

UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA

Faculté des Sciences Appliquées

Département de Génie des Procédés



Mémoire

MASTER ACADEMIQUE

Spécialité : Génie des procédés de l'environnement

Présenté par :

M^{elle} : BOUZIANE El_hadja

M^{elle} : HADJ DJILANI Asma

Thème

**Traitement des eaux par une algue verte
*CHLORELLA pyrenoidosa***

Soutenue publiquement le : 26/06/2018

Devant le jury :

Mr. Djamel SALOUM	MA (A)	Président	UKM Ouargla
M ^{em} Lamia KATEB	MC (A)	Examinatrice	UKM Ouargla
M ^{elle} Souad ZIGHMI	MC (B)	Encadreur	UKM Ouargla

Année universitaire : 2017/2018



Remerciements



Nous remercions Dieu le tout puissant qui nous a donné le courage, la patience et la force jusqu'à la fin de la réalisation de ce modeste travail.

Ce mémoire est aujourd'hui l'occasion de remercier toutes les personnes qui ont collaboré à ce travail.

*Nous tenons remercier à Mlle **Souad ZIGHMI** d'avoir dirigé ce travail et de nous faire partager ces connaissances qui ont été très utiles et pour ces précieux conseils et orientations.*

Nos remerciements vont aussi aux membres du jury pour avoir accepté de juger notre travail.

*Nous remercions le professeur **Amar MESSAITFA** et professeur **Ladjel SEGNI**, qui nous permet de travailler dans son laboratoire*

Nous tenons à notifier un remerciement spécial à tous nos professeurs du département de Génie des Procédés qui ont contribué à notre formation.

Nous désirons aussi, exprimer nos essentiels remerciements :

*Nous remercions Mlle **Asma AYACHI OMAR** et Mlle **Siham MEFLAH** pour nous aider dans ce travail.*

*Le chef de laboratoire **Omar GADJA**.*

Finalement, Nous remercions également toutes les personnes qui ont contribué directement ou indirectement à la réalisation de ce travail.

Merci à tout



Dédicace

Je dédiece modeste travail à

A Mes chère famille an potit an grand

Ma très chère mère

Mes chère sœurs : fadila , zoubida , salma .

Mon frère :Ishak

A tous les familles :Bouziane et Hadj djilani .

A mon cher ami qui a partagé ce travail : Asma



HADJA





Dédicace

*Je dédie ce modeste travail une personne les plus chers
au monde, ma mère, pour tous les sacrifices qu'ils ont
consentis à mon égard*

*A tous les familles : HADJDJILANI et BEN
MOUHSSAN.*

*A Ma très cher MA MERE qui m'a élevé et resté sur
la protégez-moi ; Dieu prolonger l'ancien sa vie.*

*A mes frères Belkhier, Fateh, Abd elkader, M'ed ali et
Azzedine.*

*Mes chère sœur Rekia, Nadia, Saïda, Fatima, Hiba et
Imane*

A tous mes amies

*A tous la promotion de Master II Génie des procédés
de l'environnement et Génie chimie 2017- 2018.*

Je te dédie ce travail à toi aussi Hadja



Asma

SOMMAIRE

Sommaire	I
Liste des figures	II
Liste des tableaux	III
Liste des abréviations et des symboles	VI
Introduction générale	01
CHAPITRE I : Synthèse bibliographique	
I .1. Introduction	03
I .2. Généralités sur algues	03
I. 2. 1. Définition des algues	03
I. 2. 2. Classification des algues	03
I. 2. 3. L'utilisation des algues	04
I. 2. 4. Caractéristiques des algues vertes	04
I. 3 Modèles d'étude : Chlorella Pyrenoidosa	05
I.4.Généralités sur le traitement des eaux usées	06
I.4.1. L'eau	06
I.4.2.Définition des eaux usées	06
I.4.3. Caractéristiques des eaux usées	06
I.4.4. Origine et composition des eaux usées	07
4.4.1. Les eaux usées domestiques	07
4.4.2. Les eaux industrielles	07
4.4.3. Les eaux agricoles	07
4.4.4. Les eaux pluviales	07
I.4.5. Le traitement des eaux usées	07
4.5.1.Étapes de traitement	07
4.5.1.1. Les prétraitements	08
4.5.1.2. Traitements primaires	08
4.5.1.3. Le principe du traitement physico-chimique	08
4.5.1.4. Traitements secondaires	08
4.5.1.5. Le principe du traitement biologique	09
4.5.1.6. Traitement tertiaire ou les traitements complémentaires	09

Sommaire

4.5.1.7. Traitement des eaux usées par les algues	09
I-5 – Conclusion	10
CHAPITRE II : Méthodes des analyses des eaux	
II-1- Introduction	11
II. 2. Les analyses des eaux	11
II.2.1. Analyses physico-chimiques	11
2.1.1. La température	11
2.2.2. Le pH	11
2.1.3. La Turbidité	11
2.1.4. La conductivité électrique	11
2.1.5. Les solides dissous totaux (TDS)	12
2.1.6. Salinité	12
2.1.7. Le sodium (Na ⁺), le potassium (K ⁺) et le calcium (Ca ⁺)	12
2.1.8. Les ions Chlorures (Cl ⁻)	12
2.1.9. Phosphate (PO ₄) et Ammonium(NH ₄)	12
2.1.10. Azote total et Charbon total	13
2.1.11. Demande Chimique en Oxygène (DCO)	13
2.1.12. Demande Biochimique en oxygène (DBO ₅)	13
II.2.2. Les analyses bactériologiques	14
II-4-conclusion	14
CHAPITRE III : Expérimentations Résultats et discussions	
III.1. Introduction	15
III.2. Matériels et Méthodes	15
III.2.1. Procédure expérimentale	15
III.2.2. Les analyses des eaux aquatiques et les mesures effectuées	17
2.2.1. Les paramètres physico-chimiques	17
2.2.2. La croissance d'algue	18
2.2.3. Les éléments chimiques	18
III. 3. Les résultats et discussions	20
III. 3. 1. La croissance d'algue <i>CHLORELLA Pyrenoidosa</i>	20
III.3.2. Résultats des mesures et des analyses chimiques des eaux aquatiques	23
3.2.1. Les paramètres physico-chimiques	23

Sommaire

3.2.1.1. pH	23
3.2.1.2. Variation de température	24
3.2.1.3. Les solides dissous totaux (TDS)	25
3.2.1.4. Salinité	26
3.2.1.5. Turbidité	27
III. 3. 2. 2. Minéralisation globale	28
3.2.2.1. sodium	29
3.2.2.2. potassium	30
3.2.2.3. calcium	31
3.2.2.4. Les ions Chlorures (Cl ⁻)	32
3.2.2.5. Phosphate	33
3.2.2.6. Ammonium	34
3.2.2.7. Azote total	35
3.2.2.8. Charbon total	36
3.2.2.9. Demande Chimique en Oxygène (DCO)	37
3.2.2.10. Demande Biochimique en oxygène (DBO ₅)	38
III.4. Application	38
III. 4.1. Traitement d'une l'eau industriel	38
III. 4.2. Procédure expérimentale	40
III. 5. Les résultats et discussion	40
III. 5.1. La croissance d'algue <i>CHLORELLA Pyrenoidosa</i>	41
III.5.2 Résultats des mesures et des analyses de l'eau industrielle	41
5.2.1. Les paramètres physico-chimiques	41
5.2.1.1. Le pH	42
5.2.1.2. Variation de température	43
5.2.1.3. Les solides dissous totaux (TDS)	44
5.2.1.4. Salinité	45
5.2.1.5. Turbidité	46
III. 5.2.2. Minéralisation globale	46
5.2.2.1. Sodium	47
5.2.2.3. Potassium	48
5.2.2.4. Calcium	49
5.2.2.5. Les ions Chlorures (Cl ⁻)	

Sommaire

5.2.2.6. Phosphate	50
5.2.2.7. Ammonium	51
5.2.2.8. Azote total	52
5.2.2.9. Charbon total	53
5.2.2.10. Demande Chimique en Oxygène (DCO)	54
5.2.2.11. Demande Biochimique en oxygène (DBO ₅)	55
III-4 - Conclusion	56
Conclusion générale	57
Référence	58
Annexes	

Liste des figures

Liste des figures

Figure	Titre de figure	page
Figure. I. 1	Cellules d'algue <i>Chlorella</i> sous microscope	5
Figure III. 1	Le montage d'expérience	15
Figure III. 2	Exemples des échantillons	16
Figure III. 3	Multi parameter	17
Figure III. 4	Turbidimètre	17
Figure III. 5	Spectrophotomètre UV-Visible	18
Figure III. 6	Montage de mesure des ions chlorure	18
Figure III. 7	Evolution de biomasse des systèmes de cultures	20
Figure III. 8	variation de la pH dans le milieu de culture	23
Figure III. 9	variation de la température dans le milieu de culture	24
Figure III. 10	variation de la TDS dans le milieu de culture	25
Figure III. 11	variation de la salinité dans le milieu de culture	26
Figure III. 12	variation de la turbidité dans le milieu de culture	27
Figure III. 13	variation de la concentration de sodium dans le milieu de culture	28
Figure III. 14	variation de la concentration de potassium dans le milieu de culture	29
Figure III. 15	variation de la concentration de calcium dans le milieu de culture	30
Figure III. 16	variation de la concentration ion chlorure dans le milieu de culture	31
Figure III. 17	variation de la concentration de phosphate dans le milieu de culture	32
Figure III. 18	variation de la concentration de ammonium dans le milieu de culture	33
Figure III. 19	variation de la azote total dans le milieu de culture	34

Liste des figures

Figure III. 20	variation de la charbon total dans le milieu de culture	35
Figure III. 21	variation de la DCO dans le milieu de culture	36
Figure III. 22	variation de la DBO ₅ dans le milieu de culture	37
Figure III. 23	La zone d'expérience	38
Figure III. 24	Les échantillons	39
Figure III. 25	Evolution de biomasse des systèmes de cultures	40
Figure III. 26	variation du pH de l'eau industrielle	41
Figure III. 27	variation de la température de l'eau industrielle	42
Figure III. 28	variation de la TDSde l'eau industrielle	43
Figure III. 29	variation de la salinitéde l'eau industrielle	44
Figure III. 30	variation de la turbidité de l'eau industrielle	45
Figure III. 31	variation de la concentration de sodiumde l'eau industrielle	46
Figure III. 32	variation de la concentration de potassium de l'eau industrielle	47
Figure III. 33	variation de la concentration de calcium de l'eau industrielle	48
Figure III. 34	variation de la concentration ion chlorurede l'eau industrielle	49
Figure III. 35	variation de la concentration de phosphatede l'eau industrielle	50
Figure III. 36	variation de la concentration d'ammoniumde l'eau industrielle	51
Figure III. 37	variation de l'azote totalde l'eau industrielle	52
Figure III. 38	variation du charbon totalde l'eau industrielle	53
Figure III. 39	variation de la DCO de l'eau industrielle	54
Figure III. 40	variation de la DBO ₅ de l'eau industrielle	55

Liste des tableaux

Liste des tableaux

Tableau	Titre de tableau	page
Tableau III. 1	Compositions et condition de culture	15
Tableau III.2	Classement des rendements maximaux des tests réalisés en présence des métaux lourds avec et sans champs magnétique	20
Tableau III.3	Compositions et condition de l'eau industrielle	35

Liste des abréviations

Liste des abréviations

UV	Ultra-Violet
TDS	Solides dissous totaux
pH	Potentiel hydrogène
DBO₅	Demande biologique d'oxygène
DCO	Démade chimique d'oxygène
FNU	Formazine N ephelometric Unit
SPU	Unité Pratique de Salinité
pH	Potentiel hydrogène
TDS	Les solides dissous totaux
°C	Degré Celsius
g/L	Gramme par litre
mg/L	Milligramme par litre
ppm	Partie par million



Introduction générale

Introduction générale

L'eau est une ressource naturelle très limitée dans les régions arides et semi-arides. En Algérie, les ressources en eau existantes sont menacées par une pollution causée par les rejets d'eaux urbaines et industrielles dans les milieux récepteurs. Ces rejets peuvent contenir de nombreuses substances, sous forme solide ou dissoute, ainsi que de nombreux micro-organismes pathogènes, menacent la qualité de l'environnement dans son ensemble [1].

Dans le domaine de l'environnement, il est très important de disposer d'outils capables de détecter la présence de polluants ou de substances toxiques au sein des milieux aqueux, tels que les écosystèmes aquatiques, l'eau des stations d'épuration, les effluents industriels. En effet, le problème de la pollution de l'eau, par exemple, par les matières organiques, les pesticides et les ions de métaux lourds devient de plus en plus critique [3].

Le traitement des eaux usées c'est un ensemble de techniques qui consistent à purifier l'eau soit pour recycler les eaux usées dans le milieu naturel, soit pour transformer les eaux naturelles en eau potable[4]; et pour objectif de réduire le niveau de contamination en métaux lourds et en micro-organismes pour la rendre adéquate avec les normes de rejet ou utilisable en agriculture ou en industrie. Différentes méthodes sont utilisées telles que la méthode des boues activées, l'utilisation des algues fixatrices pour éliminer certains métaux lourds [5].

Les métaux lourds se trouvent dans les eaux usées urbaines à l'état de trace. Des concentrations élevées sont en général révélatrices d'un rejet industriel. Leur présence est nuisible pour l'activité des micro-organismes donc elle perturbe le processus d'épuration biologique [6].

Les algues, sont des micro-organismes photosynthétiques aquatiques, utilisées dans plusieurs domaines; Les algues jouent des rôles clés dans le traitement biologique des eaux usées par lagunage. Elles opèrent comme pourvoyeur d'oxygène par le biais du processus photosynthétique. Ainsi, elles favorisent l'oxydation de la matière organique en s'associant sous forme symbiotique aux bactéries. Elles peuvent même contribuer directement à l'élimination de certains dérivés organiques et elles agissent comme bio absorbants contribuant à l'élimination des métaux lourds et autres produits toxiques véhiculés par des eaux [2].

L'objectif de notre travail est l'étude de capacité de l'algue *CHLORELLA pyrenoidosa* à vivre dans des milieux aquatique contaminés par des métaux toxiques (Pb, Cd, Cr, As, Sb) dans le but de l'utiliser pour le traitement biologique des eaux industrielles.

Introduction générale

Ce manuscrit comporte en plus d'une introduction générale et une conclusion générale, trois chapitres:

- Dans le premier chapitre en présente l'étude bibliographique, comporte des généralités sur les algues, le traitement des eaux usées.
- Dans le deuxième chapitre, nous présentons les méthodes d'analyse des eaux.
- Le troisième chapitre, regroupe l'expérimentation réalisée, les résultats et leurs interprétations.

Introduction générale

L'eau est une ressource naturelle très limitée dans les régions arides et semi-arides. En Algérie, les ressources en eau existantes sont menacées par une pollution causée par les rejets d'eaux urbaines et industrielles dans les milieux récepteurs. Ces rejets peuvent contenir de nombreuses substances, sous forme solide ou dissoute, ainsi que de nombreux micro-organismes pathogènes, menacent la qualité de l'environnement dans son ensemble [1].

Dans le domaine de l'environnement, il est très important de disposer d'outils capables de détecter la présence de polluants ou de substances toxiques au sein des milieux aqueux, tels que les écosystèmes aquatiques, l'eau des stations d'épuration, les effluents industriels. En effet, le problème de la pollution de l'eau, par exemple, par les matières organiques, les pesticides et les ions de métaux lourds devient de plus en plus critique [3].

Le traitement des eaux usées c'est un ensemble de techniques qui consistent à purifier l'eau soit pour recycler les eaux usées dans le milieu naturel, soit pour transformer les eaux naturelles en eau potable[4]; et pour objectif de réduire le niveau de contamination en métaux lourds et en micro-organismes pour la rendre adéquate avec les normes de rejet ou utilisable en agriculture ou en industrie. Différentes méthodes sont utilisées telles que la méthode des boues activées, l'utilisation des algues fixatrices pour éliminer certains métaux lourds [5].

Les métaux lourds se trouvent dans les eaux usées urbaines à l'état de trace. Des concentrations élevées sont en général révélatrices d'un rejet industriel. Leur présence est nuisible pour l'activité des micro-organismes donc elle perturbe le processus d'épuration biologique [6].


Les algues, sont des micro-organismes photosynthétiques aquatiques, utilisées dans plusieurs domaines; Les algues jouent des rôles clés dans le traitement biologique des eaux usées par lagunage. Elles opèrent comme pourvoyeur d'oxygène par le biais du processus photosynthétique. Ainsi, elles favorisent l'oxydation de la matière organique en s'associant sous forme symbiotique aux bactéries. Elles peuvent même contribuer directement à l'élimination de certains dérivés organiques et elles agissent comme bio absorbants contribuant à l'élimination des métaux lourds et autres produits toxiques véhiculés par des eaux [2].

L'objectif de notre travail est l'étude de capacité de l'algue *CHLORELLA pyrenoidosa* à vivre dans des milieux aquatique contaminés par des métaux toxiques (Pb, Cd, Cr, As, Sb) dans le but de l'utiliser pour le traitement biologique des eaux industrielles.

Introduction générale

Ce manuscrit comporte en plus d'une introduction générale et une conclusion générale, trois chapitres:

- Dans le premier chapitre en présente l'étude bibliographique, comporte des généralités sur les algues, le traitement des eaux usées.
- Dans le deuxième chapitre, nous présentons les méthodes d'analyse des eaux.
- Le troisième chapitre, regroupe l'expérimentation réalisée, les résultats et leurs interprétations.

A decorative scroll graphic with a red outline and grey shading, featuring three curled ends. The text is centered within the scroll.

Chapitre I
Synthèse
bibliographique

I.1. Introduction

Les algues sont des organismes aquatiques, elles peuvent être micro ou macrocellulaires, Utilisées dans divers applications, est comporte le traitement des eaux, vue qu'elles sont capables d'absorber les matières toxique présentent dans l'eau. Cependant, ce premier chapitre descriptif, comporte deux parties distinctes, dans la première partie on donne des généralités sur les algues et dans la deuxième partie leur application pour le traitement des eaux.

I. 2. Généralités sur les algues

I. 2. 1. Définition des algues

Les algues sont des organismes chlorophylliens se développant dans l'eau ou dans des milieux très humides [7]. En général, Les algues regroupent un ensemble d'organismes photosynthétiques aquatiques très divers, dont des formes et des dimensions très variables [8].

I. 2. 2. Classification des algues

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

- **Les Pyrrophytes ou dinoflagellés:** De couleur brune, leur paroi est formée par des plaques de celluloses sous la membrane plasmique. Elles font partie du phytoplancton et sont responsables du phénomène des eaux rouges. Certains dinoflagellés ne possèdent pas de pigments photosynthétiques.
- **Les Chrysophytes ou Algues Dorées:** De couleur jaune à brune, ces algues font parties du plancton d'eau douce, leur paroi est composée de pectine imprégnée de silice.
- **Les Bacillariophytes ou Diatomées:** De couleur jaune, brune ou verte, leur paroi est constituée principalement de silice formant un véritable squelette externe.
- **Les Euglénophytes:** Ces algues flagellées vivent dans les eaux stagnantes. Leur paroi est constituée de plaques protéiques sous leur membrane plasmique. Certaines de ces algues n'ont plus de chlorophylle et peuvent alors être confondues avec des animaux
- **Les Rhodophytes ou Algues Rouges (Porphyra, Nemalion):** Elles vivent principalement en eaux salées chaudes et peuvent se développer à de grandes profondeurs (jusqu'à 200 m). Leur paroi comprend de la cellulose mais aussi d'autres polysaccharides. Nombreuses espèces pluricellulaires.
- **Les Phéophytes ou Algues Brunnes (Fucus, Laminaire):** Ces algues vivent en eaux salées plutôt froides et se développent jusqu'à 20 m de profondeur. La paroi est également composée de cellulose, mélangée à d'autres polysaccharides. Nombreuses espèces pluricellulaires.

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

Les trois derniers groupes peuvent encore être classés chez les Végétaux [9].

I. 2. 3. L'utilisation des algues

Les algues sont utilisées dans les domaines suivant :

- **Dans le traitement des eaux usées:** les algues brunes de type laminaires sont séchées à l'air libre puis emballées dans des bombes qui servent au recyclage des eaux usées.
- **En Agroalimentaire:** c'est le domaine d'utilisation principal des phycocolloïdes, Alginates (E 400 à 405) et Carraghénanes (E 407) et Agar (E 406) utilisés comme gélifiant, émulsionnant, stabilisant, épaississant.
- **Dans l'industrie textile:** les alginates sont employés depuis le milieu des années 60 dans l'impression des tissus (de sodium et calcium).
- **En agriculture:** les algues issues de la laisse de mer sont utilisées directement en épandage dans les champs pour apporter leur richesse en sels minéraux, les algues calcaires de type maerl servent à amender les sols acides en remplacement de la chaux.
- **En cosmétique et thalassothérapie:** L'agothérapie est l'utilisation d'algues marines sous forme de bain d'algues ou d'enveloppements et fait appel aux propriétés vivifiantes, hydratantes, anti-stress et restructurantes de ces algues les extraits d'algues présentent également des propriétés anti-UV et anti oxydantes qui sont utilisés dans les crèmes solaires et anti-âge, des savons, des shampoings comme agent texture.
- **En médecine:** de nombreuses spécialités pharmaceutiques intègrent dans leur formulation des colloïdes algaux comme excipients (sirops, enrobage des pilules et dragées) [10].

I. 2. 4. Caractéristiques des algues vertes

Elles présentent une grande diversité de forme, depuis le type unicellulaire jusqu'au type en colonie ou filaments. Certaines espèces ont un crampon qui leur permet de se fixer. Les algues vertes filamenteuses forment des masses chevelues et plus ou moins gluantes au toucher dans les mares - leur développement est le plus important au printemps, mais elles sont présentes en toutes saisons dans les points d'eau bien éclairés : mares, étangs et même dans les bassins des jets d'eau en association avec d'autres algues filamenteuses comme la diatomée *Melosira* [11].

I. 3 Modèles d'étude : *Chlorella Pyrenoidosa*

Le *Chlorella* (figure I. 1), est une algue unicellulaire verte d'eau douce, Elle est de forme ronde ou ellipsoïde, d'un diamètre moyen de 3 à 5 μm [12]. Une seule cellule de *Chlorella* peut se diviser en quatre cellules chaque 16 à 20 h, en utilisant la lumière du soleil pour la photosynthèse [13]. Elle est riche en vitamines, acides gras, et sels minéraux [14,15]. Cette algue, est une source riche d'antioxydants ce qui lui réserve une place importante de leurs utilisations dans les domaines médicinales et alimentaires et dans la nourriture [16]. Elle a retenu l'attention des biotechnologistes d'être une source importante de biomasse [17] ainsi qu'elle est largement utilisée dans divers d'autres applications telque : le traitement des eaux, élimination des métaux lourds etc...[18, 19,20].

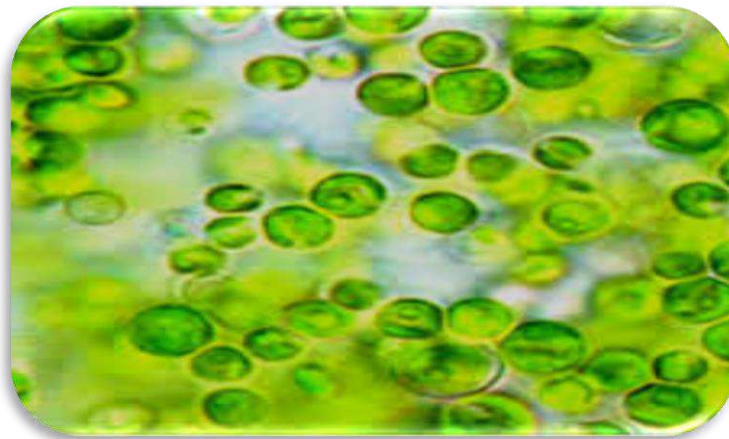


Figure. I. 1:Cellules d'algue *Chlorella* sous microscope

Les plantes, l'algue *Chlorella* contiennent des hautes concentrations de phytochélatines fortement capable d'absorption d'ions de métaux lourds par exemple: Pb^{2+} , Cd^{2+} [21]. Elle est largement utilisée pour l'élimination des métaux toxiques des eaux naturelles ou les eaux usées, elle a été utilisée pour récupérer quantitativement les ions tels que le plomb, le cadmium, le chrome et le nickel, à partir d'échantillons d'eau naturels en raison de sa très forte affinité aux ions métallique [22].

I.4.Généralités sur le traitement des eaux usées

I.4.1. L'eau

L'eau ou l'hémioxyde d'hydrogène est un corps incolore, inodore, et insipide¹, de formule chimique H₂O[23].Présente chez les êtres vivants (en effet le corps humain est composé à 70% d'eau), la terre en possède une quantité gigantesque. 97% d'eau sur Terre est salée (donc impropre à la consommation) alors qu'il n'y a que 2% d'eau douce sous forme de glace et seulement 1% d'eau douce sous forme liquide [24].

I.4.2.Définition des eaux usées:

Les eaux usées sont fréquemment appelées eaux d'égout. Il s'agit d'eaux qui ont été utilisées pour le lavage et le nettoyage par chasse d'eau dans les maisons, ou encore certains procédés de fabrication. Les eaux usées sont constituées d'eau à 99 %, le reste étant composé de matières de vidange, de déchets organiques et de détergents.

Une personne consomme en moyenne 150 à 200 litres d'eau potable par jour. Une fois utilisée, elle devient de l'eau usée[25].

I.4.3. Caractéristiques des eaux usées :

On distingue trois grandes catégories d'eaux usées : les eaux domestiques, les eaux industrielles,Les eaux agricoles,les eaux pluviales.

Les cours d'eau ont une capacité naturelle d'épuration. Mais cette capacité a pour effet de consommer l'oxygène de la rivière et n'est pas sans conséquences sur la faune et la flore aquatiques. Lorsque l'importance du rejet excède la capacité d'auto-épuration de la rivière, la détérioration de l'environnement peut être durable. Les zones privées d'oxygène par la pollution entraînent la mort de la faune et de la flore ou créent des barrières infranchissables empêchant notamment la migration des poissons. La présence excessive de phosphates, en particulier, favorise le phénomène d'eutrophisation, c'est-à-dire la prolifération d'algues qui nuisent à la faune aquatique, peuvent rendre la baignade dangereuse et perturbent la production d'eau potable [26].

I.4.4. Origine et composition des eaux usées

Suivant l'origine des substances polluantes on distingue quatre catégories d'eaux usées :

4.4.1. Les eaux usées domestiques

Elles proviennent des différents usages domestiques de l'eau. Elles sont essentiellement porteuses de pollution organique. Elles se répartissent en eaux ménagères, qui ont pour origine les salles de bains et les cuisines et sont généralement chargées de détergents, de graisses, de solvants, de débris organiques, ...etc. Les eaux de vannes sont les rejets des toilettes, chargés de diverses matières organiques azotées et de germes fécaux.

4.4. 2. Les 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 peuvent également contenir des produits toxiques, des solvants, des métaux lourds, des micropolluants organiques ou des hydrocarbures.

4.4.3. Les eaux agricoles

L'agriculture est une source de pollution des eaux car elle apporte les engrais et les pesticides.

4.4.4. Les eaux pluviales

On entend par eaux pluviales, les eaux issues du ruissellement des toitures, des terrasses, des parkings et des voies de la circulation. Leur destination est le milieu naturel.

I.4.5. Le traitement des eaux usées

En général, le traitement des eaux usées se fait en plusieurs étapes. Ce traitement a pour objectif de débarrasser l'eau de certaines matières organiques, matières solides, nutriments, organismes pathogènes et autres polluants, ou d'en réduire la quantité, avant d'être rejetées dans l'environnement ou réutilisée.

4.5.1. Étapes de traitement

La dépollution des eaux usées nécessite une succession d'étapes faisant appel à des traitements physiques, physico-chimiques et biologiques. En dehors des plus gros déchets présents dans les eaux usées, l'épuration doit permettre, au minimum, d'éliminer le majeur parti de la pollution carbonée. Selon le degré d'élimination de la pollution et les procédés mis en œuvre, trois niveaux de traitements sont définis.

Il existe plusieurs filières, mais le choix d'un procédé de traitement doit être adéquat du point de vue climatique, des applications attendues et de l'investissement. Les différents procédés nécessitent un ensemble cohérent d'étapes[28].

4.5.1.1. Les prétraitements

De traitements effectués après des prétraitements tels que le dégrillage, le dessablage et le dégraissage. Parmi ces filières, on trouve :

4.5.1.2. Traitements primaires

Regroupent les procédés physiques ou physico-chimiques visant à éliminer par décantation une forte proportion de matières minérales ou organiques en suspension. A l'issue du traitement primaire, seules 50 à 60 % des matières en suspension sont éliminées. Ces traitements primaires ne permettent d'obtenir qu'une épuration partielle des eaux usées. Ils ont d'ailleurs tendance à disparaître en tant que seul traitement, notamment lorsque l'élimination de la pollution azotée est requise. Pour répondre aux exigences réglementaires, une phase de traitement secondaire doit être conduite.

4.5.1.3. Le principe du traitement physico-chimique

Utilisation d'adjuvants chimiques pour éliminer les matières en suspension. Il comporte une phase de coagulation (agglomération des colloïdes par addition par exemple de sels de fer ou d'aluminium), une phase de floculation et une phase de décantation pour assurer la séparation entre solide et liquide suite à l'injection des agents floculants tel le charbon actif en poudre. Ces traitements acceptent les variations brutales de charges polluantes, mais ils sont très coûteux en exploitation selon les adjuvants chimiques utilisés.

4.5.1.4. Traitements secondaires

Recouvrent les techniques d'élimination des matières polluantes solubles (carbone, azote, et phosphore). Ils constituent un premier niveau de traitement biologique. Pour satisfaire à la réglementation actuelle, les agglomérations de plus de 2000 équivalents-habitants devront être raccordées à des stations d'épuration permettant un traitement secondaire des eaux usées. Le traitement secondaire est donc désormais le niveau minimal de traitement qui doit être mis en œuvre dans les usines de dépollution.

4.5.1.5. Le principe du traitement biologique

Il permet la biodégradation des matières organiques des eaux usées grâce à des bactéries aérobies ou anaérobies dans des systèmes suivants :

- **Système intensif** à cultures fixes telles que les lits bactériens et les disques biologiques ou à cultures libres telles que les boues activées.
- **Système extensif** dont le plus répandu et le plus classique est le lagunage surtout dans les pays à climat chaud et où le terrain est disponible à coût raisonnable. Il consiste en un lent écoulement de l'affluent dans un ou plusieurs réservoirs plus ou moins profonds.

4.5.1.6. Traitement tertiaire ou les traitements complémentaires:

Dans certains cas, des traitements tertiaires sont nécessaires. On retrouve le traitement par : désinfection, dénitrification, déphosphatation.

Notamment lorsque l'eau épurée doit être rejetée en milieu particulièrement sensible. A titre d'illustration, les rejets dans les eaux de baignade, dans des lacs souffrant d'un phénomène d'eutrophisation ou dans des zones d'élevage de coquillages sont concernés par ce troisième niveau de traitement. Les traitements tertiaires peuvent également comprendre des traitements de désinfection. La réduction des odeurs peut encore être l'objet d'attentions particulières [29].

4.5.1.7. Traitement des eaux usées par les algues :

Ce sont des plantes microscopiques planctoniques. Elles sont représentées dans les lagunes principalement par les espèces suivantes :

- algues bleues (cyanophycées) proches des bactéries,
- algues vertes (chlorophycées),
- algues brunes (chrysophycées).

Dans le cas d'un bon fonctionnement, les bassins de lagunage (surtout ceux en fin de filière) ont une couleur verte plus ou moins prononcée. La chlorophylle contenue dans les micro-algues leur permet d'utiliser la lumière du soleil comme source d'énergie : c'est la base du processus de la photosynthèse.

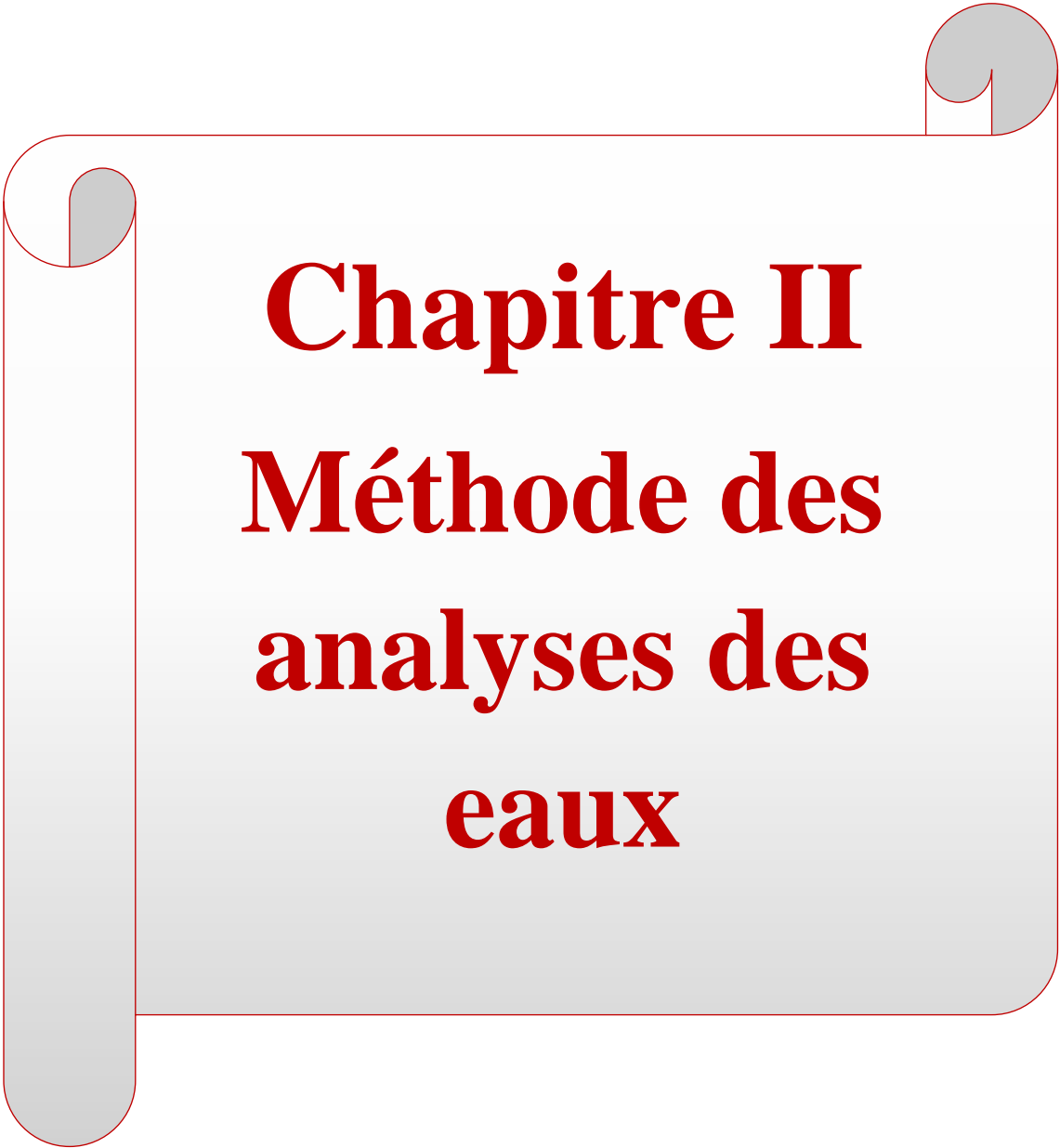
Les algues se développent à la lumière en prélevant dans l'eau du gaz carbonique et des sels minéraux et en y rejetant de l'oxygène. Les algues sont ainsi les principaux producteurs

d'oxygène des lagunes. Cette production s'effectue essentiellement dans la couche d'eau. Dans les bassins du lagunage les microalgues se succèdent au cours du temps. Cela constitue une pollution apparemment négligeable car l'épaisseur des sédiments dans les derniers bassins de lagunage ne dépasse pas les 5 à 10 centimètres. L'effluent rejeté dans le milieu récepteur contient donc des microalgues en suspension représentant indirectement une pollution particulière organique importante (leur teneur en matières en suspension pouvant atteindre 0.2 kg/m^3). Les bassins de lagunage sont classés parmi les procédés moyennement performants permettant un rejet de niveau d (120 mg/l de MES). Il n'existe pas de station de lagunage naturel qui possède une unité de récupération et de valorisation des microalgues rejetées[30].

I. 5. Conclusion

De ce chapitre en conclue que :

- Les micro-algues sont des organismes aquatiques unicellulaires possédants des chloroplastes dont la taille varie du micron à la centaine de microns, se trouvant en abondance dans les milieux aquatiques.
- Chlorella est un genre d'algues vertes unicellulaires d'eau douce, se distinguent par une exceptionnelle concentration en chlorophylle.
- Cette micro-algue est très utilisée pour la production de la biomasse ainsi que dans d'autres applications comme le traitement des eaux, l'élimination des métaux lourds etc...
- Les eaux usées de différentes compositions et de diverses origines constituent un problème pour la nature lors du rejet sans subir de traitements au préalable.

A decorative graphic of a scroll with a light gray gradient background and a thin red border. The scroll is unrolled on the left and right sides, with the top corners curled up. The text is centered on the scroll.

Chapitre II
Méthode des
analyses des
eaux

II.1. Introduction

Le présent chapitre consiste à présenter les méthodes d'analyse, utilisés en vue d'examiner l'analyse physico-chimique et bactériologique de l'eau. Les essais ont été effectués au laboratoire de "Génie de l'eau et de l'Environnement en milieu Saharien" de l'Université Kasdi Merbeh de Ouargla.

II. 2. Les analyses des eaux

La caractérisation qualitative des eaux nécessite un certain nombre des analyses à savoir physico-chimiques, bactériologique.

II. 2. 1. Les analyses physico-chimiques

II. 2. 1. 1. La température

La température est une grandeur physique mesurée à l'aide d'un thermomètre et étudiée en thermométrie. Dans la vie courante, elle est reliée aux sensations de froid et de chaud, provenant du transfert thermique entre le corps humain et son environnement [30].

II. 2. 1. 2. Le pH

Le potentiel hydrogène est une mesure de l'activité chimique des hydrons (appelés aussi couramment protons ou ions hydrogène) en solution. Notamment, en solution aqueuse, ces ions sont présents sous la forme de l'ion hydronium (le plus simple des ions oxonium).

Plus souvent, le pH mesure l'acidité ou la basicité d'une solution. Ainsi, dans un milieu aqueux à 25 °C:

- une solution de $\text{pH} = 7$ est dite neutre ;
- une solution de $\text{pH} < 7$ est dite acide ; plus son pH diminue, plus elle est acide ;
- une solution de $\text{pH} > 7$ est dite basique ; plus son pH augmente, plus elle est basique [31].

II. 2. 1. 3. La Turbidité

La turbidité de l'eau est liée à sa transparence elle donne une idée de la teneur en matières en suspension, les eaux troubles chargées de substance finement divisées (grains de silice, matière organique) forment parfois d'importants dépôts dans les tuyauteries et dans les réservoirs [32].

II. 2. 1. 4. La conductivité électrique

La conductivité est la mesure de la capacité de l'eau à conduire un courant électrique, elle varie en fonction de la présence d'ions, de leur concentration et de température, le point de repère utilisé est 20°C [33].

II. 2. 1. 5. Les solides dissous totaux (TDS)

Les solides dissous totaux représentent une évaluation totale des sels minéraux contenus dans l'eau, cette valeur traduit une évaluation totale sur le taux de minéraux qui ont été dissous dans l'eau[34].

II. 2. 1. 6. Salinité

La salinité désigne la quantité de sels dissous dans un liquide, notamment l'eau qui est un puissant solvant pour de nombreux minéraux. Il ne faut pas confondre la salinité avec la dureté de l'eau qui est relative à son dosage en calcium et magnésium[35].

II. 2. 1. 7. Chlorures (Cl)

Les chlorures sont des anions inorganiques importants contenus en concentrations variables dans les eaux naturelles, généralement sous forme de sels de sodium (NaCl) et de potassium (KCl). Ils sont souvent utilisés comme un indice de pollution. Ils ont une influence sur la faune et la flore aquatique ainsi que sur la croissance des végétaux [36].

II. 2. 1. 8. Le sodium (Na⁺) et le potassium (K⁺) et le calcium (Ca⁺)

Le sodium est l'élément chimique de numéro atomique 11, de symbole Na de couleur argentée blanc, famille métal alcalin[37] ; Le potassium est l'élément chimique de numéro atomique 19, de symbole K de couleur blanc argenté, famille de métal alcalin[38] et le calcium est l'élément chimique de numéro atomique 20, de symbole Ca, de couleur argenté métallique, famille de métal alcalino-terreux[39].

II. 2. 1. 9 Phosphate (PO₄) et Ammonium (NH₄)

Un phosphate est un produit chimique inorganique, un sel ou un ester de l'acide phosphorique, résultant de la combinaison avec une base, de formule chimique PO₄³⁻. Les phosphates ont en commun un atome de phosphore entouré par quatre atomes d'oxygène dans un tétraèdre. Les phosphates secondaires et tertiaires sont insolubles dans l'eau, à l'exception de ceux de sodium, potassium et ammonium[40].

L'ion ammonium de formule brute NH₄⁺ est un ion polyatomique de charge électrique positive. L'ion ammonium est présent dans de nombreux produits nettoyants et désinfectants, à commencer par l'ammoniaque. Avant la découverte de sa véritable structure par les chimistes, il était l'analogie d'un métal alcalin ou d'un alcali[41].

II. 2. 1. 10. Azote total et Charbon total

a) Azote

C'est un élément qui se trouve sous forme ammoniacale ou organique ou inorganique (ammoniacale, nitrate, nitrite) ; il constitue la majeure partie de l'azote total. L'azote contenu dans les eaux résiduaires domestique a essentiellement une origine urinaire.

On estime à environ 13mg/jour la quantité d'azote rejetée par un adulte. L'azote est l'un des éléments qui favorisent la prolifération d'algues, par conséquent la réduction de sa teneur avant le rejet des eaux est plus que nécessaire[42].

b) Charbon

Le carbone organique total est la quantité de carbone lié dans un composant organique (qu'elles soient dissoutes ou en suspension). Il est souvent utilisé comme indicateur non spécifique de la qualité de l'eau[43].

II.2.1.11. Demande Chimique en Oxygène (DCO)

La Demande Chimique en Oxygène est la quantité nécessaire à la dégradation chimique des matières organiques et minérales oxydables contenues dans l'eau. Certaines matières organiques sont difficilement biodégradables par les micro-organismes et pour oxyder ces matières un oxydant chimique fort est indispensable. La DCO détermine la quantité globale d'oxygène nécessaire à la dégradation de la pollution. Elle s'exprime aussi en mg d'O₂ /L [44].

II.2.1.12. Demande Biochimique en oxygène (DBO₅)

La DBO₅ est la quantité d'oxygène nécessaire aux micro-organismes présents dans un milieu pour oxyder (dégrader) les substances organiques contenues dans un échantillon d'eau maintenu dans l'obscurité, pendant 5 jours. Ce paramètre constitue un bon indicateur de la teneur en matière organique biodégradable d'une eau naturelle polluée ou d'une eau résiduaire. Deux échantillons sont nécessaires : le premier sert à la mesure de la concentration initiale en oxygène, le second à la mesure de la concentration résiduaire en oxygène au bout de 5 jours. La DBO₅ est la différence entre ces 2 concentrations. Plus la différence est grande et plus le milieu est demandeur en oxygène et donc mal équilibré car les déchets à transformer sont trop importants [45].

II. 2.2. Les analyses bactériologiques

Consiste en l'observation microscopique des bactéries sur lame après coloration spécifique:

- a) **Germes totaux:** Ce sont des micro-organismes aérobies représentant la teneur moyenne en bactéries d'une source naturelle. Ces germes n'ont pas d'effets directs sur la santé mais sous certaines conditions, ils peuvent générer des problèmes. Ce sont des indicateurs qui révèlent la présence possible d'une contamination bactériologique.
- b) **Coliformes totaux:** ce sont des bactéries capables de fermenter le lactose avec production d'acide et de gaz à la température de 37 °C. Ils peuvent exister dans les matières fécales et dans certains milieux naturels (sol et végétation).
- c) **Coliformes fécaux:** Ou coliformes thermotolérants, qui sont des bactéries capables de fermenter le lactose à une température de 44,5 °C. L'espèce la plus fréquemment associée à ce groupe bactérien est l'*Escherichia Coli*.
- d) **Streptocoques fécaux:** c'est un groupe de streptocoques qui ne sont pas tous d'origine fécale. Toutefois, leur recherche associée à celle des coliformes fécaux constitue un bon indice de contamination fécale [46].

II. 3. Conclusion

Afin d'apparaître la qualité physicochimique et microbiologique des eaux, il est indispensable de procéder à des analyses des paramètres de pollution.

A decorative graphic of a scroll with a red outline and grey shading, featuring curled ends at the top and bottom. The text is centered within the scroll.

Chapitre III
Expérimentation
résultats et
discussion

III. 1. Introduction

L'analyse est indispensable à l'élaboration d'un projet d'installation de traitement des eaux ainsi que pour le contrôle de son fonctionnement et l'appréciation de la qualité de l'eau traitée. Dans ce chapitre on présente les matériels, les procédés, les méthodes d'analyses et les réactives utilisées dans cette étude, ainsi que les résultats obtenus et les discussions. En regroupes les diverses analyses effectuées dans le but de savoir la croissance de l'algue *CHLORELLA Pyrenoidosa*, dans divers milieux contenant les métaux lourds et leur efficacité pour le traitement des eaux usées.

III. 2. Matériels et Méthodes

2. 1. Procédure expérimentale

Des cultures de *CHLORELLA Pyrenoidosa* en continu ont été réalisées dans douze systèmes de culture notés de T1 à T12 (figure III.1), le premier est choisi comme référence, certains systèmes (T2, T3,T4 ,T9 et T10) sont enrichie par le Cd, Pb, Cr, As et Sb respectivement, le reste des systèmes de (T5 ,T6,T7, T8, T11 etT12) dont la même composition que les autres mais il ont soumis à un champs magnétiques à raison de trois heures par jours (Tableau III.1). Les cultures on sont exposées à une lumière artificielle assurée par quatre lampes pour chaque six système de culture. Les températures durant l'expérience varie de 25 à 27 °C. L'aération et l'agitation sont assurées par une arrivée d'air continue.



Figure III. 1: Le montage d'expérience réalisé.

La concentration en cellules d'une suspension est déterminée en mesurant l'absorbance à 680nm de cette dernière en utilisant un spectrophotomètre (figure en annexe).

Les prélèvements des échantillons sont effectués les matins dans des flacons stérilisés de 100 ml (figure III. 2), puis sont passés par une étape de centrifugation afin de filtrer le milieu de culture pour les divers analyses.



Figure III.2: Exemples des échantillons

Tableau III. 1 : Compositions et condition de culture.

Les systèmes	Milieu de culture et condition de culture		
	Milieu standard	Enrichie	Présence de champ
T1	+	-	-
T2	+	Cadmium	-
T3	+	Plomb	-
T4	+	Chrome	-
T5	+	-	+
T6	+	Cadmium	+
T7	+	Plomb	+
T8	+	Chrome	+
T9	+	Arsenic	-
T10	+	Antimoine	-
T11	+	Arsenic	+
T12	+	Antimoine	+

III. 2 .2 . Les analyses des eaux aquatiques et les mesures effectuées

III. 2. 2. 1. Les paramètres physico-chimiques

a) pH, température, TDS et salinité

Pour chaque jour après 24 H, on prend soins, pour chaque systèmes de culture de l'expérience, des mesures de: pH, température, les solides dissous totaux (TDS) et salinité sont effectuées. Un multi paramètre de type HANNA (*Figure III.3*), est utilisé pour mesurer les paramètres physiques tels que le pH, la température, les solides dissous totaux (TDS) et la salinité.



Figure III.3: Multi paramètre

B) La Turbidité

La mesure de turbidité consiste à remplir une cuvette de mesure propre et bien essuyer avec de papier hygiénique avec l'échantillon à analyser bien homogénéisé et effectuer rapidement la mesure, il est nécessaire de vérifier l'absence de bulle d'air avant la mesure. L'appareil utilisé est présenté à la figure suivante:



Figure III.4: Turbidimètre

2.2.1.2. La croissance d'algue

Après 24 heures de mise en contact des échantillons, la croissance d'algue cultivée est suivie par la mesure de l'absorbance en biomasse par Spectrophotomètre UV-Visible, type HACH, DR6000 (*Figure III.5*), du Laboratoire de recherche: Génie de l'Eau et de l'Environnement en milieu saharien, à l'Université de Ouargla, l'échantillon est mesurée avec la DR6000 à une longueur d'onde 680 nm. La concentration est en mg/L.



Figure III.5: Spectrophotomètre UV-Visible

2.2.1.3. Les éléments chimiques

- **Les ions chlorures**

La détermination de concentration en chlorures nécessite deux réactifs : l'acide nitrique (HNO_3) à 65% massique et AgNO_3 de $0,1\text{mol}^{-1}$ (selon la teneur en ions Cl^{-1}). Les instruments utilisés sont: titrino 848 de marque metrohm II, une électrode combinée de type argent massif (*Figure III.6*)



Figure III.6: Montage de mesure des ions chlorure.

On met dans un bécher de 100ml une quantité de 20 mL de solution, et on ajoute 1 mL d'acide nitrique 2M, puis on provoque la réaction entre AgNO_3 et la solution. Le potentiomètre s'arrête au point d'équivalence qui correspond au taux des ag nécessaire à neutralises les Cl .et la lecture se fait directement sur le potentiomètre.

- **Dosage portable multiparamétrique**

Les paramètres chimiques: le Phosphate (PO_4), Ammonium(NH_4), Azote total, Charbon total, Demande Chimique en Oxygène (DCO) et Demande Biochimique en oxygène (DBO_5) sont déterminés par l'appareil. Le processus consiste à remplir une cuvette de mesure propre et bien essuyer avec de papier hygiénique avec l'échantillon à analyser bien homogénéisé et effectuer rapidement la mesure, il est nécessaire de vérifier l'absence de bulle d'air avant la mesure, Est utilisé pour mesurer (Figure voir l'annexe).

- **Flame photomètre**

Le PFP7 est un photomètre de flammes à basse température monovoie conçu pour les déterminations de routine de la concentration en sodium, potassium, calcium, baryum et lithium. La sécurité de défaillance de la flamme rend ce produit idéal pour l'utilisation en environnement industriel et dans l'enseignement. L'utilisation de réglages fin et grossier de la sensibilité permet d'effectuer systématiquement des mesures (Figure voir l'annexe) [47].

Après la préparation des solutions spéciale des éléments chimiques suivants (Na, K et Ca) avec des différentes concentrations (2ppm, 4ppm, 6ppm, 8ppm, 10ppm, 12ppm), et après la mesure des concentrations des éléments chimique, on va avoir tracé une courbe d'étalonnage, en suite on va mesurer la concentration des éléments dans l'échantillon (Figure voir l'annexe).

III. 3. Les résultats et discussions

III. 3. 1. La croissance d'algue *CHLORELLA Pyrenoidosa*

Les résultats de la croissance de l'algue *CHLORELLA Pyrenoidosa* est présenté à la figure suivante:

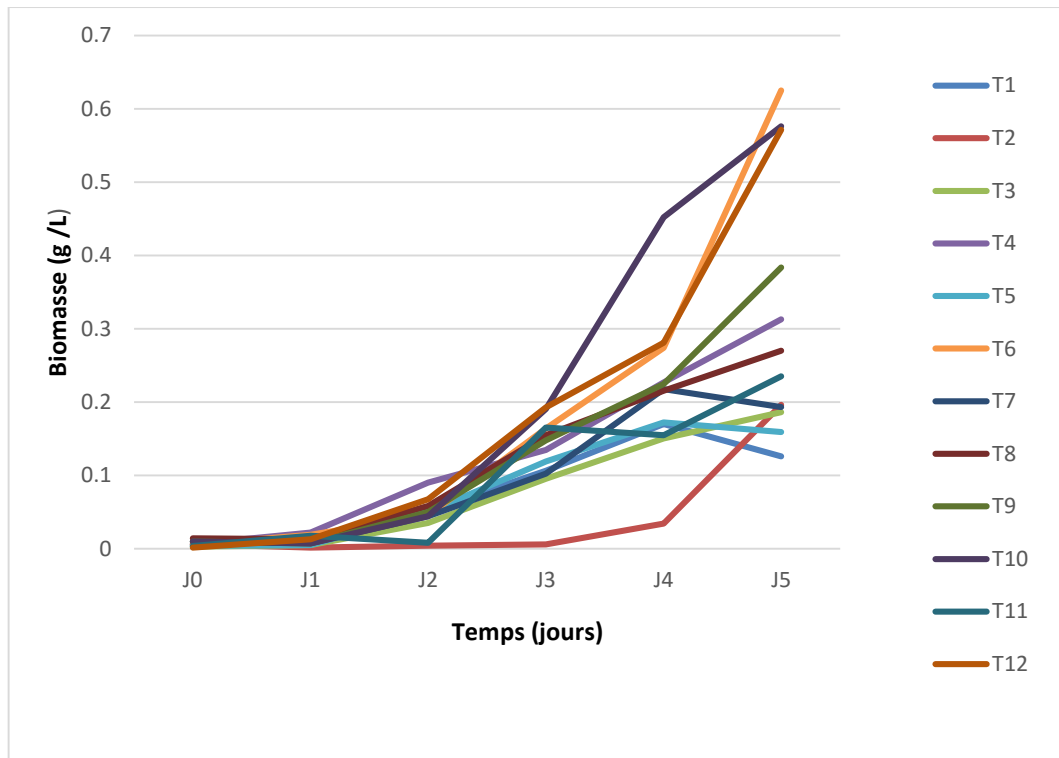


Figure III. 7 : évolution de biomasse des systèmes de cultures.

L'analyse des résultats de la figure III. 7, nous indique que l'allure des graphes est le même pour tous les systèmes des cultures, avec un faibles écart entre tous les systèmes de système T1 jusqu'au système T12 au premier jour d'expérience. Il a commencé à augmenter comme enregistré la plus grande valeur dans le système T4 à 0.0903 g/L et enregistre la valeur la plus faible dans le système T2 à 0.0043 g/L.

Il est très remarquable que, toutes cultures des systèmes passent par une phase d'adaptation au cours des quatrièmes jours, puis la croissance des algues augmente (phase exponentielle). Cependant, la croissance atteint leur valeur maximale durant le 4^{ème} jour pour tous les systèmes, la plus grande valeur est enregistrée pour le système T10, elle est de l'ordre de:0.4522 g/L. Tandis que la valeur la plus faible est enregistrée pour le système T3, elle est de l'ordre de 0.0343 g/L. D'un autre côté, en remarque que les systèmes T1, T5 et T7 entre dans la

phase stationnaire, à partir de 4^{ème} jours, alors que les croissances dans les systèmes : T2, T3, T4, T6, T8, T9, T10, T11 et T12 reste à augmenter, durant le 7^{ème} jour.

L'analyse de ces résultats, nous montre que la croissance de l'algue *CHLORELLA* est influencée par les différents paramètres dépendants de milieu de culture (présence des métaux lourds) ainsi que les paramètres indépendants de milieu de culture (Champs magnétique). En effet, la présence de champs magnétique stimule la croissance de l'algue étudiée.

En ce qui concerne l'étude de l'effet de l'exposition, on observe qu'une application de champs magnétiques alternatifs de $B = 2 \text{ mT}$ sur les souches cultivées à une influence sur La croissance. Cependant, les cultures exposées au champ sont caractérisées par une croissance supérieure à celle obtenues pour les cultures sans champs. En effet, les cultures T6, T10 et T12 présentent les plus grandes valeurs en rendement par rapport aux autres cultures, elles sont de l'ordre de : 0.6251 g/L, 0.576 g/L et 0.5712 g/L respectivement. Ainsi les cultures T2, T3, T4 puis T8, T9, T11 sous champ magnétique, présentent aussi des rendements supérieurs par rapport aux cultures : T1, chose qui nous permet de dire que les systèmes T5 et T7 a la présence de champs magnétique stimule la croissance de l'algue *CHLORELLA*.

En ce qui l'étude de l'effet de présence des métaux lourds, on a réalisés des tests en présence de Cinq métaux Cd, Pb, Cr, As et Sb. Selon les graphes de la figure III.7 On remarque que la présence de ces métaux à un effet positif sur la croissance de l'algue étudiée. Cependant, on observe que pour les Cinq métaux les rendements sont supérieurs à celui de Test 1 qui est choisi comme référence.

D'un autre côté, en remarque que la présence de champs magnétique influe aussi sur la croissance d'algue *CHLORELLA* dans les milieux enrichies par les métaux lourds (Tableau III.2):

Tableau III. 2 : Classement des rendements maximaux des tests réalisés en présence des métaux lourds avec et sans champs magnétique.

Avec champs magnétique		Sans champs magnétique		Résultat de référence T1
Cd	0.6251	Sb	0.5761	0.1701
Sb	0.5712	As	0.3836	0.1701
Cr	0.2702	Cr	0.2268	0.1701
As	0.2352	Cd	0.19635	0.1701
Pb	0.2177	Pb	0.1862	0.1701

De l'analyse des résultats de tableau III. 2, il est très clairement que pour tous les tests les rendements obtenus sont supérieurs à celui de test 1 choisi comme référence, qui est enregistré le rendement le plus faible 0.1701 g/l. D'un autre côté, on remarque que pour les cinq métaux les rendements en présence de champs magnétique sont supérieurs à ceux obtenus sans champs magnétique, en ce qui concerne le milieu enrichi par le cadmium (Cd), permet la croissance des souches cultivés moins que celui enrichi avec le antimoine (Sb), ceci sans champs magnétique; et inversement en culture avec le champ le cadmium facilite la croissance des souches mieux que le antimoine.

Pour le plombe, leur présence dans les milieux de culture avec ou sans champs, engendre une difficulté de la croissance des souches. Cependant, les rendements enregistré dans les milieux enrichie par le plombe avec et sans champs.

III. 3. 2. Résultats des mesures et des analyses chimiques des eaux aquatiques

III. 3. 2. 1. Les paramètres physico-chimiques

3. 2. 1. 1. pH

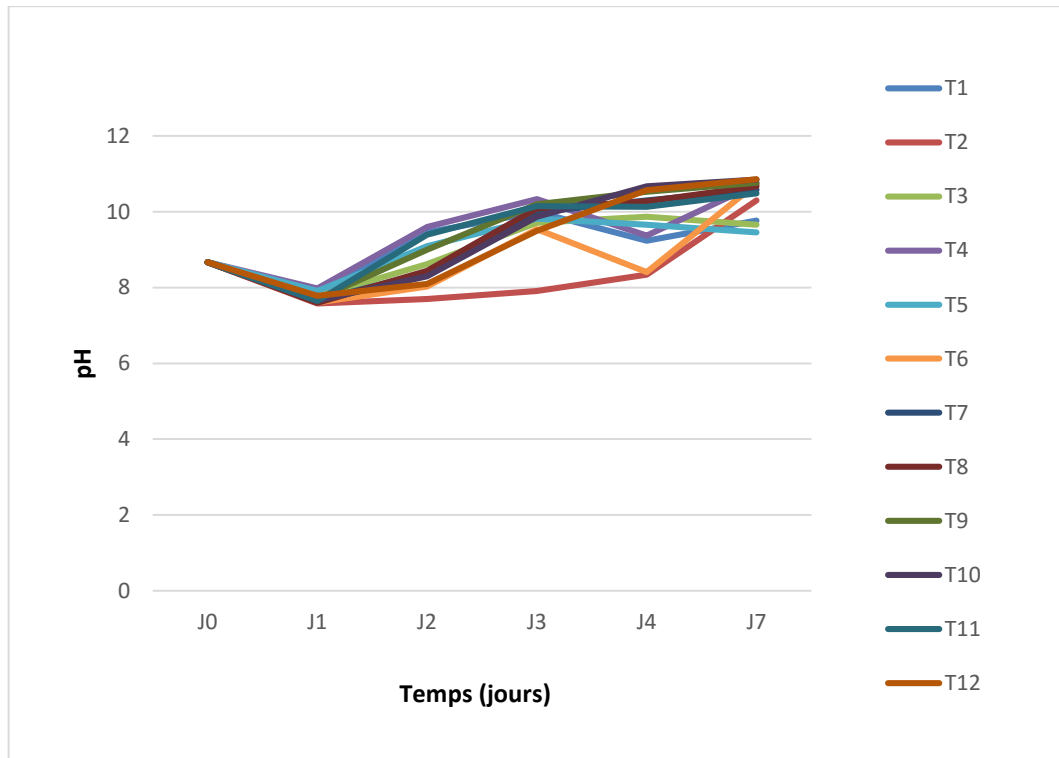


Figure III. 8: variation du pH dans le milieu de culture

De l'analyse des courbes de la figure III. 8, En ce qui concerne ce paramètre, au premier jour d'expérience la valeur de pH est 8.6, puis lors de suivi de croissance, et on remarque que les quatre premiers jours d'expérience la valeur de pH entre 8.67 à 10.67. D'un autre côté, on remarque la stabilité relative dans tous les systèmes de culture à partir de 7ème jours la valeur de pH de 9.46 à 10.85. En comparant ces résultats avec ceux présentés à la figure III.8, qui présente l'évolution de biomasse au cours de l'expérience, ces résultats confirment l'augmentation de la quantité de biomasse que les trois premiers jours dont le pH en augmente.

3.2.1.2. Variation de température

La variation des températures des milieux aquatiques est présentée à la figure suivante:

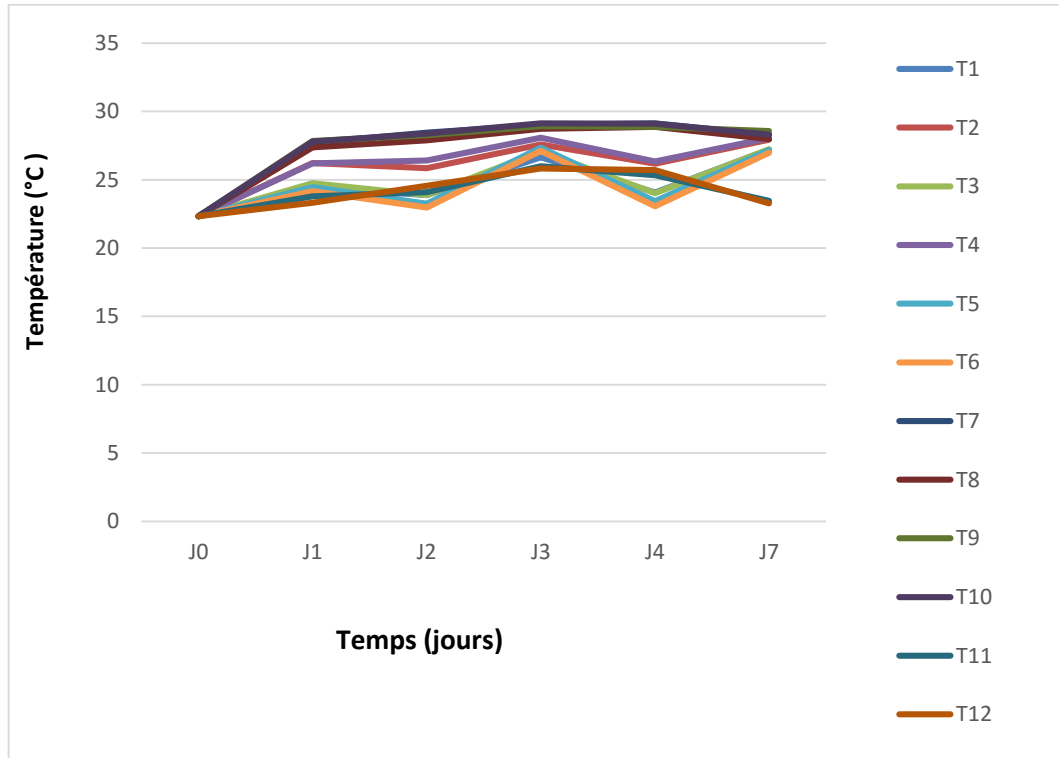


Figure III. 9 : variation de la température dans le milieu de culture

L'analyse de figure III. 9, nous montre qu'il y a une symétrie de l'allure des courbes pour tous les systèmes de culture au début d'expérience. Il a commencé à augmenter comme enregistré la plus grande valeur dans le système T10 à 29.11 °C et enregistre la valeur la plus faible dans le système T6 à 23.06 °C durant les quatre premiers jours d'expérience. En comparant ces résultats avec ceux présentés à la figure III.9, qui présente l'évolution de biomasse au cours de l'expérience, ces résultats confirment l'augmentation de la quantité de biomasse que les trois premiers jours dont les températures en augmentent.

3.2.1.3. Les solides dissous totaux (TDS)

Les résultats de mesures des solides dissous totaux (TDS) des milieux aquatiques sont présentés à la figure suivante:

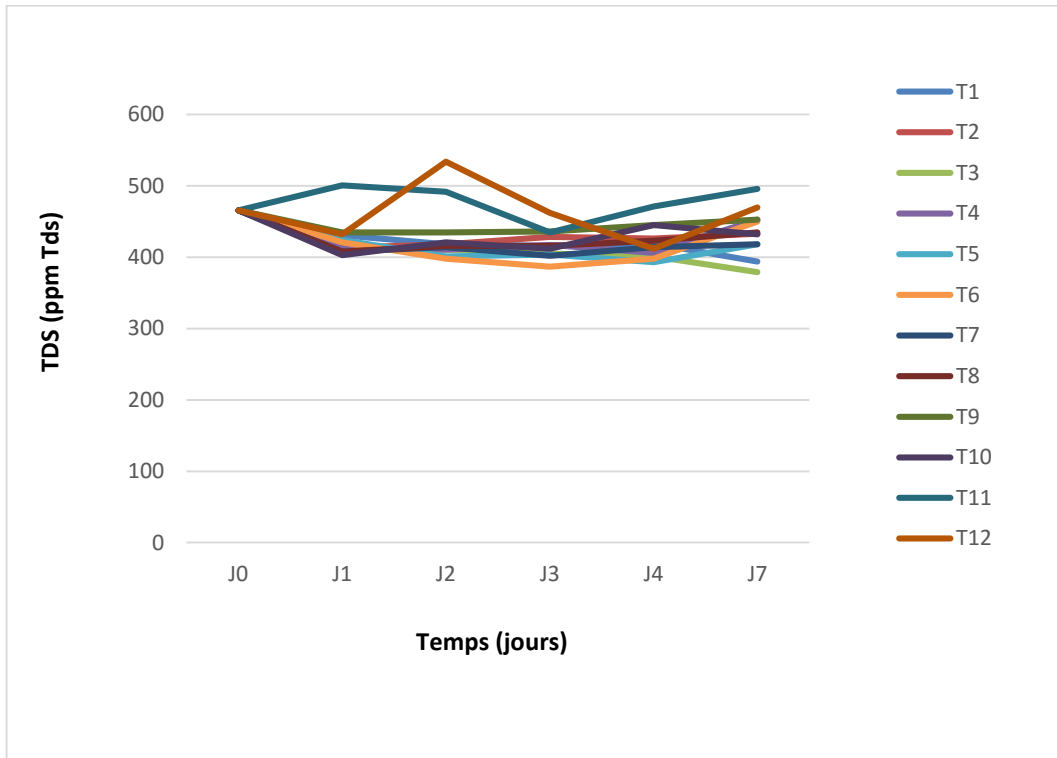


Figure III. 10 : variation de Les solides dissous totaux (TDS) dans le milieu de culture

L'analyse des résultats de la figure III. 10, nous indique que l'allure des graphes est le même pour tous les systèmes des cultures avec un faible écart dans premier jours à 403ppm Tds. En remarque une augmentation de tous les systèmes T1 jusqu'e T12 entre la valeur 400et 500 ppm Tds.

3.2.1.4. Salinité

Les variations des salinités des différents milieux aquatiques sont présentées à la figure suivante:

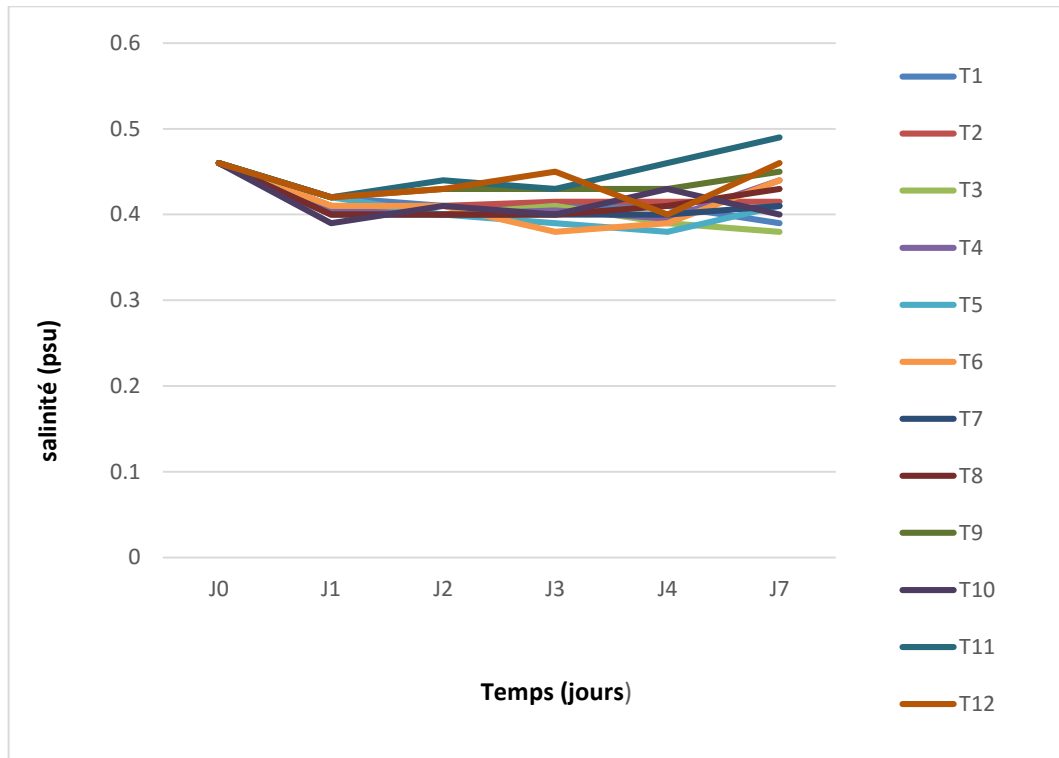


Figure. III. 11: Variation de la salinité dans le milieu de culture

L'analyse des résultats de la figure III. 11. nous indique que l'allure des graphes est le même pour tous les systèmes des cultures avec un faible écart dans premier jours à 0.39 psu .en remarque une augmentation de tous les systèmes T1 jusqu' à T12 entre la valeur 0.4 et 0.5 psu. Salinité faible entre J0 et J1 des preuves que *CHLORELLA* croitre dans le milieu riche par les sels, et stabilité relative dans tous les systèmes des cultures entre J1 et J7 le *CHLORELLA* cultivées et absorbé des sels dans le milieu.

3.2.1.5. Turbidité

Les variations des turbidités des différents milieux aquatiques sont présentées à la figure suivante:

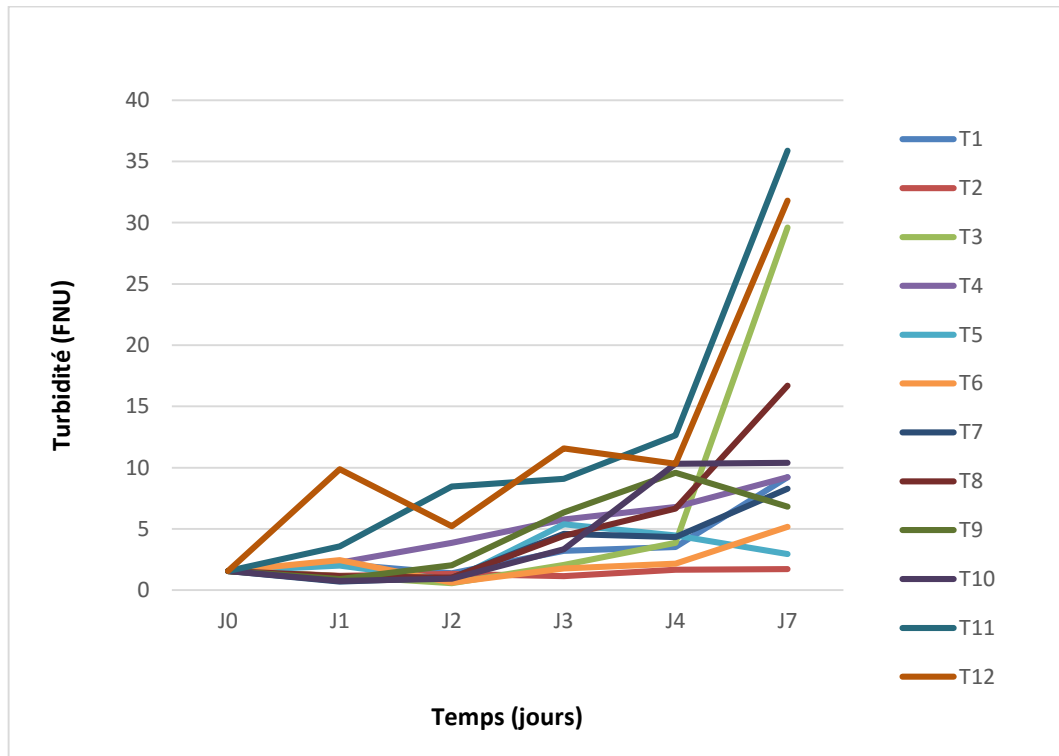


Figure. III. 12: Variation de la turbidité dans le milieu de culture

L'analyse des résultats de la figure III. 12, en remarque pour tous les systèmes des cultures un faible écart entre le système T1 jusqu'au T10 dans jour 4, et enregistre une augmentation dans le système T3 à valeur 29 FNU, à l'exception de système T11 et T12 est plus élevé dans jour 0 jusqu'à jour 4 la valeur 10.32 FNU et 12.64 FNU, dans jour 4 et jour 5 enregistre la valeur 35.8 FNU et 31.8 FNU.

Cependant, lors des premiers jours, dans les quelles il y a une croissance de l'algue étudié, la turbidité diminue, donc la turbidité est inversement proportionnelle avec la croissance des cellules cultivées, et pendant les derniers jours, pendant les quels la croissance de l'algue diminue, on observe une augmentation de la turbidité.

III. 3. 2. 2. Minéralisation globale

3.2.2.1. Sodium

La variation des concentrations en sodium des différents milieux aquatiques est présentée à la figure suivante:

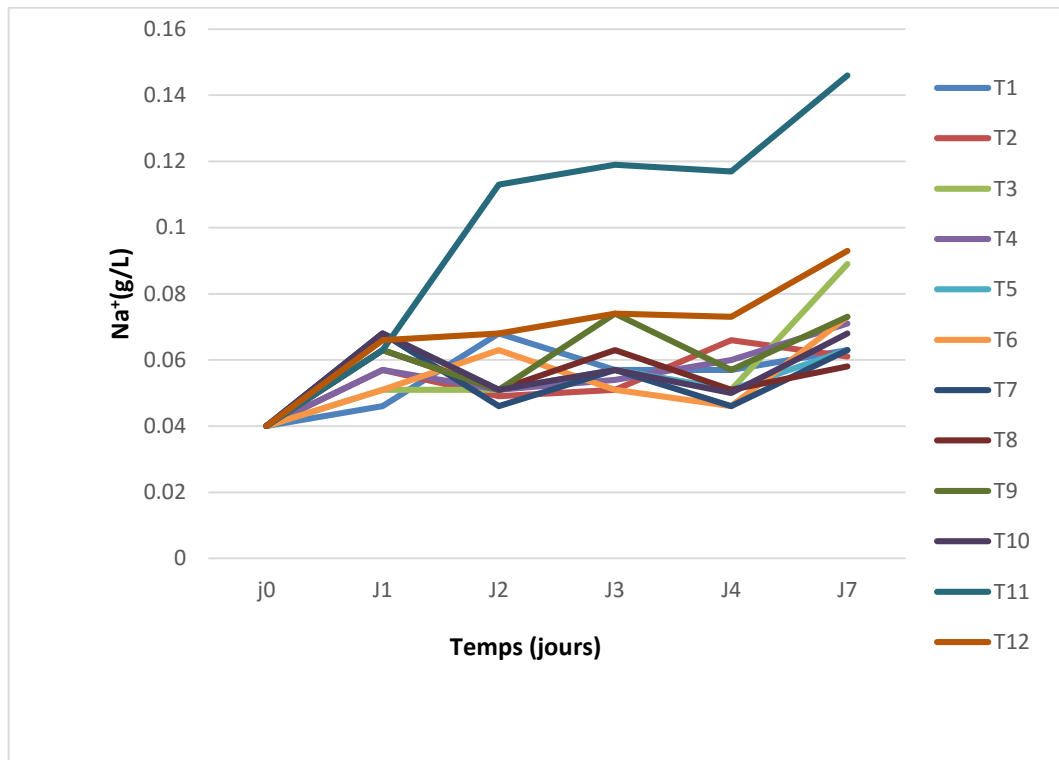


Figure. III. 13 : variations de la concentration de sodium dans les milieux de culture

L'analyse de la figure III. 13 nous montre qu'il y a une symétrie de l'allure des courbes pour tous les systèmes de culture. Au début d'expérience (jour 0) la concentration de sodium est 0.04 g/L, Après 24 h seulement on a enregistré une augmentation de sodium pour tous les systèmes. Il a commencé à augmenter comme enregistré la plus grande valeur dans le système T10 à 0.068 g/L. et enregistre la valeur la plus faible dans le système T1 à 0.046 g/L. à l'exception de système T11 qui est caractérisé par un écart plus élevé que les autres systèmes. Dès le premier jour, on remarque la stabilité relative dans tous les systèmes entre jour 1 jusqu'au jour 4. Dans le dernier jour (jour 7) on enregistre de la plus grande valeur dans le système T11 et la valeur la plus faible dans le système T8. Puis on remarque une diminution de la consommation de sodium dès le deuxième jour et le quatrième jour. De ces résultats, on conclue que les souches de *CHLORELLA* croissent dans les milieux riches en sodium, ainsi que cette consommation dépend des autres conditions de culture telles que les systèmes T3, T5, T7, T8 et T10.

3.2.2.2. Potassium

La variation des concentrations en potassium (K) des différents milieux aquatiques est présentée à la figure suivante:

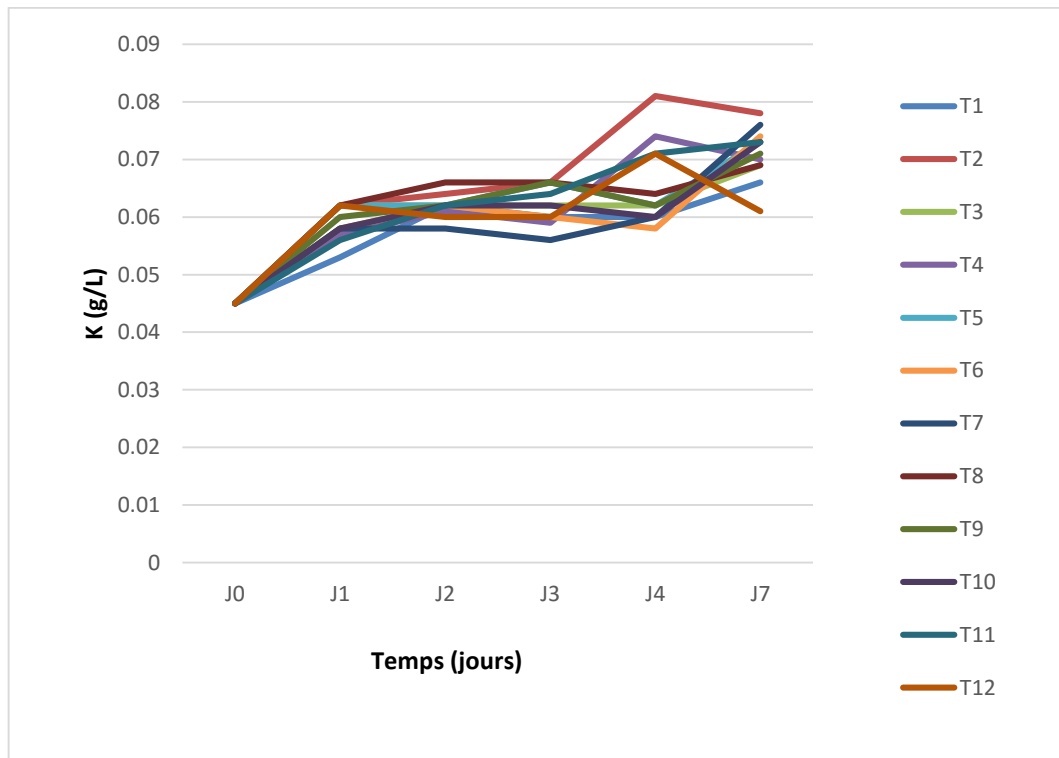


Figure III. 14 : variations de la concentration potassium dans le milieu de culture

L'analyse de la figure III. 14 nous montre qu'il y a une symétrie de l'allure des courbes pour tous les systèmes de culture. Au début d'expérience la concentration de potassium est 0.045 g/L, ce qui représente un pourcentage 55.55 %. Après 24 h seulement on a enregistré une augmentation de potassium par les cellules cultivées. Dès le premier jour, on remarque la stabilité relative dans tous les systèmes entre jour 1 et jour 4. Dans le dernier jour enregistré de la plus grande valeur dans le système T7 et la valeur la plus faible dans le système T12.

D'un autre côté, on remarque la consommation de potassium dès quatrième jour que les systèmes T1, T3, T5 jusqu'au système T10. De ces résultats, on conclue que les souches de *CHLORELLA* croître dans les milieux quelque peu par le potassium, ainsi que cette consommation dépend des autres conditions de culture avec et sans présence de champs magnétique. Ce dernier lui-même diminue la consommation de potassium comme dans le système T12 pour jour 7.

3.2.2.3. Calcium

La variation des concentrations en calcium (Ca) des différents milieux aquatiques est présentée à la figure suivante:

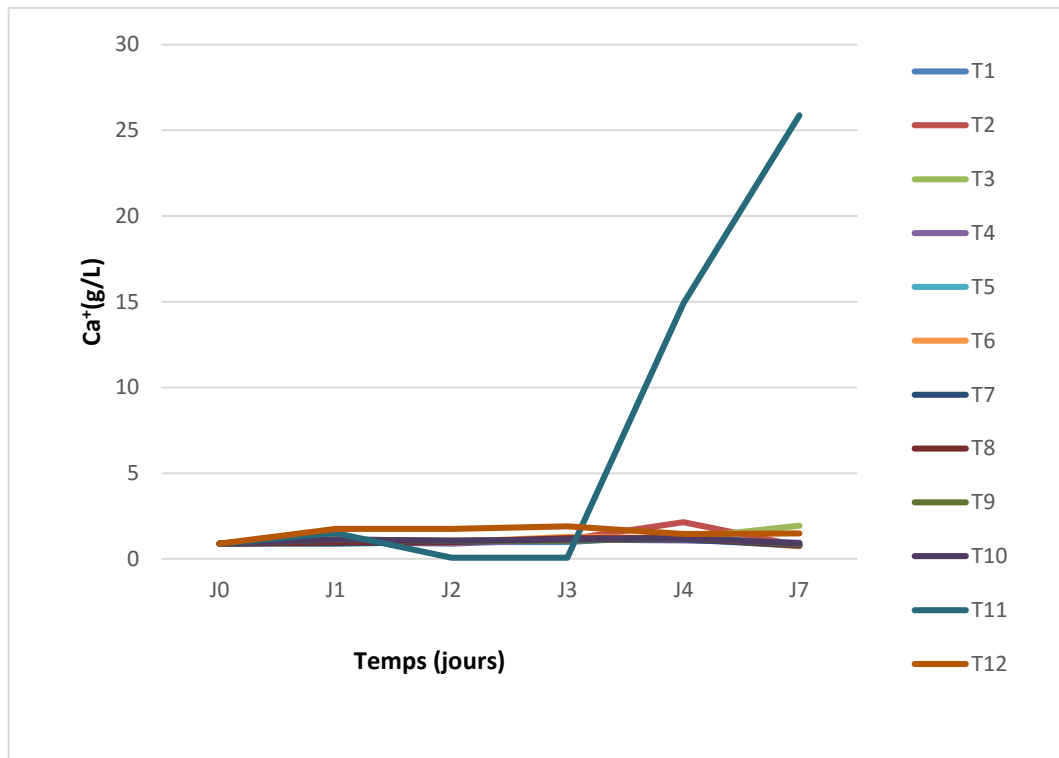


Figure III. 15 : variations de la concentration de calcium dans le milieu de culture

L'analyse de la figure III. 15 nous montre qu'il y a une symétrie de l'allure des courbes pour tous les systèmes de culture. Au début d'expérience la concentration de calcium est 0.9 g/L. ce qui présente un pourcentage de 3 à 4%, dès le deuxième jour d'expérience la souche d'algue *CHLORELLA* cultivé au système T11 ont consommé la totalité (100%) de calcium de milieu de culture jusqu' au jour 3.

Après le troisième jour seulement on a enregistré une consommation de calcium par les cellules cultivées. Au cours de septième jour l'exception est au niveau de système T11 qui est caractérisé par une augmentation intéressante.

3.2.2.4. Les ions Chlorures (Cl⁻)

La variation des concentrations en chlorures (Cl⁻) des différents milieux aquatiques est présentée à la figure suivante:

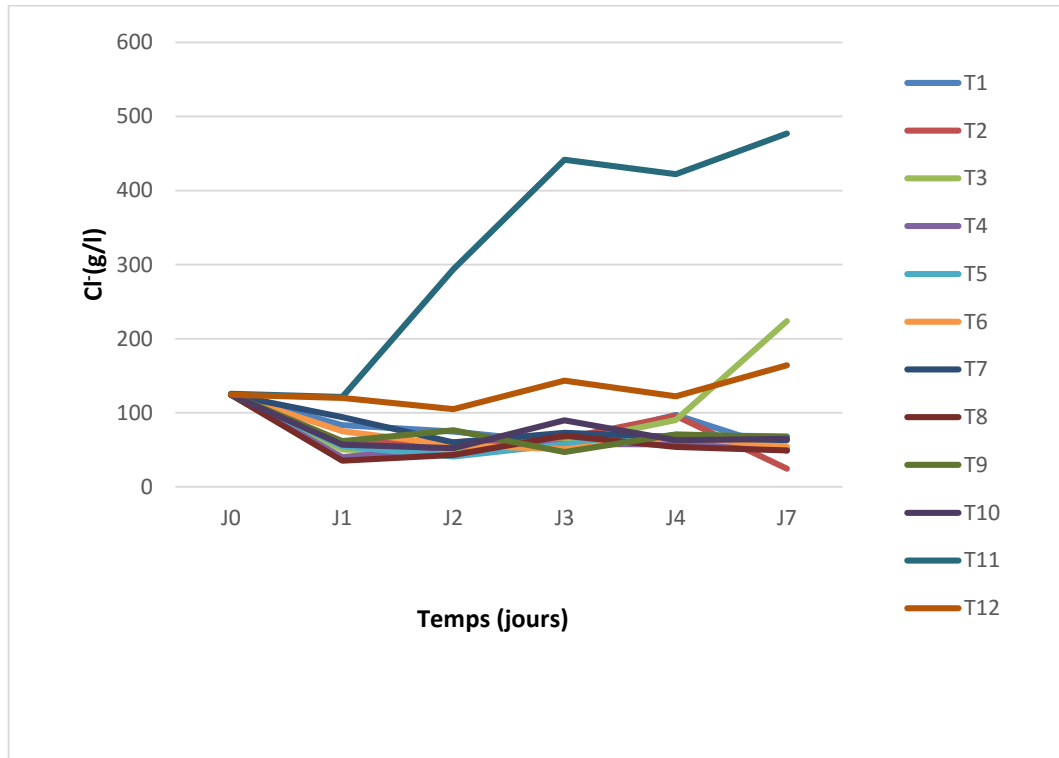


Figure III. 16 : variations de la concentration des ions Chlorures dans le milieu de culture

L'analyse de la figure III. 16, nous montre qu'il y a une symétrie de l'allure des courbes pour tous les systèmes de culture. Au début d'expérience (jour 0) la concentration des ions Chlorures est 124.5 g/L. dès le premier jour d'expérience les souches d'algue *CHLORELLA* cultivés aux tous les systèmes ont consommés les ions Chlorures de milieu de culture.

Après 24 h seulement en remarque la stabilité relative dans les systèmes entre jour 1 et jour 4. Il a commencé à augmenter comme enregistré la plus grande valeur dans le système T11 à 476.8 g/L. au cours de quatrième jours l'exception est au niveau de système T3 qui est caractériser par une augmentation en présence de Pb cas de système 3, en ce qui concerne le système T2 une diminution de la concentration des ions Chlorures est enregistrée par rapport aux autres systèmes T11 et T12.

3.2.2.5. Phosphate

La variation des concentrations en phosphate (PO_4) des différents milieux aquatiques est présentée à la figure suivante:

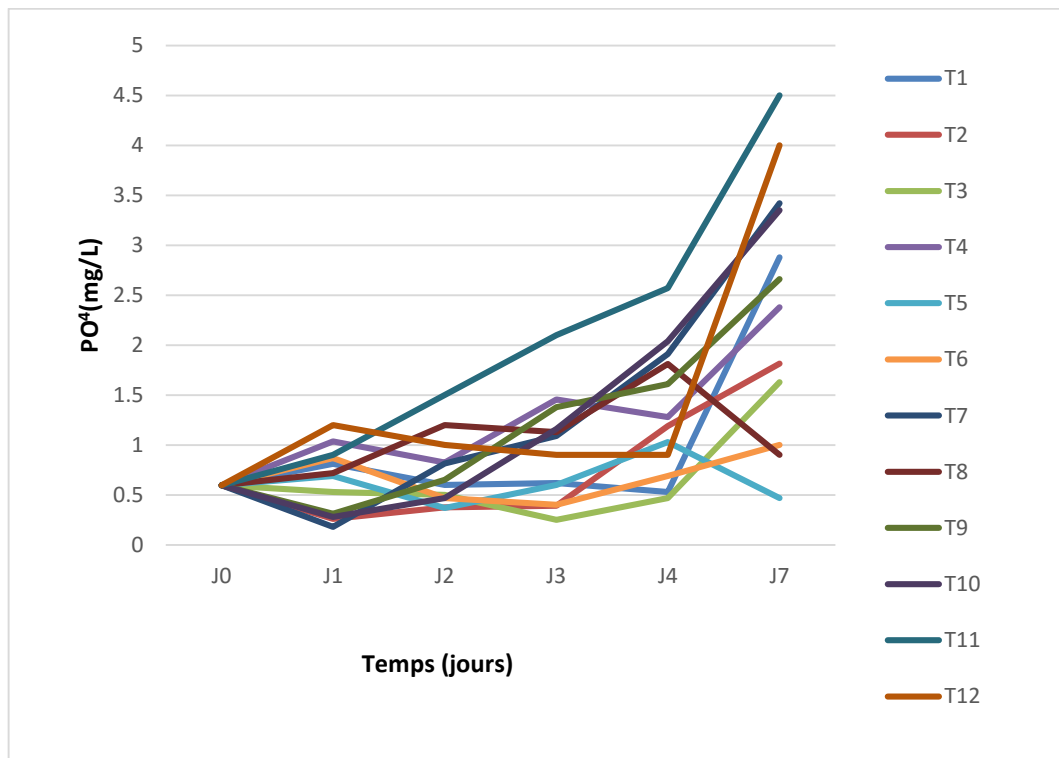


Figure III. 17 : Variation du phosphate dans le milieu de culture

De l'analyse des courbes de la figure III. 17, on remarque que l'allure des courbes est presque identique pendant les quatre premiers jours, avec un faible écart de l'un à l'autre jour 0 jusqu'à jour 4 dans valeur 2.57 mg/L, puis en remarque une augmentation pendant le jours 4, au cours de jour 5 l'exception est au niveau de système T11 qui est caractériser par une augmentation intéressante dans le valeur 4.5 mg/L.

Ces résultats, on conclut que les souches de *CHLORELLA* croitre dans les milieux riches le phosphate.

3.2.2.6. Ammonium

La variation des concentrations en ammonium des différents milieux aquatiques est présentée à la figure qui suit:

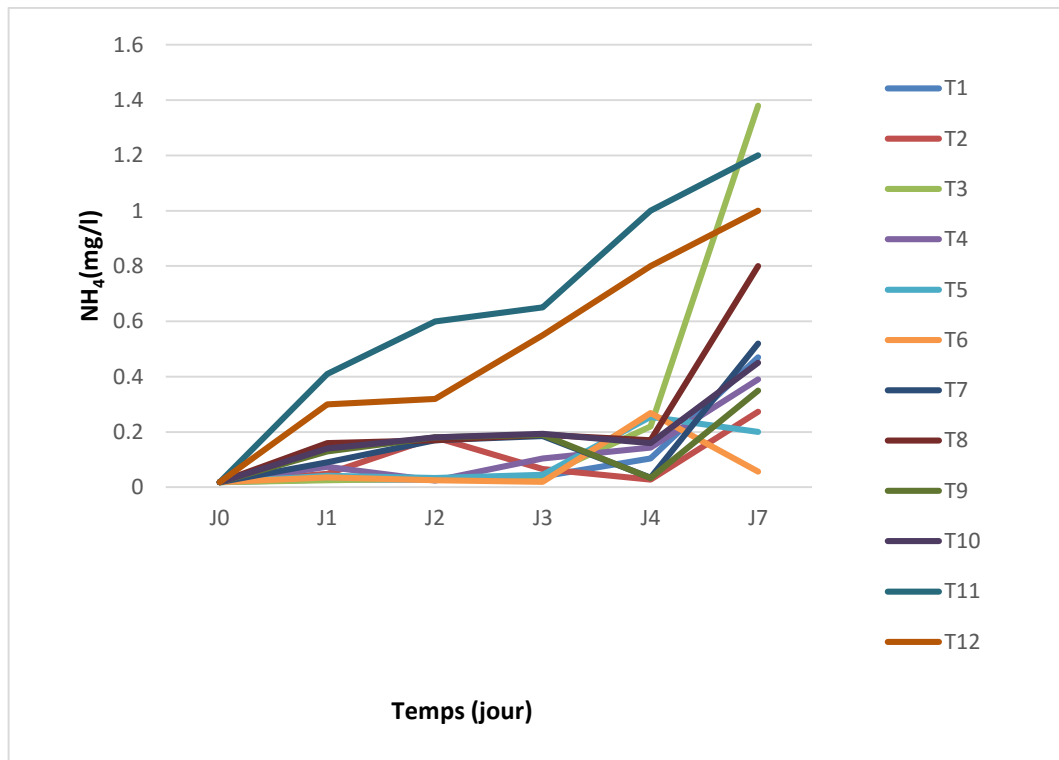


Figure III. 18 : variation de l'ammonium dans le milieu de culture

De l'analyse des courbes de la figure III. 18, on remarque que l'allure des courbes est presque identique pendant les quatre premiers jours, avec un faible écart de l'un à l'autre, puis on remarque une augmentation pendant le quatrième jour, au cours du même jour l'exception est au niveau de système T3 qui est caractérisé par une augmentation intéressante, en ce qui concerne le système T6 une diminution plus importante de la concentration de l'ammonium. Il a commencé à augmenter comme enregistré la plus grande valeur dans le système T11 à 1.2 mg/L et le système T12 à 1 mg/L.

Cette diminution de ces résultats, on conclut que les souches de CHLORELLA croissent dans les milieux riches en ammonium.

3.2.2.7. Azote total

Les résultats de mesure de la variation des concentrations en azote total des différents milieux aquatiques sont présentés à la figure qui suit:

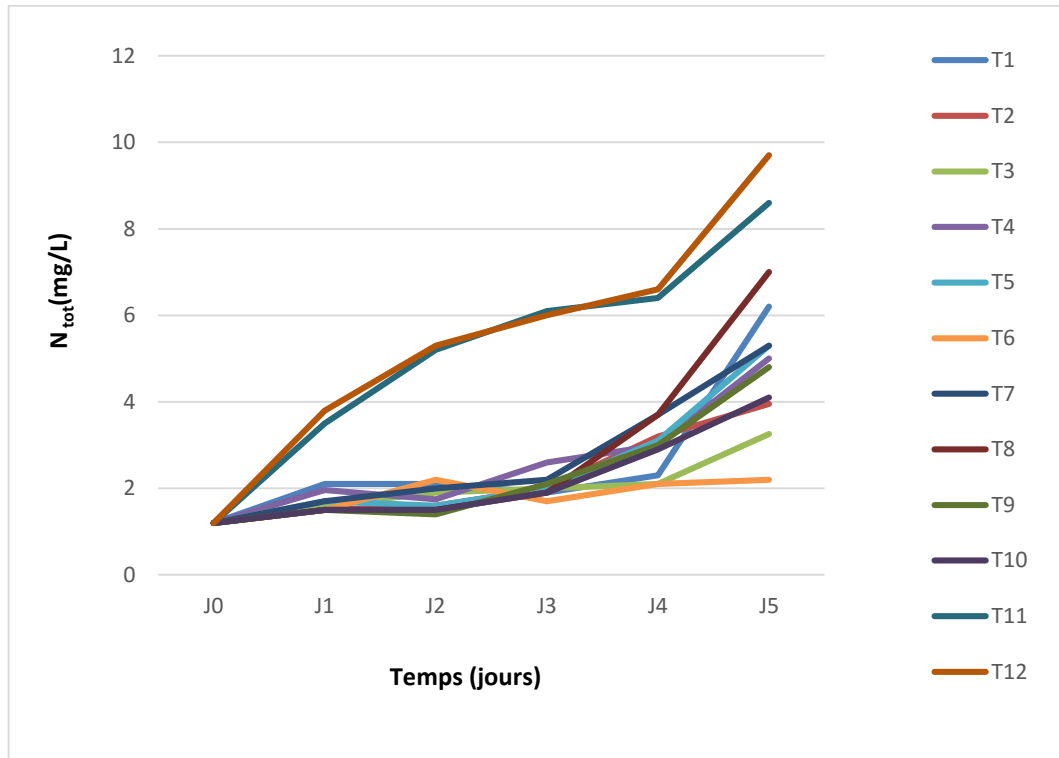


Figure III. 19 : variation de l'azote total dans le milieu de culture

L'analyse des résultats de la figure III. 19, nous indique que l'allure des graphes est la même pour tous les systèmes des cultures, avec un faible écart entre le système T1 jusqu'au système T10 enregistre la valeur 6.2 mg/L, à l'exception de système T11 et T12 qui est caractérisé par un écart plus élevé que les autres systèmes dans valeur 9.7 mg/L.

Dans le dernier jour enregistre de la plus grande valeur dans le système T11 et T12 et la valeur la plus faible dans le système T6.

De ces résultats de jour 0 jusqu' au jour 4 entre le système T1 jusqu'au système T10, on conclue que les souches de *CHLORELLA* croitre dans les milieux riches par l'azote par apporte les systèmes T11 et T12.

3.2.2.8. Charbon total

Les résultats de mesure de la variation des concentrations en Charbon total des différents milieux aquatiques sont présentés à la figure qui suit:

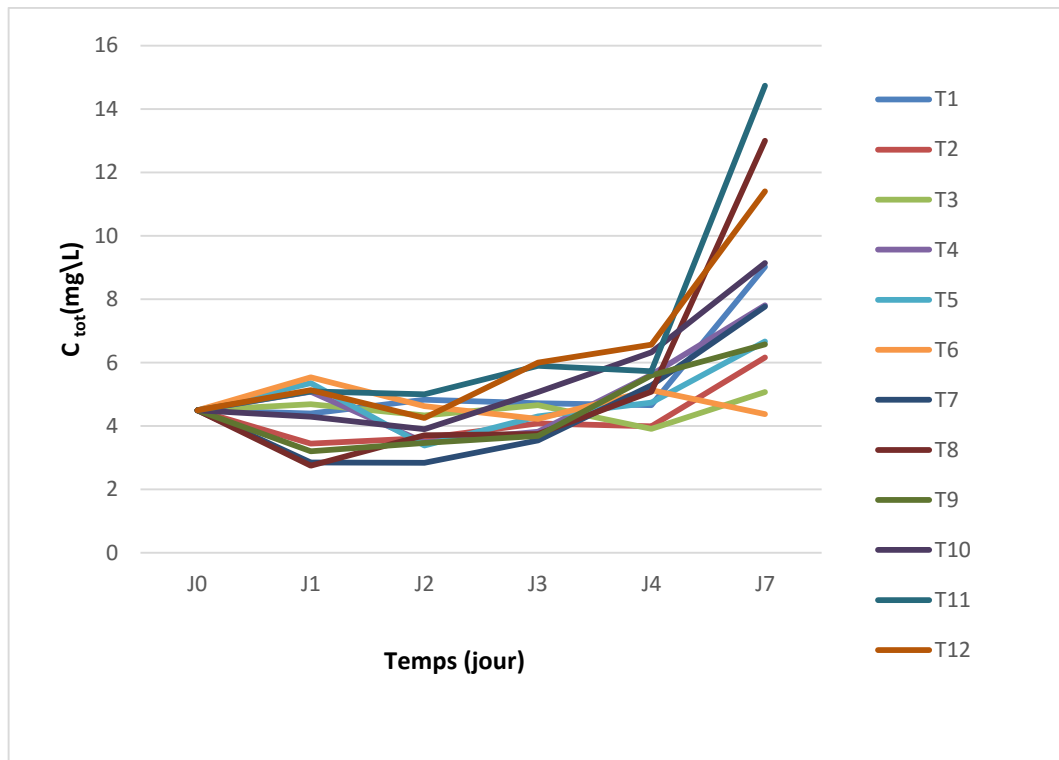


Figure III. 20 : Variation de Charbon total dans le milieu de culture

L'analyse de la figure III. 20, nous montre qu'il y a une symétrie de l'allure des courbes pour les systèmes de culture T1 , T3 , T4, T5, T6, T10, T11, et T12 et une autre symétrie pour les systèmes qui restent : T2, T7 , T8, et T9. Au début d'expérience (jour 0) la concentration de Charbon total est 4.5 mg/L. Dès le premier jour d'expérience les souches d'algues *CHLORELLA* cultivées aux systèmes T2, T7, T8, et T9 ont consommé un pourcentage de Charbon total de milieu de culture. Après 24 h seulement on a enregistré une augmentation relative dans tous les systèmes entre jour 2 et jour 4.

Dans le dernier jour enregistré de la plus grande valeur dans le système T11 et la valeur la plus faible dans le système T6. Il est observé la consommation de Charbon total comme dans le cas de système 6 à la richesse des souches de *CHLORELLA* dans le milieu.

3.2.2.9. Demande Chimique en Oxygène (DCO)

La variation des concentrations en Demande Chimique en Oxygène (DCO) des différents milieux aquatiques sont présentés à la figure qui suit:

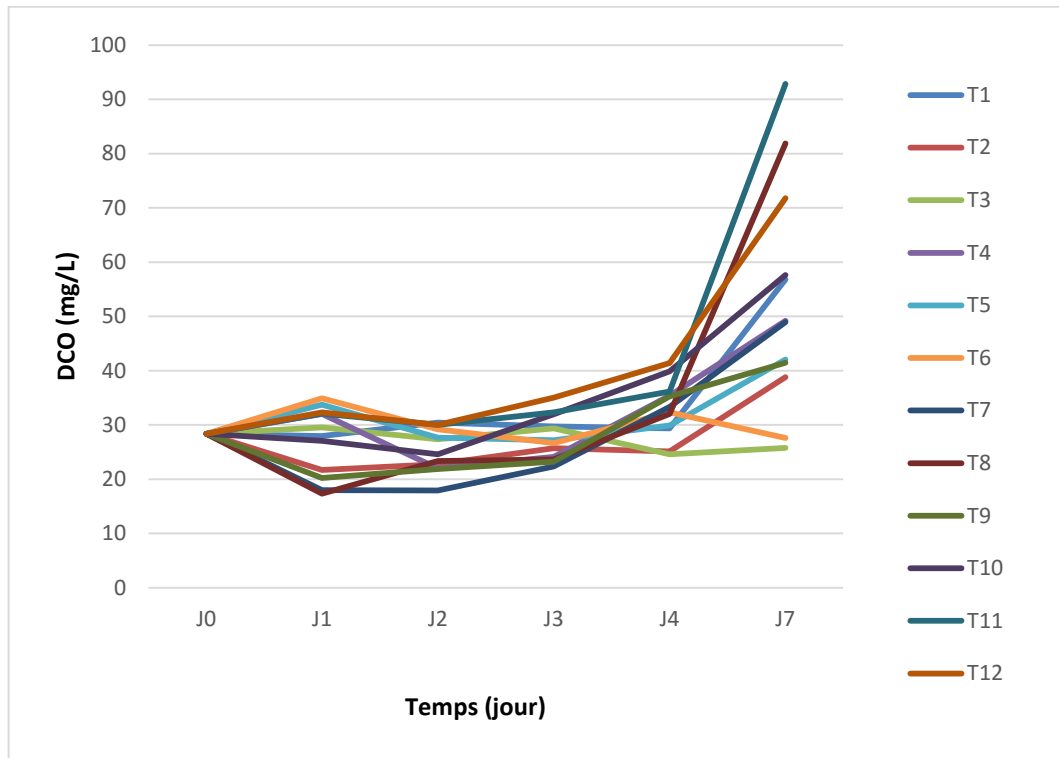


Figure III. 21 : Variation de DCO dans le milieu de culture

De l'analyse des courbes de la figure III. 21, on remarque que l'allure des courbes est presque identique pendant les quatre premiers jours, avec un faible écart de l'un à l'autre, puis on remarque une augmentation pendant le quatrième jour, au cours de septième jour l'exception est au niveau de système T10, T11 et T12, qui est caractérisé par une augmentation intéressante, en ce qui concerne le système T6 une diminution des valeurs de la Demande chimique d'oxygène, est enregistrée par rapport autres systèmes T1, T2, T3, T4, T5, T7, T8 et T9.

On observe une augmentation des valeurs de la Demande chimique d'oxygène avec le temps des jours. Et la diminution de la DCO s'explique par l'adsorption de l'algue *CHLORELLA* la matière organique dans les milieux. Et la diminution de la DCO s'explique par l'adsorption de cette algue la matière organique dans le cas de système 6 pour le 7^{ème} jour.

3.2.2.10. Demande Biochimique en oxygène (DBO₅)

La variation des concentrations en Demande Biochimique en oxygène (DBO₅) des différents milieux aquatiques sont présentés à la figure qui suit:

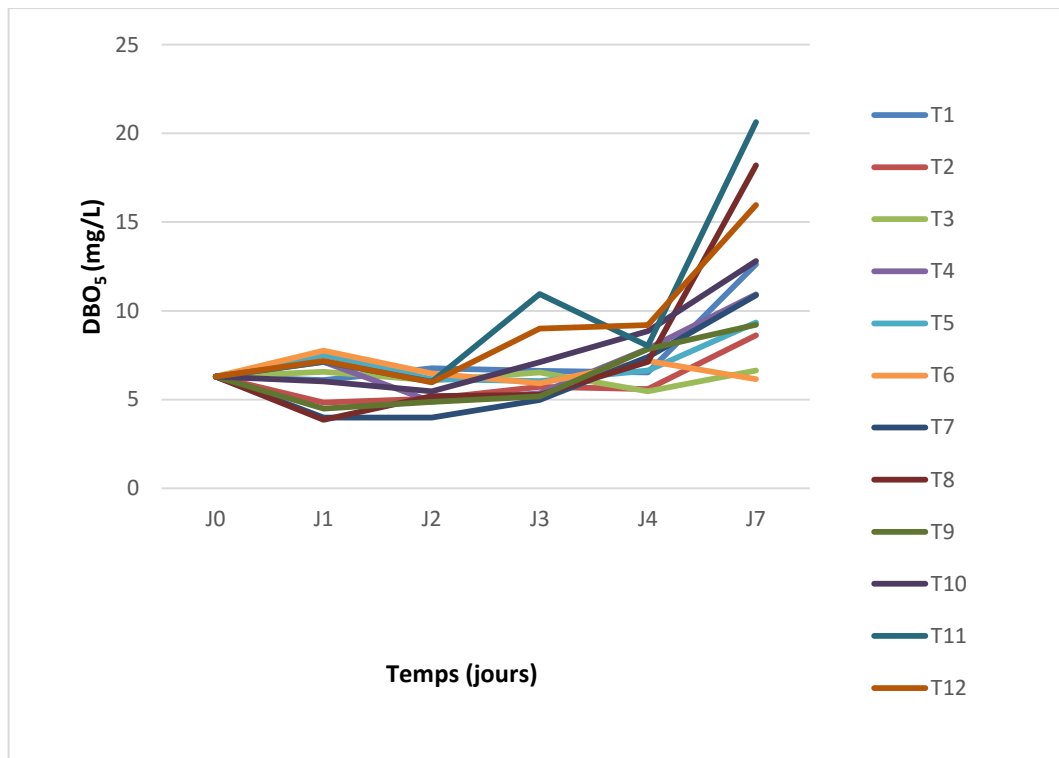


Figure III. 22 : Variation de DBO₅ dans le milieu de culture

De l'analyse des courbes de la figure III. 22, on remarque que l'allure des courbes est presque identique pendant les quatre premiers jours, avec un faible écart de l'un à l'autre jour 0 jusqu'à jour 4 dans valeur 9.2 mg/L, puis on remarque une augmentation pendant le jour 4, au cours de jour 5 l'exception est au niveau des systèmes T8, T11 et T12 qui est caractérisé par une augmentation intéressante par rapport aux autres systèmes.

D'une façon générale, on constate une augmentation de la DBO₅ ce qui signifie que la quantité de matière organique non biodégradable devient plus importante continue dans tous les systèmes avec la croissance des cellules cultivées.

III.4. Application

III. 4.1. Traitement d'une l'eau industrielle

Les eaux industrielle prélever de la station de traitement des eaux de la zone de barkaoui utilisée pour le dessalement de pétrole brute, l'eau industrielle unité de guellala section déshuilages a été obtenu le 04/03/2018 on a mesuré les paramètre suivant :

- pH est 5.27
- Température est 21.79 C °
- TDS est 59.35 ppm Tds
- Salinité est 70 Psu

III. 4.2. Procédure expérimentale

Des cultures d'un traitement de l'eau industriel en continu ont été réalisées dans quatre systèmes de culture notés de E1 à E4 (figure III.1), certains systèmes E1, E2, E3, E4 (Tableau III.1). Les cultures en sont exposées à une lumière artificielle assurée par quatre lampes, et sous une température de 25 à 27 °C. L'aération et l'agitation sont assurées par une arrivée d'air continue.

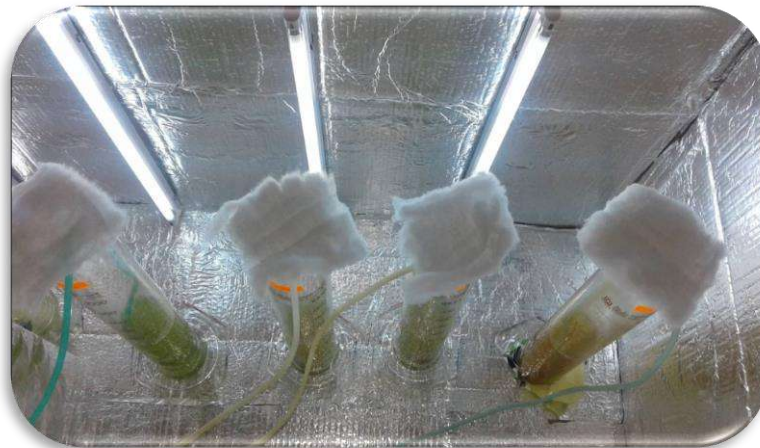


Figure III. 23: La zone d'expérience

La concentration en cellules d'une suspension est déterminée en mesurant l'absorbance à 680 nm de cette dernière en utilisant un spectrophotomètre (figure en annexe).

Les prélèvements des échantillons sont effectués les matins dans des flacons stérilisés de 50 mL (figure III. 24), puis son passé par une étape de centrifugation afin de filtrer l'eau industrielle pour les divers analyses.

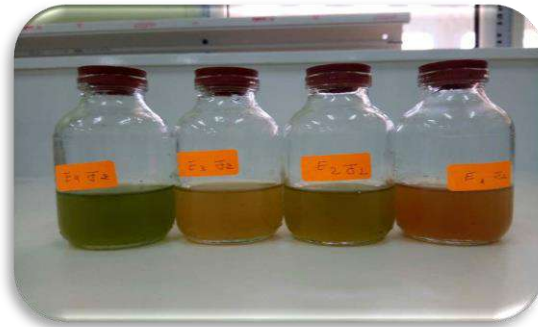


Figure III. 24 : Les échantillons

Tableau III.3 : Les données d'expérience avec l'eau industrielle

Les systèmes	Filtration	Dilution
E1	-	-
E2	-	+
E3	+	-
E4	+	+

III. 5. Les résultats et discussions

III. 5.1. La croissance d'algue *CHLORELLA Pyrenoidosa*

Les résultats de la croissance de l'algue *CHLORELLA Pyrenoidosa* est présenté à la figure suivante :

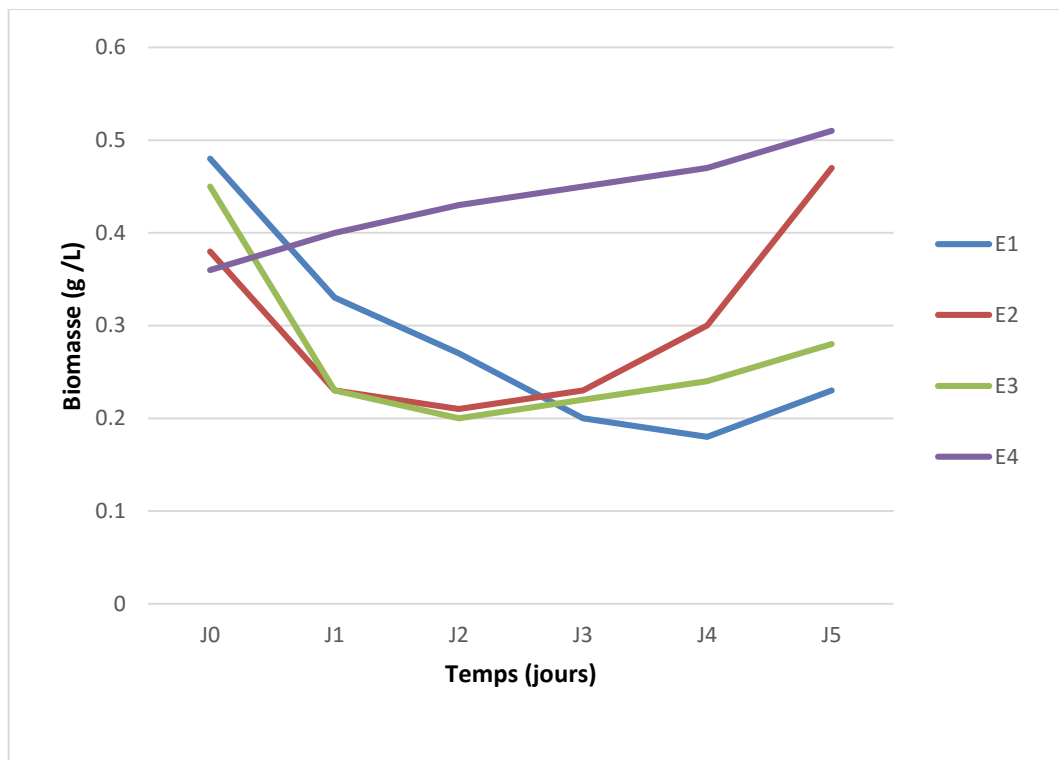


Figure III. 25 : évolution de biomasse dans l'eau industrielle.

L'analyse des résultats de la figure III. 25, en remarque E1, E2 et E3 à valeur 0.48 g/L, 0.38 g/L et 0.45 g/L est diminution de jour 1 jusqu'à jours 4 en enregistrées la valeur 0.18 g/L, 0.48 g/L et 0.28 g/L est augmentés. E4 est plus élevé et enregistre grand valeur 0.51 g/L.

Cette diminution de jour 1 jusqu'à jours 3 pour les systèmes E1, E2 et E3 ont conclu que les souches de *CHLORELLA* n'a pas encore dans les milieux. , ainsi que cette consommation dépend des autres conditions de culture tel que la présence l'effet de dilution et filtration de l'eau dans le cas de système 4. Il est très remarquable que toutes cultures des systèmes de l'eau industrielle au cours des quatrièmes jours, puis la croissance des algues augmentent.

III.5.2 Résultats des mesures et des analyses de l'eau industrielle

III. 5. 2. 1. Les paramètres physico-chimiques

5.2.1.1. Le pH

La variation le pH de l'eau industrielle est présentée à la figure suivante :

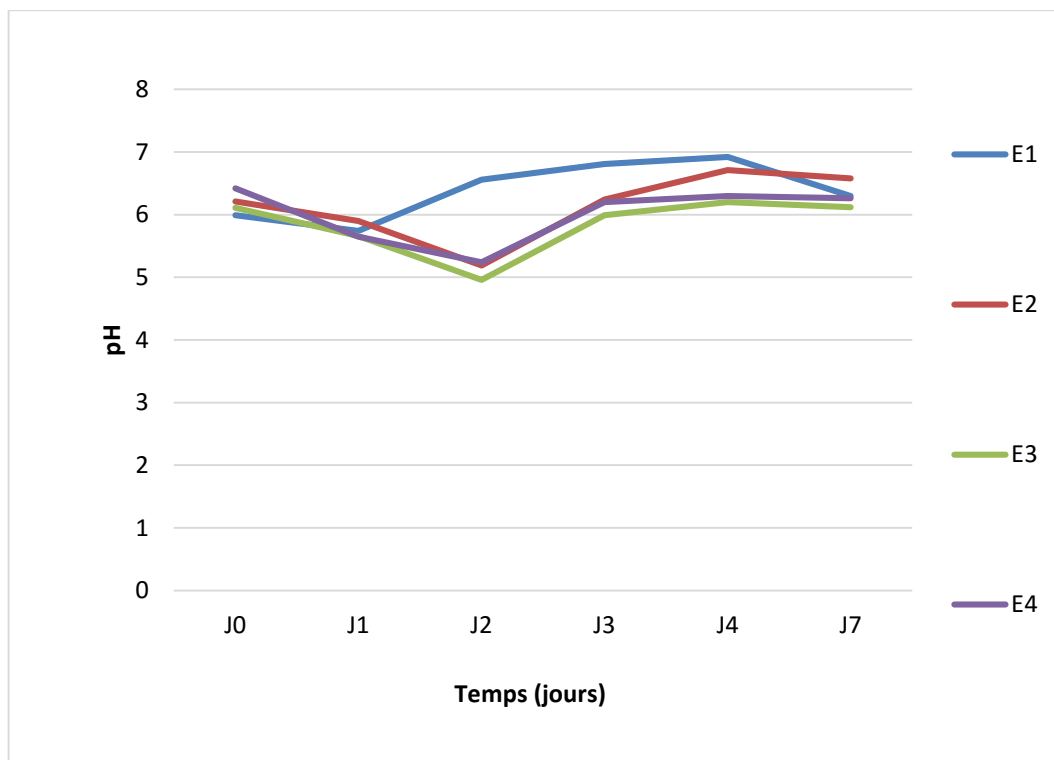


Figure III. 26 : variation du pH de l'eau industrielle.

De l'analyse des courbes de la figure III. 26, on remarque que les deux jours E1, E2, E3 et E4 la valeur de pH entre 4.5 á7. D'un autre côté, en remarque la augmentés dans tous les systèmes de culture à partir de jours 2 à jours 7. En comparant ces résultats avec ceux présentés à la figure III.26, qui présente l'évolution de biomasse au cours de l'expérience, ces résultats confirment l'augmentation de la quantité de biomasse que le quatrième jour dont le pH en augmente.

5.2.1.2. Variation de température

La variation des températures de l'eau industrielle est présentée à la figure suivante :

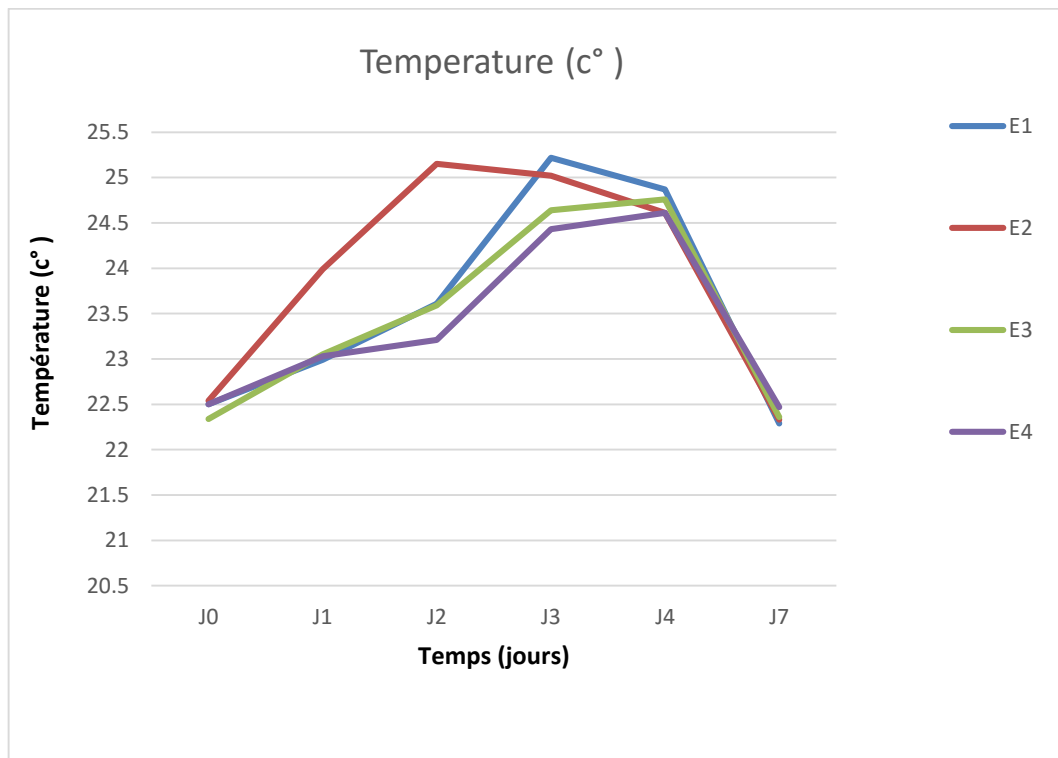


Figure III. 27 : variation de la température de l'eau industrielle.

L'analyse de figure III. 27, nous montre qu'il y a une symétrie de l'allure des courbes pour tous les systèmes de culture au début d'expérience. Il a commencé à augmenter à jours 0 jusqu'à jour 4, comme enregistré la plus grande valeur dans le système E2 égal 25.15 °C à jours 2, et enregistre la valeur la plus faible dans le système 22.36 °C. Plus commence à diminuer.

5.2.1.3. Les solides dissous totaux (TDS)

Les résultats de mesures des solides dissous totaux (TDS) de l'eau industrielle sont présentés à la figure suivante :

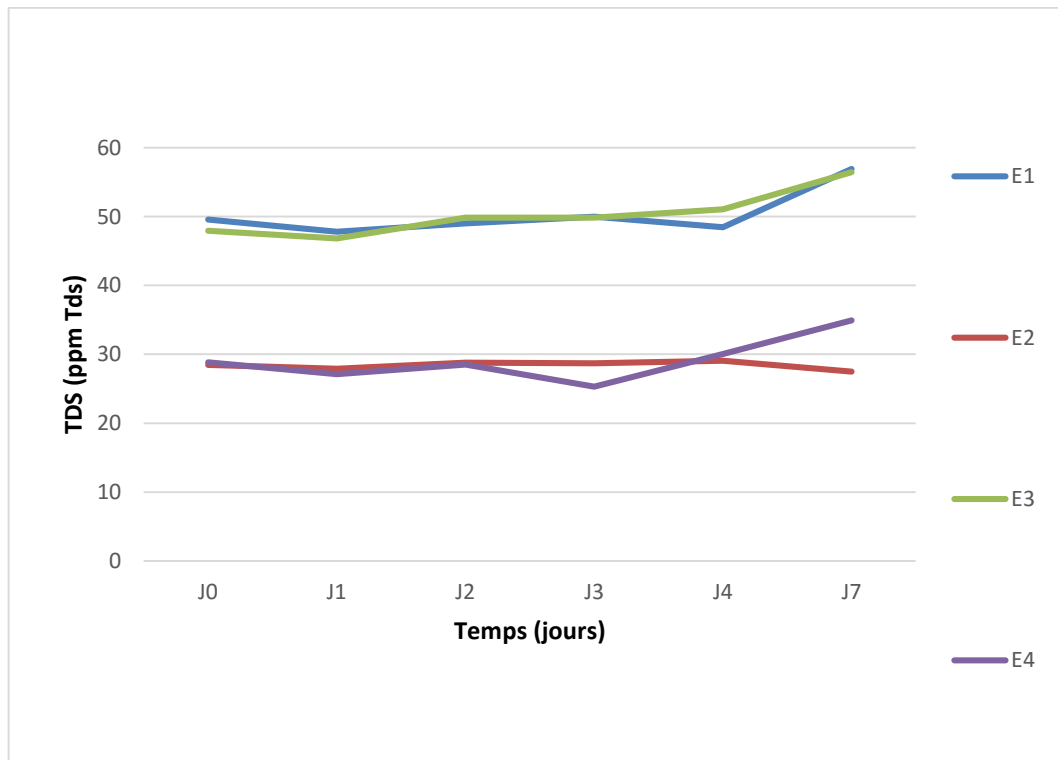


Figure III. 28 : variation de la TDS de l'eau industrielle.

L'analyse de figure III. 28. Nous indique que l'allure des graphes est le même pour tous les systèmes des cultures, et aussi en remarque pour tous les jours E1 et E3 enregistre la plus grande valeur est 60 ppm Tds, et E2 et E4 la faible valeur est 27.49 ppm Tds.

5.2.1.4. Salinité

Les variations des salinités de l'eau industrielle sont présentées à la figure suivante :

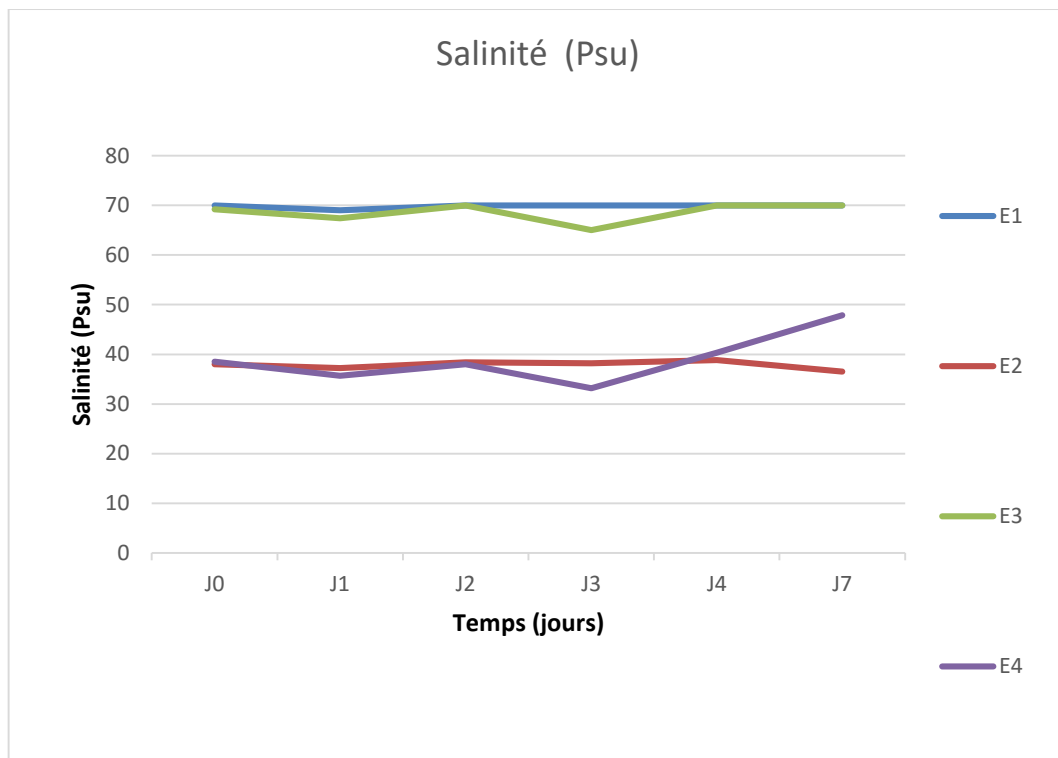


Figure III. 29 : variation de la salinité de l'eau industrielle.

L'analyse de figure III. 29, En remarque la stabilité relative dans tous les systèmes entre jour 1 jusqu' au jour 4, en remarque une stabilité relative dans tous les systèmes comme le E1 et E3 en enregistré la grande valeur est 70 Psu, et E2 et E4 en enregistré la faible valeur est 37.49 Psu.

La stabilité de la salinité entre le jour 1 jusqu' au jour 4 montre que les souches de CHLORELLA absorbé des sels dans le milieu.

5.2.1.5. Turbidité

Les variations des turbidités de l'eau industrielle sont présentées à la figure suivante :

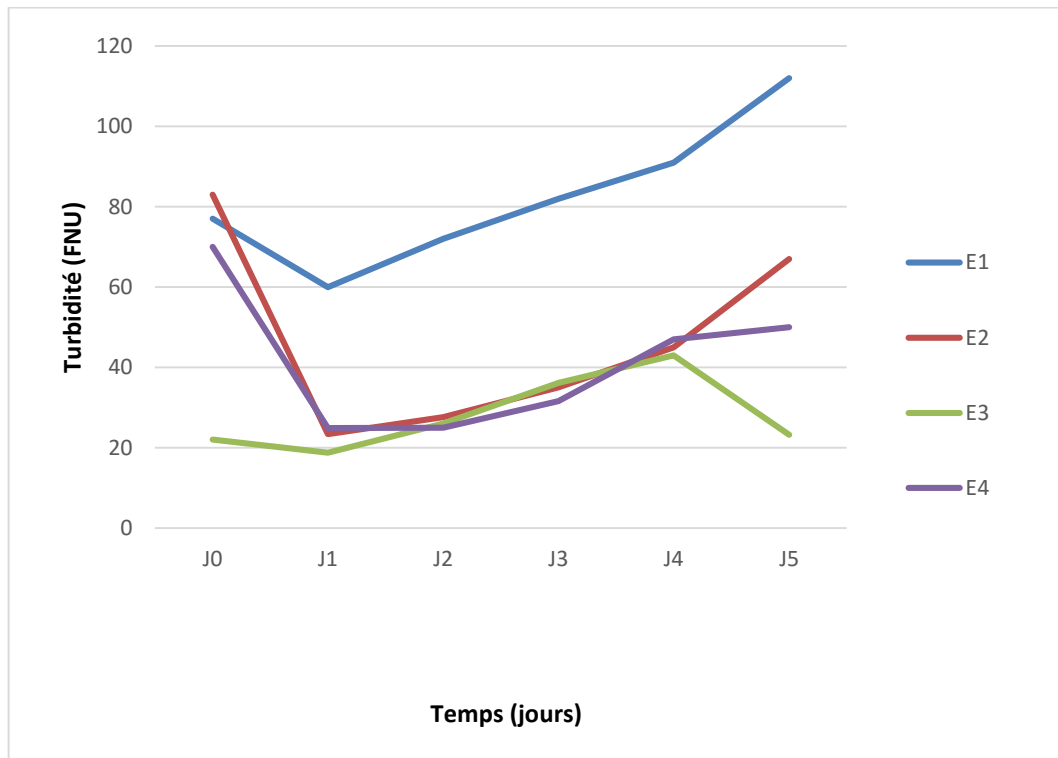


Figure III. 30 : Variation de la turbidité de l'eau industrielle.

De l'analyse des courbes de la figure III. 30, on remarque la diminution que le jour1 E1, E2, E3 et E4. D'un autre côté, on remarque l'augmentation dans tous les systèmes de culture à partir de jours 1 à jours 4. Et remarque dans jours 5, E1 enregistre la plus grande valeur 112 FNU et E3 faible valeur 20 FNU.

Cependant Après le premier jour on observe une augmentation de la turbidité. Par conséquent, on peut dire que l'algue *CHLORELLA* contribue à la dépollution de l'eau industrielle.

III. 5.2.2. Minéralisation globale

5.2.2.1. Sodium

La figure III. 31 représente la variation des concentrations en sodium dans l'eau industrielle :

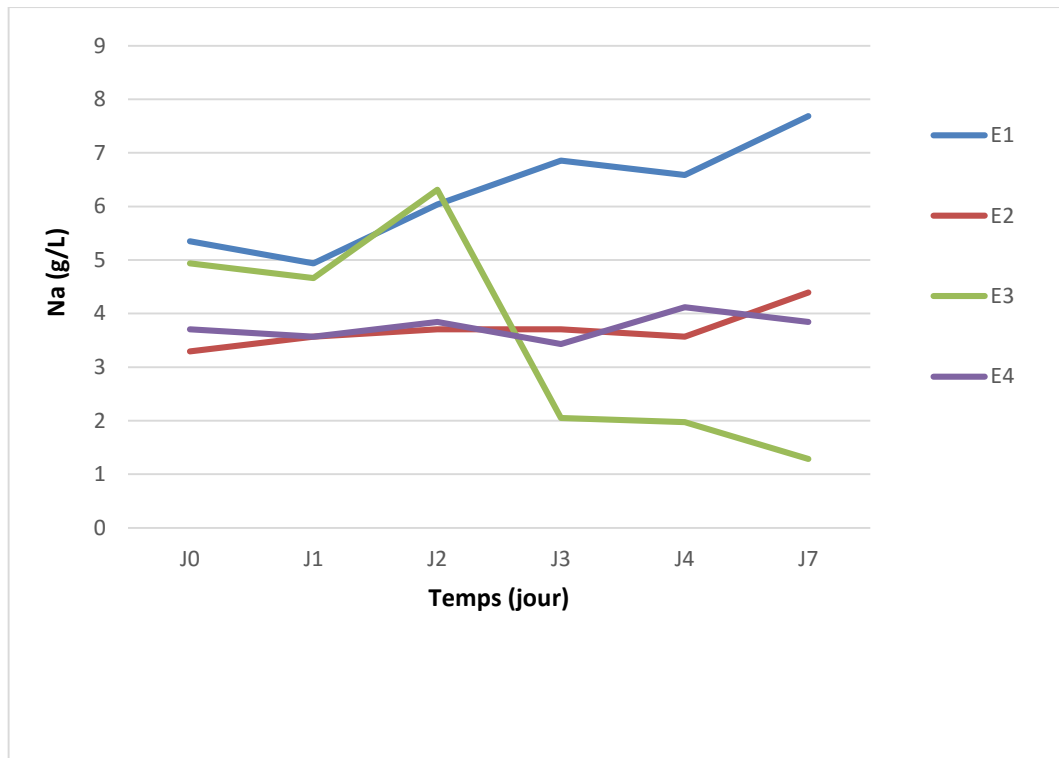


Figure. III. 31 : variations de la concentration de sodium dans l'eau industrielle

L'analyse de la figure III. 31, nous montre qu'il y a une symétrie de l'allure des courbes pour tous les systèmes de culture dans l'eau industrielle. Au début d'expérience (jour 0) la concentration de sodium pour E1 est 5.35 g/L, E2 est 3.294 g/L, E3 est 4.939g/L et E2 est 3.704 g/L, Après deux jour d'expérience seulement on a enregistré une augmentation de sodium pour le système E1. En ce qui concerne le système E3 une diminution plus importante du sodium est enregistrée par rapport aux autres systèmes E1, E2, et E4.

Les trois jours les souches d'algue *CHLORELLA* système E3 ont consommés le sodium de milieu jusqu'au 7^{ème} jour d'expérience et la stabilité relative dans les systèmes E1, E2 et E4.

5.2.2.3. Potassium (K)

La variation des concentrations en potassium de l'eau industrielle est présentée à la figure suivante :

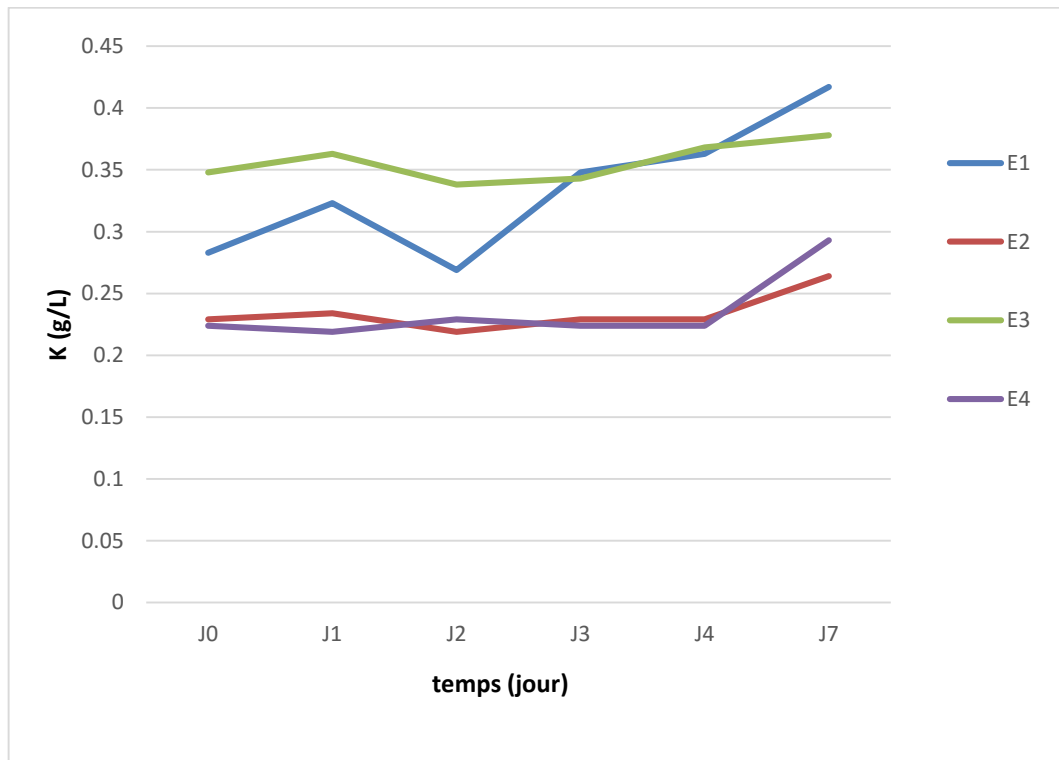


Figure. III. 32 : variations de la concentration de potassium dans l'eau industrielle

L'analyse de la figure III. 32 nous montre qu'il y a une symétrie de l'allure des courbes pour tous les systèmes de culture dans l'eau industrielle. Au début d'expérience (jour 0) la concentration de potassium pour E1 est 0.283 g/L, E2 est 0.229 g/L, E3 est 0.348 g/L et E4 est 0.224 g/L. Dès le premier jour, on remarque la stabilité relative dans tous les systèmes entre jour 1 jusqu'au jour 4 pour les systèmes E2 et E4.

Dans le dernier jour d'expérience enregistré de la plus grande valeur de la concentration de potassium dans le système E1 et la valeur la plus faible dans le système E2. La stabilité du potassium entre le jour 1 jusqu'au jour 4 montre que les souches *CHLORELLA* consommées le potassium dans le milieu.

5.2.2.4. Calcium (Ca)

La variation des concentrations en calcium de l'eau industrielle est présentée à la figure suivante :

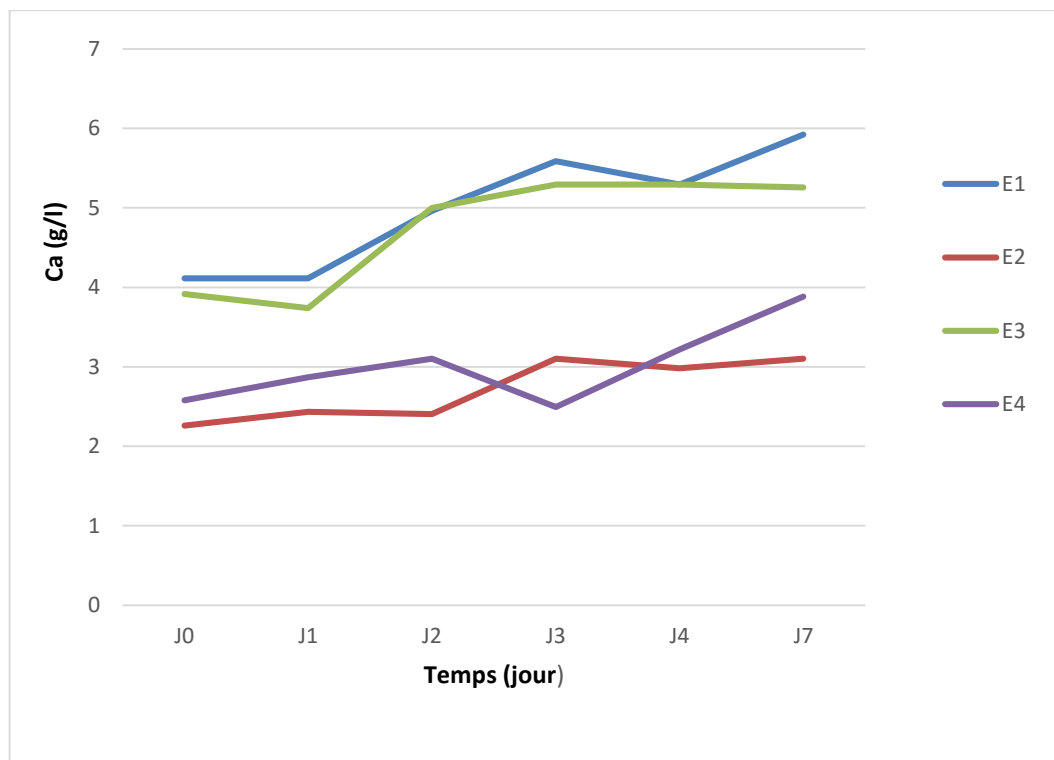


Figure. III. 33 : variations de la concentration de calcium dans l'eau industrielle

L'analyse de la figure III. 33, nous montre qu'il y a une symétrie de l'allure des courbes pour tous les systèmes de culture dans l'eau industrielle. Au début d'expérience la concentration de calcium pour E1 est 4.144 g/L, E2 est 2.261 g/L, E3 est 3.914 g/L et E4 est 2.58 g/L. puis on remarque une augmentation jusqu'au 7^{ème} jour pour les systèmes E2 et E4. Ce dernier lui-même jours l'exception est au niveau de système E1 et E3 qui est caractérisé par une augmentation intéressante.

5.2.2.5. Les ions Chlorures (Cl⁻)

La variation des concentrations en chlorures (Cl⁻) de l'eau industrielle est présentée à la figure suivante :

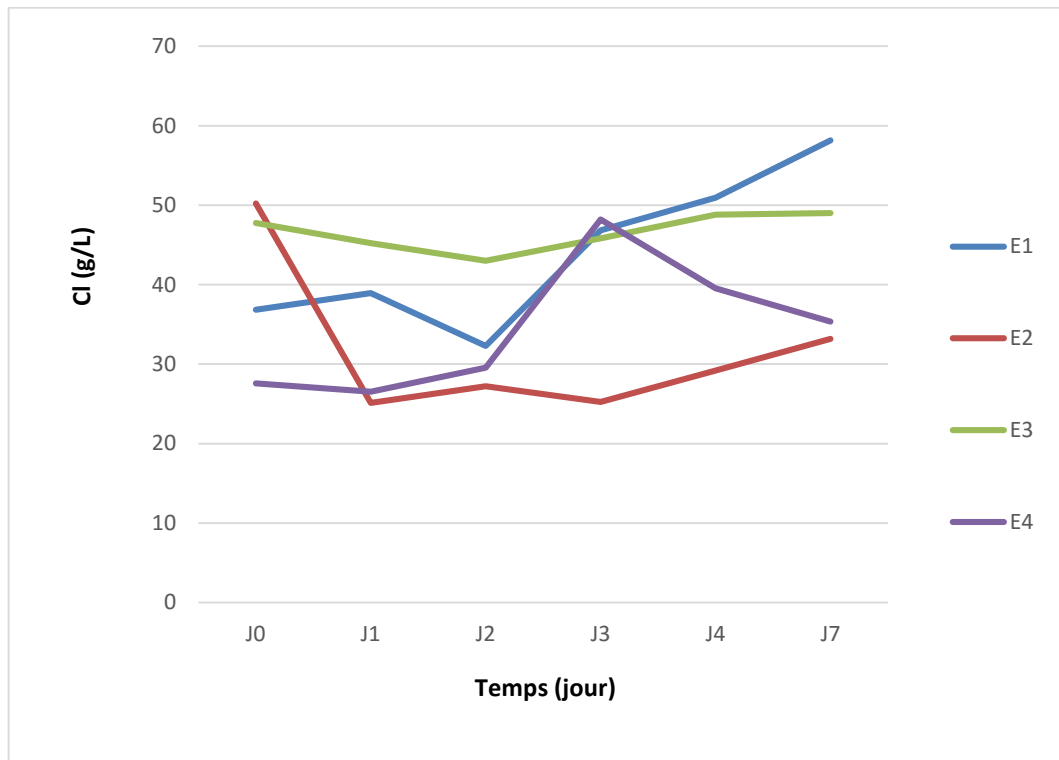


Figure III. 34 : variations de la concentration des ions Chlorures dans l'eau industrielle

L'analyse de la figure III. 34, nous montre qu'il y a une symétrie de l'allure des courbes pour tous les systèmes de culture. Au début d'expérience (jour 0) la concentration des ions Chlorures E1 est 36.83g/L, E2 est 50.22 g/L, E3 est 47.76 g/L et E4 est 27.57 g/L, Après 24 h seulement en ce qui concerne les systèmes E2 on a enregistré une diminution plus importante de la concentration des ions Chlorures dans l'eau industrielle. Est enregistrée par rapport aux autres systèmes E1, E3 et E4. Cette diminution n'a conclu que les souches de *CHLORELLA* consommée des ions Chlorures de milieu.

5.2.2.6. Phosphate

La variation des concentrations en phosphate de l'eau industrielle est présentée à la figure suivante :

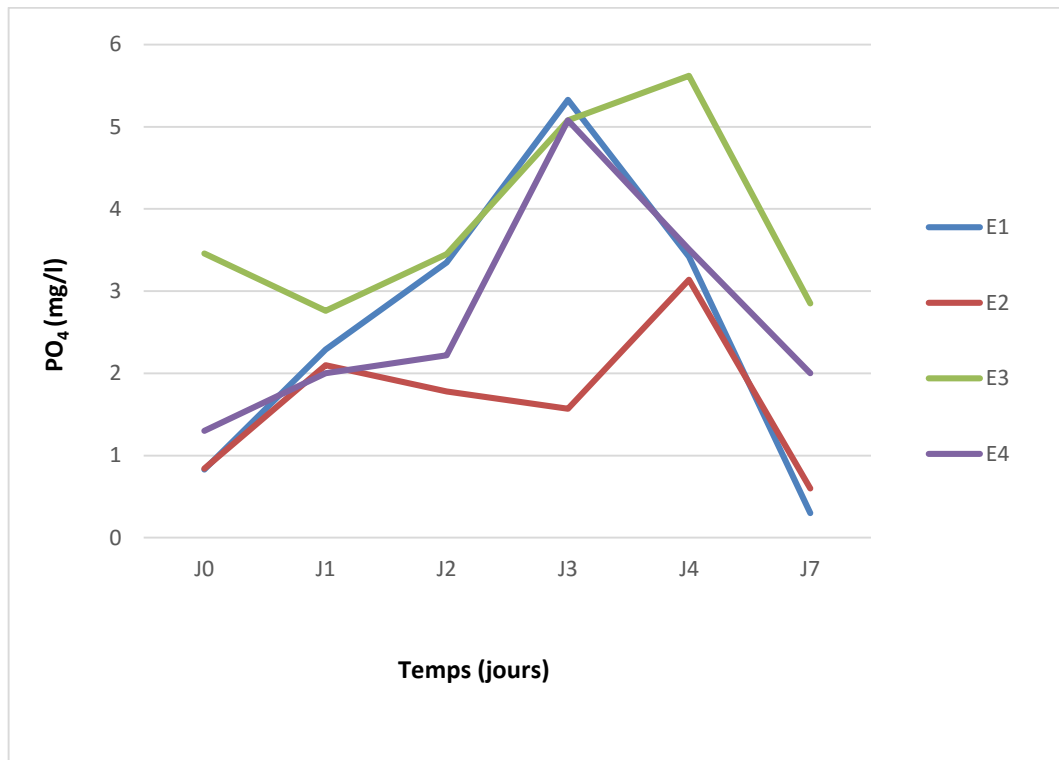


Figure .III. 35 : variation de phosphate dans l'eau industrielle

De l'analyse des courbes de la figure III. 35, on remarque que l'allure des courbes est presque identique pendant le premier jour, avec un faible écart de l'un à l'autre pour les systèmes E1, E2 et E4 par rapport E3 est 3.46 mg/L. puis en remarque une augmentation pendant le deuxième jours pour les systèmes E1, E3 et E4, en ce qui concerne tous les systèmes une diminution plus importante de la phosphate dans le milieu de l'eau industrielle durant 7^{ème} jour surtout les systèmes E1 et E2. En remarque la diminution plus importante les souches de *CHLORELLA* croitre dans les milieux riche par de la phosphate.

5.2.2.7. Ammonium

La variation des concentrations en ammonium de l'eau industrielle est présentée à la figure qui suit :

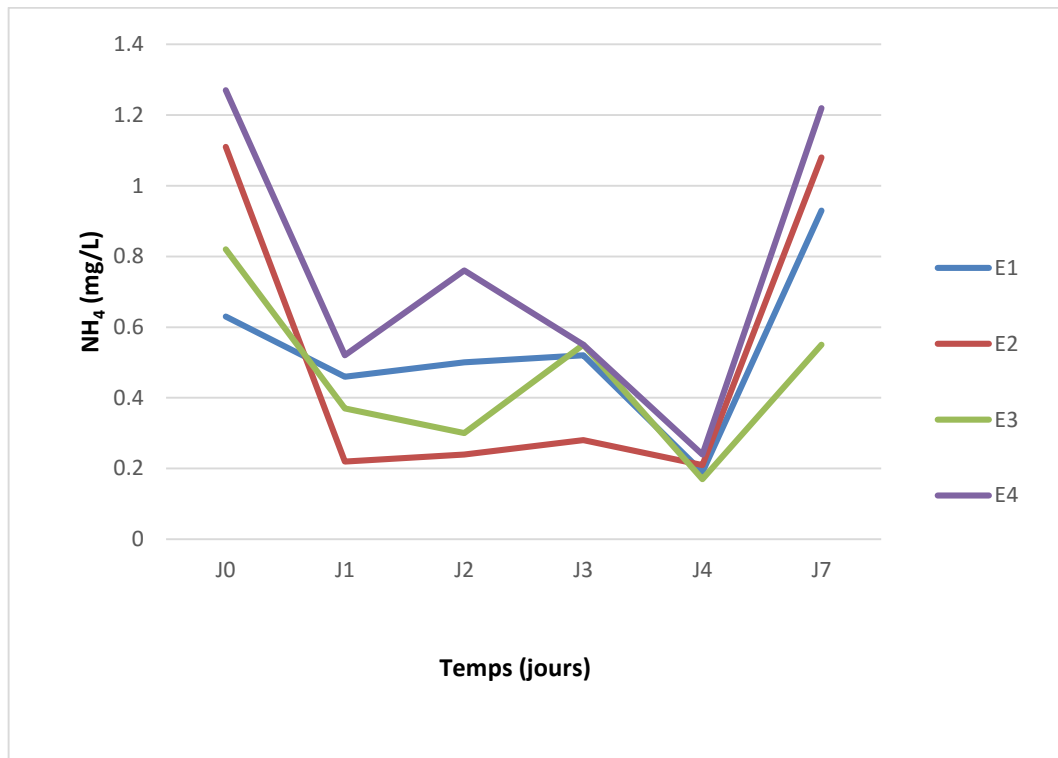


Figure .III. 36 : variation de l'ammonium dans l'eau industrielle

L'analyse des courbes de la figure III. 36, qui présente les valeurs de L'ammonium mesurées durant l'expérience, montre que l'allure des courbes est presque identique pendant le premier jour d'expérience la concentration de l'ammonium pour les systèmes de 0.63 mg/L à 1.27 mg/L, Après 24 h seulement on remarque une diminution pendant le quatrième jour d'expérience. Cette diminution montre que les souches *CHLORELLA* consommée l'ammonium dans l'eau industrielle, alors que la concentration de l'ammonium dans les systèmes E1, E2, E3 et E4 reste à augmenter, durant le 7^{ème} jour.

5.2.2.8. Azote total

Les résultats de mesure de la variation des concentrations en azote total de l'eau industrielle sont présentés à la figure qui suit :

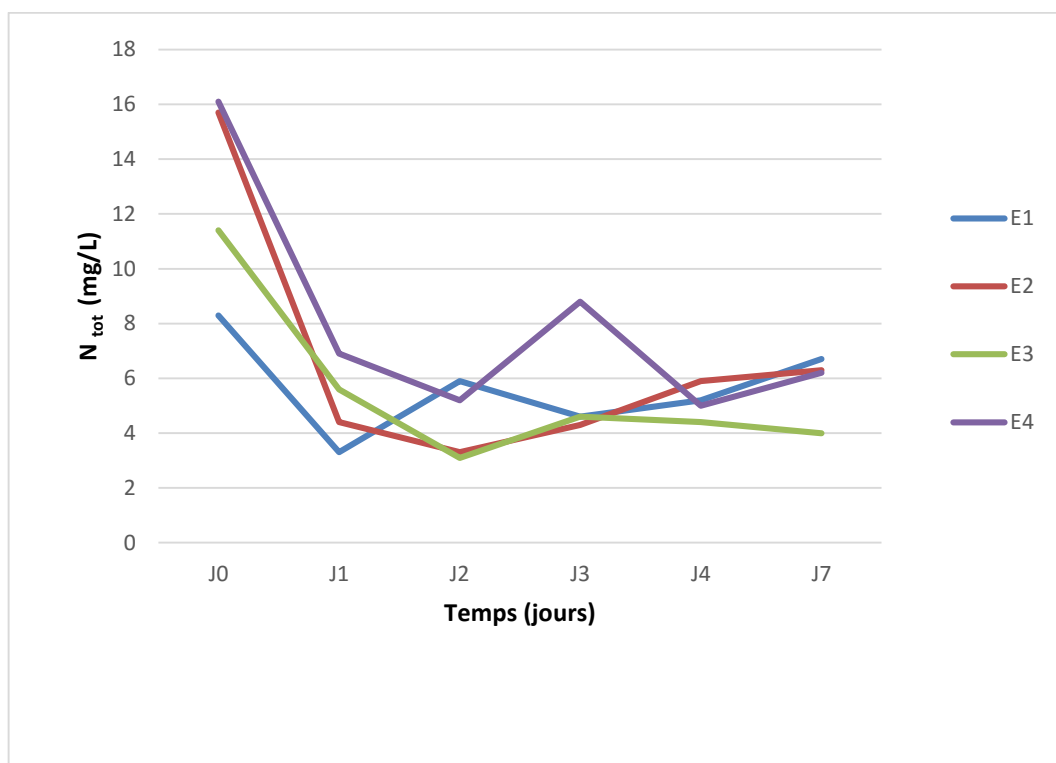


Figure .III. 37 : variation de l'azote dans l'eau industrielle

L'analyse de la figure III. 37, Nous montre qu'il y a une symétrie de l'allure des courbes pour tous les systèmes de culture. Au début d'expérience (jour 0) la concentration de l'azote E1 est 8.3 mg/L, E2 est 15.7 mg/L, E3 est 11.4 mg/L et E4 est 16.1 mg/L, Après 24 h seulement en ce qui concerne tous les systèmes d'expérience on a enregistré une diminution plus importante de la concentration de l'azote dans l'eau industrielle. Et en remarque la stabilité relative dans tous les systèmes entre jour 7, cette diminution montre que les souches CHLORELLA consommée l'azote dans l'eau industrielle.

5.2.2.9. Charbon total

Les résultats de mesure de la variation des concentrations en Charbon total de l'eau industrielle sont présentés à la figure qui suit :

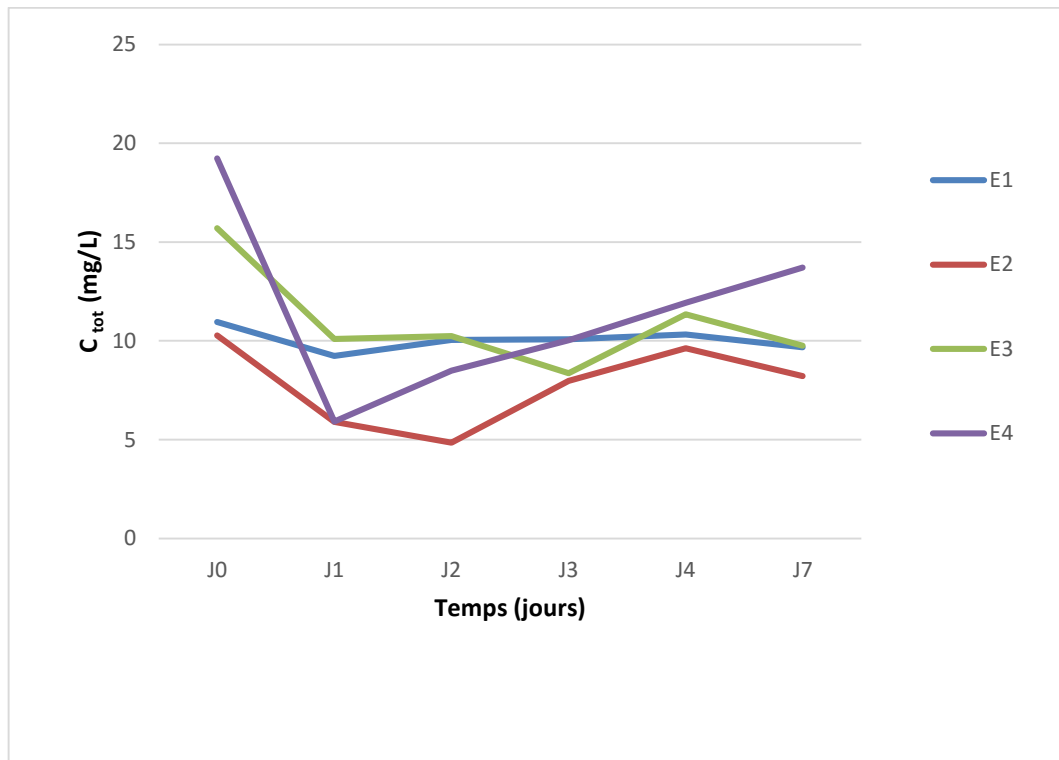


Figure .III. 38 : variation de charbon total dans l'eau industrielle

L'analyse de la figure III. 38, Nous montre qu'il y a une symétrie de l'allure des courbes pour tous les systèmes de culture. Au début d'expérience (jour 0) la concentration de charbon totale E1 est 10.95 mg/L, E2 est 10.28 mg/L, E3 est 15.7 mg/L et E4 est 19.23 mg/L, Après 24 h seulement en ce qui concerne le système E4 on a enregistré une diminution plus importante de la concentration de l'azote dans l'eau industrielle et d'une les systèmes E1, E2 et E3 jusqu'au jour 2. Au cours de première jour l'exception est au niveau de système E4 qui est caractériser par une augmentation intéressante jusqu'au 7^{ème} jour.

En remarque la consommation de charbon dès le premier jour et deuxième jour. De ces résultats, on conclut que les souches de *Chlorella* croître dans les milieux riches par le charbon.

5.2.2.10. Demande Chimique en Oxygène (DCO)

La variation des concentrations en Demande Chimique en Oxygène (DCO) de l'eau industrielle sont présentés à la figure qui suit :

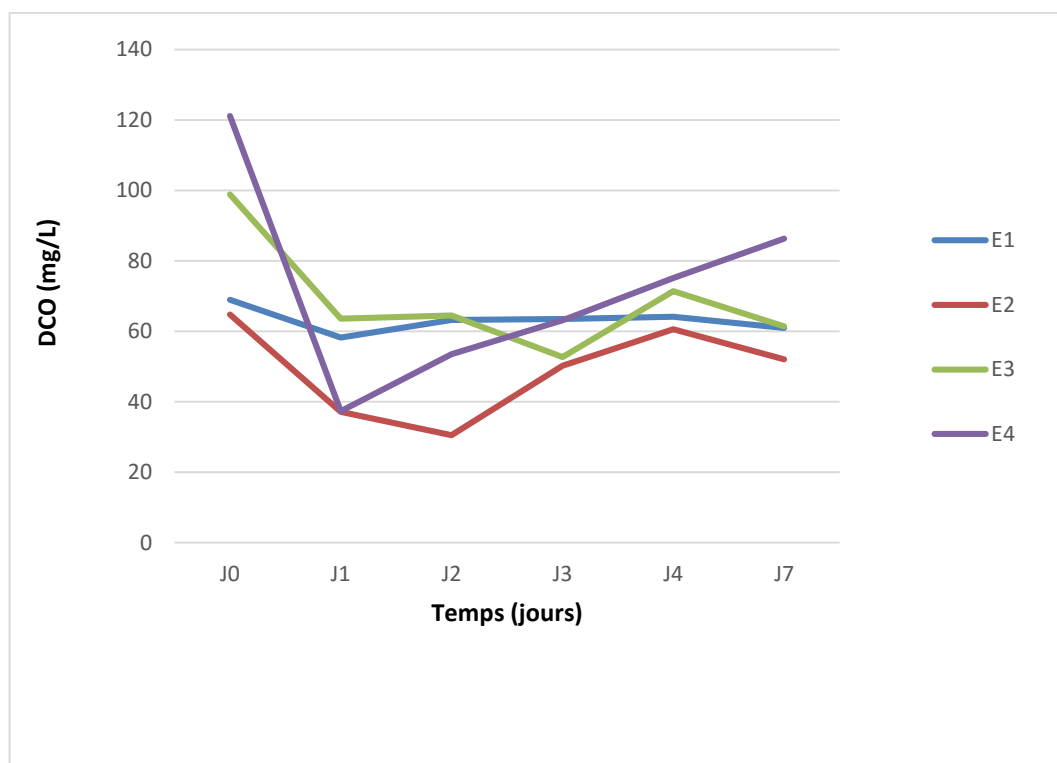


Figure .III .39 : variation de DCO dans l'eau industrielle

De l'analyse des courbes de la figure III. 39, On remarque que l'allure des courbes est presque identique pendant les quatre premiers jours, On observe une diminution des valeurs de la demande chimique d'oxygène avec le temps de ces jours. Cette diminution de la DCO s'explique que l'algue *CHLORELLA* absorbe les matières organiques dans l'eau industrielle.

5.2.2.11. Demande Biochimique en oxygène (DBO₅)

La variation des concentrations en Demande Biochimique en oxygène (DBO₅) de l'eau industrielle sont présentés à la figure qui suit :

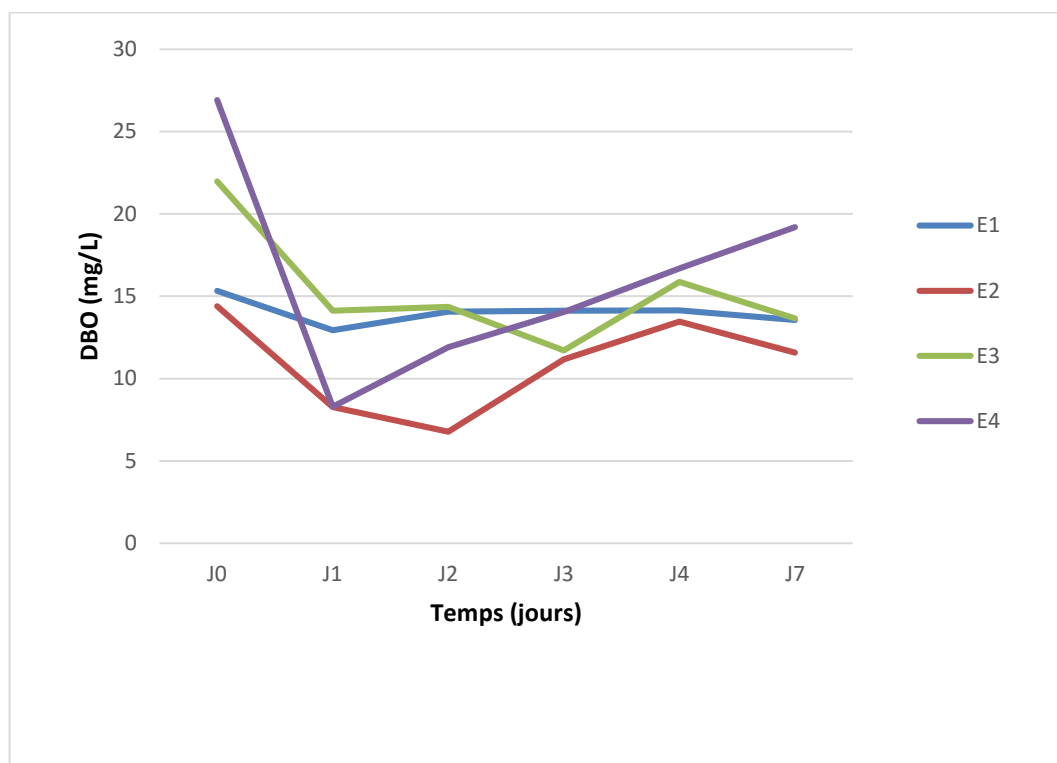


Figure .III. 40 : variation de DBO₅ dans l'eau industrielle

De l'analyse des courbes de la figure III. 40, on remarque que l'allure des courbes est presque identique pendant les quatre premiers jours, on observe une diminution des valeurs de la Demande biochimique d'oxygène avec le temps de ces jours de jour 0 à jour 7.

En conclusion que la diminution de la DBO₅ ce qui signifie que la quantité de matière organique n'est pas biodégradable devient plus importante continues dans l'eau industrielle avec la croissance des cellules cultivées.

III.6. Conclusion

En conclu que :

- ❖ L'algue *CHLORELLA* à la capacité de vivre dans différents milieux.
- ❖ L'effet du champ magnétique de manière positive sur la croissance des algues, ce qui accélère le processus de croissance.
- ❖ L'algue *CHLORELLA* peut vivre dans les milieux contenant des métaux toxiques comme le cadmium, le chrome, le plomb, l'arsenic et l'antimoine et comme la dilution et filtration de l'eau industrielle.
- ❖ L'algue *CHLORELLA* est très importante dans le domaine de traitement des eaux industrielles

A decorative graphic of a scroll with a light gray gradient background and a dark red border. The scroll is unrolled from the top right and bottom left corners, with the unrolled ends shown as rounded gray shapes. The text is centered on the scroll.

Conclusion générale

Conclusion générale

Conclusion générale

L'eau constitue un élément essentiel dans la vie et l'activité humaine. C'est une composante majeure des mondes minéral et organique. Dans le monde présent, l'eau participe à toutes les activités quotidiennes notamment, domestiques, industrielles et agricoles ce qui la rend un élément récepteur exposé à tous les genres de pollution. Le phénomène de la pollution contribue de façon considérable à la limitation des ressources en eau potable.

Les algues, des microorganismes photosynthétiques très largement utilisées dans divers applications, il est rarement réutilisé dans le traitement des eaux. Ces organismes vont absorber naturellement les métaux lourds avant que les eaux soient rejetées, donc elles sont très importantes pour protéger l'environnement.

L'objet de ce travail, est d'étudier la croissance de l'algue *CHLORELLA Pyrenoidosa* dans divers milieux de culture basant sur le milieu standard de Bold et enrichie par l'un des métaux lourds : le plomb, le cadmium, le chrome, l'arsenic ou l'antimoine. L'étude de la croissance dans les mêmes milieux de culture avec l'addition de l'effet de champs magnétique est aussi effectuée. Une autre étude a été aussi effectuée, les résultats obtenus, elle est réalisée sur l'eau industrielle de déshuilage de l'unité de Guellalela.

D'après les résultats obtenus à partir de cette étude, nous avons montré que l'algue *CHLORELLA pyrenoidosa*, peut absorber les éléments existants dans leur milieu aquatique en présence des métaux lourds, et que leur croissance est variable d'un milieu à un autre selon le métal présent dans ce milieu, notons que ces métaux sont nocifs pour la santé humaine et l'environnement, on peut considérer donc que le traitement des eaux par les algues est une méthode nouvelle et facile.

Perspectives

Suite aux résultats de cette étude, des points importants à souligner comme perspectives :

- Il est important de signaler l'intérêt des algues, qui sont actuellement utilisées pour le traitement des eaux usées, vu que certaines algues sont capables d'absorber les ions de métaux lourds.
- Il est impératif de compléter cette étude, par l'étude de la croissance de la microalgue *CHLORELLA pyrenoidosa* dans d'autres milieux contenant d'autres métaux.

A decorative scroll graphic with a light gray background and a dark red border. The scroll is unrolled on the left and right sides, with the top and bottom edges curving inward. The text is centered on the scroll.

Références

bibliographique

RÉFÉRENCES

- [1] S.OUNOKI ET S. ACHOUR. Mémento technique de l'eau, 10ème édition, Ed. Lavoisier, Paris. Larhyss Journal, 20 (2014), 247-258
- [2]OUAFAE EL HACHEMI. Traitement des eaux usées par lagunage naturel en milieu désertique (oasis de Figuig) : performances épuratoires et aspect phytoplanctonique thèse-doctora. N° d'ordre: 220/2012, p55
- [3] BASMA KHADRO, conception et réalisation de biocapteurs pour le suivi de polluants dans leseaux naturelles, N° d'ordre 284-2008, p3
- [4] BEN CHEHEM MERIEM ET BOUAZZA HANANE , Inventaire des études scientifiques relatives à laréutilisation des eaux usées dans le domaine piscicole . RICHARD C. (1996).p7
- [5] TFYECHÉ LYES,Suivi de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux usées d'Ouargla au cours de leur traitement,2014, p3
- [6] BEN CHEHEM MERIEM ET BOUAZZA HANANE , Inventaire des études scientifiques relatives à la réutilisation des eaux usées dans le domaine piscicole . RICHARD C. (1996).p8
- [7] PDF –ANDRE ILTIS les algues 1 P :1
- [8] TARIK AINANE, Valorisation de la biomasse algale du Maroc : Potentialités pharmacologiques et Applications environnementales, cas des algues brunes *Cystoseira tamariscifolia* et *Bifurcaria bifurcata*, thèse de Doctorat, Université Hassan II Casablanca, Maroc, (2011), PP: 06.
- [9] classification des algues <http://www.botanic06.com/site/EvolVie/algues.htm> Consulter le, 07/03/2018
- [10] PDF – MICHEL CARALLA les algues –les microalgues 2000 [11] l'utilisation des algues <http://manuel.gonzales.free.fr/pages/utilisation2.html> Consulter le, 08/03/2018
- [12] Barbara Clément-Larosière, Etude de la croissance de *Chlorella vulgaris* en photobioréacteur batch et continu, en présence de concentrations élevées de CO₂, thèse de doctorat, ÉCOLE CENTRALE PARIS, France, 2012, PP:10 et 46
- [13] K. Morita, T. Matsueda, T. Iida and T. Hasegawa, "Chlorella Accelerates Dioxin Excretion in Rats", The American Society for Nutritional Sciences J. Nutr. 1999 (129) 9 PP: 1731-1736.

Références bibliographique

- [14] M. C. Patron, "la chlorella, micro algue, maxi effets", Tandem Santé Magazine, N° 42 Août 2011, P5
- [15] Mary L.S. Queiroz , Cristiane O. Torello , Simone M.C. Perhs , Michelle C. Rocha , Etelvino J.H. Bechara , Marcelo A. Morgano , Marize C. Valadares a, Ana Paula O. Rodrigues , AlineLisie Ramos and Chrislaine O. Soares, *Chlorella vulgaris* upmodulation of myelossupression induced by lead: The role of stromal cells, *Food and Chemical Toxicology* 46 (2008) 3147–3154
- [16] Yuan-Kun Lee, *Microalgal mass culture systems and methods: Their limitation and potential*, *Journal of Applied Phycology* 13: 307–315, 2001.
- [17] R. Singh, "Selective separation of lead ions from waste water by immobilized *Chlorella* based biosorbents", *International Journal of Chemical and Environmental Engineering* (2012) Volume 3, No.2.
- [18] R. A. Zerhouni, D. Bouyq, C. Ronneau, J.Cara, "Phosphate, nitrogen, chromium and cadmium uptake by three green algae species isolated from an urban wastewater" *Revue des Sciences de l'Eaum Rev. Sci. Eau* 17 / 3 (2004) 317-328
- [19] Shiro Nakano, Hideo Takekoshi, and Masuo Nakano," *Chlorella* (*Chlorella pyrenoidosa*) Supplementation Decreases Dioxin and Increases Immunoglobulin A Concentrations in Breast Milk", *JOURNAL OF MEDICINAL FOOD J Med Food* 10 (1) 2007, 134–42
- [20] Pawlik-Skowronska, B., Pirszel, J., Brown, M.T., Concentrations of phytochelatins and glutathione found in natural assemblages of seedweeds depend on species and metal concentrations of the habitat. *Aquat. Toxicol.* 20 (2007), 190–199.
- [21] Souad ZIGHMI ; Production de biodiesel et optimisation des paramètres des procédés de culture des microorganismes, thèse de doctorat 2017.
- [22] Slaveykova, V., Wilkinson, K.J., (2002). Physicochemical aspects of lead bioaccumulation by *Chlorella vulgaris*. *Environ. Sci. Technol.* 36, 969–975.
- [23] C.Duval : *L'eau, Que sais-je.* 1971, 60
- [24] Mr METAHRI Mohammed Saïd, élimination simultanée de la pollution azotée et phosphatée des eaux usées traitées, par des procédés mixtes.cas de STEP Est De la ville de Tizi-Ouzou 01/07/2012
- [25] PDF.Y.Libes, *Les eaux usées urbaines et leur épuration en France* (2000), p2

Références bibliographique

- [26] Nova Scotia Environment and Labour. 2007. On-site Sewage Disposal Systems Technical Guidelines.
- [27] Soumia AMIR, 2005, contribution à la valorisation de boues de stations D'épuration par compostage : devenir des micropolluants Metalliques et organiques et bilan humique du compost Université Cadi Ayyad, Marrakech, Maroc.
- [28] Rachid HABIB et Ouissam EL RHAZI, Impact sanitaire de la réutilisation des eaux usées Université Cadi Ayyad Marrakech-Licence SV 2007
- [29] PDF.Y.Libes, Les eaux usées urbaines et leur épuration en France (2000), p7
- [30] <https://fr.wikipedia.org/wiki/température> consulter le 25/04/2018
- [31] [potntielhydrogènehttps://fr.wikipedia.org/wiki/potntielhydrogène](https://fr.wikipedia.org/wiki/potntielhydrogène) consulter le 25/04/2018
- [32] Mme ALI ABOU SARAH, Mlle BENMLOUKA MAMA Caractéristique physicochimiques des eaux embouteillées algérienne et vérification d'étiquetage, 2014, p35
- [33] Frédéric BOUCHAR, Mesure de Salinité Réalisation d'un conductimètre, Novembre 2010, p03
- [34] experteau.com/services/analyse-deau.php, Analyse d'eau potable, analyse qualité de l'eau - expert eau
- [35] [salinitéhttps://fr.wikipedia.org/wiki/salinité](https://fr.wikipedia.org/wiki/salinité) , consulter le 30/04/2018
- [36] MAKHOUKH.M : Contribution à l'étude physico-chimique des eaux superficielles de l'oued Moulouya. Maroc (2011).
- [37] [sodiumhttps://fr.wikipedia.org/wiki/sodium](https://fr.wikipedia.org/wiki/sodium) , consulter le 30/04/2018
- [38] [potassiumwww.docteurcic.com/encyclopedie/potassium.aspx](http://www.docteurcic.com/encyclopedie/potassium.aspx) , consulté le 30/04/2018
- [39] [calciumhttps://fr.wikipedia.org/wiki/calcium](https://fr.wikipedia.org/wiki/calcium)consulté le 30/04/2018
- [40] [phosphatehttps://fr.wikipedia.org/wiki/phosphate](https://fr.wikipedia.org/wiki/phosphate) , consulter le 27/04/2018
- [41] [ammonium https://fr.wikipedia.org/wiki/ammonium](https://fr.wikipedia.org/wiki/ammonium) , consulter le 27/04/2018
- [42] [azote https://fr.wikipedia.org/wiki/azote](https://fr.wikipedia.org/wiki/azote)consulté le 27/04/2018
- [43] [carbone-organique-totalhttps://www.vetofish.com/definition/carbone-organique-total](https://www.vetofish.com/definition/carbone-organique-total), consulter le 27/04/2018

Références bibliographique

[44] demand_chimique_en oxygène [https://fr.wikipedia.org/wiki/demand_chimique_en oxygène](https://fr.wikipedia.org/wiki/demand_chimique_en_oxygène) , consulter le 27/04/2018

[45]KHELIL.R, LAZALI.D: Etude des propriétés physico-chimiques et bactériologiques de l'eau du barrage Harraza (Wilaya de Ain Defla), (2015).

[46] FELLAK Somia, Validation de la méthode d'analyse des nitrates dans l'eau potable par spectrophotométrie UV-Visible selon le protocole du profil d'exactitude, 20 Juin 2013, p15

[47] www.jenway.com/adminimages/PFP7_Manual , consulter le 10/05/2018



Annexes

A- Milieu d'usage général pour algues vertes unicellulaires (Bold, 1967)

Solutions stocks (pour chaque solution stock, masse à dissoudre dans un litre d'eau distillée)

1. NaNO_3 : 25 g
2. $\text{CaCl}_2, 2\text{H}_2\text{O}$: 2,5 g
3. K_2HPO_4 : 7,5 g
4. KH_2PO_4 : 17,5 g
5. $\text{MgSO}_4, 7\text{H}_2\text{O}$: 7,5 g
6. NaCl : 2,5 g
7. EDTA Dissoudre 50 g d'acide éthylène-diamine-tétra acétique et 31 g de potasse (KOH) dans un litre d'eau distillée
8. Solution de fer Dissoudre 4,98 g de sulfate de fer heptahydrate ($\text{FeSO}_4, 7\text{H}_2\text{O}$) dans un litre d'eau acidifiée préparée en ajoutant 1 mL d'acide sulfurique à 999 mL d'eau distillée.
9. Solution de bore Dissoudre 11,42 g d'acide borique (H_3BO_3) dans un litre d'eau distillée.
10. Microéléments

Dissoudre les sels suivants dans un litre d'eau acidifiée :

$\text{ZnSO}_4, 7\text{H}_2\text{O}$: 8,82 g

$\text{MnCl}_2, 4 \text{H}_2\text{O}$: 1,44 g

MoO_3 : 0,71 g

$\text{CuSO}_4, 5\text{H}_2\text{O}$: 1,57 g

$\text{Co}(\text{NO}_3)_2, 6\text{H}_2\text{O}$: 0,49 g

Pour préparer un litre de milieu de culture à partir des 10 solutions ♣ stocks préparées à l'avance, mélanger 10 mL de chacune des solutions 1 à 6, 1 mL de chacune des solutions 7 à 10 et compléter à un litre avec de l'eau distillée.

B – Instruments

Figure I :



contrefuges

Figure II :



Dosage portable multiparamétrique

Figure III :




Flam photomètre

C - Tableaux ci-dessous qui représentent les caractéristiques et propriétés des produits et des dispositifs utilisés dans ce travail.


❖ Plomb

Tableau 1: Principales caractéristiques de Plomb

Symbole	Pb
Nom	Plomb
Numéro atomique	82
Groupe	14
Masse atomique	207,2 ± 0,1 u
Rayon atomique (calc)	180 pm (154 pm)
Masse volumique	11,35 g·cm⁻³ (20 °C)
Point de fusion	327,46 °C
Point d'ébullition	1 749 °C
Énergie de fusion	4,799 kJ·mol⁻¹
Volume molaire	18,26×10⁻⁶ m³·mol⁻¹
Pression de vapeur	1,3 mbar (973 °C)
Fiche de sécurité	 H302, H332, H360, H373, H410, P201, P273, P308, P313, P501


❖ Chrome

Tableau 2: Principal caractéristique de Chrome

Symbole	Cr
Nom	Chrome
Numéro atomique	24
Groupe	6
Masse atomique	51,9961 ± 0,0006 u
Rayon atomique (calc)	140 pm (166 pm)
Masse volumique	7,15 g.cm⁻³
Point de fusion	1 907 °C
Point d'ébullition	2 671 °C
Énergie de fusion	16,9 kJ.mol⁻¹
Volume molaire	7,23×10⁻⁶ m³.mol⁻¹
Pression de vapeur	990 Pa à 1 856,85 °C
Fiche de sécurité	 H228, H351, P210, P241, P280, P281, P405, P501


❖ Cadmium

Tableau 3: Principale caractéristique de Cadmium

Symbole	Cd
Nom	Cadmium
Numéro atomique	48
Groupe	6
Masse atomique	112,414 ± 0,004 u
Rayon atomique (calc)	155 pm (161 pm)
Masse volumique	8,69 g.cm⁻³ (20 °C)
Point de fusion	321,07 °C
Point d'ébullition	767 °C
Énergie de fusion	6,192 kJ.mol⁻¹
Volume molaire	13,00×10⁻³ m³.mol⁻¹
Pression de vapeur	14,8 Pa
Fiche de sécurité	 H330, H341, H350, H361fd, H372, H410


❖ Arsenic

Tableau 4: Principal caractéristique d'Arsenic

Symbole	As
Nom	Arsenic
Numéro atomique	33
Groupe	15
Masse atomique	74,921595 ± 0,000006 u
Rayon atomique (calc)	115 pm (114 pm)
Masse volumique	
Point de fusion	817 °C (28 bar), pas de fusion à la pression normale
Point d'ébullition	613,85 °C (sublimation)
Énergie de fusion	369,9 kJ·mol⁻¹
Volume molaire	12,95×10⁻⁶ m³·mol⁻¹
Fiche de sécurité	 H301, H331, H410, P261, P273, P301, P310, P311, P501

❖ Antimoine

Tableau 5: Principale caractéristique d'Antimoine

Symbole	Sb
Nom	Antimoine
Numéro atomique	51
Groupe	15
Masse atomique	121,760 ± 0,001 u
Rayon atomique (calc)	145 pm (133 pm)
Masse volumique	6,68 g·cm⁻³ (20 °C)
Point de fusion	630,63 °C
Point d'ébullition	1 587 °C
Énergie de fusion	19,87 kJ·mol⁻¹
Volume molaire	18,19×10⁻³ m³·mol⁻¹
Fiche de sécurité	 H411, P273,

ملخص

الطحالب الدقيقة كلوريلا هو موضوع هذه الدراسة. حيث تستخدم هذا الطحالب على نطاق واسع لإنتاج الكتلة الحيوية وكذلك في التطبيقات الأخرى مثل معالجة المياه. الغرض من هذه الدراسة هو دراسة قدرة هذه الطحالب على العيش في أوساط مائية ملوثة بالمعادن السامة (الرصاص، الكاديوم، الكروم، ارسونيك، انتيموان) من أجل استخدامها في المعالجة البيولوجية للمياهالصناعية. ومن خلال النتائج المتحصل عليها , يمكننا القول أن هذا النوع يمكنه العيش في الأوساط المائية الملوثة بالمعادن وتختلف درجة تكاثرها من وسط الى آخر بحسب نوع المعدن , كما بينت النتائج أيضا أن الحقل المغناطيسي عامل خارجي عن الوسط مهم جدا لتكاثر هذا النوع من الطحالب لكونه عامل محفز للتكاثر.

كلمات مفتاحية: الطحالب، تحليل، كلوريلا، المعادن الثقيلة، معالجة المياه.

Résumé :

La micro-algue *CHLORELLA pyrenoidosa* fait l'objet de cette présente étude. Cette micro-algue est très utilisée pour la production de la biomasse ainsi que dans d'autres applications comme le traitement des eaux. Le but de cette étude c'est l'étude la capacité de cette algue à vivre dans des milieux aquatiques contaminés par des métaux toxiques (Pb, Cd, Cr, As, Sb) dans le but de l'utiliser pour le traitement biologique des eaux industrielles. Les résultats obtenus montrent que cette algue présente une capacité de vivre dans des milieux aquatiques contaminés par l'un des métaux citer avant, et leurs capacité varie d'un milieu à un autre, ainsi que, le présence de champs magnétiques à un effet positif vue qu'il stimule la croissance de cette algue.

Mots clés : Algues, Analyses, *CHLORELLA pyrenoidosa*, Métaux Lourds, Traitement des eaux.