leur nom l'indique, à la formation du méthane à partir de la matière organique, et à un degré moindre de CO₂ (**Gembloux, 1998**). Ce type de fermentation est appelé digestion en hydrologie. En effet, la température doit être maintenue à un niveau très stable et suffisamment élevé. Il faut aussi éviter les écarts brutaux de pH et les substances inhibitrices du développement bactérien, à titre d'exemple : les cyanures, les sels de métaux lourds et les phénols (**Kalogo, Verstraete, 1999**).

2-2-3-2- Traitements aérobies

Les micro-organismes utilisés exigent un apport permanent d'oxygène. On distingue trois méthodes essentielles (**Who, 1989**).

2-2-3-2-A- Cultures fixes (lits bactériens et disques biologiques)

Leur principe de fonctionnement, quelques fois appelé filtre bactérien ou filtre percolateur, qui consiste à faire ruisseler l'eau à traiter, préalablement décantée, sur une masse de matériau de grande surface spécifique servant de support aux microorganismes épurateurs, qui y forment un feutrage ou un film plus ou moins épais, sous le quel une couche anaérobie peut se développer sous la couche aérobie, son épaisseur est importante (**Bassompierre, 2007**).

2-2-3-2-B- Cultures libres (boues activées)

Les boues activées constituent le traitement biologique aérobie le plus répandu (**Who, 1989**). Le procédé consiste à provoquer le développement d'une culture bactérienne dispersée sous forme de flocons (boues activées), dans un bassin brassé et aéré (bassin d'aération) et alimentée de l'eau à épurer (**Madigan , Martinko, 2007**). Dans ce bassin, le brassage a pour but d'éviter les dépôts et d'homogénéiser le mélange des flocons bactériens et de l'eau usée (liqueur mixte); l'aération peut se faire à partir de l'oxygène de l'eau, du gaz enrichi en oxygène par (le brassage, l'injection d'air comprimé, voire même d'oxygène pur, (a pour but de dissoudre ce gaz dans la liqueur mixte, afin de répondre aux besoins des bactéries épuratrices aérobies (**Faby, 1997**).

2-2-3-2-C- Lagunage

Le lagunage est un système biologique d'épuration extensive, qui consiste à déverser les eaux usées dans plusieurs bassins successifs de faible profondeur, où des phénomènes naturels de dégradation font intervenir la biomasse qui transforme la matière organique (**Effebi, 2009**). La matière polluante, sous traitée aux eaux usées, se retrouve en grande partie dans la végétation et les sédiments accumulés, et en faible partie dans l'atmosphère ou sous forme de méthane et d'azote gazeux (**Guilloteau, 1992**). Les mécanismes de l'épuration et le fonctionnement d'un lagunage simple peuvent être décrits par l'équation suivante (**Altmeyer et al, 1990**):

Eau usée + oxygène [(en présence de bactérie) donne] boues + effluent traité + CO₂ + H₂O

2-2-4-Traitement tertiaire

Appelés aussi les traitements complémentaires qui visent principalement l'élimination du phosphore (la déphosphatation) et les germes pathogènes (la désinfection). Les traitements tertiaires souvent considérés comme facultatif ou complémentaire permettent d'affiner ou d'améliorer le traitement secondaire (**Assobhei, 2009**).

2-2-4-1- Déphosphatation

La déphosphoration biologique consiste à provoquer l'accumulation du phosphore dans les cultures bactériennes des boues. Les mécanismes de la déphosphoration biologique sont relativement complexes, et leur rendement variable (en fonction notamment de la pollution carbonée et des nitrates présents dans les eaux usées) (**Garzón, González, 1996**). Dans les grosses installations d'épuration, ce procédé est souvent couplé à une déphosphatation physico-chimique, pour atteindre les niveaux de rejets requis (**Prescott et al, 2007**).

2-2-4-2- Désinfection

La désinfection vise à réduire la concentration des germes pathogènes dans les effluents

avant rejet dans l'environnement. Contrairement aux normes de désinfection pour la production d'eau potable qui spécifie l'absence totale de coliformes, les normes de rejets pour les eaux résiduaires urbaines ERU varient suivant la nature du milieu récepteur. On peut distinguer deux catégories de traitement :

- Les procédés extensifs comme le lagunage.
- Les procédés physico-chimiques intensifs comme la désinfection par le chlore, l'acide péricétique, les UV. **(Grosclaude, 1999).**

2-2-5- Traitement des boues

Les traitements biologiques ou physico-chimiques utilisés pour l'épuration des eaux résiduaires génèrent une production importante de boues diluées (> 99% d'eau) et contenant de la matière organique fermentescible. Les deux principaux objectifs de la filière de traitement des boues seront donc :

- De stabiliser les matières organiques pour éviter toute fermentation incontrôlée qui entraînerait des nuisances olfactives.
- D'éliminer un maximum d'eau afin de diminuer les volumes de boues à évacuer.

Après une étape préalable d'épaississement permettant de concentrer les boues, la stabilisation de la matière organique est réalisée grâce à des procédés biologiques ou physico-chimiques.

L'étape finale de déshydratation permettra d'extraire le maximum d'eau. **(Grosclaude, 1999).**

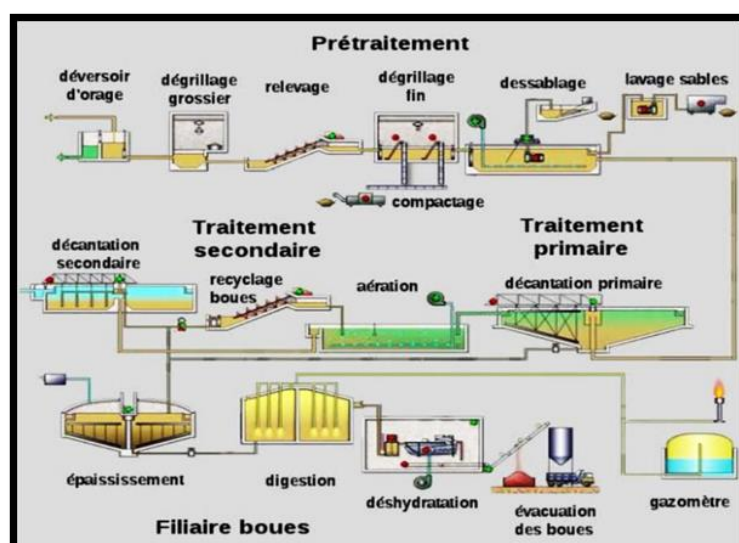


Figure 02 : Type d'une station de traitement de l'eau (Inrs, 2004).

CHAPITRE II

Les microalgues

1-Définition et Caractéristiques des microalgues

Les microalgues, ou Phytoplancton, ont généralement d'une taille de l'ordre du micron (**Diadié, 2009**). Ce sont définies comme des organismes photosynthétiques unicellulaires ou pluricellulaires (**Sialve et Steyer, 2013**) et constituent un groupe polyphylétique et très diversifié de procaryote (les algues bleues ou cyanobactéries) et eucaryotes (où l'on retrouve les algues vertes, rouges et brunes) (**Person, 2010**).

Les microalgues caractérisés principalement par l'absence de racines et de feuilles mais possédant de la chlorophylle ainsi que d'autres pigments pour réaliser la photosynthèse (**Becerra, 2009**), et utilisent la lumière du soleil comme source d'énergie pour fixer le dioxyde de carbone (**Person, 2010**). Leur mécanisme photosynthétique est similaire à celui des plantes terrestres (**Sadi, 2012**).

2-Morphologie

Les microalgues appartenant à deux groupes: les eucaryotes et les procaryotes

2-1- Eucaryote

Les microalgues eucaryotes est un organisme photosynthétique unicellulaire délimitée par une membrane plasmique, qui contient au sein de son cytoplasme de nombreux organites nécessaires à son fonctionnement et à son métabolisme: proie cellulaire, chloroplastes, mitochondries, cytoplasme, et son noyau entouré de son enveloppe (Figure 03) (**Richmond, 2004**).

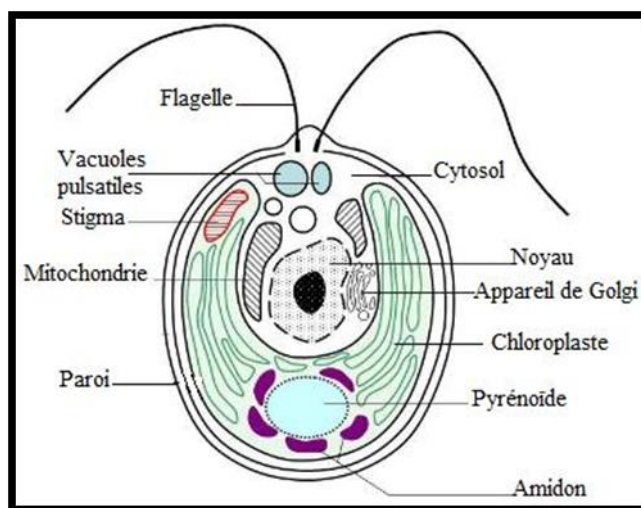


Figure 03: Structure des microalgues eucaryotes Chlamydomonas
(S6, 2020)

2-2-Procaryote

Les microalgues procaryotes sont caractérisés par l'absence de noyau individualisé, pas de membrane nucléaire ni de nucléoles, pas de la chromatine qui représentent comme chez les bactéries, un appareil nucléaire très simples. Absence de plastes, de mitochondries, d'appareil de Golgi, de vacuoles (**Gregory, 1985**). Certaine Cyanobactéries possèdent des vacuoles gazeuses constituées de vésicules gazeuses, les pigments ne sont pas portés par des plastes mais sont diffus dans le cytoplasme et donnent aux cellules une coloration homogène (Figure04) (**Barsanti and Gualtieri, 2014**) .

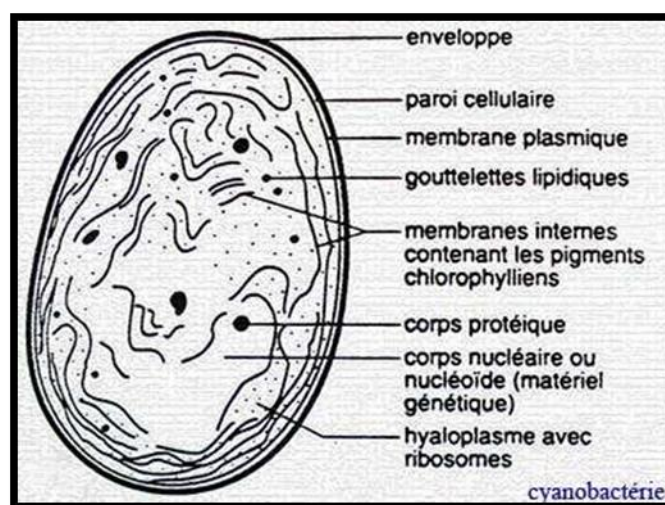


Figure 04 : Structure des microalgues Procaryote Cyanobactérie
(S8, 2020)

3-Classification

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. Ces organismes constituent un groupe polyphylétique et très diversifié de procaryotes et eucaryotes. La définition des embranchements et des classe des microalgues est complexe et de très nombreux autres critères (**Person, 2011**).

La classification (Tableau 1) de cette diversité est complexe et la taxonomie est sujette à de fréquents bouleversements du fait notamment de l'utilisation des techniques de phylogénie moléculaire (**Andersen et al, 1992 ; Sharma and Rai, 2011**).

Tableau 01 : Diversité des microalgues eucaryotes et procaryotes, marines et d'eau douce (Sharma et Rai, 2011).

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

3-1-Critères de la classification des grandes lignées

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 (**Person, 2010**), Nombre de membranes plastidiales, Forme des crêtes mitochondriales, Appareil flagellaire, et d'autres caractéristiques morphologiques (**Reviers, 2002**).

3-2-Pigmentation

Les pigments constitué un critère important dans la classification des microalgues. Le rôle physiologique de ces molécules est de capter l'énergie lumineuse. Selon la nature des pigments surnuméraires associés à la chlorophylle, les plastes sont tantôt verts (Chlorophytes), tantôt jaunes ou bruns (Chromophytes), ou encore rouges (Rhodophytes)...etc (**Ruiz, 2005**).

4- Ecologie

Les microalgues sont des microorganismes photosynthétiques ubiquistes occupent la plupart des niches écologiques. Elles se retrouvent préférentiellement dans les habitats aquatiques, qu'ils soient marins ou d'eau douce (**Macedo et al, 2009**). elles ont su également coloniser les sols et une vaste gamme de supports comme les rochers, les arbres ou encore les édifices architecturaux. certaines microalgues se développent dans les eaux de fonte de la glace ou de la neige (**Sialve et Steyer, 2013**). Elles vivent dans des marais salants, dans des milieux acides ou fortement alcalins (**Cadoret et al, 2008**) et on les rencontre également dans les déserts arides à semi-arides. L'atmosphère constitue également un environnement dans lequel une

diversité notable de microalgues eucaryotes et de cyanobactéries est signalée (Sialve et Steyer, 2013).

Elles ont la capacité de se développer rapidement dans des milieux et elles peuvent croître dans des conditions extrêmes (espèces halophiles dans les milieux très salés, espèces thermophiles dans les milieux très chauds). Les microalgues sont présentes dans quasiment tous les écosystèmes terrestres (Mata et al, 2010).

5-Différentes modes de production de biomasse microalgales

- ✓ Trois modes de production sont principalement développés pour générer de la biomasse algale : le mode autotrophes, le mode hétérotrophe et mode mixotrophe (Chevalier et al, 2002; Crbm, 2006).
 - ❖ **Mode autotrophe:** Ce mode plus commun est basé sur des organismes qui captent l'énergie solaire et du CO₂ pour les convertir en biomasse par photosynthèse. Il est le plus souvent appliqué en mode ouvert dans des bassins extérieurs. Des développements sont aussi entrepris pour réaliser des applications en mode fermé avec des photobioréacteurs (PBR) plus efficaces.
 - ❖ **Mode hétérotrophe:** Le mode hétérotrophe est basé sur des organismes qui peuvent fonctionner sans lumière en utilisant, pour se développer, l'énergie chimique et le carbone issus d'autres matières organiques. Plusieurs espèces produisent des lipides et d'autres composés recherchés. La production est effectuée en mode fermé dans des bioréacteurs semblables à des fermenteurs. Les niveaux élevés de productivité enregistrés sont prometteurs pour la production de biocarburants (Xu and al., 2006). Cette approche, relativement coûteuse, dépend de nutriments agroalimentaires ; ce qui en limite l'application à la production de substances à hautes valeurs ajoutées comme certains suppléments alimentaires ou produits pharmaceutiques spécifiques (Martek, 2008; Xiong and al., 2008). L'exploitation des substances à valeur ajoutée pourrait éventuellement aider au financement de la production de biocarburants (Crbm, 2006).
 - ❖ **Mode Mixotrophe:** Il s'agit de la capacité à modifier sa source de carbone selon les besoins (autotrophe ou hétérotrophe). Certaines espèces de microalgues sont mixotrophes, ou également appelées photoautotrophes facultatives, puisqu'elles sont en mesure d'utiliser le CO₂ comme source de carbone et la lumière comme source d'énergie. Cependant, elles peuvent également utiliser le carbone organique pour combler les besoins en carbone nécessaires à leur croissance (Falkowski et Raven, 2007).

- ✓ L'énergie contenue dans la biomasse issue de la culture de masse des microalgues peut être extraite selon divers modes : la méthanisation, la distillation d'alcools, la combustion et l'extraction des lipides par processus biochimique et la gazéification, la pyrolyse et la liquéfaction par processus thermochimique (cantrell et al, 2008).

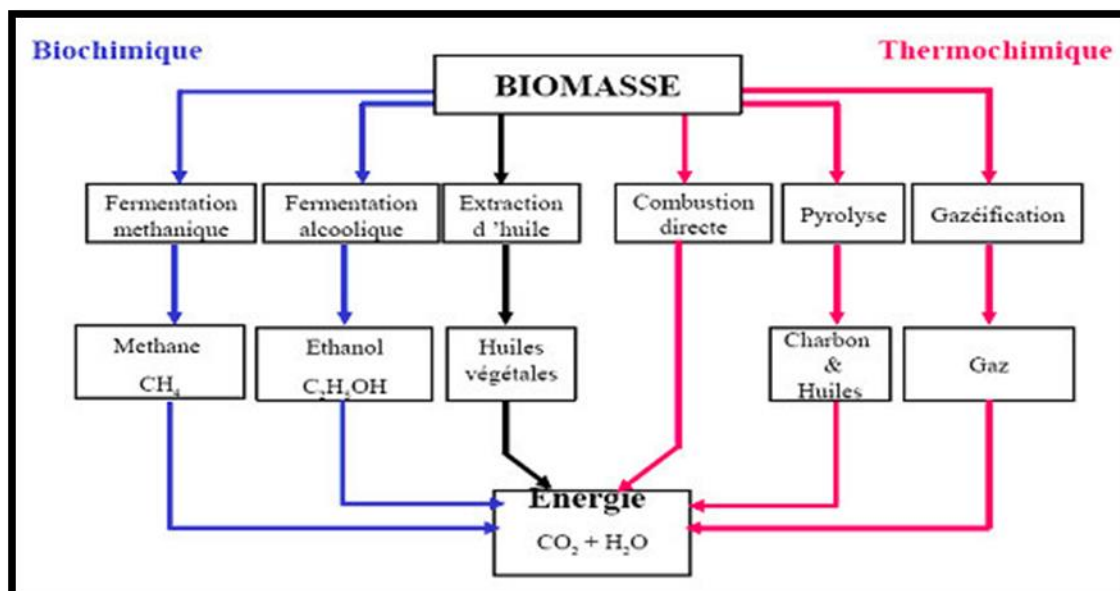


Figure 05 : Principaux modes de transformation de la biomasse algale (Blin, 2007).

Les technologies les plus courantes sont représentées au centre de la figure. En général, le taux moyen d'humidité des intrants est déterminant dans le choix de la filière de conversion énergétique. La biomasse issue des algues est très humide et coûteuse à assécher. Les techniques thermochimiques peuvent traiter une telle biomasse mais au prix d'une baisse du rendement, car l'évaporation de l'eau absorbe beaucoup d'énergie.

À part d'éventuels composés nutraceutiques ou pharmaceutiques, la portion lipidique transformable en biodiesel reste la fraction la plus profitable de toute la biomasse. Toutefois, selon les circonstances, la fraction restante peut être valorisée ou traitée pour produire divers biocarburants de synthèse.

6- Domaines d'application des microalgues

Les applications de ces microalgues sont multiples, de l'alimentation humaine, l'alimentation animale, les cosmétiques, et la pharmaceutique. Chaque espèce des microalgues a des propriétés qui lui sont propres et toutes les microalgues produites n'ont pas une application unique. Il est possible de regrouper les espèces en fonction de leurs principales utilisations (Filali, 2012).

6-1- Application alimentaire

Certaines espèces des microalgues sont récoltées pour un usage alimentaire. Utilisée par les Mayas, la Spiruline est par exemple encore récoltée et consommée par les habitants des bords du lac Tchad. Si certains pigments sont utilisés comme colorants alimentaires, la contribution à la nutrition humaine des sociétés modernes reste essentiellement confinée à la nutraceutiques **(Milledge, 2011)**. Le phytoplancton en tant que producteur primaire des milieux aquatiques est par ailleurs tout naturellement exploité comme ressource nutritive pour l'aquaculture **(Spolaore et al, 2006)**.

Dans cette filière majeure de la production mondiale, les microalgues sont utilisées directement pour subvenir aux besoins des stades larvaires des mollusques bivalves et des crustacés **(Muller-Feuga et al, 2003)** ou indirectement comme complément alimentaire et comme substrat pour le zooplancton, base alimentaire de nombreuses espèces aquacoles.

6-2- Application pharmaceutique

Les extraits des microalgues sont également utilisés par le secteur pharmaceutique, les principes actifs extraits des microalgues sont utilisés comme anti-inflammatoire œsophagien, pour lutter contre l'embonpoint, pour leur effet laxatif ou encore pour les pansements, les microalgues peuvent être utilisées dans une amélioration du confort des diabétiques. En effet certains polysaccharides issus des microalgues des côtes françaises peuvent moduler l'absorption intestinale du glucose et la réponse insulínique à l'alimentation. Par ailleurs, des oligosaccharides extraits des microalgues peuvent améliorer l'équilibre de la flore intestinale du colon, en favorisant la croissance des bactéries comme favorables pour la santé. Ces bactéries sont actuellement largement utilisées des préparations à base de lait peu caloriques, riches en vitamines et en minéraux **(Gana, 2014)**.

6-3- Application cosmétique

Les microalgues utilisées par la filière cosmétique sont souvent les mêmes que celles utilisées pour les applications alimentaires. Cependant, les travaux de recherche mettent en évidence de nouvelles applications pour de nouvelles espèces.

La filière cosmétique utilise les microalgues sous forme d'extraits de plantes, broyées (pour les gommages par exemple) ou en tant qu'agents de coloration. Etant donné que le marketing joue un rôle important dans l'industrie des cosmétiques, les microalgues sont souvent utilisées afin de véhiculer une image de produits naturels apportant les bienfaits de la mer **(Idealg, 2014)**.

6-4-Agrofournitures

En agriculture, les microalgues sont principalement utilisées comme engrais ou comme ingrédient dans la fabrication d'aliment pour le bétail. Concernant les engrais, les algues sont transformées en poudre, extraits liquides ou microbilles et sont épandues sur les terres. En effet, les microalgues favorisent la croissance des plantes, la résistance aux maladies et produisent des substances protectrices contre les agressions par les gastéropodes. Pour l'alimentation animale, les fucales sont utilisées comme additifs alimentaires pour leurs qualités digestives. Elles sont transformées en farines mélangées à la nourriture (**Barsanti and Gualtieri, 2014**).

CHAPITRE III

Bioremédiation par des microalgues

1-Définition de bioremédiation

La bioremédiation est une méthode baser sur l'activité de la capacité naturelle que possèdent de nombreux organismes vivants, généralement sont soit des bactéries, des microalgues ou des champignons, dégradants les polluants en composés inertes, comme l'eau et le gaz carbonique. Ces organismes peuvent être déjà présents dans la zone polluée (indigènes) ou ajoutés au milieu (exogène), ou encore être prélevés sur le site contaminé, cultivées au laboratoire puis réintroduits dans le sol. La bioremédiation se déroule généralement en condition d'aérobie, toutefois l'application des systèmes de bioremédiation en condition d'anaérobie permet de dégrader un certain nombre de molécules récalcitrantes (**Chedly Abdelly, 2006**).

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

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

✓ Bioremédiation intrinsèque ou bio-atténuation

C'est simplement la biodégradation naturelle des polluants par les microorganismes Présents dans le sol ou la nappe. Cette méthode consiste uniquement à vérifier la présence et la capacité des micro-organismes utilisés pour dégrader les polluants (**khalil hanna,2004**)

✓ Biostimulation

Cette technique consiste à remonter l'activité des populations microbiennes présentes dans le sol ou dans les eaux souterraines par apport de nutriments et par ajustement des conditions du milieu qui sont le potentiel d'oxydo-réduction, l'humidité et la température (**khalil hanna, 2004**).

✓ Bioaugmentation

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

✓ Bioinjection

C'est la fragmentation des grosses molécules par le couplage de l'injection d'air ou d'oxygène à l'activité biologique normale des micro-organismes suivi d'un entraînement par le flux gazeux (**Khalil hanna, 2004**).

✓ Bioextraction

Elle suit le même chemin sauf que c'est un couplage de l'activité biologique des micro-organismes et de l'extraction sous vide des polluants **(khalil hanna, 2004)**.

✓ Phytoremédiation

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

3- Phytoremédiation

3-1-Définition

est une technique employée pour dépolluer naturellement par l'action des plantes (phyto-dépollution) **(S5, 2020)**, c'est-à-dire utilisant le métabolisme des plantes pour éliminer, dégrader,concentrer, stabiliser, volatiliser ou transformer les polluants (molécules organiques et inorganiques, métaux et radioéléments) en composés moins toxiques **(Chedly Abdelly, 2006)**. contenus dans différents milieux grâce à ce processus, on obtient:

- L'épuration des eaux usées.
- Un assainissement de l'air.
- La dépollution des sols. **(S5, 2020)**

3-2-Défférents types de phytoremédiation

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

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

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

4- Phycoremédiation

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

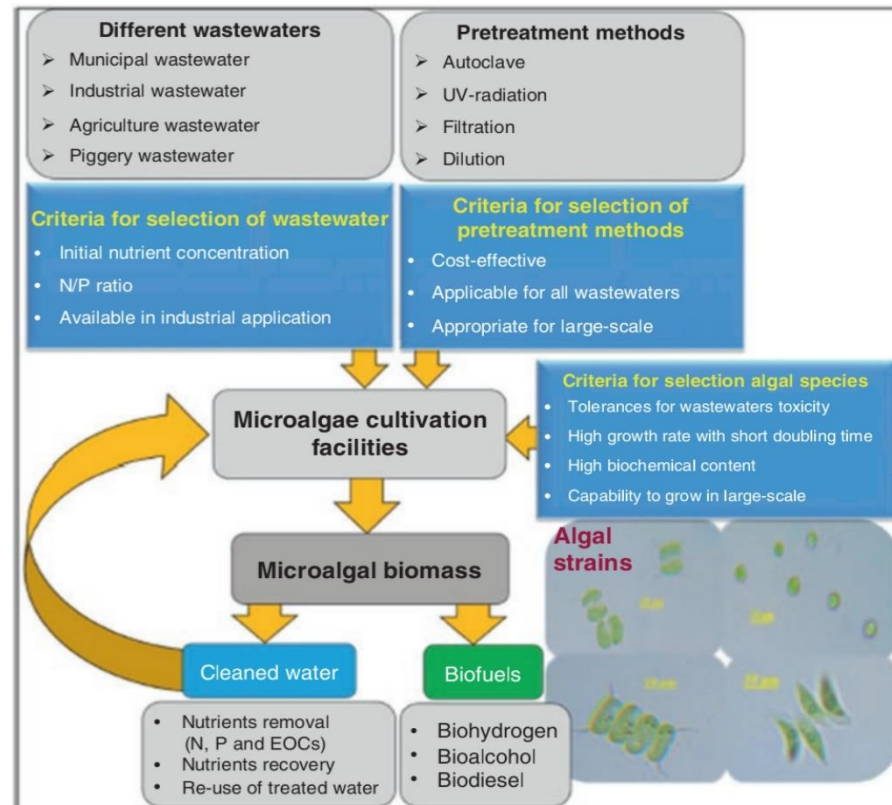


Figure 06: Représentation schématique de simulations de traitement des eaux usées avec culture de biomasse de microalgues. (Salama et al. 2017).

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

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

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

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

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

- Les micro-algues se nourrissent essentiellement d'azote et de phosphore, contenus en grande quantité dans les eaux usées.
- Elles peuvent même contribuer directement à l'élimination de certains dérivés

organiques (**Pearson et al., 1987**).

- Elles assurent l'élimination, en partie, des sels nutritifs excédentaires dans les eaux résiduaires (**Pouliot, Delanoë, 1985**).
- Elles agissent comme bio-absorbants contribuant à l'élimination des métaux lourds et autres produits toxiques véhiculés par ces eaux (**Beker, 1983**).
- Par leur activité biologique, elles influencent négativement les conditions de vie de certaines bactéries pathogènes, conduisant ainsi à leur réduction en nombre et même leur disparition (**Parhad, Rao, 1974**).
- Dégrader et transformer le complexe de xénobiotique.
- Utilisant des microalgues comme une capteurs biologiques pour détecter la pollution (**Dipesh Kumar et al, 2019**).

6- Espèces des microalgues utilisées pour traitement des eaux usées

Différents types d'eaux usées, à savoir, industrielles, agricoles et municipales, contiennent différents composés toxiques et doivent être traités avant leur élimination dans le système d'eau; sinon cela peut causer de sérieux problèmes à la vie aquatique ou à l'homme santé.

Différents traitements chimiques et biologiques sont généralement utilisés pour éliminer les substrats toxiques des eaux usées (**Zeng et al. 2015**).

Tableau 02 présente les microalgues utilisées pour le traitement de différentes eaux usées. Sélection de microalgues pour la culture dans les eaux usées est l'un des critères importants pour la production de bioproduits liés à la culture à base de microalgues. Généralement, les microalgues ayant capacité de taux de croissance et de production de biomasse élevés, à obtenir des nutriments de divers types d'eaux usées, tolérer la toxicité de divers xénobiotiques, séquestrer quantité de CO₂ atmosphérique, pour accumuler une grande quantité de produits finis souhaités, et pour résister à une grande variété de paramètres physico-chimiques comme la température élevée et une intensité lumineuse élevée, sont préférables pour l'assainissement des eaux usées (**Chen et al. 2015; Cai et al. 2013; Zhou et al. 2014**).

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

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

Les chercheurs ont montré que les microalgues indigènes isolées des milieux naturels avoir plus de potentiel pour assainir les déchets toxiques ainsi que produire des bioproduits par rapport aux microalgues obtenu des centres de collecte de la culture. C'est principalement dû à leur meilleure acclimatation en natif environnements (Zhou et al. 2012; Bhatnagar et al. 2011). Parmi les différentes microalgues utilisées pour le traitement des eaux usées, le genre de microalgues de *Chlorella* et *Scenedesmus* est l'espèce la plus dominante principalement en raison de leur grande capacité d'élimination des nutriments ainsi que de leur capacité à résister une grande variété de paramètres environnementaux (Chiu et al.2015; Ji et al.2014; Kim et al. 2016).

En dehors de ces deux algues vertes, diverses autres souches comme *Galdieria sulphuraria*, *Micractinium minimum*, *Chlorococcum sp.* etc. avoir aussi été signalé pour leur aptitude à corriger eaux usées pour produire divers bioproduits.

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

Deuxième partie
Partie pratique

CHAPITRE I
Présentation de région
d'étude

1-Situation géographique de la région d'étude

Dans notre étude, nous avons sélectionné plusieurs régions de deux wilayas différents El-oued et Biskra (figure 07) , Pour que ces zones soient caractérisées par une humidité et une nature différente, où l'on trouve des zones naturelles et les autres zones artificielles (tableau 03).

Nous avons organisé des sorties scientifiques pour ces zones afin de prélever des échantillons pour l'étude, les jours 8-9-10 octobre 2019 pour wilaya de Biskra et 13-10-2019 pour wilaya d'El-Oued.

(P1:Barrage Manbaa Elghizlane, P2:Barrage de Foum Elkharza, P3: Oued L'abyad, P4:Oued Abdi, P5:Oued Djemina, P6:Oued Djedi, P9:STEP1 Kouinine, P10:STEP2 Hassani Abdelkrim, P11:Lac d'El-oued).

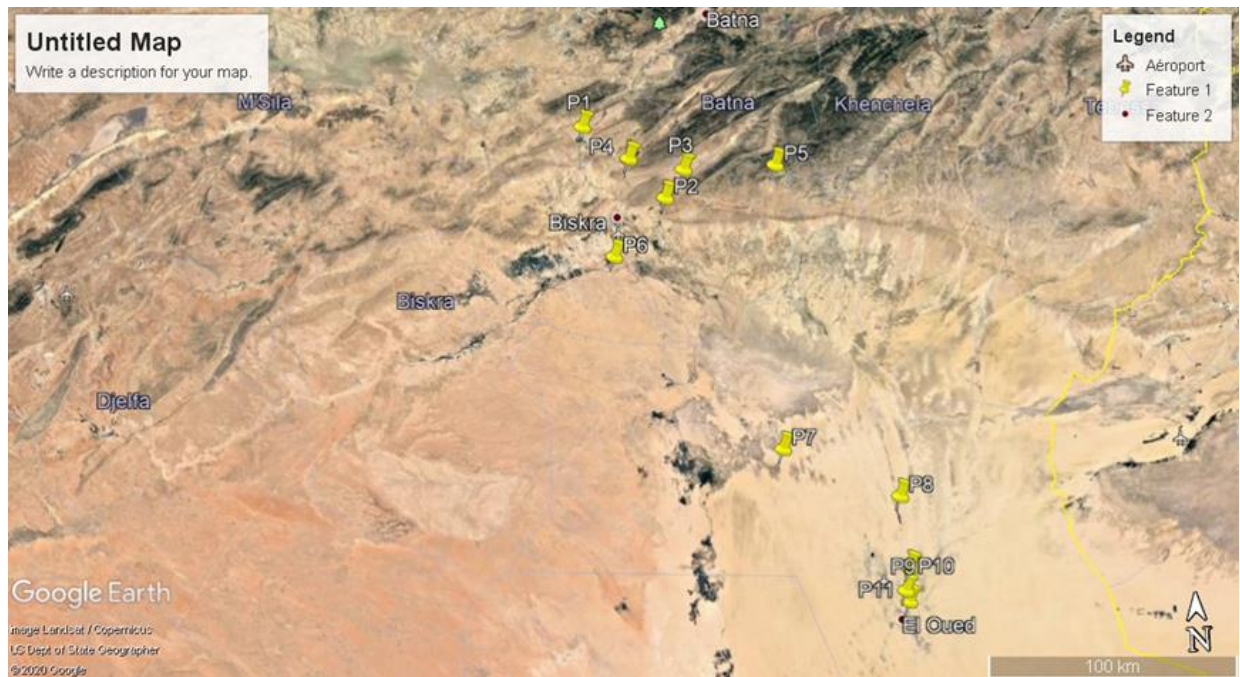


Figure 07 : Carte de localisation des point de prélèvement dans le wilaya El-oued et Biskra (S1, 2020).

Tableau 03 : Caractérisations géographiques des sites étudiés (ONA, conservation des forêts de wilaya d'El-oued, direction des ressources en eau de wilaya Biskra (2020)).

	Nom du site	Wilaya	Commune	Superficie (hectare)	Nature
01	Barrage de Manbaa Elghizlane	Biskra	El-outaya	950	Artificielle
02	Barrage de Foug Elkharza		Chetma	130000	Artificielle
03	Oued L'abyad		Mechonche	/	Naturelle
04	Oued Abdi		Branis	10800	Naturelle
05	Oued Djemina		Meziraa	/	Naturelle
06	Oued Djedi		Oumache	2600000	Naturelle
07	STEP1 Kouinine	El Oued	Kouinine	47	Artificielle
08	STEP2 Hassani Abdelkrim		Hassani Abdelkrim	18	Artificielle
09	Lac d'El-oued		Chatte	50	Naturelle



1:Barrage Manbaa Elghizlane, 2:Barrage de Foug Elkharza, 3: Oued L'abyad, 4:Oued Abdi, 5:Oued Djemina, 6:Oued Djedi, 7: STEP1 Kouinine, 8: STEP2 Hassani Abdelkrim, 9: Lac d'El-ouede.

Figure 08 : Les régions étudiées (photos originales, 2019).

2-Présentation et Description générale de site d'étude: Station d'épuration des eaux usées urbaines (STEP1 Kouinine)

2-1-Présentation de la station d'épuration STEP 01

La station a commencé en 2009 pour travaux, et située dans la municipalité de Kouinine au la source des eaux usées entrantes pour la station provient des municipalités de Kouinine, El-Oued, Robbah, Bayadha, Ce sont toutes des municipalités appartenant à wilaya de El-Oued la superficie de Cette station est 100 hectare, Cette municipalité a été choisie pour embrasser cet immense projet car il est plus faible que les autres municipalités et l'arrivée d'eau ne nécessite pas de consommer une grande quantité d'énergie. (ONA, 2019).



Figure 09 : STEP Kouinine (Photos originale, 2019).

2-2-Situation géographique de la station d'épuration

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

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

- Largeur : 500à800 m Longueur : 500à1400m (ONA, 2019).

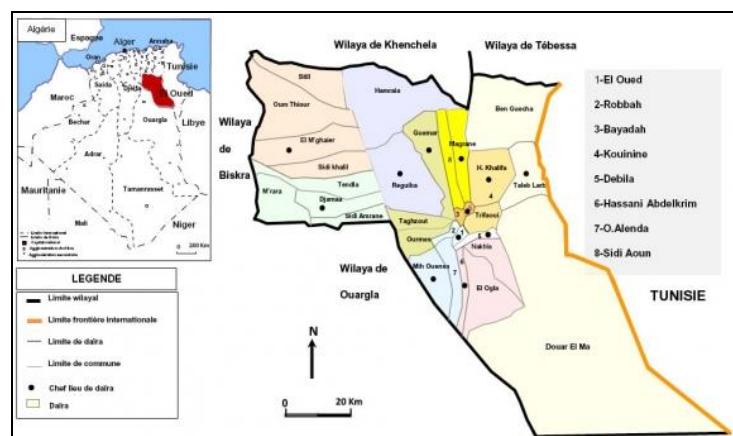


Figure 10 : Localisation de la commune dans la wilaya d'El Oued (S4, 2020).

2-3-Description de STEP 01

La station d'épuration des eaux usées n°1 (STEP 01) est celle de type lagunage aérée. qui composée de six lagunes aérée réparties en deux étages de traitement et de trois lagunes de finition (3ème étage) , d'un ouvrage de prétraitement (dégrillage ,désableur) ,de 14 lits de séchage des boues d'épuration et de bâtiment d'exploitation , ainsi que le montage des équipements hydromécaniques et électriques, la plein capacité de la station d'épuration sera attient en 2030. (ONA, 2019)

2-4- Etapes du traitement dans la station

2-4-1-Prétraitement des eaux usées

2-4-1-1-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-basse de secours lors des pannes du dégrillage.

Les eaux usée travers d'une grille dont les barreaux, plus ou moins espacés, espacement entre barreaux 15 mm retiennent les éléments le plus grossiers ,après les grilles nettoyer par un système à racleur motorisé dont l'action automatisée est déclenchée par un capteur de niveau spécialement conçu qui surveille en permanence la différence entre le niveau d'eau en amont et en aval sur la grille ,une fois que les déchets 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 déchets sont ensuite déposés dans conteneur à déchets. (ONA, 2019)



Figure 11 : Dégrillage (ONA, 2020).

2-4-1-2-Dessablage

Construit en béton ,avec trois chambres ,dans cette zone ,le sable contenu dans les eaux usée est décanté grâce à une réduction de la vélocité d'écoulement et grâce à la force gravitaire, ces particules sont ensuite aspirées par un pont racleur avec moteur électrique et des pompes d'aspiration avec suspension flexible (pompe 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 le classificateur à sable pour la déshydratation. (ONA, 2019)



Figure 12 : Dessablage (ONA, 2019).

2-4-2-Traitement secondaire des eaux usées

2-4-2-1- Lagunages aérée –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 biologie d'eau usée consiste des trois lagunes aérée (A1.A2.A3) de la même taille Pour assurer une réduction efficace de la pollution biologique (DBO5) et chimique (DCO).a l'intervention des micro-organismes et l'oxygénation que fournir par 13 aérateurs dans chaque lagune , pour attendre dégradation de pollution organique entre 70-80%. selon le bilan global suivant :

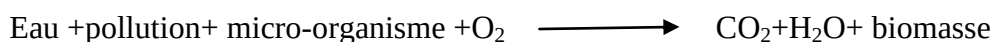




Figure 13 : Lagunages aérée –première étape (ONA, 2019)

2-4-2-2-Lagunes aérée –deuxième étape

Le fonctionnement de la deuxième étape d'aérateur 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 lagunes. (ONA, 2019)



Figure 14 : Lagunes aérée –deuxième étape (ONA, 2019)

2-4-2-3-Lagunes de finition

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 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 aérée .selon une estimation approximative ,on peut assurer une fréquence de raclage 8-10 ans .l'eau usée clarifiée biologiquement est dirigée vers l'émissaire. (ONA, 2019)



Figure 15 : Lagunes de finition (ONA, 2019)

2-4-3- Décharge des boues

☒ Lits de séchage des boues :

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

Conçues comme bâches terrestres avec revêtement en feuille ,tuyaux perforer de drainage pour la déshydratation et des rampes d'accès 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 400-450 kg/m³. **(ONA, 2019)**



Figure 16 : Lits de séchage des boues (ONA, 2019)

CHAPITRE II

Matériels et Méthodes

1-Matériels

1-1-Matériels d'échantillonnage

-Filet de phytoplancton 10% dilue, flacons en plastique, glacière, entonnoir, seau, récipient d'échantillonnage.



Figure 17 : Matériels d'échantillonnage (photos originales, 2019).

1-2-Matériels de laboratoire

1: Balance, agar, 2: autoclave, 3: lame, lamelle et pipette pasteur, 4: boîte pitrie, la hotte, 5: erlenmeyer, agitateur magnétiques chauffant, papier aluminium, baron magnétique, 6: tubes avis, pipette, 7: flacons en verre stériles, 8: l'eau distillée, entonnoir, 9: bicher, spatule, éprouvette, 10: Microscope optique.

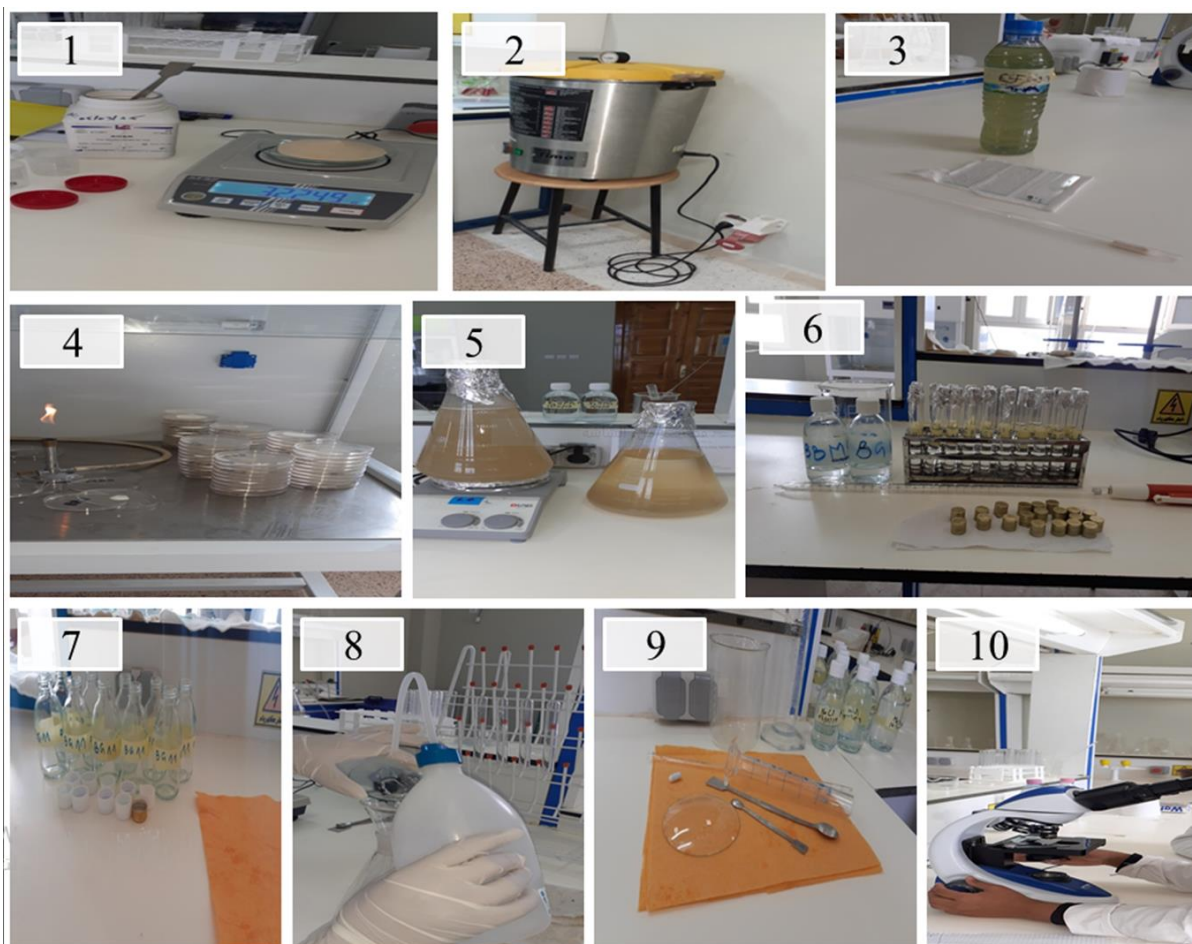


Figure 18 : Matériels de laboratoire (photos originales, 2019).

2-Méthodes

2-1-Méthode d'échantillonnages

2-1-1-Prélèvement

Rodier et al, (2009) ont indiqué, suivant plusieurs méthodes de références, que mode de prélèvement de l'eau diffère selon son origine. Dans le cas de l'eau d'un lac ou d'une retenue d'eau, il y'a lieu de choisir plusieurs points de prélèvements afin qu'ils soient le plus représentatif possible de tout le lac, à chaque sites on choisit 3 points.

A chaque point de prélèvement, des sous échantillonnages ont été traités. Certains ont été utilisés pour effectuer des observations microscopiques (à laquelle nous avons ajouté le formol 10% dilue), l'autres ont été utilisés pour mesurée les analyses physico-chimiques, et d'autres ont servi d'inoculum pour les différents isolements prévus (**Chader, 2009**). L'opération a été réalisée le 13 octobre 2019. Par temps nuageuse, à une température modéré presque 27°C. Les flacons en plastique après avoir été utilisées. Sur chacune un numéro d'ordre a été attribué avec la date, le lieu de récolte et le numéro du prélèvement.

2-1-2-Condition de conservation et de transport

- Les échantillons doivent être transportés dans une glacière.
- Leur conservation doit se faire à 4°C et à l'obscurité jusqu'à l'analyse au laboratoire qui doit débuter.

2-2- Analyse physicochimique d l'eau de Prélèvement

2-2-1-Détermination des paramètres physiques

Les paramètres physiques tels que la température (°C), le potentiel hydrogène (pH) , la conductivité électrique ($\mu\text{s} / \text{cm}$) on mesurée par l'appareil de multi paramètre



Figure 19: Appareil de multi paramètre (photos originale, 2019).

2-2-2-Détermination des paramètres chimiques

Le dosage des nitrate (NO_3), nitrite (NO_2), ammonium (NH_4), phosphate (PO_4), dioxyde de silicium (SiO_2), et le fer (Fe) par les méthodes classiques de dosage de tests rapides, et en plus mesurée la dureté (°f).



Figure 20 : matériel de tests rapides (S3, 2020).

2-3-Inventaires des microalgues

2-3-1-Observation microscopique des microalgues

Les échantillons contenant les microalgues doit être montée sur la lame pour l'observer sous microscope optique.

- On Déposer entre la lame et la lamelle une quelques gouttes d'échantillon par pipete pasteur (Préparer trois lames pour le même échantillon).
- Les lames sont prêtes pour l'observation au microscope (x10 et x 40).

2-3-2- Identification phénotypiques des microalgues

Effectuée à l'aide de livre les algues d'eau douce (**Pierre Bourrelly, 1990**) et site algaebase (**S7, 2020**) et aussi l'utilisation des clés de détermination (**Robert, E. L. 2008, Iain M. Suthers and David Rissik, 2009, Lizeth Botes, 2001, et Rossana López Osorio. Mary Luz Cañón Pérez. María Fernanda Gracia Escobar, 2011**).

2-4-Isolement et identification des microalgues

2-4-1-Préparation de milieu des cultures

- Pour la préparation 1 litre de milieu des cultures liquide BG11 ont disposée dans erlenmeyer 100 ml de NaNO_3 , 10 ml de chacune: K_2HPO_4 , $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, Citric acid, Ammonium ferric citrate green, $\text{EDTA} \cdot \text{Na}_2$, Na_2CO_3 et 1 ml de trace métal. Après tous en compléter par l'eau distillée jusqu'à 1 litre, pour la préparation de milieu des cultures solide de BG11 on fait les mêmes étapes précédentes, mais on ajoute 15g de gélose bactériologique, et après on mélangée ces solution par l'agitateur magnétiques chauffant, ensuite les deux solutions en fait stériles par l'autoclave pendant 15 minutes (voir de figure 21).
- Pour la préparation 1 litre de milieu des cultures liquide BBM ont disposée dans erlenmeyer 30 ml de NaNO_3 , 10 ml de: $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, $\text{K}_2\text{HPO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$, KH_2PO_4 , NaCl et 6 ml de trace élément. Après en compléter par l'eau distillée jusqu'à 1 litre, pour la préparation de milieu des cultures solide de BBM on fait les mêmes étapes précédentes, mais on ajoute 15g de gélose bactériologique, et après on mélangée ces solution par l'agitateur magnétiques chauffant, ensuite les deux solutions en fait stériles par l'autoclave pendant 15 minutes, enfin on ajoute 1 ml de vitamine B12 et 1 ml de vitamine B1 (voir de figure 22).

Notre choix a porté sur le BG11, BMM, car ils favorisent la croissance des microalgues. (**Chader, 2009**), et aussi justifié par son efficacité, rapporté dans les travaux similaires, portant sur l'isolement de microalgues et l'isolement de souches des eaux.



culturecollection
of algae and protozoa

BG11 (Blue-Green Medium)

Freshwater algae and protozoa

Stocks	per litre
(1) NaNO ₃	15.0 g
	per 500 ml
(2) K ₂ HPO ₄	2.0 g
(3) MgSO ₄ ·7H ₂ O	3.75 g
(4) CaCl ₂ ·2H ₂ O	1.80 g
(5) Citric acid	0.30 g
(6) Ammonium ferric citrate green	0.30 g
(7) EDTANa ₂	0.05 g
(8) Na ₂ CO ₃	1.00 g
(9) Trace metal solution:	per litre
H ₃ BO ₃	2.86 g
MnCl ₂ ·4H ₂ O	1.81 g
ZnSO ₄ ·7H ₂ O	0.22 g
Na ₂ MoO ₄ ·2H ₂ O	0.39 g
CuSO ₄ ·5H ₂ O	0.08 g
Co(NO ₃) ₂ ·6H ₂ O	0.05 g

Medium	per litre
Stock solution 1	100.0 ml
Stock solutions 2 - 8	10.0 ml each
Stock solution 9	1.0 ml

Make up to 1 litre with deionized water. Adjust pH to 7.1 with 1M NaOH or HCl. For agar add 15.0 g per litre of Bacteriological Agar (Oxoid L11)*. Autoclave at 15 psi for 15 minutes.

Supply
*Unipath Ltd, Wade Road, Basingstoke, Hants, RG24 0PW, UK

Reference
Stanier RY, Kunisawa R, Mandel M & Cohen-Bazire G (1971) Purification and properties of unicellular blue-green algae (Order Chroococcales). Bacteriol. Rev. **35**: 171-205.

media recipes

CCAP (Culture Collection of Algae and Protozoa), Dunstaffnage Marine Laboratory,
Oban, Argyll, PA37 1QA, UK
Tel: +44 (0)1631 559000 Fax: +44 (0)1631 559001 Email: ccap@sams.ac.uk Web: www.ccap.ac.uk

Protocole de préparation de milieu de culture BG11.

3N-BBM+V (Bold Basal Medium with 3-fold Nitrogen and Vitamins; modified)

Stock solutions in g / 1000 ml water		for 1 litre final medium
(1)	25.0 g NaNO ₃	30.0 ml
(2)	2.5 g CaCl ₂ ·2H ₂ O	10.0 ml
(3)	7.5 g MgSO ₄ ·7H ₂ O	10.0 ml
(4)	7.5 g K ₂ HPO ₄ ·3H ₂ O	10.0 ml
(5)	17.5 g KH ₂ PO ₄	10.0 ml
(6)	2.5 g NaCl	10.0 ml
(7)	trace element solution (see below)	6.0 ml
(8)	vitamin B ₁ (see below)	1.0 ml
(9)	vitamin B ₁₂ (see below)	1.0 ml

Make up to 1 litre with distilled water. Autoclave at 15 psi for 15 minutes.

Trace element solution (7)

Add to 1000 ml of distilled water 0.75 g Na₂EDTA and the minerals in exactly the following sequence:

FeCl ₃ ·6H ₂ O	97.0 mg
MnCl ₂ ·4H ₂ O	41.0 mg
ZnCl ₂ ·6H ₂ O	5.0 mg
CoCl ₂ ·6H ₂ O	2.0 mg
Na ₂ MoO ₄ ·2H ₂ O	4.0 mg

Vitamin B₁ (8)

0.12 g Thiaminhydrochloride in 100 ml distilled water. Filter sterile.

Vitamin B₁₂ (9)

0.1 g Cyanocobalamin in 100 ml distilled water, take 1 ml of this solution and add 99 ml distilled water. Filter sterile.



Figure 23 : milieu de culture solide et liquide de BBM et BG11

(Photos originales, 2020).

2-4-2-Ensemencement et conditions d'incubation

Le milieu de culture solide de BG11 et BBM gélosé a été réparti dans boîte de Pétri, les boîtes ont été inoculé par 1ml d'eau prélevé du lac, et vérifié étalé au moyen d'un étaioire en verre, le milieu de culture liquide de BG11 et BBM été disposée à 15 ml dans tubes avis (voire le figure 24).



Figure 24 : Ensemencement sur milieu de culture solide et liquide

(Photos originales, 2020).

Les incubations ont été réalisées, dans une chambre (Salle de Phyto) thermostatique grâce à un climatiseur à température de 25°C. Les boîtes disposées sur des étagères et les tubes avis dans un support (Figure 25) ont été exposées par périodes à un éclairage (Photopériodes : (Lumière / Obscurité): 16/8), la lumière étant produite par des tubes au néon (**Reynaud et Roger, 1977**). La durée d'incubation a varié de 15 à 21 jours.

Les paramètres qui influent grandement sur la croissance des microalgues en milieu solide, liquide et minéral sont la température, l'intensité lumineuse et la durée d'éclairement. **(Reynaud et Roger 1977)** ont rapporté que des températures de l'ordre de 35°C favorisent le développement des algues procaryotes et ralentissent celui des algues eucaryotes, tandis que des températures plus basses (25°C) produisent l'effet contraire.



Figure 25: Disposition des boîtes de Pétri et des tubes avis au cours l'incubation
(Photos originale, 2020).

CHAPITRE III
Résultats et Discussion

1- Paramètres physicochimiques des eaux de Prélèvement

La nature et la composition de l'eau conditionnent le développement, la connaissance de cette composition donne une idée de la qualité des eaux de chaque site de prélèvement, (**Chader, 2009**).

Il y a alors un intérêt évident à regrouper les paramètres les plus descriptifs en un ensemble homogènes pour permettre une interprétation adéquate des résultats analytiques.

Tableau 04 : Caractéristiques physicochimiques des eaux de Prélévées des régions de Biskra et El-oued

(1:Barrage Manbaa Elghizlane, 2:Barrage de Foum Elkharza, 3: Oued L'abyad, 4:Oued Abdi, 5:Oued Djemina, 6:Oued Djedi, 7: STEP1 Kouinine, 8: STEP2 Hassani Abdelkrim, 9: Lac d'El-oude).

Site	T (°C)	Conductivité (µS/cm)	PH	NH4 (mg/l)	NO2 (mg/l)	NO3 (mg/l)	PO4 (mg/l)	Sio2 (mg/l)	Fe (mg/l)	Dureté (°f)
Wilaya Biskra										
1	22±1	1501±4	8±0.2	0.1±0	0.1±0	1±0.3	0.1±0.1	2±0.2	0.1±0	20±2
2	23±2	1475±7	8±0.1	0.1±0.1	0.1±0.1	1±0.3	0.1±0	3±0	0.1±0	27±6
3	19±1	1156±55	8±0.1	0.1±0	0.03±0	1±0.3	0.1±0	2±3	0.1±2	23±1
4	29±1	1985±23	8±0.1	0.1±0	0.1±0.1	1±0.3	0.1±0.1	/	0.1±0	23±0
5	21±0	2860±0	8±0	0.1±0	0.1±0.1	0.1±0	0.1±0.1	6±0	0.1±0	35±16
6	27±3	7167±1252	8±1	0.1±0	0.4±1	5±8	0.3±0.5	0.4±0	0.1±0	39±38
Wilaya El-oued										
7	21±0	5000±0	8±0	52±0	3±0	2±0	2±0	/	/	/
8	29±1	98500±4498	8±1	0.1±0.1	0.1±0.1	0.3±0.3	0.1±0.1	1±0.1	0±0	/
9	23±0	5000±0	8±0	63±0	0.4±0	1±0	0.1±0	0.1±0	0.1±0	/

1-1- Paramètres physiques

L'utilisation de la méthode potentiométrique permet la mesure rapide, elle est à la fois utilisable sur le terrain et au laboratoire (**Rodier, 2009**). Le tableau 04 résume les résultats obtenus des analyses effectuées pour les 9 sites de prélèvement.

Les paramètres étudiés sont les plus influents sur la croissance des microalgues.

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

La température comme facteur physiologique sur la vitesse des réactions biologiques, l'activité biologique du milieu, il agit sur le métabolisme et la croissance de la plupart des organismes vivant dans l'eau, notamment ceux microscopiques (**Who, 1989**) et est, de ce fait,

directement liée à la vitesse de dégradation de la matière organique (**Mara et al., 1979**).

Les températures qui nous avons mesurées dans les régions étudiées ont trouvées entre 19 et 29°C, donc sont modérées.

- La conductivité électrique d'une eau est un indicateur direct de sa salinité. C'est un facteur vital à suivre lorsqu'on est intéressé par une réutilisation des eaux usées en agriculture (**Shilton et al., 2005**).

La conductivité électrique qui nous avons mesurées dans les zones étudiées ont trouvé très élevés où c'était entre 1156 et 98500 $\mu\text{S}/\text{cm}$, ces résultats nous assure que les eaux de ces zones sont salées.

Les valeurs de PH des eaux dans les 9 zones étudiées sont 8. Donc le pH est basique.

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

1-2- Paramètres chimiques

Les résultats des dosages classiques de phosphate, nitrates, nitrites, ammonium, fer, dioxyde de silicium et la dureté qu'analysés par les tests rapides (sur terrain) sont illustrés dans le tableau 04. La méthode utilisée pour le dosage de ces éléments est basée sur une réaction de coloration.

Les teneurs de ces éléments dans les zones humides de Biskra sont faibles et peut élève dans les sites de EL-Oued, sont expliqués le réduit de l'apport de la matière organique, ces éléments qui sont essentiellement de la décomposition de cette dernière, ces éléments sont considérés comme des indicateurs du degré de pollution organique de l'eau.

Enfin, les eaux des zones humides de Biskra sont divisée en deux nature selon la dureté, eaux moyen dure (20 à 27 °f) et très dure (plus de 30°f), ce la résulterait de la nature géologique du sites sont présence de roches calcaires.

2- Inventaire des microalgues

L'identification phénotypique des microalgues qui se trouve dans notre échantillons a été réalisée par l'utilisation des clés de détermination (Robert, E. L. 2008, Iain M. Suthers and David Rissik, 2009, Lizeth Botes, 2001, et Rossana López Osorio, Mary Luz Cañón Pérez, María Fernanda Gracia Escobar, 2011).

2-1- Résultats de l'observation microscopique

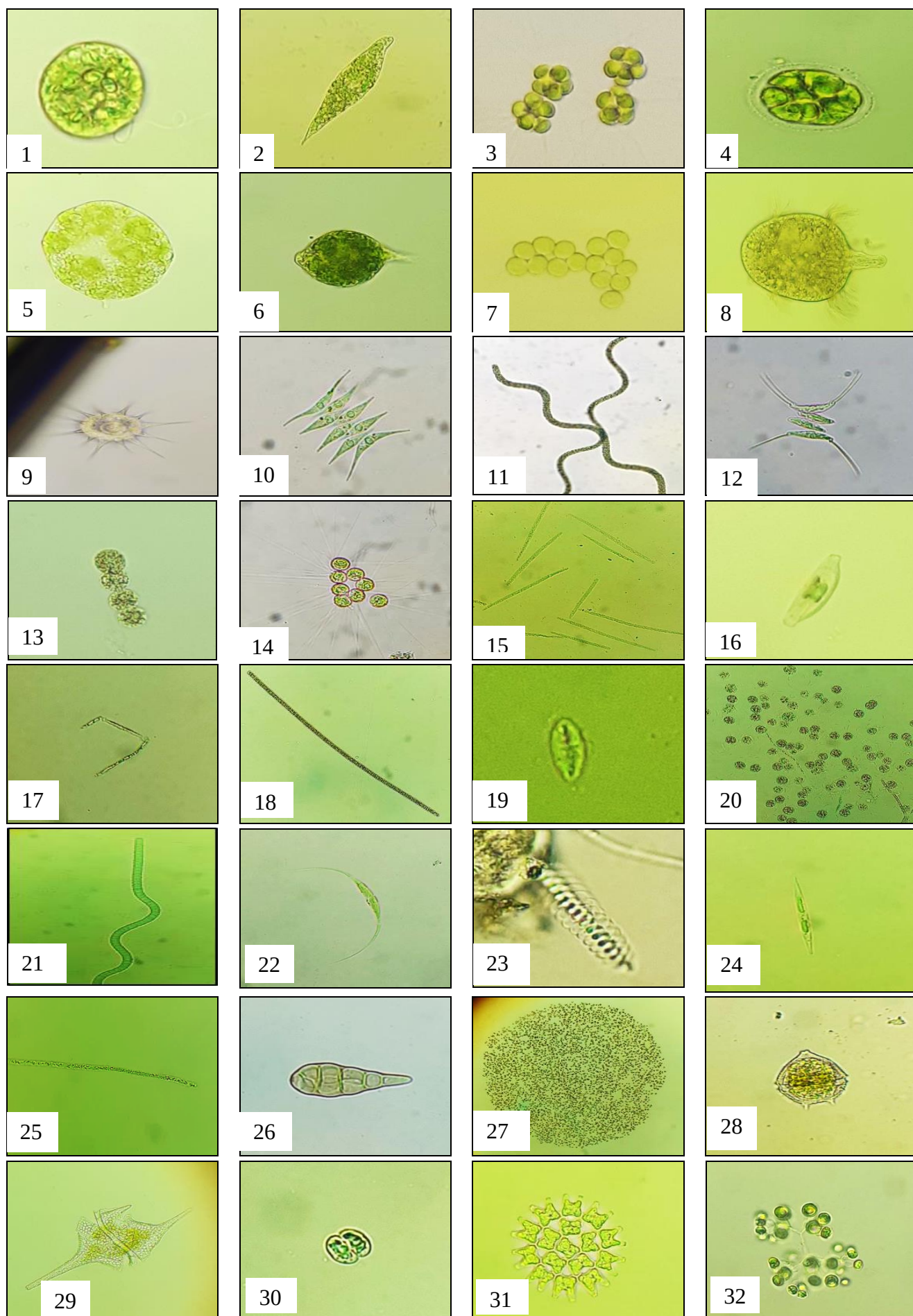
Tableau 05 : Observation microscopique et dénombrement des microalgues.

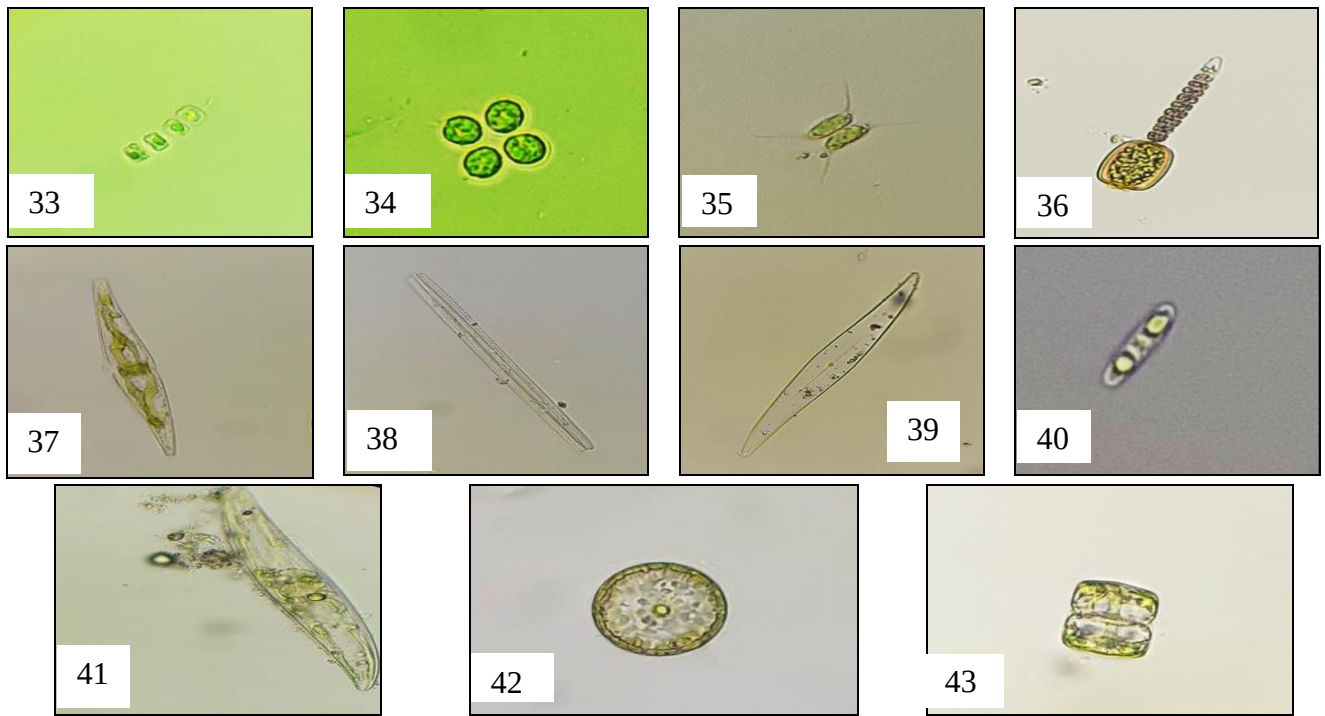
(S1: Barrage Manbaa Elghizlane, S2: Barrage de Fom Elkharza, S3: Oued L'abyad, S4: Oued Abdi, S5: Oued Djemina, S6: Oued Djedi, S7: STEP1 Kouinine, S8: STEP2 Hassani Abdelkrim, S9: Lac d'El-oude).

Nom des espèces	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9
<i>Euglena sp</i>	5±4	1±1	/	/	/	23±3	26±18	88±8	1±1
<i>Coelastrum sp</i>	/	/	/	/	/	2±2	1±1	/	/
<i>Eudorina sp</i>	/	/	/	/	/	/	28±15	/	/
<i>Didinium sp</i>	/	/	/	/	/	/	5±6	/	/
<i>Pandorina sp</i>	/	/	/	/	/	/	41±32	370±105	/
<i>Chlamydomonas sp</i>	3±1	/	/	/	/	6±2	10±12	/	334±118
<i>Phacus sp</i>	/	/	/	/	/	/	18±9	479±166	/
<i>Goniun sp</i>	/	22±38	/	/	/	/	1±1	/	/
<i>Diatome sp</i>	/	/	/	1±1	/	/	/	1±1	/
<i>Spirulina sp</i>	/	6±3	/	/	/	/	/	2±2	/
<i>Scenedesmus opoliensis</i>	/	/	/	/	/	/	/	6±2	/
<i>Micractinium sp</i>	/	/	/	/	/	/	/	1±1	/
<i>Amphora sp</i>	/	/	/	/	/	/	/	/	1±1
<i>Cylindrospermopsis raciborskii</i>	111±38	/	/	/	/	/	/	/	2284±201
<i>Alexandrium catenella</i>	/	/	/	/	/	/	/	/	188±113
<i>Navicula sp</i>	/	/	/	/	/	/	/	/	4±3
<i>Chlorella sp</i>	29±51	/	/	/	/	/	/	/	/
<i>Closteriopsis sp</i>	1±1	/	/	/	/	/	/	/	/
<i>Gibberella sp</i>	1±1	1±1	/	/	/	/	/	/	/
<i>Vorticella sp</i>	2±2	/	/	/	/	/	/	/	/
<i>Microcystis flosquae</i>	11±14	1±1	/	/	/	/	/	/	/
<i>Nitzschia closterium</i>	1±1	12±7	/	/	/	226±134	/	/	/

<i>Cylindrospermopsis</i> <i>sp</i>	155±36	109±39	/	/	/	/	/	/	/
<i>Planktothrix</i> <i>isothrix</i>	5±3	36±14	/	/	/	/	/	/	/
<i>Protoperdinium</i> <i>limbatum</i>	7±6	27±16	/	/	/	/	/	/	/
<i>Dictyosphaerium</i> <i>pulchellum</i>	1±2	/	/	/	/	/	/	/	/
<i>Phormidium</i> <i>sp</i>	2±3	1±1	/	/	/	/	/	/	/
<i>Cuspidothrix</i> <i>issatascheenkou</i>	/	31±8	/	/	/	/	/	/	/
<i>Scenedesmus</i> <i>dimorphus</i>	/	1±0	/	/	/	/	/	1±1	/
<i>Tetraspora</i> <i>sp</i>	/	1±1	/	/	/	/	/	/	/
<i>Caratium</i> <i>hirundinella</i>	/	26±1	/	/	/	/	/	/	/
<i>Scenedesmus</i> <i>sp</i>	/	2±2	/	/	/	/	/	/	/
<i>Thalassiosira</i> <i>rotula</i>	/	2±1	/	/	/	/	/	/	/
<i>Cylindrospermum</i> <i>alatosporum</i>	/	1±1	/	/	/	/	/	/	/
<i>Pleurosigma</i> <i>directum</i>	/	1±1	/	/	/	/	/	/	/
<i>Pediastrum</i> <i>duplex</i>	/	3±3	/	/	/	/	/	/	/
<i>Pinularia</i> <i>sp</i>	/	/	45±60	1±1	/	/	/	/	/
<i>Pleurosigma</i> <i>sp</i>	/	/	/	2±1	/	/	/	/	/
<i>Gyrosigma</i> <i>balticum</i>	/	/	/	/	/	40±22	/	/	/
<i>Thalassiosira</i> <i>onguste</i>	/	/	/	/	/	20±2	/	/	/
<i>Diatoma</i> <i>hiemale</i>	/	/	/	/	/	20±11	/	/	/
<i>Dictyocha</i> <i>octonaria</i>	/	/	/	/	/	3±2	/	/	/

En générale, les sommes des souches qui identifiées sont 43, où nous remarquons les espèces dominants dans chaque site comme suit: dans STEP1 Kouinine: *Pandorina* *sp*, STEP2 Hassani Abdelkrim: *phacus* *sp*, Lac d'El-oued: *Chlamydomonas* *sp*, Barrage Manbaa Elghizlane et Barrage de Foug Elkhazza: *Cylindrospermopsis* *sp*, Oued L'abyad: , *Pinularia* *sp*, Oued Abdi: *Pleurosigma* *sp*, et Oued Djedi: *Nitzschia closterium*).





1: *Chlamydomonas* sp, 2: *Euglena* sp, 3: *Coelastrum* sp, 4: *Pandorina* sp, 5: *Eudorina* sp, 6: *Phacus* sp, 7: *Goniun* sp, 8: *Didinium* sp, 9: *Dictyocha octonaria*, 10: *Scenedesmus dimorphis*, 11: *Spirulina* sp, 12: *Scenedesmus opoliensis*, 13: *Alexandrium catenella*, 14: *Micractinium* sp, 15: *Cylindrospermopsis raciborskii*, 16: *Amphora* sp, 17: *Cylindrospermopsis* sp, 18: *Planktothrix isothrix*, 19: *Navicula* sp, 20: *Chlorella* sp, 21: *Phormidium* sp, 22: *Closteriopsis* sp, 23: *Vorticella* sp, 24: *Nitzschia closterium*, 25: *Cuspidothrix issatascheenkou*, 26: *Gibberella* sp, 27: *Microcystis flosquae*, 28: *Protoperidinium limbatum*, 29: *Caratium hirundinella*, 30: *Cosmarium* sp, 31: *Pediastrum duplex*, 32: *Dictyosphaerium pulchellum*, 33: *Thalassiosira rotula*, 34: *Tetraspora* sp, 35: *scenedesmus* sp, 36: *Cylindrospermum alatosporum*, 37: *Pleurosigma directum*, 38: *Pinularia* sp, 39: *Pleurosigma* sp, 40: *Diatoms* sp, 41: *Gyrosigma balticum*, 42: *Thalassiosira onguete*, 43: *Diatoma hiemale*.

**Figure 26 : Les espèces des microalgues identifiées à grossissement x40
(Photos originale, 2020).**

3- Isolement et identification des microalgues

3-1- Etude microscopique des microalgues isolées

L'étude microscopique a permis l'observation de formes très variées des souches microalgales sélectionnées, depuis les formes unicellulaires solitaires jusqu'aux formes filamenteuses. L'observation à l'état frais, a permis de distinguer les formes mobiles des formes immobiles, et le mode de groupements pour les formes coloniales.

les souches isolées dans les régions de wilaya Biskra sont: *Closteriopsis sp* dans Barrage de Manbaa Elghizlane et les souches isolées dans les régions de wilaya d'El-oued sont: *Chlorella sp* dans STEP1 Kouinine, et *Scenedesmus sp* dans STEP2 Hassani Abdelkrim.

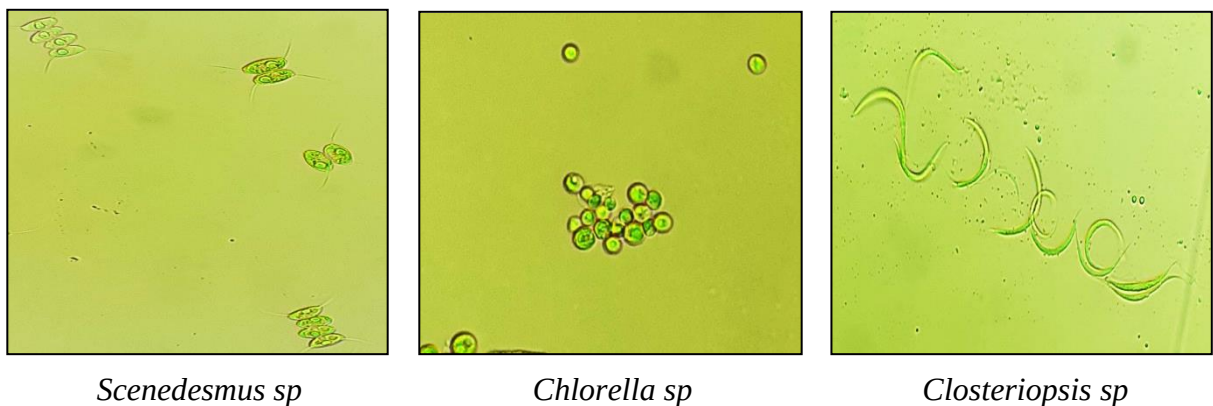


Figure 27 : Les souches des microalgues isolées (Photos originale, 2020).

- *Chlorella sp* est une microalgues verte très connue vivent dans l'eau douce, peut également pousser dans des environnements extrêmes, des températures élevées de 30 à 35°C (Converti et al., 2009) et des environnements acides comme un pH de 3 (Mayo, 1997), cette souche on isolée d'une site STEP1 Kouinine sous conditions le pH est 8, la température 21°C et l'eau salée.

Donc, cette souche a la capacité de s'adapter dans des environnements basiques et à basses températures en plus, il peut survivre dans l'eau salée.

- *Scenedesmus sp* est un genre des microalgues vertes vivent dans l'eau douce, la température optimale entre 20 et 40°C et pH allant de 7.6 à 9.2 (Sanchez et al, 2008), Nous avons isolé cette souche d'une site STEP2 Hassani Abdelkrim qui se caractérise par leur l'eau est salée, température modérée 29°C et pH est 8.

Donc ces conditions sont favorables pour ce genre des microalgues, à l'exception la salinité de l'eau, ces algues se sont adaptées à ce milieu.

- *Closteriopsis sp* sont des microalgues vertes d'eau douce , la température idéale est 20°C

et pH égale 8.5 (S2, 2020), Nous avons isolé cette souche d'une site Barrage de Manbaa Elghizlane qui se caractérise par les conditions environnementales de salinité de l'eau et des températures modérées 22°C et la du milieu basique pH 8.

Cela confirme la capacité de cette espèce à s'adapter et à survivre même en eau salée.

Conclusion générale

La bioremédiation est une option qui offre la possibilité de détruire ou de rendre moins toxiques les polluant. Dans le domaine de la bioremédiation, on aura de plus en plus tendance à observer la vitesse de la biodégradation naturelle et à intervenir seulement si l'activité naturelle ne suffit pas pour éliminer assez rapidement le polluant. Les méthodes biologiques faisant appel aux microalgues dépolluants ont prouvé leur efficacité épuratrice pour dépollution biologique des eaux usées connue sous le nom de la phycoremédiation (**Chedly ABDELLY , 2006**).

Notre étude nous a fait d'identifier les espèces des microalgues vertes d'intérêt écologique qui se trouve dans les zones humides sélectionnées de wilaya Biskra et d'El-Oued et leur importance dans le traitement des eaux usées.

Notre travail a consisté à faire l'inventaire des différentes analyses effectuées à la détermination des paramètres physico-chimiques sur les eaux usées dans zones étudiées.

A la lumière des résultats obtenus au niveau des paramètres physicochimiques mesurés elles ont montré que:

Les paramètres physiques (Température, pH, conductivité électrique), les différents paramètres mesurés pour l'eau usée indiquent évidemment une pollution importante. Cette eau usée présente une température moyenne et un pH légèrement basique favorable pour la prolifération des microalgues qui établissent un parfait équilibre biologique, Elle se caractérise par une conductivité excessive.

En ce qui concerne les paramètres chimiques (NH_4^+ , NO_3^- , NO_2 , PO_4^- , SiO_2 , Fe, et la dureté). Les résultats des analyses ont montré qu'il y'a une réduction remarquable de ces paramètres, elles restent toujours inférieure aux valeurs des eaux usées. Ces éléments indiquent la présence ou l'absence de contamination par décomposition de la matière organique.

Dans ce travail, l'identification phénotypique des 43 espèces du microalgues vertes parmi eux : *Spirulina sp*, *Micractinium sp*, *Euglena sp*, *Scenedesmus dimorphis*, *Pediastrum duplex*, *Chlorella sp*.

A la fin de l'isolements, nous obtenons trois souches sont *Closteriopsis sp* dans Barrage de Manbaa Elghizlane, *Chlorella sp* dans STEP1 Kouinine, et *Scenedesmus sp* dans STEP2 Hassani Abdelkrim. Malgré le changement des conditions de vie de ces trois souches, elles se sont adaptées et avaient le potentiel de s'y croissance.

En conclusion, pour confirmer la sensibilité de ces microalgues et leur efficacité à éliminer les métaux lourds et polluants chimiques qui probables trouvons dans les eaux usées mais en raison de la présence du virus Corona, qui a bloqué toutes les activités dans le monde. ceci qui nous a empêché de terminer notre étude.

Perspective et recommandation

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

- Construire des systèmes expérimentaux pour tester l'efficacité des microalgues dans un domaine de différentes conditions environnementales dans le traitement eaux usée.
- Utilisation les eaux traitées dans les différents activités fournières, par exemple, on l'utilisée dans l'irrigation des végétaux (les arbres) et de forêt ; quand 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.

Reference bibliographie

- 1) **Altmeyer, N., Abadia, G., Schmitt, S et Leprince, A. 1990.** Risques microbiologiques et travail dans les stations d'épuration des eaux usées. Document pour le médecin du travail, n°44, pp 374-377.
- 2) **Andersen R.A., 1992,** Diversity of eukaryotic algae Biodiversity and Conservation, 267–292p.
- 3) **Anonyme. 2004.** Dictionnaire Larousse.
- 4) **Aroua, A. 1994.** L'homme et son milieu. Edition société national. Alger, 73-85p.
- 5) **Asano, T. 1998.** Wastewater reclamation and reuse. Ed, Water quality management library, 1475 P.
- 6) **Assobhei, O. 2009.** Traitement des boues : Cas du procédé MOROCOMP développé dans le cadre du projet LIFE 05 TCY/MA/000141. Atelier Ass. Epur. Réut. Agadir, 7-11 décembre 2009. Univ. ChouaibDoukkali, El Jadida – Maroc. 51p.
- 7) **Barsanti L, Gualtieri P.2014.**Algae Anatomy, Biochemistry, and Biotechnology. Editon^{msd} LLC . Taylor & Francis.320p.
- 8) **Bassompierre, C. 2007.** procédé à boues activées pour le traitement d'effluents papetiers : de la conception d'un pilote a la validation de modèles. Thèse Doctorat Institut National Polytechnique De Grenoble, pp 25-42.
- 9) **Baudot, B., Perera, P. 1991.** Guide procédés extensifs d'épuration des eaux usées adaptés aux petites et moyennes collectivités. 21p.
- 10) **Becerra Celis G.2009.**Proposition de stratégies de commande pour la culture de microalgues dans un photo bioréacteur continu. Thèse doctorat Génie des Procédés. Écolecentrale Paris.266p.
- 11) **Bechac, J, Boutin. P, Mercier.B, 1983,** Traitement des eaux usées. 2ème Edition.
- 12) **Bhatnagar A, Chinnasamy S, Singh M, Das KC (2011),** Renewable biomass production by mixotrophic algae in the presence of various carbon sources and wastewaters. Appl Energy 88:3425–3431p.
- 13) **Blin, J, 2007,** La biomasse - Source d'énergie. In Institut International d'ingénierie de l'Eau et de l'Environnement, <https://cutt.us/VDKXt>
- 14) **BOILEAU, M. E, (2015),** évaluation du potentiel d'utilisation d'une eau usée industrielle comme substrat de culture pour des microalgues d'eau douce dans une optique de production de biocarburants de 3e génération. Mémoire de Maître en environnement (M.env.) . Centre universitaire de formation en environnement et développement durable, Université de Sherbrooke.
- 15) **Boudeal, Djouid, H. 2003.** Pollution de l'Oued boussellem par les eaux usées urbaines et

- industrielles et impact de leur utilisation dans l'irrigation. Thèse ing, des écosystèmes universitaires, Stif. 6-13p.
- 16) **Bougaran Gaël , Saint-Jean Bruno, 2014,** Microalgues: de petits végétaux aux grandes promesses, 8p.
- 17) **Bountoux J. 1993.** Introduction à l'étude des eaux douces (eaux naturelles, eaux usées, eaux de boisson) qualité et santé 2eme édition CEBEDOC éditeur. Paris.167p.
- 18) **Bouziani, M. 2000.** L'eau de la pénurie aux maladies. Edition IBN-Khaldoun.Oran. 247p.
- 19) **Cai T, Park SY, Li Y (2013),** Nutrient recovery from wastewater streams by microalgae: status and prospects. *Renew Sust Energ Rev* 19:360–369p.
- 20) **Cardot, C. 2010.** Les traitements de l'eau pour l'ingénieur procédés physicochimiques et biologiques cours et problèmes résolus génie de l'environnement. Ed. Ellipses.302p.
- 21) **CARLIER A.,2008,** Les microalgues Usines cellulaires productrices de molécules commerciales recombinantes. *MEDECINE/SCIENCES*, 375-381p.
- 22) **Chader S, 2009,** Etude du mécanisme de production biologique de l'hydrogène par les microalgues. Le de Doctorat. En Sciences de la Nature. Spécialité: Biologie de la rhizosphère. Fac des sciences biologiques, 104 p.
- 23) **Chedly ABDELLY , 2006,** Bioremédiation / Phytoremédiation , département des sciences naturelles,université de Tunis, 32pages: 13.
- 24) **Chen G, Zhao L, Qi Y (2015),** Enhancing the productivity of microalgae cultivated in wastewater toward biofuel production: a critical review. *Appl Energy* 137:282–291p.
- 25) **Chevalier. P et al, 2002,** Technologies d'assainissement et prévention de la pollution, Sainte-Foy (Québec), Université du Québec - Télé-université, 440 p.
- 26) **Chiu S-Y, Kao C-Y, Chen T-Y, Chang Y-B, Kuo C-M, Lin C-S (2015),** Cultivation of microalgal *Chlorella* for biomass and lipid production using wastewater as nutrient resource. *Bioresource Technology* 184:179–189p.
- 27) **Chokshi K, Pancha I, Ghosh A, Mishra S (2016),** Microalgal biomass generation by phycoremediation of dairy industry wastewater: an integrated approach towards sustainable biofuel production. *Bioresour Technol* 221:455–460p.
- 28) Conservation des forêts de wilaya d'El-oued, 2020.
- 29) **Converti, A., A. A. Casazza, E. Y. Ortiz, P. Perego, and M. Del Borghi. 2009.** Effect of temperature and nitrogen concentration on the growth and lipid content of *Nannochloropsis oculata* and *Chlorella vulgaris* for biodiesel production. *Chemical Engineering and Processing* 48(6):1146-1151p.
- 30) **CRBM (Centre de recherche sur les biotechnologies marines de Rimouski) , 2006,**

- Étude d'opportunité des biotechnologies marines sur la production et l'utilisation des microalgues. Alain Guillou, 292 p.
- 31) **Der Hok W. V. 2007.** A Framework for a Global Assessment of the Extent of Wastewater Irrigation: The Need for a Common Wastewater Typology. Wastewater Use in Irrigated Agriculture coordinating the Livelihood and Environmental Realities. Eds. CAB Inter. Inter Water Management Institute, and Inter. Devel. Research Centre. pp 16-29p.
- 32) **Diadié D.2009.** Production d'aliments enrichis en acides gras polyinsaturés à partir de microalgues pour les besoins aquacoles. mémoire .Québec à rimouski .139p.
- 33) **Dipesh Kumar, Bhaskar Singh, and Ankit, 2019,** Phycoremediation of Nutrients and Valorisation of Microalgal Biomass: An Economic Perspective, 2-4p.
- 34) Direction des ressources en eau de wilaya Biskra, 2020.
- 35) **Effeby, K. R. 2009.** Lagunage anaérobie : modélisation combinant la décantation primaire et la dégradation anaérobie. Thèse Doctorat. Université de Liège Campus d'ARLON, pp 7-9p.
- 36) **Faby, J. A .Brissaud, F. 1997.** L'utilisation des eaux usées épurées en irrigation. Office International de l'Eau, 76 p.
- 37) **Falkowski, P. G. et Raven, J. A. (2007).** Aquatic photosynthesis, Second edition édition. Pinceton University Press, United Kingdom, 484 p.
- 38) **FILALI R,2012,** Estimation et commande robustes de culture de microalgues pour la valorisation biologique de CO2.thèse doctorat Sciences et Technologies de l'Information des télécommunications et des Systèmes, AUTOMATIQUE. HAL, 221p
- 39) **Gana N, 2014,** Détermination de certains paramètres biochimiques urinaires chez le rat wistar recevant un régime cafeteria supplémenté en algues vertes, Mémoire Mastère physiopathologie cellulaire, Université Abou BekrBelkadi Tlemcen, 41p.
- 40) **Garzón-Zúñiga, M, González-Martínez, S. 1996.**Biological phosphate and nitrogen removal in a biofilm sequencing batch reactor. Water Sci. Technol, p, 293–301.
- 41) **GAUJOUS, D. (1995).** La pollution des milieux aquatique. aide-mémoire. Edition, technique et Documentation Lavoisier, P 220.
- 42) **Gembloux. 1998.** Utilisation des eaux usées en irrigation, approche globale du traitement des effluents, comparaison de différents systèmes d'irrigation sur diverses cultures et leurs aspects institutionnels et organisationnels. Projet de l'Union Européenne. "AVICENNE initiative" n° AVI*CT94 – 0002. Février 1995- février 1998. 4p.
- 43) **GRAINI L, 2011,** Contrôle de la pollution de l'eau par méthode acousto-optique. Université Ferhat Abbas-Setif. Présenté à l'institut d'optique et de mécanique de précision pour

l'obtention du diplôme de magister, 82p.

- 44) **Gregory C.1985.**Encyclopedia universalis. Edition^{end} Paris.797 p.
- 45) **Grosclaude, G. 1999.** Un point sur l'eau. Tome II usages et polluants. Edition Dunod. Paris.
- 46) **Guilloteau, J. A. 1992.** Traitement des eaux résiduaires par infiltration percolation. Thèse doc .P.21. 170 p.
- 47) **Humenik, F. J., Hanna, G. P, 1971,** Algal-bacterial symbiosis for removal and conservation of wastewater nutrients. J.W.P.C.F., 43 (4): 580-594.INRA. Paris. P210.
- 48) **Idealg, 2014,** Etude de la consommation des algues alimentaires en France, 71p.
- 49) **Iain M. Suthers and David Rissik, 2009,** plankton: A guide to their ecology and monitoring for water quality,256 pages:130-135.
- 50) **Imran Pancha, Kaumeel Chokshi, and Sandhya Mishra, 2019,** Industrial Wastewater-Based Microalgal Biorefinery: A Dual Strategy to Remediate Waste and Produce Microalgal Bioproducts, 175-178p.
- 51) **INRS. 2004.** Institut National de Recherche et de Sécurité. Traitement des eaux usées. Rue Olivier-Noyer 75680 paris cedex 14 .p 2.
- 52) **Jean-Louis, 2006,** Le secteur des micro-algues en Méditerranée, Perspectives et contribution au développement durable, 94p.
- 53) **Junger, J. F. 2000.** The reuse of urban waste water in agriculture : European Research on Treated Wastewater Reuse in Agriculture. Urban Technology Network Project 10th.7p.
- 54) **K. B. Cantrell, T. Duc et K. S. Ro, P. G. Huit, 2009,** Livestock waste to bioenergyopportunités, Biosource Technology, 7941-7953p.
- 55) **Kalogo, Y., Verstraete ,W. 1999.** Development of anaerobic sludge bed (ASB) reactor technologies for domestic waste water treatment: motives and perspectives. World Journal of Microbiology and Biotechnology, 15, pp 523-534p.
- 56) **Kettab, A. 1992.** Traitement des eaux. Les eaux potables. Edition: Office des Publications Universitaires. Alger: 4. P 118-111-123.
- 57) **Khalil hanna, 2004,** étude de faisabilité de l'utilisation de molécules "cage" dans la dépollution des sols: solubilisation et extraction de polluants organiques par les cyclodextrines, 73p, 91-93p.
- 58) **Kim HC, Choi WJ, Chae AN, Park J, Kim HJ, Song KG (2016),** Evaluating integrated strategies for robust treatment of high saline piggery wastewater. Water Res 89:222–231p.
- 59) **Ladjel, F. 2006.** Exploitation d'une station d'épuration à boue activée niveau 02. Centre de formation au métier de l'assainissement. CFMA-Boumerdes, p80.

- 60) **Lazarova, V., Gaid, A., Rodriguez-Gonzales, J., Alday, J., Ansola, J. 2003.** L'intérêt de la réutilisation des eaux usées : analyses d'exemples mondiaux. Techniques, Sciences et Méthodes, N 9, p 64-85.
- 61) **Leyval, C., 2008.** Les organismes du sol au service de la bioremédiation. LIMOS UMR 7137 Université de Nancy, CNRS, faculté des sciences.01P.
- 62) **Lizeth Botes, 2001,** Phytoplankton Identification Catalogue, 77 pages: 4-70.
- 63) **Macedo, M. F, Miller, A. Z, Dionísio, A et Saiz-Jimenez, C, 2009,** Biodiversity of cyanobacteria and green algae on monuments in the Mediterranean Basin: an overview. Microbiology, volume 155, numéro 11, 3476-3490p.
- 64) **Madigan, M., Martinko, J., 2007.** Biologie des microorganismes. 11ème édition, Pearson/éducation, Paris, pp 918-932p.
- 65) **Madjouri H, Amouria H. 2007.** Contribution au traitement des eaux usées en vue de leur réutilisation en irrigation Étude site- S.T.E.P de Touggourt. Mém. D.E.A. Traitement des eaux et des fluides. Univ. de Ouargla.85p.
- 66) **MARA, D., SILVA, S.A., CEBALLOS, B. (1979).** Design verification for tropical
- 67) **Martek, 2008,** Martek Biosciences corporation. In Martek. Aboutmartek.martek.com, <https://cutt.us/WCwpv>.
- 68) **Mayo, A. W. 1997.** Effects of temperature and pH on the kinetic growth of unialga *Chlorella vulgaris* cultures containing bacteria. Water Environment Research 69(1):64-72p.
- 69) **METAHRI Mohammed Saïd, 2012,** Elimination simultanée de la pollution azotée et phosphatée des eaux useestraitees, par des procédés mixtes. Cas de la STEP Est de la ville de Tizi-Ouzou, Thèse de doctorat université mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, 5-27p.
- 70) **Milledge J, 2011,** Commercial application of microalgae other than as biofuels: a brief review. Reviews in Environmental Science and Biotechnology, 10-11p.
- 71) **Moulin, S., Rozen-Rechels, D., Stankovic, M., 2013.** Traitement des eaux. ATELIER L'OEUVRE Qualit. vs Quantit. Centre d'Enseignement et de Recherches sur l'Environnement et la Soci.t. 24 rue Lhomond 75005 Paris.
- 72) **Muller-feuga A, Moal J, Kaas R, 2003,** the aquaculture of microalgae, London, 206–252p.
- 73) **Parhad, N. M., Rao, N. U, 1974,**Effect of pH on survival of *Escherichia coli*. Jourl. Water Poll. Control. Fed., 46 : 980-986p.
- 74) **Pearson, H. W, Mara, D. D, Mills S W, Smallman, D. L, 1987,** Factorsdeter-mining algal

- population in waste stabilization ponds and the influence of algae on pond performance, 131-140p.
- 75) **Person J. 2011.** Algues, filières du futur. Edition: Adebiotech Romainville.France.182p.
- 76) **Person, Julie. 2010.** LIVRE TURQUOISE Algues, filières du futur. s.l.: Adebiotech , Romainville, 2010. p. 182.
- 77) **Picard, C. 2011.** Transfert de matière dans un biofilm aéré sur membrane. Thèse de doctorat spécialité: Génie des procédés et de l'environnement. Université de Toulouse.
- 78) **Pierre Burrelly, 1990,** les algues d'eau douce: initiation à la systématique, tome I: les algues vertes, 572p.
- 79) **Pouliot, Y., Delanoue, J, 1985,** Mise au point d'une installation pilote d'épuration tertiaire des eaux usées par production de microalgues. Rev. Franç. des sci. De l'eau, 4: 207-222p.
- 80) **Prescott, Harley, Klein. 2007.** Microbiologie. 2ème Edition de Boeck, Paris, pp 837-855p.
- 81) **Rawat I, Kumar RR, Mutanda T, Bux F (2011),** Dual role of microalgae: phycoremediation of domestic wastewater and biomass production for sustainable biofuels production. Appl Energy 88:3411–3424p.
- 82) **Rejsek, F. 2002.** Analyse des eaux aspects réglementaires et techniques.Ed CRDP, Aquitaine. France.
- 83) **REVIERS B, 2002 ,** Biologie et phylogénie des algues tome 1.Edition, BELIN, Paris, 225Pp.
- 84) **Reynold A.et Rauger A, 1977,** Milieux sélectifs pour la numération des algues eucaryotes, procaryotes et fixatrices d'azote, 421-428p.
- 85) **Richmond A.2004.**Handbook of microalgal Culture: Biotechnology and Applied Phycology. Eder. Blackwell Science Ltd.545p.
- 86) **Robert, E. L. 2008.** Phycology. Cambridge University Press. Cmbridge, New York, Melbourne, Madrid, Cape Town, Singapore, Sao Paulo.
- 87) **Rodier J, Legube B. et Merlet, N.2009,** L'analyse de l'eau, 9ème Ed, DUNOD, Paris, 1579p.
- 88) **Romdhane Marwa, 2010,**Immobilisation des bactéries isolées à partir des zones minières sur des supports polymériques pour la bioremédiation, Mémoire de projet de mastère soutenu à Sidi Thabet, 49 pages: 2.
- 89) **ROSSANA LÓPEZ OSORIO. MARY LUZ CAÑÓN PÁEZ. MARÍA FERNANDA GRACIA ESCOBAR, 2011,** Catálogo de Fitoplancton de la Bahía de Cartagena, Bahía Portete y Agua de Lastre, 130pages:19-105.
- 90) **Ruiz G, 2005,**Extraction, Détermination Structurale et Valorisation Chimique de

phycocolloïdes d'Algues Rouges, Thèse de doctorat en Chimie appliquée, Université de Limoges, 265 p.

- 91) **Ruiz-Marin A, Mendoza-Espinosa LG, Stephenson T (2010)**, Growth and nutrient removal in free and immobilized green algae in batch and semi-continuous cultures treating real wastewater. *Bioresour Technol* 101:58–64p.
- 92) **Sadi M., 2012**. Les micro algues: un défi prometteur pour des biocarburants propres. *des Energies Renouvelables SIENR*.vol.12(195-200) :195-202.
- 93) **Salama E-S, Kurade MB, Abou-Shanab RAI, El-Dalatony MM, Yang I-S, Min B, Jeon B-H (2017)**, Recent progress in microalgal biomass production coupled with wastewater treatment for biofuel generation. *Renew Sust Energ Rev* 79:1189–1211p.
- 94) **Sanchez, J. F., J. M. Fernandez-Sevilla, F. G. Acien, M. C. Ceron, J. Perez-Parra, and E. Molina-Grima. 2008**. Biomass and lutein productivity of *Scenedesmus almeriensis*: influence of irradiance, dilution rate and temperature. *Applied Microbiology and Biotechnology* 79 (5):719-729p.
- 95) **Sharma Naveen Kumar, Rai A.K, 2011**, Biodiversity and biogeography of microalgae : progress and pitfalls, 15pages: 1–15.
- 96) **SHILTON, A., WALMSLEY, N., PEARSON, H., PATERSON, C., CURTIS, T., CRAGGS, R., DAVIES-COLLEY, R., MARA D. (2005)**. *Pond Treatment Technology*, IWA Publishing, London, Seattle, 479 p.
- 97) **Sialve B, Steyer J-P, 2013**, Les microalgues, promesses et défis. *Innovations Agronomiques*, 25-39p.
- 98) **Spolaore P, Joannis-Cassan C, Duran E, Isambert A, 2006**, Commercial applications of microalga, *Journal of bioscience and bioengineering*, 101pages: 87–96..
- 99) **T. M. Mata, A. A. Martins, and N. S. Caetano, Jan 2010**, "Microalgae for biodiesel production and other applications: A review", *Renew. Sustain. Energy Rev*, 217-232p.
- 100) **Thomas O. 1955**. *Météorologie des eaux résiduaires*, Tec et Doc, Ed Lavoisier, Cedeboc, 135-192 p.
- 101) **ONA . (2019)**. Rapport de l'office national de l'assainissement d'El'oued, Algérie
- 102) **Wang, L, Min, M., LI Y, Chen, P, Chen, Y, Liu, Y, Wang, Y, Ruan ,2010**, Cultivation of green algae *Chlorella* sp. in different wastewaters from municipal wastewater treatment plant. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 1174-1186p.
- 103) **World Health Organization (WHO). 1989**. Guidelines for the Use of Wastewater in Agriculture and Aquaculture. Technical Report Series No. 778. WHO, Geneva.
- 104) **Xiong, W. & Li, X. & Xiang, J. & Wu, Q, 2008**, High-density fermentation of microalga

- Chlorellaproteoideoides in bioreactor for microbio-diesel production. In Applied Microbiology - Biotechnology, 78pages :29–36p
- 105) Xu, H, Miao, X. and Q. Wu, 2006,** High Quality Biodiesel Production from a Microalga Chlorella proteoideoides by Heterotrophic Growth in Fermenters. In Journal of Biotechnology, 499-507p.
- 106) Zahir BAKIRI, 2007,** Traitement des eaux usées par des procédés biologiques classiques : expérimentation et modélisation, Université FERHAT ABBAS-SETIF UFAS (ALGERIE), 14-46p.
- 107) Zeng X, Guo X, Su G, Danquah MK, Zhang S, Lu Y et al (2015),** Bioprocess considerations for microalgal-based wastewater treatment and biomass production. Renew Sust Energ Rev 42:1385–1392p.
- 108) Zhou W, Chen P, Min M, Ma X, Wang J, Griffith R et al (2014),** Environment-enhancing algal biofuel production using wastewaters. Renew Sust Energ Rev 36:256–269
- 109) Zhou W, Hu B, Li Y, Min M, Mohr M, Du Z et al (2012),** Mass cultivation of microalgae on animal wastewater: a sequential two-stage cultivation process for energy crop and omega-3-rich animal feed production. Appl Biochem Biotechnol 168:348–363p.

Les sites internet :

- 110)** S1: Google Earth
- 111)** S2: <http://utex.org>)
- 112)** S3: <http://www.jbl.de/en/products/detail/2446/jbl-testlab>.
- 113)** S4: <https://maps.google.com>.
- 114)** S5: <https://traitement-eau.ooreka.fr>.
- 115)** S6: <https://www.snv.univ-tlemcen.dz>.
- 116)** S7: <https://www.algaebase.org/>.
- 117)** S8: <https://www.futura-sciences.com>.