

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE

Université de Mohamed El-Bachir El-Ibrahimi - Bordj Bou Arreridj

Faculté des Sciences et de la technologie

Département Génie de l'environnement

Mémoire

Présenté pour obtenir

LE DIPLOME DE MASTER

FILIERE : Génie des procédés

Spécialité : Gestion des changements environnementaux en méditerranée

Par

➤ **KARA MOHAMMED HANENE**

Intitulé

Valorisation des algues issues d'un chenal algal à haut rendement:
potentialités biofertilisants

Soutenu le : 19/09/2022

Devant le Jury composé de :

<i>Nom & Prénom</i>	<i>Grade</i>	<i>Qualité</i>	<i>Etablissement</i>
M. Ayeche Riade	MCB	Président	Univ-BBA
M. Sahnoun Ali Yacine	MCB	Encadreur	Univ-BBA
M. Keffala Chéma	MCB	Co-Encadreur	Univ-SOUSSE
M. Mezouar Rabie	MCB	Examineur	Univ-BBA

Année Universitaire 2021/2022

Remerciements

*Mes remerciements sont d'abord au Dieu tout puissant de m'avoir donné la force et la patience pour terminer ce travail
J'exprime ma sincère reconnaissance à tous ceux qui ont, de près ou de loin, contribué à sa réalisation.*

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude à Mme Keffala Chéma, co-encadrante de ce travail, pour sa disponibilité, ses précieuses directives et conseils, Melle Mokhtar, doctorante à l'Université de Liège, pour l'accueil, la convivialité, la patience et les efforts qu'elle a fournis pour l'accomplissement de ce travail en Tunisie. Sans oublier Mr. Samir, Technicien responsable du laboratoire « Valorisation de la biomasse » à l'ISA – Chott Mariem et Mr Hugues Jupsin de l'université de Liège, qui a accepté de réaliser les analyses des échantillons de sol au sein de son laboratoire dans le cadre d'un projet de recherche Tuniso-belge financé par la Wallonie Bruxelles international.

J'exprime ma gratitude et mon profond respect à mon encadreur Mme Maghraoui Nadjah.

Je remerciements vont aux membres du jury qui m'ont fait l'honneur d'accepter de jurer notre travail.

Je tiens à remercier particulièrement tous les membres du département de génie d'environnement pour leurs soutiens et leurs aides je remercie aussi tous nos amis pour leurs aides, leurs patiences, leurs compréhensions et leurs encouragements, particulièrement.



Médicaces

Je dédie ce travail

A mes parents

Pour leur soutien et leurs encouragements, et pour m'avoir appris toutes les vertus de l'effort nécessaire à la réussite, et pour leur présence de tous les instants.

A mon amies

Qui me soutenues au quotidien pendant nos années d'études et pour les beaux moments passés ensemble.

A tous mes enseignants

Plus particulièrement à Mme Ferahtai Amel, pour sa sympathie, son aide, et son soutien moral.

A tous ceux qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

A tous ceux qui m'ont fourni leur soutien et leur réconfort.

A tous ceux qui, par un mot, mes donné la force de continuer.

***A toutes celles et à tous ceux qui me tiennent à cœur et qui ont quitté
cette vie.***

Hanene

Sommaire

Résumé

Liste des tableaux.

Liste des figures.

Liste des abréviations.

Introduction générale..... 01

Partie 1 : Etude bibliographique

1. Généralités sur le chenal algal	04
1.1 Chenal algal à haut rendement.....	04
1.2 Avantages du chenal algal à haut rendement.....	05
1.3 Principe de fonctionnement de chenal algal.....	05
2. Généralité sur les algues.....	06
2.1 Définition de microalgues	07
2.2 Les microalgues Scenedesmus.....	08
2.3 Structure cellulaire et métabolisme des algues.....	09
3. Méthodes de récupération des algues.....	09
3.1 Filtration.....	10
3.2 Centrifugation.....	10
4. Fertilisants.....	10
4.1 Définition de la fertilisation.....	10
4.2 Le biofertilisant.....	11
4.4 Les avantages d'un engrais naturel	11
4.4.1 Les engrais naturels préservent l'environnement.....	11
4.5 Les engrais chimique.....	12
4.6 Les inconvénients des engrais chimiques.....	12
5. besoins nutritifs des plantes	13
5.1 élément primaire ou majeurs	13
5.2 élément secondaires	14

Partie 2 : Etude expérimentale

1. Procédure expérimentale.....	16
1.1 Objectifs de l'expérimentation.....	16
1.2 Matériel Végétal.....	16
1.3. Les Algues.....	17

1.3.1 Origine des algues.....	17
1.3.2 Récupération des algues.....	17
1.3.3 Préparation du macérât.....	18
1.4 Conditions expérimentales.....	18
1.4.1 Support de culture.....	18
1.4.2 Containers utilisés.....	19
1.5. Mise en œuvre des essais.....	20
1.5.1 Test de concentrations.....	20
1.5.2 Les modes de traitement.....	21
1.5.3 Plan d'expérience.....	21
1.5.3.2 Etape 1: pré-germination des graines et repiquage.....	21
1.5.3.2 Etape 2: application du traitement.....	21
1.6 Paramètres mesurés et Récolte.....	22
Partie 3 : Résultats et Discussion	
1. Paramètres de croissance des plantes.....	25
1.1 Paramètres de croissance des plantes dans les pots.....	25
1.1.1 Hauteur de la partieaérienne.....	25
1.1.2 Variation Du SPAD.....	26
1.2. Paramètres de croissance des plantes dans les rhizotrons.....	26
1.2.1Hauteur de la partie aérienne.....	28
1.2.2 Nombres des feuilles.....	29
1.2.3 Variation Du SPAD.....	30
2. Paramètres mesurés à la récolte.....	31
2.1. Longueur de la partie aérienne.....	31
2.2 Longueur de la partie racinaire.....	32
2.3 Poids frais des feuilles.....	33
2.4. Poids frais des racines.....	33
2.5. Poids sec des feuilles.....	34
2.6. Poids sec des racines.....	35
3. Les analyse du sol.....	36
3.1 Analyse des métaux lourds et des nutriments.....	36
Conclusion générale.....	42

Liste de figures

Liste de figures

Figure 1 : Schématisation du chenal algal à haut rendement.....	06
Figure 2 : Diversité des formes des microalgues.....	08
Figure 3 : Pré-germination du matériel végétal (originale, 2022).....	16
Figure 4 : Chenal algal à haut rendement.	17
Figure 5 : Récupération des microalgues.	18
Figure 6 : Composition d'un rhizotron.	19
Figures 7 : Rhizotrons à l'ISA Chott-Mariem.....	20
Figure 8 : Mesure de la hauteur des feuilles de l'orge dans les rhizotrons.....	22
Figure 9 : Fin de la culture et séparation de la partie aérienne et racinaire.	23
Figure 10 : Mesure de la teneur en chlorophylle par le chlorophylle-mètre SPAD 502.	23
Figure11 : La longueur des feuilles (cm) de l'orge TM dans les pots.....	25
Figure 12 : La longueur des feuilles (cm) de l'orge TP dans les pots.....	26
Figure 13 : Variation des teneurs en chlorophylle de l'orge(TM).....	27
Figure 14 : Variation des teneurs en chlorophylle de l'orge(TP).....	28
Figures 15 : La longueur des feuilles (cm) de l'orge dans les rhizotrons.....	29
Figure 16 : Nombre des feuilles de l'orge dans les rhizotrons.....	29
Figure 17 : Variation des teneurs en chlorophylle de l'orge dans les rhizotrons.....	30
Figure 18 : longueur moyenne de la partie aérienne de l'orge et luzerne.....	31
Figure 19 : longueur moyenne de la partie racinaire de l'orge et luzerne.....	32
Figure 20 : Poids frais des feuilles de l'orge et luzerne.....	33
Figure 21 : Poids frais des racines de l'orge et luzerne.....	34
Figure 22 : Poids sec des feuilles de l'orge et luzerne.....	35
Figures 23 : Poids sec des racines de l'orge et luzerne.....	36

Liste des tableaux

Liste des tableaux

Tableau 1 : les éléments majeurs importants par la plante.....	13
Tableau 2 : les éléments secondaires importants par la plante.....	14
Tableau 3 : Plans des expériences.....	22
Tableau 4 : présentant les teneurs en métaux lourds chez l'orge et la luzerne.....	37
Tableau 5 : présentant la teneur en nutriments chez l'orge et la luzerne.....	38

Liste des abréviations

C° : degré Celsius

KWh : kilowattheure

m³ : mètre cube

% : Pourcentage

Kg : kilogramme

L : Longueur

PH : potentiel hydrogéné

cm : Centimètre

PF : Poids frais

PS : Poids sec

TM : Traitement par macérât

TP : traitement par poudre

T0 : Témoin

C1 : Concentration 1

C 2: Concentration 2

C 3 : Concentration 3

MI : Millilitre

NPK : Azote, Phosphore, Potassium

Introduction générale

Introduction générale :

L'augmentation du nombre de bouches à nourrir engendré par le rythme effréné de la croissance démographique et la réduction des terres disponibles pour l'agriculture limitent les efforts pour assurer la nutrition et la sécurité alimentaire [1]. Ainsi, pour nourrir une population mondiale de neuf (09) milliards d'individus, chiffre qui sera probablement atteint avant le milieu de ce siècle, il faudra que la production agricole progresse globalement de 70 % environ [2]. C'est pourquoi nous ajoutons des engrais au sol pour obtenir un rendement élevé afin de répondre à la demande [3]. Les engrais sont des substances qui fournissent aux plantes des éléments nutritifs essentiels qui sont principalement composée de phosphore, de potassium et d'azote. Ces engrais augmentent le rendement de la culture et présentent également plusieurs risques pour la santé, pour cela les consommateurs préfèrent les biofertilisants [4]. Les nouvelles technologies relatives aux engrais verts, au recyclage des nutriments et aussi dans les pratiques agricoles pour un meilleur rendement et aussi pour la réduction de la perte de nutriments. Le rendement élevé s'accompagne généralement de l'utilisation non durable d'engrais inorganiques, de pesticides. C'est pourquoi le concept de biofertilisation [5].

Les biofertilisants sont un mélange de micro-organismes vivants, et ils colonisent la rhizosphère de la plante et améliorent l'approvisionnement ou la disponibilité des éléments nutritifs et le stimulus la croissance des cultures. Les algues jouent un rôle essentiel dans ce domaine [6]. Plusieurs avantages des algues tels que la capacité de rétention d'eau, le temps de génération réduit et l'adaptation aux conditions climatiques extrêmes font d'elles une source de biofertilisant efficace pour augmenter les propriétés physico-chimiques du sol [7]. Les algues sont présentes pour la plupart dans chaque environnement habitable sur terre. Les microalgues possèdent une teneur élevée en lipides, protéines, hydrates de carbone, pigments et vitamines et sont considérées comme une matière première efficace pour les biocarburants, les aliments et les compléments alimentaires [8].

Les microalgues sont capables d'empêcher la perte de nutriments en libérant les nutriments dont les plantes ont le plus besoin, tels que l'azote, le phosphore et le potassium. Dont les plantes ont le plus besoin comme le potassium, le phosphore et l'azote.

Actuellement, on assiste à une augmentation de la consommation d'engrais chimiques afin de répondre à la demande de carence élevée en nutriments dans le sol. Il est également noté que l'utilisation constante d'engrais chimiques affecte également la qualité des cultures,

et même celle du sol [9]. Les engrais préparés à partir des microalgues sont préférés aux engrais chimiques, non seulement en raison de leur efficacité, mais aussi parce qu'ils sont plus efficaces en raison de la présence de potassium, de phosphore et d'azote, mais aussi parce qu'ils sont riches en protéines, métabolites régulateurs de la croissance des plantes comme les auxines, cytokinine et gibbérellines, Les microalgues ajoutent également de la matière organique aux plantes cultivées et de libérer des vitamines, de réduire la teneur en matières oxydables du sol, de fournir de l'oxygène aux plantes cultivées et de favoriser la croissance des plantes, tamponner le pH et améliorer la salinité, solubiliser les phosphates, et améliorer l'efficacité de l'utilisation des engrais par les plantes cultivées [10].

Notre travail est divisé en trois parties : la première partie consiste en une étude bibliographique qui présente la définition du *chenal algal* , les microalgues et les engrais naturel et chimique , la classification et les caractéristiques des algues, la seconde présente en détail l'utilisation des microalgues comme biofertilisant, et la troisième partie revient sur les résultats de cette étude et le potentiel le plus important des microalgues, notamment l'effet sur les facteurs de croissance des plantes.

Partie 1 :
Etude bibliographique

1. Généralités sur le chenal algal

Le Chenal Algal à Haut Rendement (CAHR) est un procédé de traitement des eaux usées qui constitue une alternative économique et efficace par rapport aux autres systèmes de traitement intensifs généralement trouvés en Europe (Boues activées, Lit bactérien, Biodisque...), Il s'agit en fait d'une technique basée sur une symbiose entre les bactéries et les algues, dont le but est d'accélérer le processus d'épuration en favorisant la production algale.

Le CAHR présente les caractéristiques fondamentales suivantes :

- une élimination importante des organismes pathogènes, indispensable en vue d'une réutilisation des eaux traitées à des fins agricoles ;
- l'apport naturel de l'oxygène nécessaire à la dégradation des polluants, à la fois par le mécanisme de réaération atmosphérique et par le processus de photosynthèse ;
- l'élimination partielle des sels nutritifs produits en les assimilant et les transformant en biomasse vivante, en accélérant une volatilisation partielle de l'ammoniaque et en favorisant la précipitation des phosphates par suite de l'augmentation de pH induite par l'activité photosynthétique. [11,12]

1.1 Chenal algal à haut rendement

Le chenal algal à haut rendement est un bassin d'algues à haut rendement pour le traitement des eaux usées. Ces bassins ont été introduits pendant les années 60 et utilisés non seulement pour cultiver la biomasse de microalgues mais aussi pour traiter une grande variété d'eaux usées municipales et industrielles [13]. Le chenal algal à haut rendement semble être une technique intéressante pour le traitement des eaux usées en raison de l'importante efficacité d'assimilation de l'azote et du phosphore par les micro-algues [14]. Ces systèmes sont des bassins peu profonds à roues à aubes mixtes, à chemin de roulement, où les microalgues assimilent les nutriments et produisent de l'oxygène, qui est utilisé par les bactéries hétérotrophes pour oxyder la matière organique et améliorer la qualité de l'eau [15].

1.2 Avantages du chenal algal à haut rendement

La technique d'épuration par chenal algal à haut rendement (CAHR) semble présenter plusieurs atouts, aussi bien à l'échelle de l'efficacité qu'à l'échelle des surfaces requises pour la mise en place des installations de traitement des eaux usées. Comme l'aération mécanique n'est pas nécessaire, la consommation d'énergie de ces systèmes est beaucoup plus faible que celle d'une station d'épuration classique (par exemple un système à boues activées) (environ 0,02 kWh /m³ d'eau contre 1 kWh/ m³ d'eau, respectivement).

En outre, les CAHR sont moins coûteux et nécessitent peu d'entretien par rapport aux systèmes classiques [15]. En raison de leur faible coût et de leur faible consommation d'énergie, ces systèmes pourraient avoir un large éventail d'applications dans les régions méditerranéennes, qui présentent des conditions climatiques favorables à la croissance des microalgues (par exemple, un rayonnement solaire élevé). Toutefois, pour obtenir un rendement satisfaisant, il faut une grande superficie de terrain par rapport aux systèmes classiques, ce qui les rend plus adaptés aux petites communautés [13].

Le but de l'installation de ces bassins non seulement pour le traitement des eaux usées mais aussi pour la récupération des ressources afin d'atténuer les effets négatifs liés aux activités humaines, tels que la pollution des masses d'eau, les émissions de gaz à effet de serre et la rareté des ressources minérales. Dans ce contexte, les microalgues cultivées dans le chenal algal peuvent être récoltées et réutilisées pour produire des biocarburants ou d'autres bioproduits non alimentaires. D'autre part, les microalgues offrent également la possibilité de récupérer les éléments nutritifs des eaux usées et, par la suite, d'être appliquées comme engrais durable. Donc, les microalgues contiennent de grandes quantités de protéines riches en acides aminés essentiels, ainsi que des phytohormones qui stimulent la croissance des plantes [13].

1.3 Principe de fonctionnement de chenal algal

Les premiers bassins de lagunage à haut rendement ont été conçus en Californie par Oswald dans les années 60. Ils se distinguent des bassins de lagunage traditionnel par un temps de séjour plus court, une faible profondeur (inférieure au mètre), et une agitation mécanique constante. Ces bassins sont construits en forme de chenaux à l'intérieur desquels l'eau circule et est mise en mouvement grâce à une roue à aube, un jet d'eau ou encore une pompe à air. Seule une faible fraction de l'eau en circulation est évacuée, de sorte que le taux

de recirculation est fort élevé. L'agitation permet d'homogénéiser la colonne d'eau et empêche ainsi tout dépôt. La faible profondeur et le brassage permanent de l'eau favorisent le développement intensif des algues. Le chenal algal est donc un réacteur de culture intensive d'algues, le procédé d'épuration reposant en fait sur l'association symbiotique des algues et des bactéries (Figure 1). [16]

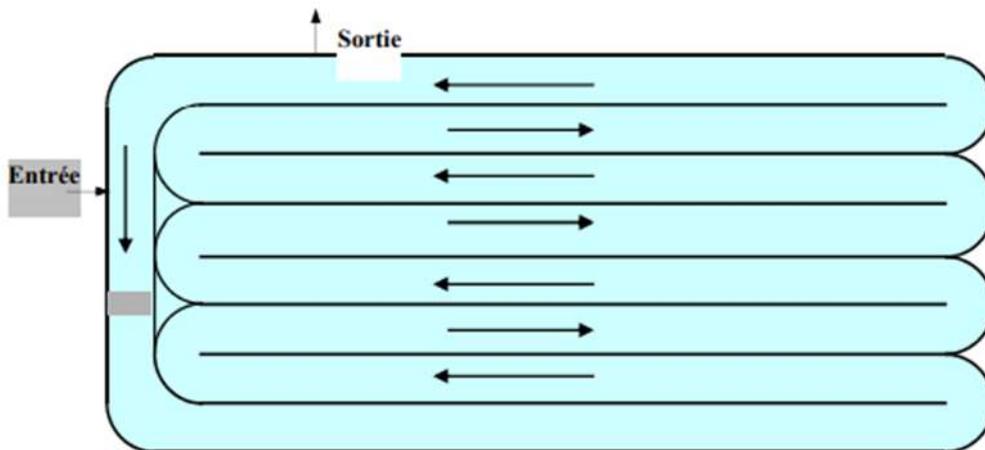


Figure 1. Schématisation du chenal algal à haut rendement.

2. Généralité sur les algues

Ainane (2011) a défini les algues comme un ensemble de végétaux photosynthétiques très divers et dont l'appareil végétatif relativement simple est appelé thalle. Elles ont des formes et des dimensions très variables. Certaines sont microscopiques et d'autres mesurent plusieurs mètres de longueur, mais elles ont toutes des caractères communs. Elles sont essentiellement aquatiques vivant dans les eaux douces ou marines, et certaines vivent sur la neige ou la glace des régions polaires et des hautes montagnes. D'autres, au contraire, supportent dans les eaux des sources thermales des températures élevées (algues thermophiles). Elles comprennent un effectif de 20 000 à 30 000 espèces dans le monde, soit 18% du règne végétal[17].

2.1 Définition de microalgues

Les algues sont des organismes photosynthétiques et elles sont la source ultime de carbone cellulaire et d'énergie chimique pour d'autres organismes. Elles sont donc souvent appelées producteurs primaires et sont généralement classées en deux catégories : les macroalgues (algues marines) et les microalgues (unicellulaires). Pour leur croissance, les microalgues ont besoin de lumière, de dioxyde de carbone et de nutriments.

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

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

Les microalgues doivent avoir une bonne composition en nutriments, y compris une absence de toxines qui pourraient être transférées vers le haut de la chaîne alimentaire. La principale application des microalgues en aquaculture est liée à leur utilisation pour l'alimentation animale. Actuellement, 30 % de la production mondiale d'algues est utilisée pour l'alimentation animale, mais l'utilisation en aquaculture concerne principalement les larves de poissons, de mollusques et de crustacés. Les eaux usées des piscicultures intensives sont enrichies de particules solides et de nutriments dissous, principalement sous forme d'azote et de phosphore inorganiques. L'utilisation de microalgues vivantes pour éliminer l'excès de nutriments dissous des effluents aquacoles est une méthode de traitement des eaux usées efficace et rentable.[18]

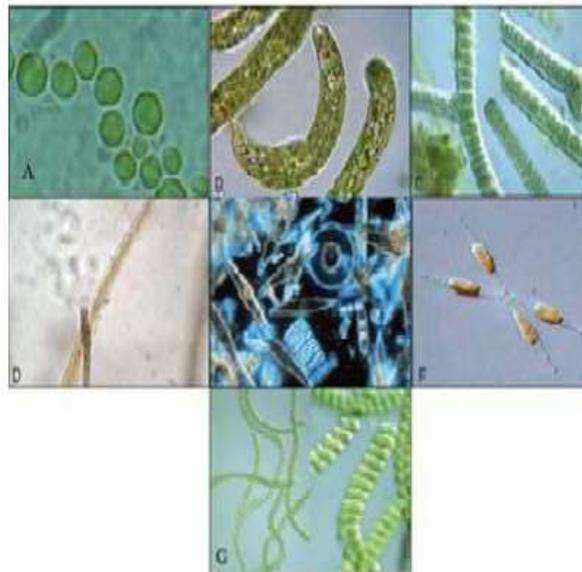


Figure 2 : Diversité des formes des microalgues.

2.2 Les microalgues *Scenedesmus*

L'utilisation des microalgues à des fins appliquées (alimentation, médecine, cosmétologie, aquaculture, etc. ...) s'est nettement développée depuis les années 80 (pour revue,) [19] Parmi les algues cultivées actuellement dans divers pays, les espèces du genre *Scenedesmus* sont exploitées dans l'alimentation humaine et animale. En effet, de par leurs caractéristiques biochimiques particulièrement intéressantes, notamment des teneurs élevées en protéines (comparables à celles des céréales), une bonne composition en acides aminés, en acides gras (en particulier en acides gras polyinsaturés) et en vitamines (y compris la vitamine B 1 2 , déficiente chez de nombreuses plantes fourragères), ces microalgues constituent un aliment de qualité [20/21]. Par ailleurs, outre leur très grande diversité spécifique, la plasticité de leur métabolisme permet d'orienter ces organismes vers la production du ou des métabolites souhaités, en fonction des conditions de culture adoptées.

De nombreux systèmes de production en masse ont ainsi été développés pour diverses espèces appartenant au genre *Scenedesmus*: *Scenedesmus obliquus* [22/23/24], *Scenedesmus acutus* [25], *Scenedesmus quadricauda* [26]. Parmi celles-ci, *Scenedesmus obliquus* demeure, jusqu'à présent, l'espèce la plus productive en culture en masse - jusqu'à 54 g de matière sèche. [27]. Cependant, il convient de souligner qu'un nombre limité d'espèces de ce genre est

actuellement exploité. Si l'on considère l'effectif répertorié à ce jour (200 à 250 espèces) il apparaît qu'un criblage plus exhaustif des espèces susceptibles d'avoir un intérêt alimentaire ou industriel s'impose. Ce criblage devrait cependant prendre en considération un certain nombre de critères essentiels, à savoir une croissance rapide des souches sélectionnées, une capacité d'adaptation à diverses conditions environnementales et une composition biochimique intéressante (teneur élevée en protéines ou production de substances à haute valeur ajoutée). C'est dans cette optique particulière qu'a été initié ce travail sur l'algue verte *Scenedesmus abundans*. Bien que cette espèce ait fait l'objet d'études antérieures [28/29], ses caractéristiques biochimiques restent à ces jours très fragmentaires. En effet, les seuls travaux réalisés concernent l'influence de la limitation en azote sur les teneurs cellulaires en carbone, azote et chlorophylle [28], ainsi que l'analyse de la composition en vitamines de cette espèce [29].

2.3 Structure cellulaire et métabolisme des algues

Les microalgues ont une structure cellulaire simple et leur croissance nécessite de la lumière, du dioxyde de carbone, de l'eau et des nutriments (phosphore et azote comme nutriment majeurs). Photo synthétiquement, les microalgues peuvent convertir ces nécessités en énergie et l'utiliser dans le développement cellulaire. La microalgue présente un noyau et une membrane plasmique contenant des organites essentiels à son fonctionnement tels que les chloroplaste, les amyloplast, les oléoplastes et mitochondries, elle contient trois principaux types de pigments qui sont les chlorophylles, les caroténoïdes et les phucobilipaeines. [30]

3. Méthodes de récupération des algues

La récupération des micro-algues est un processus très important et nécessaire, de plus, la réutilisation de l'eau traitée pour l'irrigation qui est exempte d'algues et conforme à la norme de réutilisation des eaux usées en agriculture.

Différentes techniques existent, elles sont souvent citées dans la littérature, mais cette étape constitue le point délicat de la technologie proposée, en effet, l'épuration par chenal algal se veut économique mais la récupération des algues fait appel à des techniques onéreuses, filtration, centrifugation, etc.

3.1 Filtration

La filtration est un procédé de séparation permettant de séparer les constituants d'un mélange qui possède une phase liquide et une phase solide au travers d'un milieu poreux. La filtration est une technique très utilisée que ce soit dans le domaine de l'agro-alimentaire ou de la pharmacie ou par de nombreuses espèces animales, principalement aquatique.

L'utilisation d'un filtre permet de retenir les particules du mélange hétérogène qui sont plus grosses que les trous du filtre (porosité). Le liquide ayant subi la filtration se nomme filtrat, et ce que le filtre retient se nomme un résidu (aussi communément appelé "gâteau" ou rétentat). [31]

3.2 Centrifugation

La centrifugation est un procédé de séparation des composés d'un mélange en fonction de leur différence de densité en les soumettant à une force centrifuge. Le mélange à séparer peut être constitué soit de deux phases liquides, soit de particules solides en suspension dans un fluide. L'appareil utilisé est une machine tournante à grande vitesse appelée centrifugeuse. Cette technique ne fait pas partie des opérations unitaires en génie des procédés.[32]

4. Fertilisants

4.1 Définition de la fertilisation

La Fertilisation est l'ensemble des techniques agricoles consistant à apporter à un milieu de culture, tel que le sol, les éléments minéraux nécessaires (matières fertilisantes) au développement de la plante, et créer ou de maintenir dans le sol un milieu physique et chimique apte à la nutrition des plantes cultivées, d'améliorer la qualité et la quantité des produits récoltés.

D'après Silguy (1998), la fertilisation a pour objectif de maintenir ou d'augmenter la fertilité des sols et leur activité biologique aussi améliorer la croissance, la qualité des cultures et augmenter le rendement. Il s'agit de «nourrir le sol pour nourrir la plante» durant toute sa croissance, en privilégiant les engrais organiques qui sont transformés par les êtres vivants du sol avant d'être progressivement absorbables par les plantes. [33]

4.2 Le biofertilisants

En agriculture un biofertilisant ou fertilisant organique est un biostimulant de la croissance et du rendement d'une plante, lorsqu'il appliqué en petite quantité, durant tout le cycle de la culture [34].

L'engrais naturel est de plus en plus prisé dans les jardins. Si ses avantages écologiques sont relativement reconnus, il est intéressant de montrer que son efficacité est également supérieure. Les engrais naturels sont, dans la majorité des cas, issus de végétaux ou d'animaux ou encore de roches et comportent de nombreux avantages.

Ces fertilisants naturels ont le pouvoir de nourrir et améliorer votre sol, qui à son tour nourrit vos plantes. Il faut savoir que les batteries contenues dans les différents engrais vont progressivement libérer des éléments nutritifs qui seront ensuite absorbés par vos petits êtres vivants (notamment en azote, en phosphates et oligo-éléments).

Les engrais stimulent la croissance des plantes en amendant les sols c'est à dire en leur apportant les éléments vitaux aux plantes.

4.4 Les avantages d'un engrais naturel

Premièrement, l'utilisation des engrais a considérablement augmenté le rendement des cultures et augmente le taux de matière organique dans le sol. Ils ne se contentent pas de donner un coup de pouce à la croissance de la plante. Ils vont jusqu'à l'aider à se développer d'une manière bénéfique et équilibrée. La plante est ainsi en meilleure santé, et surtout : ses fruits sont de meilleures qualités ! Plusieurs études ont prouvé que ces derniers avaient nettement plus de goût. Effectivement, la plante puise dans les engrais naturels des éléments plus variés que dans les engrais chimiques, et profite d'un sol riche et vivant. Ils accompagnent donc le développement des plantes de façon harmonieuse et équilibrée et dans tous les domaines. Ainsi, le sol nourri à base de ce type d'engrais est plus productif et en bon état.[35]

4.4.1 Les engrais naturels préservent l'environnement

Comme vous devez le savoir, les engrais chimiques doivent être dosés d'une grave conséquence environnementales peuvent être entraînées. Avec les engrais naturels, ce type de complication n'existe pas. Ces derniers sont d'origines naturelles, les risques pour l'environnement sont ainsi nulles.

Effectivement, ils nourrissent ou améliorent le sol, qui à son tour nourrit la certaine manière... Une erreur et les causes peuvent être désastreuses. De plantes. L'action des bactéries du sol libère progressivement les éléments nutritifs, ce qui permet aux plantes de les absorber pendant une longue durée. Les engrais naturels, en libérant leurs apports plus lentement, stimulent la vie micro-organique. Le sol est donc vivant et plus riche. A l'inverse, les engrais chimiques permettent une croissance rapide des plantes et un résultat immédiat... Ainsi ils détruisent rapidement le sol en tuant les micro-organismes qui y vivent. Les plantes deviennent donc dépendantes de leur apport, et peuvent souffrir de carences.[35]

4.5 Les engrais chimique

Les engrais chimiques, ou engrais minéraux, sont des fertilisants qui sont déversés sur les cultures le plus souvent par épandage.

Ils sont destinés à améliorer la quantité et la qualité des rendements agricoles, horticoles et sylvicoles et sont de plus en plus utilisés dans toutes ces cultures françaises.

Ils sont majoritairement fabriqués grands groupes de l'industrie chimique mondiale.

Ainsi, les engrais minéraux azotés, les plus utilisés dans l'Hexagone, sont issus de l'oxydation de l'ammoniac par combustion, afin d'en distiller le dioxyde d'azote formé en acide nitrique. La réaction entre acide nitrique et ammoniac donne du nitrate d'ammonium, qui lui-même transformé deviendra l'ammonitrate.

Les engrais phosphatés sont fabriqués à base de phosphates extraits de gisements naturels, auxquels est associé soit de l'acide sulfurique (soufre) pour donner le superphosphate simple, soit de l'acide phosphorique pour obtenir le superphosphate triple.

Enfin, pour la réalisation des engrais potassiques, il s'agira d'associer un produit naturel de départ extrait des gisements, comme la carnallite, la sylvinite ou encore la kainite, à un produit réactif type acide sulfurique afin d'acquérir chlorure ou sulfate de potassium[36].

4.6 Les inconvénients des engrais chimiques

Les dangers des produits chimiques sont bien concrets... Tant sur la qualité de l'environnement, et la biodiversité que sur la santé humaine.

Spécifiquement, l'un des principaux inconvénients des engrais chimiques révèle que certains exposent à une teneur élevée en acide comme l'acide sulfurique et l'acide chlorhydrique. Celle-ci entraînant la destruction de la bactérie fixatrice d'azote, qui aide à fournir l'azote à une plante en croissance. Ainsi, la première conséquence de l'utilisation des engrais chimiques dans le jardin est l'appauvrissement du sol.

Problématique plus directe : sa nocivité. Certains éléments s'avèrent en effet très polluants et se retrouvent directement dans les cours d'eau. En effet, les substances non assimilées par les plantes sont emportées par les pluies... celle-ci se déversant directement dans notre environnement. Ainsi, les engrais chimiques en raison de leurs produits chimiques nocifs ont un impact tant écologique que sur notre corps.

En fin de compte, la question de savoir si les jardiniers devraient ou non utiliser des engrais organiques ou chimiques reste un débat sans fin. Chacun peut y apporter ses arguments... toutefois, il est impossible de nier les inconvénients néfastes exposés ici. Généralement, l'engouement pour les engrais chimiques dans les jardins peut se résumer par son prix, sa facilité d'utilisation et son efficacité. Des éléments à prendre en compte mais qui s'opposent à la préservation de l'environnement, au bien manger, aux effets néfastes sur la santé et à toute une façon de vivre qui consiste à revenir à des valeurs plus saines et pérennes[37].

5. Besoins nutritifs des plantes

Les plantes ont besoin de 16 éléments nutritifs essentiels. Parmi ceux-ci, on retrouve le carbone (C), l'oxygène (O) et l'hydrogène (H) qui sont extraits de l'eau et de l'air. Les éléments restants sont puisés dans le sol. On les divise en éléments primaires (majeurs), secondaires et mineurs (oligo-éléments) [38].

5.1 Éléments primaires ou majeurs

Ces éléments sont requis en quantités importantes par la plante, d'où le qualificatif primaire ou majeur. [38]

Tableau 1 : les éléments majeurs importants par la plante.

Éléments	Rôles dans la plante
Azote (N)	Constituant fondamental des protéines et de la chlorophylle (pigment donnant leur couleur verte aux plantes). Joue un rôle de premier plan dans la croissance des plantes.
Phosphore (P)	Joue un rôle important dans la croissance des racines, l'implantation des jeunes plants, la

	floraison, la production et le mûrissement des fruits, la photosynthèse, la respiration et la croissance générale de la plante.
Potassium (K)	Circule partout dans la plante. Assure le transport des sucres, la turgescence et la rigidité des tiges. Augmente aussi la résistance générale de la plante (froid, maladies, insectes, etc.) . Contribue également à l'initiation des boutons floraux, à l'aouûtement des plantes ligneuses et à la fructification.

5.2 Éléments secondaires

Ces éléments sont requis en moins grande quantité que les éléments primaires. [38]

Tableau 2 : les éléments secondaires importants par la plante.

Éléments	Rôles dans la plante
Calcium (Ca)	Joue un rôle capital dans la structure des végétaux car il entre dans la composition des cellules et les soude entre elles. Participe au développement racinaire et à la maturation des fruits et des graines. Est présent dans les zones de croissance des plantes (apex et bourgeons).
Magnésium (Mg)	Élément central de la chlorophylle. Contribue à la maturation des fruits et à la germination des graines. Renforce les parois cellulaires et favorise l'absorption du phosphore, de l'azote et du soufre par la plante.
Soufre (S)	Entre dans la composition de plusieurs protéines, enzymes et vitamines. Intervient dans la formation de la chlorophylle. Favorise le transport du potassium, du calcium et du magnésium dans la plante.

Partie 2 : Etude expérimentale

1. Procédure expérimentale

1.1 Objectifs de l'expérimentation

La méthodologie mise en œuvre dans ce travail a pour objectif d'étudier l'effet biofertilisant de l'ajout des micro-algues sur la croissance et la productivité de deux types de plante : la luzerne et l'orge. Les algues utilisées proviennent d'une station pilote chenal algal à haut rendement (CHAR utilisée pour le traitement des eaux usées et installée dans une station d'épuration située à Hammam Sousse).

Cette étude a été réalisée sur des cultures en pots et sur des cultures en rhizotron. Ces derniers permettent de reproduire au mieux les conditions naturelles dans lesquelles les racines se développent. En effet, deux types de traitement de fertilisation ont été mis en œuvre : traitement par macérât et traitement par poudre de microalgues.

1.2 Matériel Végétal

Le matériel végétal est constitué d'une variété d'orge « Lemsi » et une variété de Luzerne « Gabsienne ». Les semences ont été récupérées au sein du laboratoire de production fourragère de l'Institut Supérieur Agronomique de Chott Mariem.

Des tests de pré-germination (Figure3) ont été réalisés au préalable (le 14 avril 2022) afin de déterminer la faculté germinative des semences. Les semences (orge et luzerne) ont été mises dans des boîtes de Pétri contenant du papier filtre imbibé d'eau distillée à raison de 30 graines par boîte (6 boîtes de pétri d'orge et 6 boîtes de pétri de luzerne). Ces dernières ont été placées dans le laboratoire à une température de 28 °C pendant 6 jours. Le rendement de la germination était de 98%.



(Luzerne)

(Orge)

Figure 3 : Pré-germination du matériel végétal (originale, 2022).

1.3. Les Algues :

1.3.1 Origine des algues

Les algues qu'on a utilisées proviennent de la station CAHR qui est un système d'épuration très répandu de traitement biologique des eaux usées. Ce sont des bassins à surface libre qui sont exposés à l'air. En effet, c'est un étang rectangulaire qui est subdivisé en pistes de profondeur plus au moins faible (Figure 4) dans lesquelles l'eau circule grâce à une agitation mécanique régulière. [39]



Figure 4 : Chenal algal à haut rendement.

1.3.2 Récupération des algues

Parmi les méthodes de récupération des microalgues, on a choisi de travailler avec la filtration sous vide qui, suite à des essais, a montré un bon rendement par rapport à la centrifugation. En effet, cette méthode se base sur l'aspiration du contenu de l'entonnoir Büchner vers la fiole à vide, ainsi le filtre posé dans le fond de l'entonnoir Büchner sépare le solide (microalgues) du liquide (eau) (Figure 5).

Donc, on a prélevé des échantillons d'eau contenant les micro-algues directement de la station chenal algal puis on les a conservés à froid et filtrés au fur et à mesure pour récupérer la biomasse algale nécessaire. Une fois récupérées, les microalgues ont été séchées à l'air libre pendant 24 heures, ensuite ces dernières ont été broyées avec un mortier jusqu'à obtenir une poudre fine.

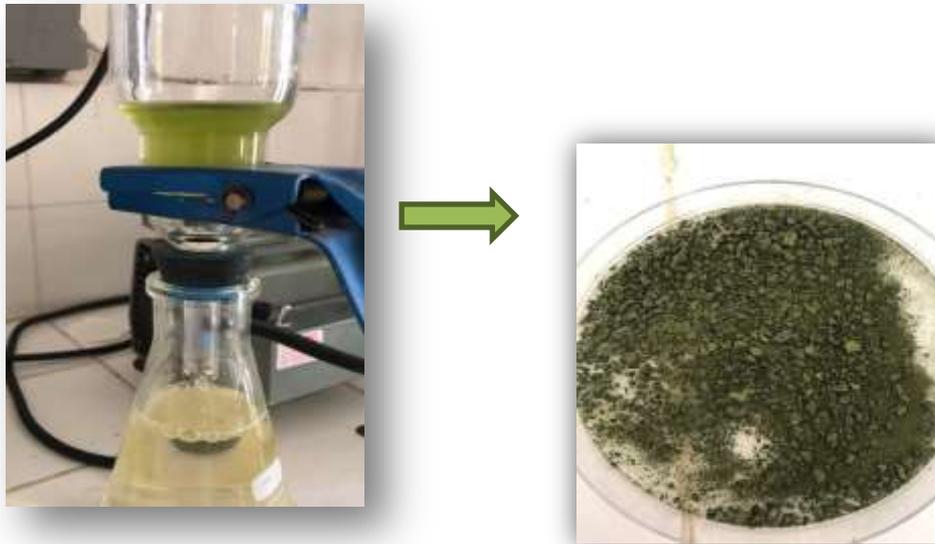


Figure 5 : Récupération des microalgues.

1.3.3 Préparation du macérât

Le macérât est l'extrait de microalgues qui a été préparé en choisissant les concentrations sélectionnées (4g/l ,2g/l ,1g/l), où nous pesons la quantité de poudre d'algues et nous la mettons dans un litre d'eau distillée pendant 24 heures.

1.4 Conditions expérimentales

1 .4.1 Support de culture

Le substrat utilisé est un mélange de terre et de sable (1/2 : 1/2), où la terre a été récupérée à partir d'une parcelle de culture localisée à l'Institut supérieur agronomique de Chott-Mariem et a été prélevée sur les 30 premiers cm de la parcelle, puis tamisée avec un tamis de 5 mm, et mélangée avec le sable.

Un échantillon du mélange a été récupéré afin de réaliser les analyses des paramètres physico-chimiques tels que : pH, conductivité, azote, phosphore, potassium, carbone organique.

1.4.2 Containers utilisés

Un nombre total de 60 pots en plastique ont été préparés dans lesquels une couche de gravier a été tout d'abord déposée au fond, suivie d'une couche de sol (50% terre et 50% sable). La masse totale du sol est de 1,4 kg. Ces pots (30 pots pour la luzerne et 30 pots pour l'orge) ont été placés sous serre.

D'autre part des rhizotrons (Figure 7) ont été mis en œuvre dans le cadre de cette étude pour pouvoir visualiser l'appareil souterrain des plantes, et de mesurer la croissance des racines. Le rhizotron est un bac de culture qui présente deux faces transparentes, il se présente sous la forme de parallélépipèdes plats de dimensions 26 cm*20cm *7 cm et d'inclinaison de 45° pour forcer les racines à pousser le long de l'interface transparente, l'une mobile pour faciliter le drainage et la manipulation et l'autre fixe.

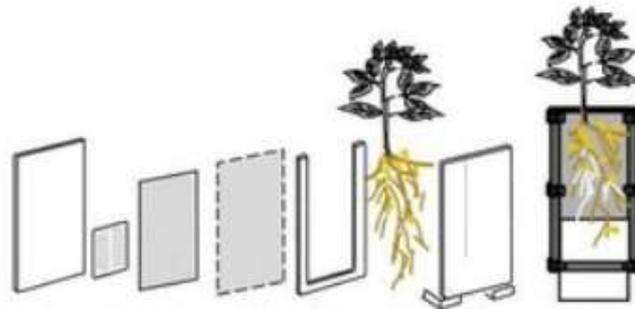


Figure 6 : Composition d'un rhizotron.

Un total de 24 rhizotrons (12 pots pour la luzerne et 12 pots pour l'orge) ont été remplis de sol, puis une quantité d'eau du robinet a été ajoutée dans chacun des rhizotrons pour stabiliser le substrat.



Figure 7 : Rhizotrons à l'ISA Chott-Mariem.

Après les avoir remplis, chaque rhizotron a été protégé par un film plastique opaque qui maintient les racines à l'obscurité. Ce film est enlevé au moment des mesures. Les rhizotrons, inclinés à 45 °, sont disposés les uns près des autres sur un support boisé construit à cet effet.

1.5. Mise en œuvre des essais

Les cultures en pots ont été conduites sous serre et les cultures en rhizotrons ont été conduites sous serre vitrée.

1.5.1 Test de concentrations

Pour pouvoir choisir les concentrations optimales qui vont donner le meilleur rendement biofertilisant, on a eu recours à ce test qui se base sur la préparation de différentes concentrations à l'aide de l'eau bi-distillé et la poudre d'algue séchée, les concentrations sont : 0.1g/100 ml, 0.2g/100 ml, 0.4g/100 ml, 0.6g/100 ml, 0.8g/100 ml, 1g/100 ml, 2g/100 ml d'extrait de micro algues. Ensuite, un nombre spécifique de graines imbibées d'eau sont placées dans des boîtes de Pétri contenant du papier de soie stérilisé qui a été pulvérisé avec de l'eau afin de maintenir l'humidité dans la boîte . Après 2 jours, le taux de germination et la longueur des racines nous ont permis de choisir les concentrations optimales suivantes : 4 g/L, 2 g/L et 1 g/L .

1.5.2 Les modes de traitement

Au cours de cette expérience, nous avons abordé deux types de traitement sur l'orge et la luzerne :

- Traitement par macérât : Utilisation d'extrait de microalgues pour arroser directement le sol, cet extrait est obtenu en plaçant une quantité de poudre de microalgues enveloppée dans du papier filtre hermétiquement fermée dans l'eau distillée pendant 24 heures.
- Traitement par poudre : Utilisation de poudre de microalgues séchées comme biofertilisant dans le sol.

1.5.3 Plan d'expérience

1.5.3.1 Etape 1: pré-germination des graines et repiquage

Avant d'appliquer les modes de traitement choisis, une étape de pré-germination des graines est nécessaire, elles ont été choisies de tailles semblables pour réduire la variation de la masse au sein des génotypes. Ensuite, les graines de l'orge et luzerne ont été mises à germer sur un papier filtre imbibé d'eau (5ml) et couvertes d'un papier filtre humide (6 boîte pétri de l'orge et 6 boîte pétri de luzerne). Ensuite, les boîtes de Pétri ont été placées au laboratoire à une température de 28 °C pendant 6 jours. Les graines germées après 5–6 jours sont transférées dans les rhizotrons et semées du côté de la plaque mobile et dans les pots.

1.5.3.2 Etape 2: application du traitement

Les plantes sont arrosées à deux traitements : Dans le traitement à l'extrait de microalgue et après avoir préparé les 3 concentrations d'extrait, les graines sont arrosées avec 100 ml (d'extrait de microalgue) tous les 4 jours de chaque concentration. Et aussi pour le traitement avec de l'eau distillée. Comme pour le traitement avec la poudre de microalgue, par exemple dans la concentration C1 et mettre 0,4 g de poudre de microalgue dans le pot, puis mélanger avec le terre puis arrosez avec 100 ml d'eau distillée. la même chose avec les concentrations C2 et C3 aussi. en utilisant 100 ml de NPK une fois, après quoi 100 ml d'eau distillée ont été ajoutés tous les 4 jours. Pendant 45 jours, il a été arrosé. Dans l'expérience, nous avons besoin 150 g des microalgues.

Tableau 2 : Plans des expériences.

Traitement par extrait de microalgue	Traitement par poudre de microalgue
--------------------------------------	-------------------------------------

	L'eau distillée	Concentration 1	Concentration 2	Concentration 3	NPK (biofertilisant de référence)	L'eau distillée	Concentration 1	Concentration 2	Concentration 3	NPK (biofertilisant de référence)
Répétition × 3	100 ml pendant 4 jours	100 ml pendant 4 jours (4g/l)	100 ml pendant 4 jours (2g/l)	100 ml pendant 4 jours (1g/l)	100 ml pendant 4 jours	100 ml pendant 4 jours	0.4g de poudre et 100 ml d'eau distillée pendant 4 jours	0.2g de poudre et 100 ml d'eau distillée pendant 4 jours	0.1g de Poudre et 100 ml d'eau distillée pendant 4 jours	100 ml pendant 4 jours

1.6 Paramètres mesurés et Récolte

Des paramètres de croissance tels que le nombre de feuilles, la longueur de la partie aérienne (Figure 8) ont été mesurés tous les 4 jours pendant 4 semaines.



Figure 8 : Mesure de la hauteur des *feuilles* de l'orge dans les rhizotrons.

D'autres paramètres tels que l'élongation racinaire (figure 9), l'élongation racinaire, le poids frais de la partie aérienne, le poids frais de la partie racinaire, et le poids sec (après séchage à 70°C) ont été mesurés après récolte des plantes. L'indice de Chlorophylle a également été mesuré au cours de l'expérience.

La récolte a été réalisée 45 jours après le semis, Les plantes ont été délicatement retirées de rhizotrons, la partie aérienne a été séparée des racines pour évaluer les paramètres séparément Les racines ont été soigneusement rincées à l'eau puis essuyées.



Figure 9 : Fin de la culture et séparation de la partie aérienne et racinaire.

- **L'Indice chlorophyllien :** La mesure de la teneur en chlorophylle a été également effectuée à l'aide d'un chlorophylle-mètre SPAD 502 (Figure 10) sur la feuille médiane des plantes. La méthode consiste à étalonner l'appareil, le pincement de la feuille sur trois parties différentes et finalement la lecture des valeurs indiquées sur l'écran (la moyenne de trois valeurs est calculée).



Figure 10 : Mesure de la teneur en chlorophylle par le chlorophylle-mètre SPAD 502.

Partie 3 : Résultats et Discussion

1. Paramètres de croissance des plantes

1.2 Paramètres de croissance des plantes dans les pots

A cause des facteurs de croissance des plantes (graines de luzerne), je n'ai malheureusement pas mesuré les paramètres de la croissance du fait du retard de leur croissance en phase de traitement et du fait que leurs feuilles sont petites.

1.1.1 Hauteur de la partie aérienne

Traitement par macérât :

Les résultats obtenus pour le paramètre « La longueur finale des feuilles (cm) » pour les traitements par macérât étudiés, sont illustrés par la figure 11.

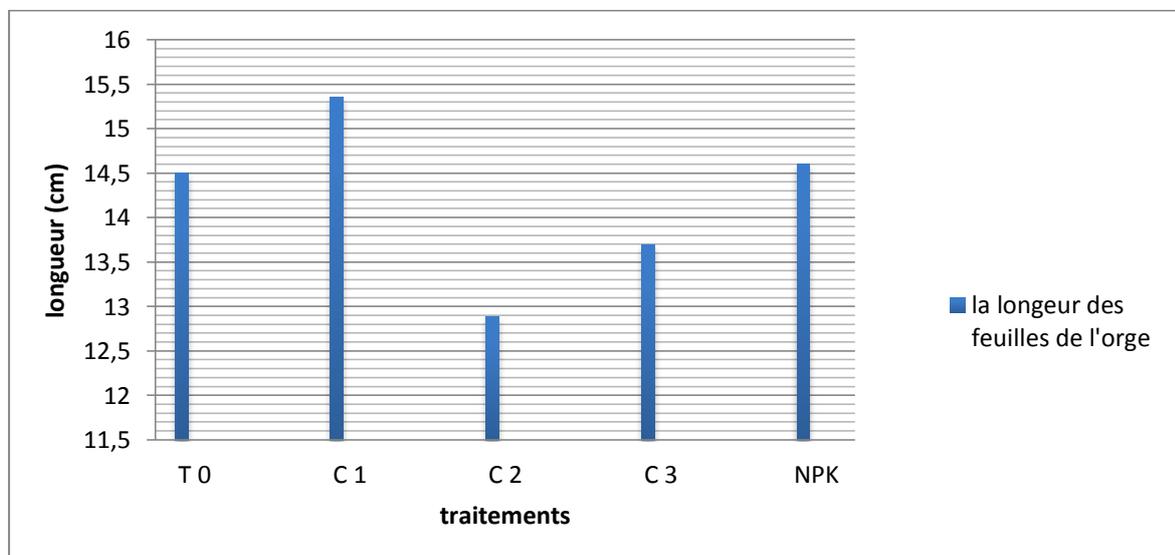


Figure 11: La longueur des feuilles (cm) de l'orge TM dans les pots.

L'analyse de la variance de l'interaction dose-application (Annexe A, tableau2), montre qu'il existe un effet hautement significatif entre les différentes concentrations de traitement par macérât du Paramètre mesuré.

D'après le graphique, les meilleures hauteurs sont représentées par les traitements avec C1 (15.36) par rapport aux hauteurs de feuilles dans les autres traitements. Cependant, la hauteur des feuilles la plus basse correspond au traitement avec C2 (12.89), Ces résultats

prouvent que le biofertilisant a un effet positif sur la hauteur des feuilles de l'orge Ceci s'expliquerait par la richesse microalgues en vitamines, aminoacides, micronutriments.

Traitement par poudre

Les résultats obtenus pour le paramètre «La longueur finale des feuilles (cm) » pour les traitements par poudre étudiés, sont illustrés par la figure 12.

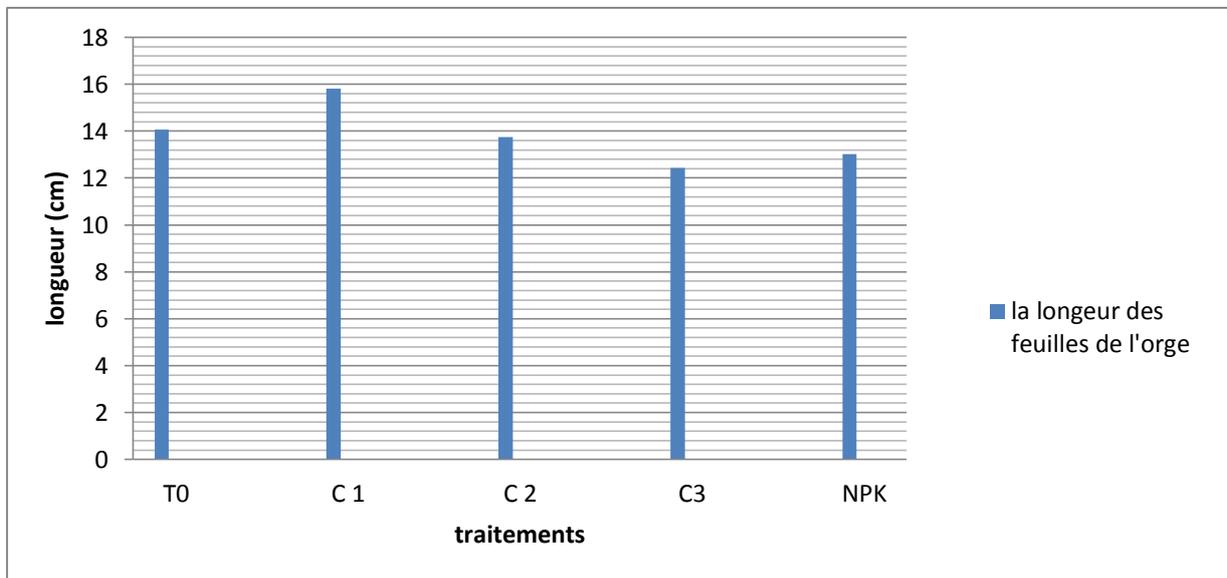


Figure 12: La longueur des feuilles (cm) de l'orge TP dans les pots.

L'analyse de la variance de l'interaction dose-application (Annexe A, tableau 3), montre qu'il existe un effet hautement significatif entre les différentes concentrations de traitement par poudre du Paramètre mesuré.

Dans le traitement par poudre de microalgues, la meilleure longueur des feuilles a été observée chez les plantes traitées avec la dose C1 (15.8). tandis que le développement le plus faible dans la longueur des feuilles est observée dans les graines ayant reçu la dose C3 (12.42). D'après les résultats obtenus, il semble que la méthode d'utilisation et d'application du biofertilisant peut donner des résultats différents qui prouvent également l'efficacité des microalgues et sa richesse en micronutriments, et qu'elle est plus efficace que l'engrais chimique.

1.1.2 Variation Du SPAD

Des mesures de la teneur en chlorophylle ont été effectuées sur toutes les feuilles. Les résultats de l'analyse de variance montrent la teneur en chlorophylle estimée par SPAD entre les différents traitements appliqués.

Traitement par macérât :

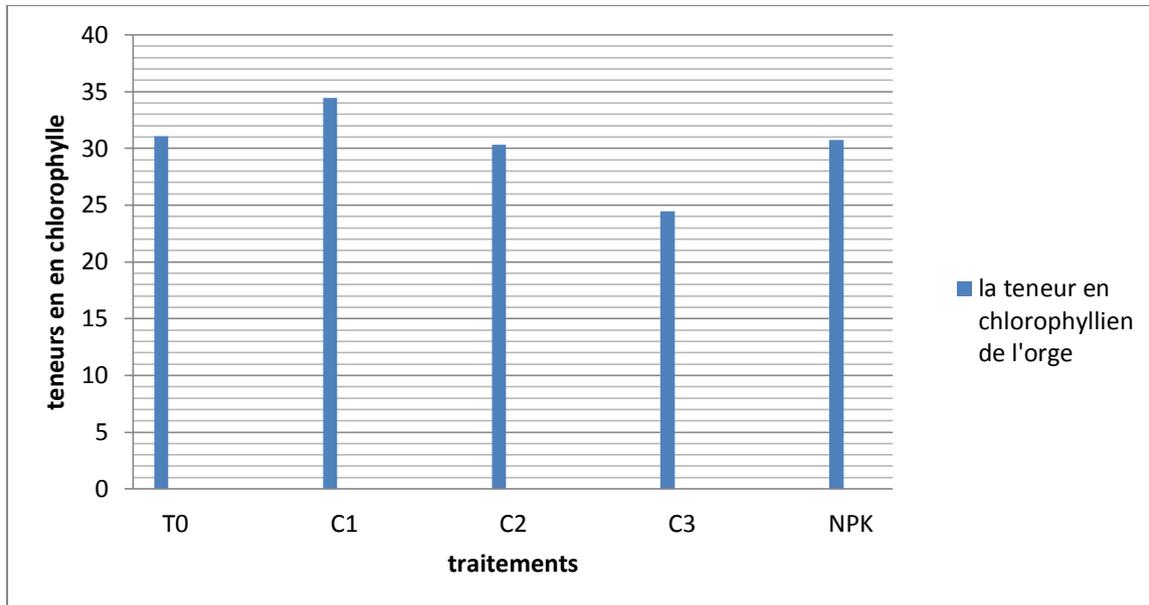


Figure 13: Variation des teneurs en chlorophylle de l'orge(TM).

L'analyse de variance (Annexe A, tableau 4), des traitements de défierent concentration, révèle une différence significative pour le paramètre étudié.

Les valeurs de SPAD dans le traitement par macérât ont montré que les feuilles des graines qui ont été dosées par la concentration C3 (24.46) avaient les valeurs les plus basses indiquant une teneur en chlorophylle plus faible. Considérant que, les graines ayant reçu une dose d'extrait d'algue C1 (34.46) avaient des valeurs indiquant une teneur en chlorophylle plus élevée (SPAD) après une meilleure absorption des minéraux et par conséquent une grande synthèse protéique comprenant la chlorophylle.

Traitement par poudre

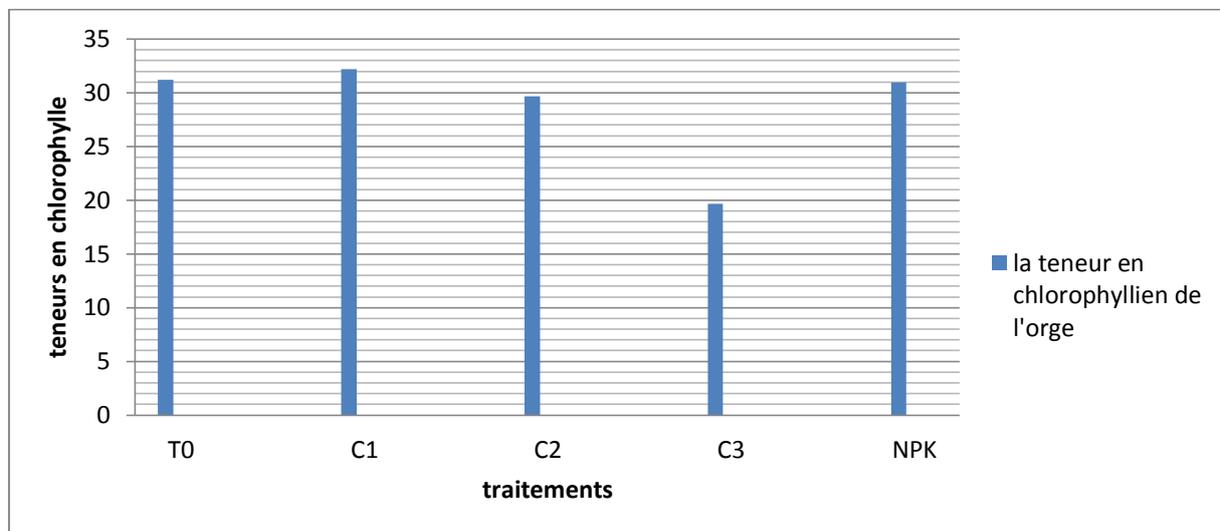


Figure 14: Variation des teneurs en chlorophylle de l'orge(TP).

L'analyse de variance (Annexe B, tableau 5), des traitements de défèrent concentration, révèle une différence significative pour le paramètre étudié.

Dans le traitement par poudre de microalgues , Les valeurs SPAD ont montré que les feuilles des graines traitées avec la dose C1 (32.2) présentaient des valeurs élevées indiquant la grande présence en chlorophylle par rapport à celles qui ont été arrosées avec de l'eau distillée plus du traitement avec des engrais chimiques , après une meilleure absorption des minéraux et donc la synthèse des protéines, y compris la chlorophylle, alors que les graines qui ont reçu une dose d'extrait d'algue C3 (19.67) avaient des valeurs de chlorophylle (SPAD) plus faibles.

1.2. Paramètres de croissance des plantes dans les rhizotrons

1.2.1. Hauteur de la partie aérienne

Les résultats obtenus pour le paramètre La longueur finale des feuilles (cm) pour l'ensemble des traitements étudiés, sont illustrés par la figure 15.

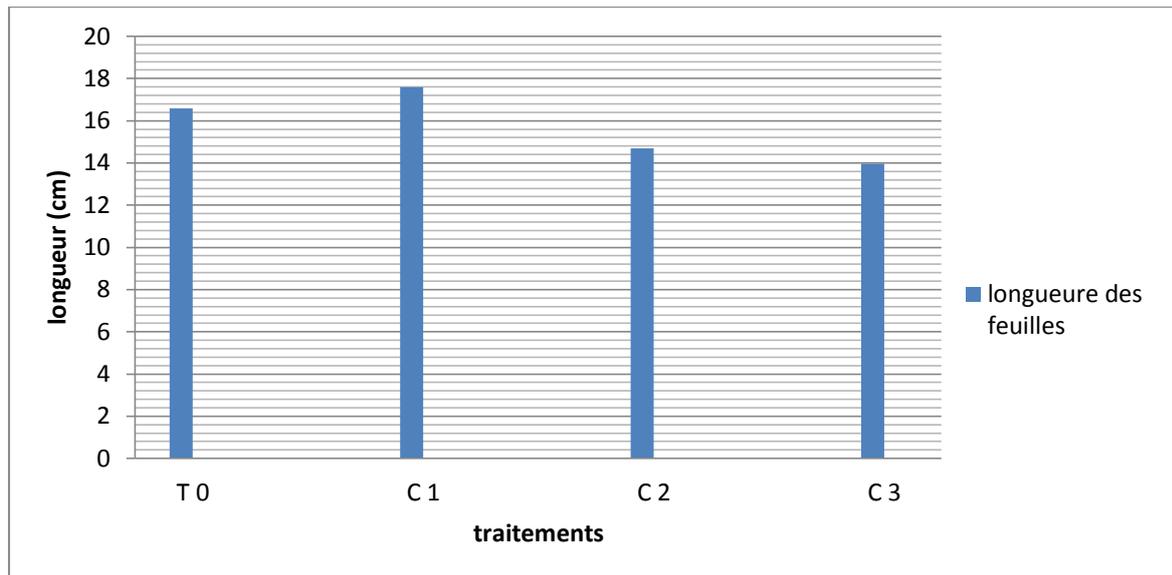


Figure 15: La longueur des feuilles (cm) de l'orge dans les rhizotrons.

L'analyse de la variance de l'interaction dose-application (Annexe B, tableau1), montre qu'il existe un effet hautement significatif entre les différents traitements du paramètre mesuré.

A travers les résultats obtenus, on constate que la meilleure longueur des feuilles est enregistré au dans les grains traités avec C1 (17.6) d'extrait de microalgues par rapport aux grains traités avec l'eau distillée. Cependant, la plus faible longueur de feuille est observée au niveau les grains traités avec C3 (13.97) .ceci explique la richesse de microalgues en vitamines et micronutriments, ce qui conduit à l'accélération de la croissance de l'orge.

1.2.2 Nombres des feuilles

Le nombre de feuilles a été mesuré par rapport à la croissance des plantes au fil des jours Figure 16.

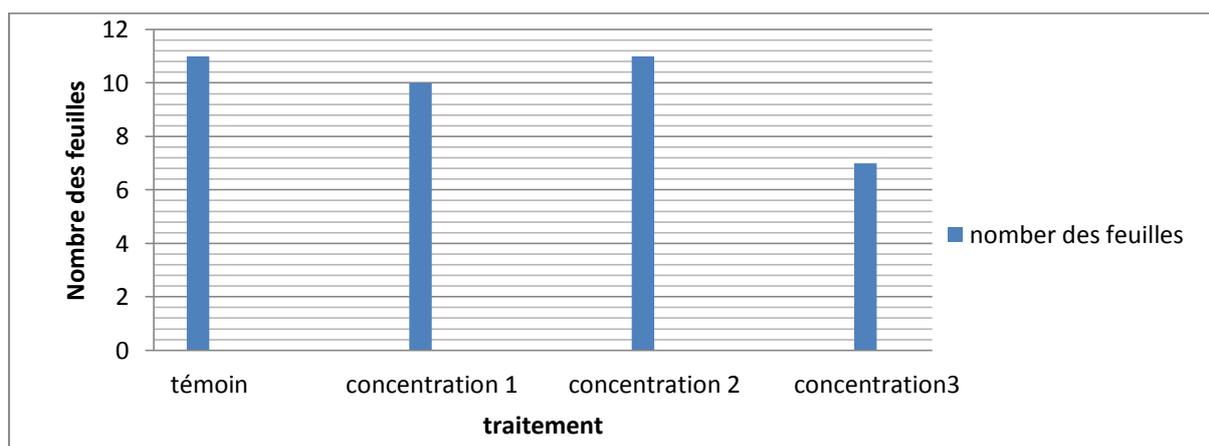


Figure 16 : Nombre des feuilles de l'orge dans les rhizotrons.

Analyse de la variation (Annexe B, tableau2), du nombre de feuilles d'orge sous l'influence de trois concentrations de solution de microalgues et d'eau distillée.

Le plus petit nombre de feuilles a été observé pour la concentration 3 (7 feuilles). Cependant, le traitement à l'eau distillée a montré le plus grand nombre de feuilles (11 feuilles) A travers ces résultats, il apparaît que le traitement à l'eau distillée a donné plus d'efficacité en germination que le traitement au biofertilisant, mais il n'est pas possible de se fier entièrement à ce résultat. Les facteurs externes ont un grand effet tels que la température élevée qui a entraîné la mort de plusieurs feuilles de graines traitées avec du biofertilisant.

1.2.3 Variation Du SPAD

Des mesures de la teneur en chlorophylle ont été effectuées sur toutes les feuilles. Les résultats de l'analyse de variance montrent la teneur en chlorophylle estimée par SPAD entre les différents traitements appliqués Figure 17.

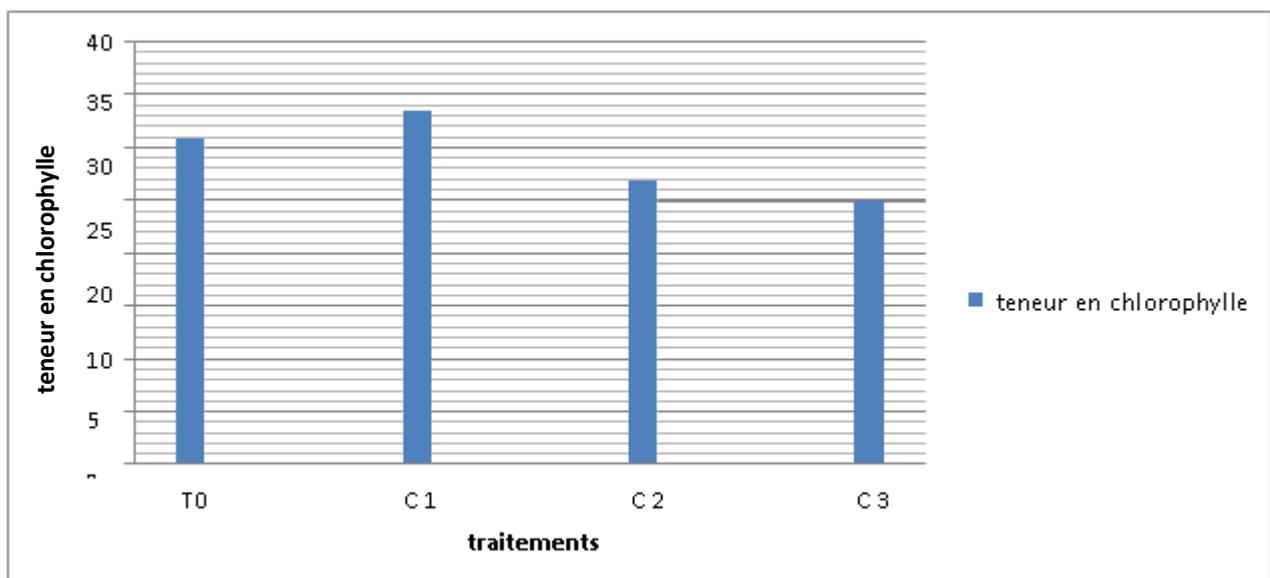


Figure 17: Variation des teneurs en chlorophylle de l'orge dans les rhizotrons.

L'analyse de variance (Annexe B, tableau 4), des traitements de défèrent concentration, révèle une différence significative pour le paramètre étudié.

Les valeurs SPAD de l'orge dans les rhizotrons ont montré une convergence des valeurs entre le traitement par l'eau distillée et avec l'engrais chimiques. En outre, les feuilles traitées avec la concentration C3(24.98) ont montré les valeurs plus basses, ce qui indique une

diminution de la teneur en chlorophylle, Cependant, il ya une augmentation de la tenue en chlorophylle pendant le traitement par la concentration C1 (33.45), qui prouve la présence des meilleurs minéraux et donc une synthèse protéique (un taux élevé de chlorophylle).

2. Paramètres mesurés à la récolte

Plusieurs paramètres ont été mesurés à la récolte à savoir : Longueur des racines, poids frais et poids sec des racines ainsi que le poids frais et poids sec de la partie aérienne.

2.1. Longueur de la partie aérienne

Les résultats relatifs à la longueur moyenne de la partie aérienne (cm) de l'orge et luzerne (Annexe B, tableau 7) sont illustrés par la figure 18.

Les résultats montrent que la hauteur aérienne la plus élevée du plant d'orge était celle qui avait pris une dose de C1 (35.36). Cependant, les autres traitements ont une hauteur aérienne similaire.

Les résultats du plant luzerne montrent que la hauteur aérienne la plus élevée était celle qui avait pris une dose de C2 (28.3). Alors que, la plus basse hauteur aérienne est celles du T0 (17.5).

Aussi, selon les résultats que nous avons obtenus, nous avons remarqué que la hauteur aérienne du plant d'orge est supérieure à l'hauteur aérienne de la luzerne qui indique que la croissance de l'orge est meilleure que celle de la luzerne donc à partir ces résultats, nous concluons qu'il existe une différence dans l'effet des microalgues sur les deux cultures (orge et luzerne), dont l'efficacité en biofertilisation était meilleure sur la luzerne que sur l'orge.

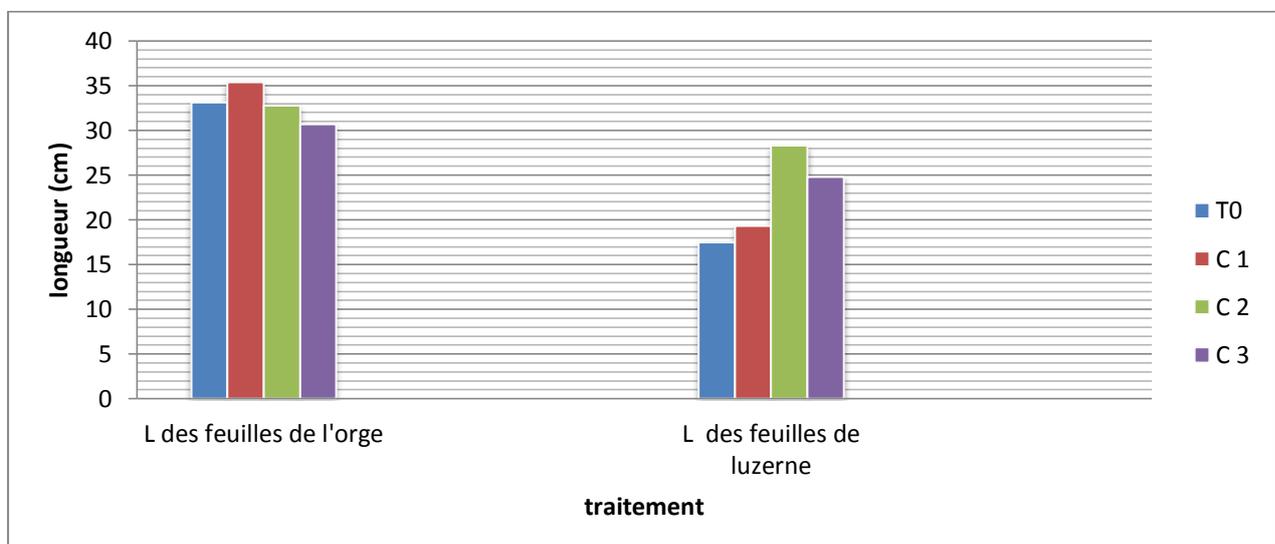


Figure 18: longueur moyenne de la partie aérienne de l'orge et luzerne.

2.2 Longueur de la partie racinaire

Les résultats relatifs à la longueur moyenne de la partie racinaire (cm) de l'orge et luzerne (Annexe B, tableau 8) sont illustrés par la figure 19.

Les résultats ont montré que la longueur moyenne maximale des racines (26) pour l'orge a été enregistré avec la concentration C1 et la longueur moyenne des racines la plus faible est observé dans le traitement par l'eau distillée. Tandis que les traitements avec les concentrations C2 et C3 ont une approximation (25.6 ,26.2) de la longueur moyenne des racines.

La longueur moyenne maximale des racines de la plante luzerne a été trouvée dans le traitement par la concentration C1 (25.8) et la longueur moyenne des racines la plus faible est enregistrée dans le traitement par l'eau distillée (20.3). Cela indique que l'engrais bio a une bonne efficacité sur la croissance des deux plantes ce qui indique sa richesse nutriments et en protéines

Aussi à travers nos résultats, nous avons remarqué que la longueur maximale moyenne des racines des plants d'orge est supérieure à la longueur maximale moyenne des racines de la luzerne, ce qui signifie que la croissance de l'orge était meilleure que celle de la luzerne.

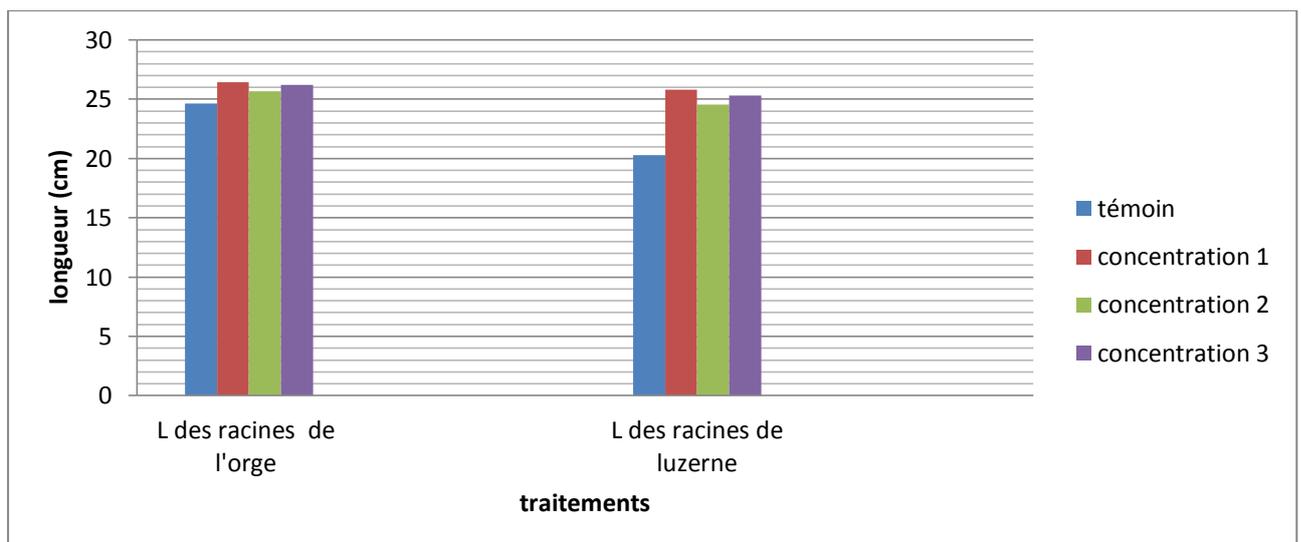


Figure 19: longueur moyenne de la partie racinaire de l'orge et luzerne.

2.3 Poids frais des feuilles

Les résultats relatifs au Poids frais des feuilles (g) de l'orge et luzerne (Annexe B, tableau 9) sont illustrés par la figure 9.

Les résultats obtenus pour le poids frais des feuilles d'orge montrent que C1 (1.9048) est la concentration qui a donné le plus grand poids frais aux feuilles, le plus petit poids frais des feuilles est pour le traitement à l'eau distillée (1.5006), Ces résultats expliquent l'efficacité de microalgues en bonne germination.

Les résultats du poids frais des feuilles de la luzerne expriment que le poids le plus élevé est observé avec le traitement par la concentration C2(0.912). Cependant, le poids plus faible est noté avec les traitements à l'eau distillée (0.275).

Ces résultats montrent la différence d'effet des concentrations de microalgues d'une plante à l'autre, Car le poids frais des feuilles du plant d'orge est supérieur au poids frais des feuilles de la luzerne.

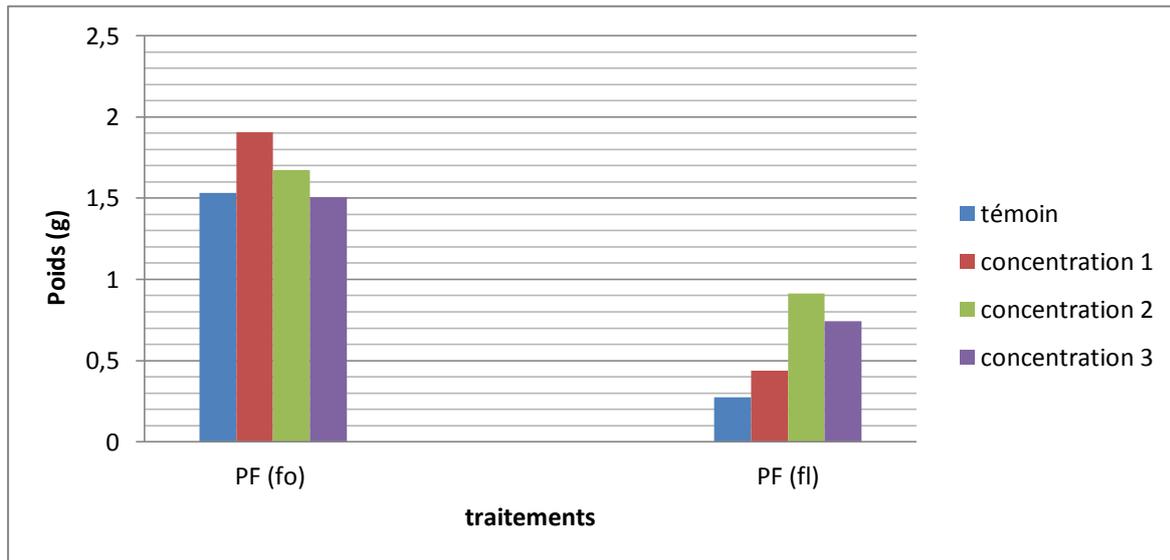


Figure 20: Poids frais des feuilles de l'orge et luzerne.

2.4. Poids frais des racines

Les résultats relatifs à la Poids frais des racines (g) de l'orge et luzerne (Annexe B, tableau 10) sont illustrés par la figure 21.

En poids frais des racines d'orge les deux traitements C1 (0.1529) et C3 (0.1539) ont des résultats similaires. Le plus faible poids frais de racine est traité avec de l'eau distillée (0.1315). Ces résultats Prouver que le biofertilisant a un effet positif sur le poids frais des racines. C'est elle s'explique par la richesse des algues en vitamines, acides aminés et micronutriments hormones de croissance d'orge.

D'après les résultats de la luzerne, il a été montré que le plus gros poids frais des racines a été traité avec C1 (0.1285). Cependant, le poids frais des racines le plus bas était dans les deux traitements C2 (0.0321) et C3 (0.0301).

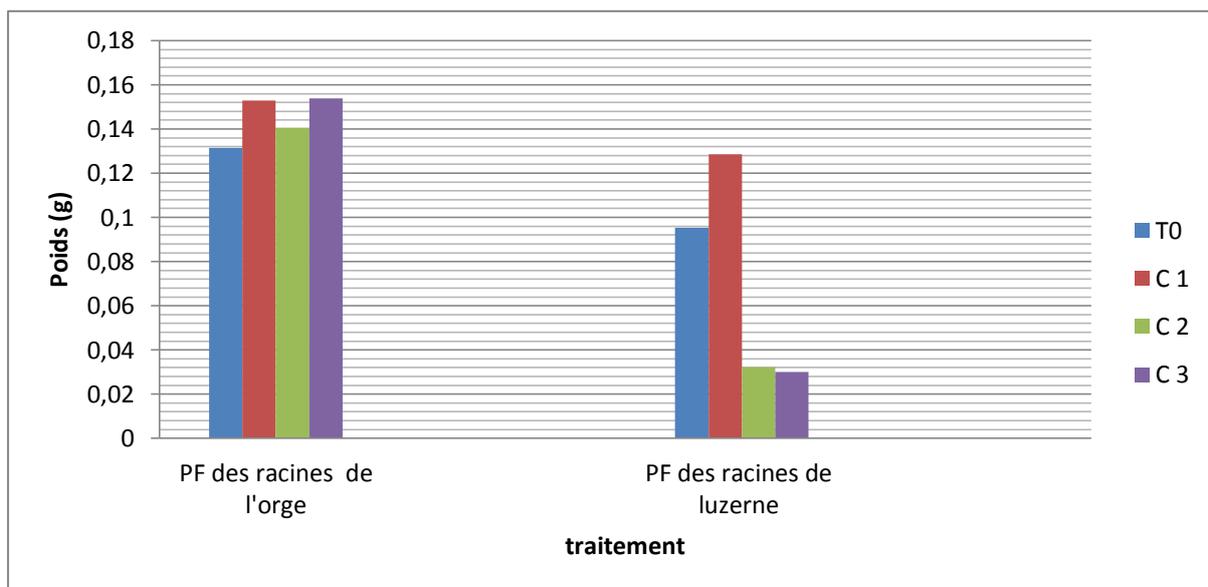


Figure 21: Poids frais des racines de l'orge et luzerne.

2.5. Poids sec des feuilles

Les résultats relatifs au Poids sec des feuilles (g) de l'orge et luzerne (Annexe B, tableau 11) sont illustrés par la figure 22.

Les résultats obtenus pour le poids frais des feuilles d'orge montrent que C1 (0.2793) est la concentration qui a donné le plus grand poids frais aux feuilles, et le poids sec des feuilles le plus faible est lorsqu'il est traité avec C3 (0.2018). C'est elle s'explique par la richesse des algues en vitamines, acides aminés et micronutriments hormones de croissance d'orge.

Les résultats du poids sec des feuilles de la luzerne exprimé que le poids plus élevé c'est de traitement C2 (0.2231). Cependant, le poids plus faible est lorsqu'il est traité à l'eau distillée (0.0801).

Ces résultats montrent la différence d'effet des concentrations de microalgues d'une plante à l'autre et la différence de leur efficacité. Car le poids sec des feuilles du plant d'orge est supérieur au poids sec des feuilles de la luzerne.

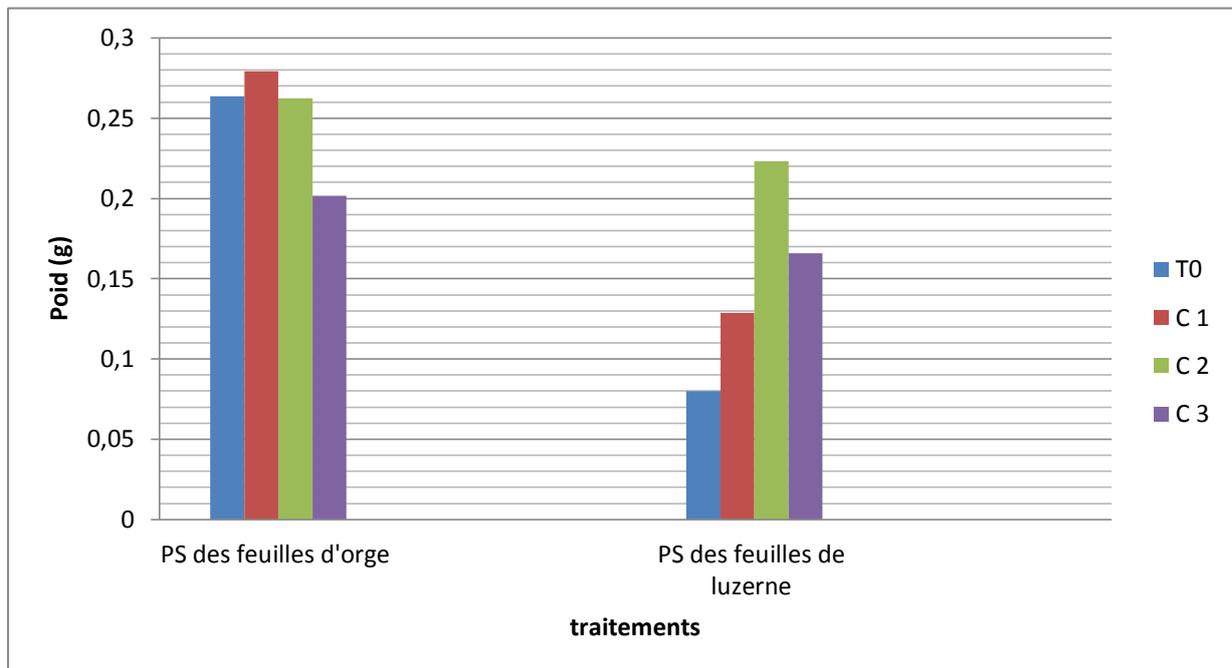


Figure 22: Poids sec des feuilles de l'orge et luzerne.

2.6. Poids sec des racines

Les résultats relatifs au Poids sec des racines (g) de l'orge et luzerne (Annexe B, tableau 12) sont illustrés par la figure 23.

Les résultats obtenus pour le poids sec des racines d'orge montrent que C1 (0.0761) est la concentration qui a donné le plus grand poids frais aux feuilles, et le poids sec des feuilles le plus faible est lorsqu'il est traité avec C3 (0.0597). Ces résultats prouvent que les biofertilisants ont un effet positif sur le poids sec des racines.

D'après les résultats de la luzerne, il a été constaté que le plus gros poids sec des racines a été traité avec la concentration C1(0.791). Cependant, le poids de racines sec le plus bas était observé par le traitement à l'eau distillée (0.0426).

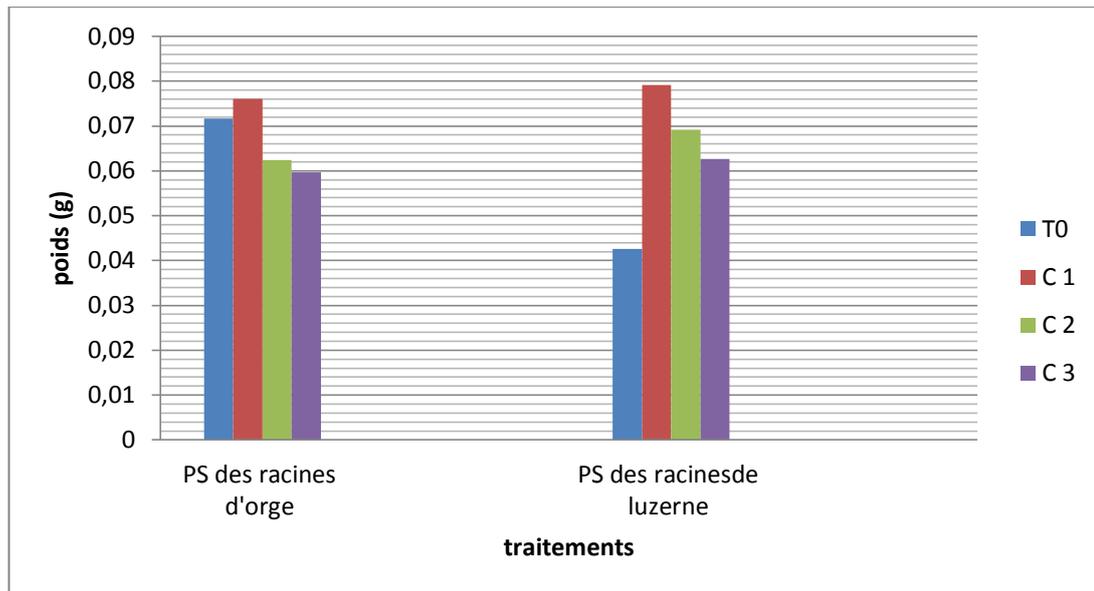


Figure 23: Poids sec des racines de l'orge et luzerne.

2. Les analyses du sol

2.1 Analyse des métaux lourds et des nutriments

Certains métaux tels que le cadmium, le plomb et le mercure sont des composés chimiques qui peuvent être présents dans le sol, dans l'eau et dans l'atmosphère. Ces métaux peuvent également se présenter sous forme de résidus dans les denrées alimentaires en raison de leur présence dans l'environnement qui est due à des activités humaines telles que l'agriculture. En effet, l'accumulation de ces métaux dans l'organisme peut avoir des effets nocifs au fil du temps c'est la raison pour laquelle c'est très important de considérer de faire une analyse quantitative de ces éléments sur les échantillons du sol à différentes concentrations de microalgues ajoutées.

On doit faire évidemment une analyse sur l'apport en nutriments essentiels (Na, Al, P, K, S, Ca, Mn, Fe, Zn) à fin de décider sur la capacité fertilisante des microalgues.

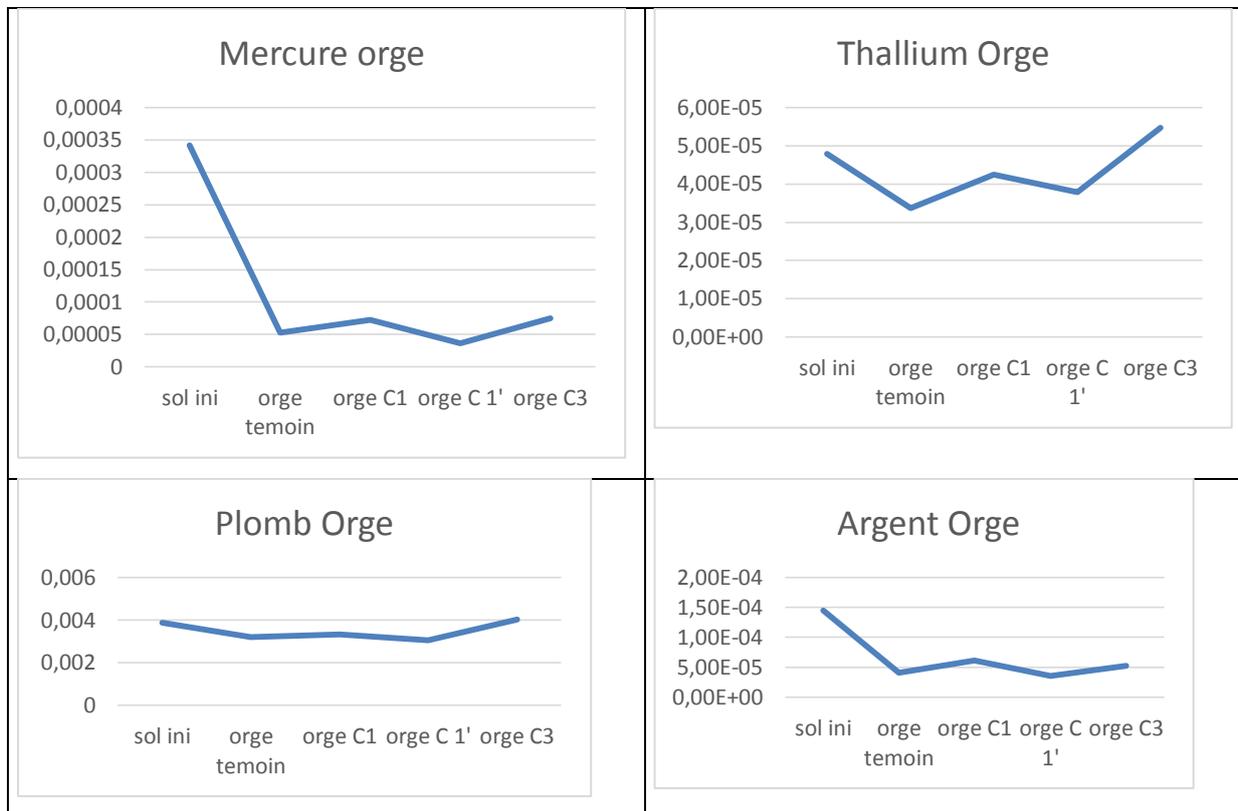
Toutes ces analyses ont été faites à l'aide d'un seul appareil qui est spectrométrie d'absorption atomique (SAA).

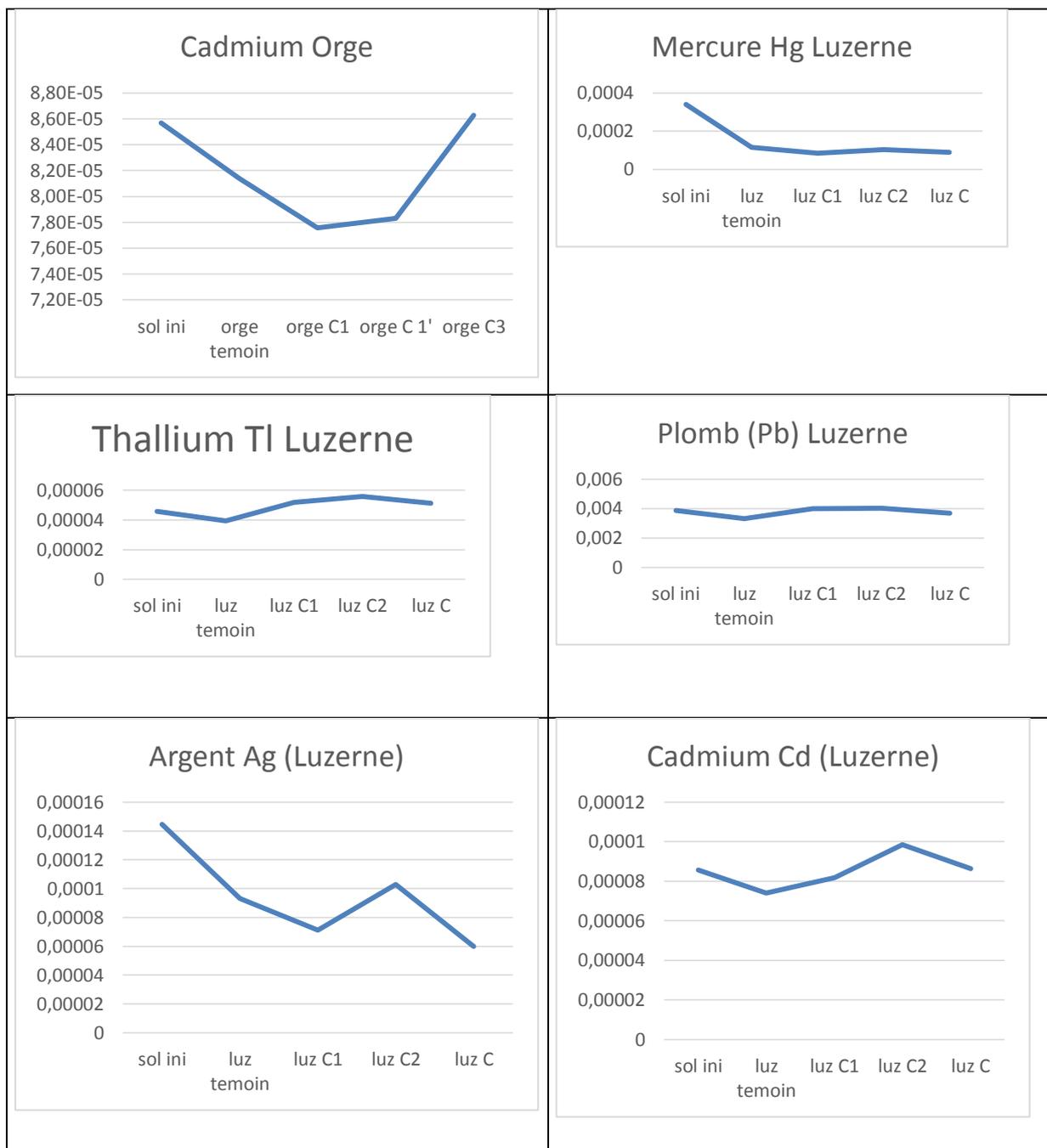
D'après les résultats trouvés (Voir Tableaux 3 et 4), on peut remarquer que pour la luzerne, la concentration qui présente le minimum de métaux lourds est la concentration C et qui apporte en même temps le maximum de nutriments pour la plante et le sol.

Pour l'orge, la concentration qui montre le minimum de métaux lourds est la concentration C2 et la concentration qui apporte le maximum de métaux lourds est la concentration C3 or que la concentration qui apporte le plus de nutriments est la concentration C3.

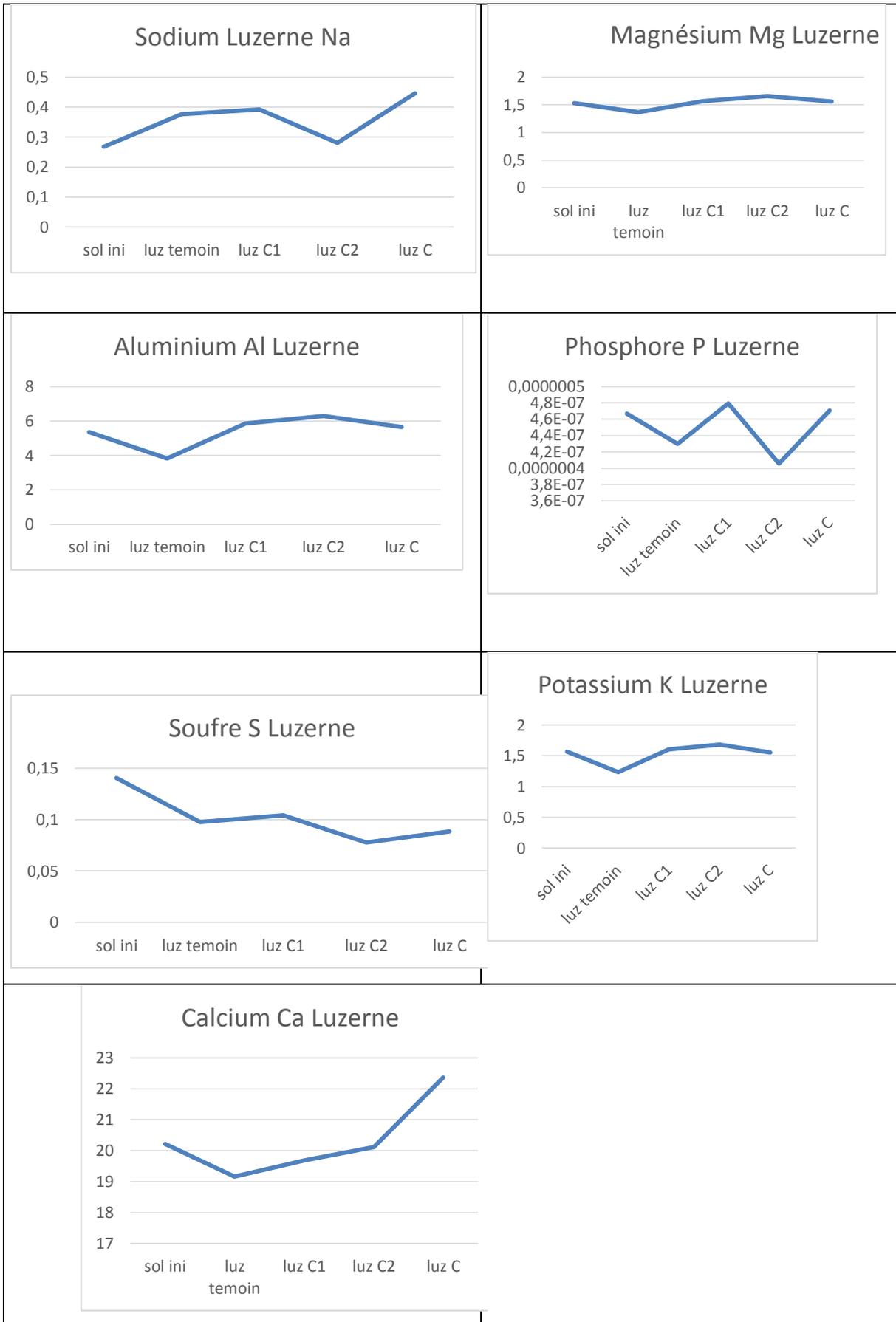
D'après les résultats trouvés, on peut voir que le concentré C3 contient une teneur élevée en nutriments en plus d'un pourcentage élevé de métaux lourds, mais il n'a pas donné de bons résultats dans la croissance des plantes et cela peut être expliqué par la valeur élevée de Plomb qui affecte également la nutrition minérale, en perturbant le prélèvement et le transport des nutriments par la plante, tels que Ca, Fe, Mg, Mn, P et Zn en bloquant leur entrée ou en se liant à eux, les rendant indisponibles pour les plantes. [40]

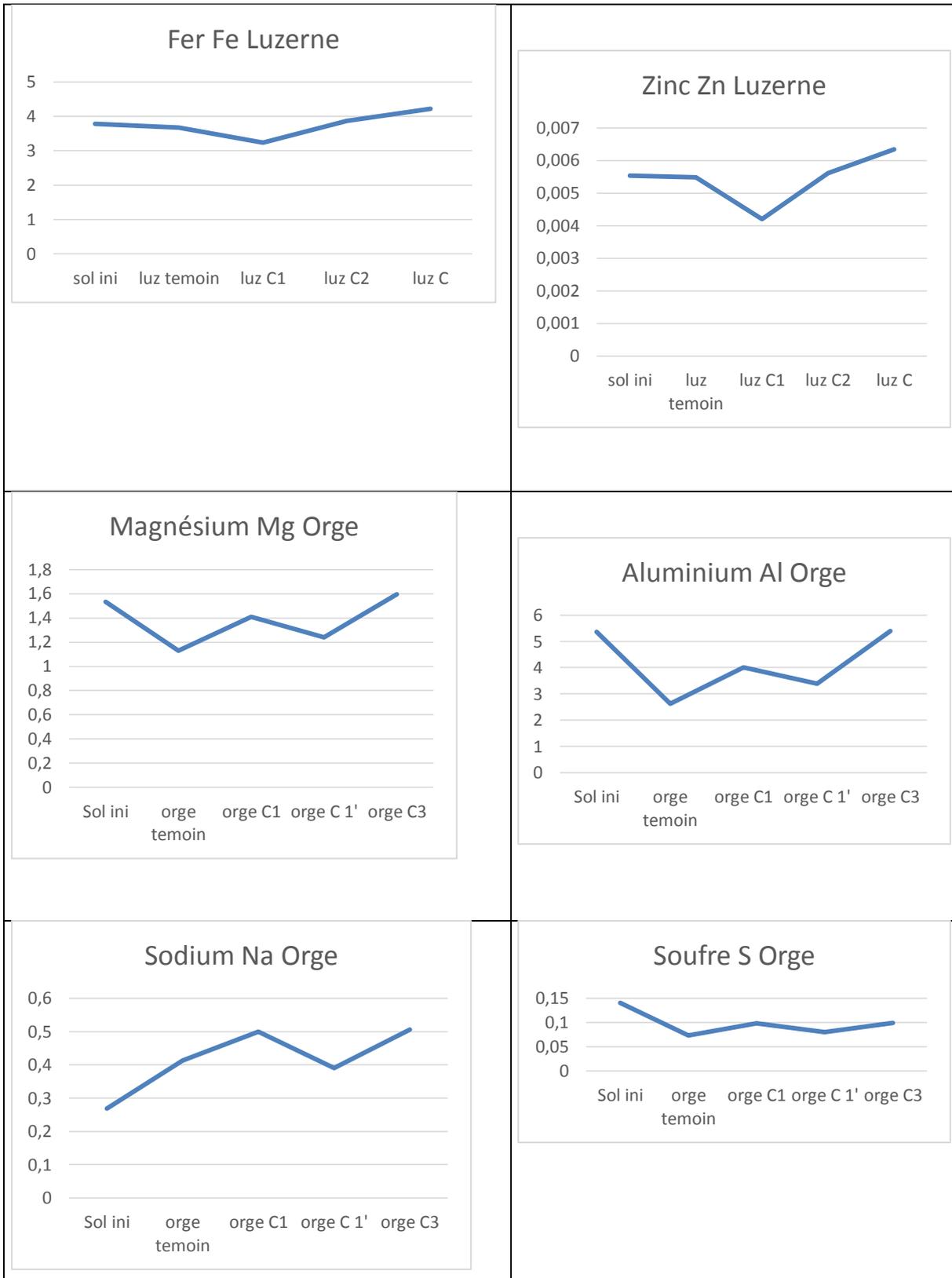
Tableaux4 : présentant les teneurs en métaux lourds chez l'orge et la luzerne





Tableaux 5 : présentant la teneur en nutriments chez l'orge et la luzerne





Conclusion générale :

Conclusion générale :

Les microalgues sont riches en substances favorisant la croissance des plantes comme les caroténoïdes, les phytohormones, les acides aminés, les vitamines et les substances antifongiques. Les caractéristiques essentielles des microalgues sont qu'elles contiennent des agents bios- actifs favorisant la croissance qui ont déjà été démontrés dans les micros et microalgues .

Notre recherche bibliographique a montré que les microalgues revêtent une grande importance à l'avenir et pourraient être le seule engrais naturel et plus largement utilisées dans le domaine de l'agriculture. Dans ce contexte, nous cherchons à préparer une étude scientifique, récente et approfondie sur les microalgues, et l'utilisation et leur importance dans le domaine de l'agriculture et développements végétale.

Les méthodes d'analyses adoptées, ont donné des résultats significatifs, tant pour les paramètres biométrique, de production. Le suivi rigoureux de l'expérimentation, nous a conduits aux résultats suivants :

Le traitement le plus efficace, pour toutes les variables étudiées, était la concentration C1 d'orge et concentration C2 pour luzerne.

Au vu de ces résultats satisfaisants et compte tenu des exigences du consommateur. En termes de produits de qualité et non polluants, il serait judicieux de continuer à Recherche, afin de déterminer les doses qui seront quantitativement et qualitativement Plus efficace pour enrichir le sol et les plantes en nutriments, et l'utilisation des microalgues comme biofertilisant à grande échelle, et ce sera inévitablement une raison de réduire la pollution de l'environnement.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

- [1] E. Guy, E. & Roch, M. L Dynamique Demographique, Nutrition Et Alimentation Dans La Commune De Karimama Au Benin. 2020.
- [2] FAO: Produire davantage pour nourrir 9 milliards d'individus,FAO, Rom. 2010.
- [3] A. Sutton, A.C.M. Howard, M.G.B.W. Bekunda, de Vries, H.J.M. Van Grinsven, Notre monde nutritif : le défi de produire plus de nourriture et d'énergie avec moins de pollution. NERC/Centre for Ecology & Hydrology, Édimbourg. 2013.
- [4] R. Bhattacharjee, U. Dey, Un aperçu des biopesticides fongiques et bactériens pour contrôler les pathogènes/maladies des plantes. African J. Microbiol. Rés. 8. 2013. 1749-1762.
- [5] G. Vox, M. Teitel, A. Pardossi, A. Minuto, F. Tinivella, E. Schettini, Systèmes de serre durables. Dans : Salazar A, Rios I (eds) Agriculture durable : technologie, planification et gestion. Nova Science Publishers, New York. 1–79. 2010.
- [6] R. Bhattacharjee, U. Dey, Un aperçu des biopesticides fongiques et bactériens pour contrôler les pathogènes/maladies des plantes. 8. 2013. 1749-1762.
- [7] T.T. Victoire, G.D. Barone, F. Secundo. F, Biofertilisants algaux et stimulants de croissance des plantes pour une agriculture durable. Ind. Biotechnol. 14. 2018. 203–211.
- [8] R. Vasantharaja, L. StanleyAbraham, D. Mubarakali., G. Narendrakumar, R. Thirugnanasambandam, R. Kirubagaran, N. Thajuddin, Démêler l'extraction rapide de la fucoxanthine de *Padina tetrastromatica* : purification, caractérisation et application biomédicale, Process Biochem. 73. 2018. 211-219.
- [8] E. Baldev, D. MubarakAli, R. Shriraman, D. Pandiaraj, N.S. Alharbi, N. Thajuddin, Extraction et caractérisation partielle des exopolysaccharides des cyanobactéries marines et propriété de floculation. Rés. J. Environ. Sci. 9 .2015. 28-38.
- [8] E. Baldev, D. MubarakAli, K. Saravanakumar, C. Arutselvan, N.S Alharbi, A. Sulaiman, V. Sivasubramanian, N. Thajuddin, Dévoilement de la culture d'algues utilisant des étangs de raceway pour la production de biodiesel et son évaluation de la qualité. Renouveler. Énergie. 123. 2018. 486-498.
- [8] E. Baldev, D. MubarakAli, M. Dhivya, M. Kanimozhi, T. ShakenaFathima, N.S. Alharbi, C. Arunachalam, S.A. Alharbi, N. Thajuddin, Stratégie simple et nouvelle pour les méthodes d'extraction de lipides de qualité biocarburant à partir de microalgues - un rapport expérimental. Inter. J. Biotechnol. Bien. Indus. 3. 2014. 121-127.

- [8] N. Thajuddin, A. Ilavarasi, E. Baldev, D. MubarakAli, Accumulation de lipides induite par le stress dans les diatomées marines naviculoïdes pour une application bioénergétique. *Inter. J. Biotechnol. Bien. Indus.* 4. 2015. 18-24.
- [9] G. Thirumaran, M. Arumugam, R. Arumugam, P. Anantharaman, Effet de l'engrais liquide aux algues sur la croissance et la concentration en pigments d'*Abelmoschus esculentus* (L) medikus. *American-Eurasian J Agron.* 2. 2009. 57–66.
- [10] O. Uysal, F.O. Uysal, K. Ekinci, Evaluation des microalgues comme engrais microbien. *EUR. J. Sustain. Dév.* 4. 2015. 77.
- [11] F. Bailey Green, W.J. Oswald, Engineering strategies to enhance microalgal use in wastewater treatment. 2nd IAWG International Specialist Conference on waste stabilization ponds and the reuse of pond effluents, California. 1993. 20-29.
- [12] W.J. Oswald, A syllabus on waste pond fundamentals. BEHS 259. Biomedical and Environmental Health Sciences School of Public Health, Université de Berkeley. 1977.
- [13] L.N. Arashiro, N. Montero, I. Ferrer, F.G. Acién, C. Gómez, M. Garfí, Life cycle assessment of high rate algal ponds for wastewater treatment and resource recovery. *Science of The Total Environment.* 2018. 622-623,1118-1130.2018.
- [14] S. Nacir, N. Ouazzani, J.L. Vassel, H. Jupsin, L. Mandi, Traitement des eaux usées domestiques par un chenal algal à haut rendement (CAHR) agité par air lift sous climat semi-aride. *Revue des sciences de l'eau .Journal of Water Science.* 23. 2010. 57–72.
- [15] R. Craggs, J.Park, S. Heubeck, D. Sutherland, High rate algal pond systems for lowenergy wastewater treatment, nutrient recovery and energy production. *N. Z. J. Bot.* 52. 60–73. 2014.
- [16] H. El Ouarghi, B.E. Boumansour, O. Dufayt, B. El Hamouri, J.L. Vassel .Hydrodynamics and oxygen balance in high rate algal pond. 4th International Specialist Conference on Waste Stabilization Ponds: Technology and Environment. IAWQ, Marrakech, 20th - 23th April 99. *Water Science & Technology*, 42. 2000. 349-356.
- [17] T. Ainane, Valorisation de la biomasse algale du Maroc : Potentialités pharmacologiques et Applications environnementales, cas des algues brunes *Cystoseira tamariscifolia* et *Bifurcaria bifurcata*, Thèse Faculté des Sciences Ben M'sik, Université Hassan II Casablanca. Maroc. 2011.
- [18] M.Saida, M. Khaoula, “les microalgues traitement des eaux usée et application», Université MOHAMED BOUDIF-M'SILA .2020/2021.2
- [19] M.A. Borowitzka, Microalgae as sources of pharmaceuticals and other biologically active compound. *J. applied Phycol.* 7. 1995. 3-15.

- [20] E.W. Becker, Micro-algae for human and animal consumption. In Micro-algal Biotechnology. Borowitzka M.A. & Borowitzka L.J.(Eds.), Cambridge University Press, London. 1988. 222-256.
- [21] E.W. Becker, Microalgae : Biotechnology and Microbiology. J. Baddiley, N.H. Carey, I.J. Higgins, W.G. Potter, Cambridge Studies in Biotechnology, Cambridge. 1994.
- [22] H.D. Payer, B. Pithakpol, M. Nguitragool, C. Prabharaksa, D. Thananunkul, S. Chavana, Major results of the Thai-German Microalgae Project at Bangkok. Archiv fur Hydrobiol, Ergebnisse der Limnologie. 11. 1978. 41-55.
- [23] E.W. Becker, L.V. Venkatamaran, Biotechnology and Exploitation of Algae : The Indian Approach. Eschborn : German Agency for Technical Cooperation GmbH. 1982.
- [24] D.D. El-Fouly, F.H. Mohn, C.J. Soeder, Joint EgyptianGerman project. Intensive protein production through microalgae. Kernforschungsanlage Jilich GmbH, Publication, 1. 34-85. 1985.
- [25] R. Gross, H. Schoneberger, U. Gross, H. Lorenzen, The nutritional quality of *Scenedesmus acutus* produced in a semiindustrial plant in Peru. Berichte der Deutschen Botanischen Gesellschaft, 95. 1982. 323-327.
- [26] J. Simmer, Outdoor mass cultivation of *Scenedesmus quadricauda* (Turp.) Breb. in South Bohemia. In Studies in Phycology. Fort B., (Ed.), E. Schweitzerbartsche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart. 1969. 293-304.
- [27] C.J. Soeder, E. Hegewald *Scenedesmus*. In Micro-algal Biotechnology. M.A. Borowitzka M.A, Borowitzka L.J, (Eds.), Cambridge University Press, London. 1988. 59-84.
- [28] J.M. Giddings, Chemical composition and productivity of *Scenedesmus abundans* in nitrogen limited chemostat cultures. Limnol. Oceanogr. 22. 1977. 911-918.
- [29] T. Nishijima, R. Shiozaki, Y. Hata, Production of vitamin B1 2 , thiamine and biotin by freshwater phytoplankton. Bulletin of the Japanese Society for Scientific Fisheries, 45. 1979. 199-204.
- [30] M. Saida, M. Khaoula, “les microalgues traitement des eaux usée et application“, Université MOHAMED BOUDIF-M’SILA .2020/2021.3
- [31]<https://www.techno-science.net/glossaire-definition/Filtration.html>.Consult le 14/09/2022/
- [32] [https://fr.wikipedia.org/wiki/Centrifugation./](https://fr.wikipedia.org/wiki/Centrifugation/) consulté le 14/09/2022/
- [33] B.Saïde ,B.Samira, ” Évaluation De L’effet De Deux Fertilisants Chimiques et D’un Biofertilisant sur la croissance végétative du pois chiche (*Cicer arietinum* L.) ”, Université de Bordj Bou Arreridj.2014/2015.16

- [34] D., MOHANTY ADHIKARY S. P., and CHATTOPADHYAY G. N. seaweed liquid fertilizer (slf) and its role in agriculture productivity. International quarterly journal of environmental sciences. The Ecoscan: Special issue, , **2013**. vol III: 147-155
- [35] <https://www.tonnerredengrais.com/blog/conseils/avantages-engrais-naturel.html/>
- [36] <https://wikiagri.fr/articles/les-engrais-chimiques---definition-et-utilisation/19466./>consulté le 14/09/2022
- [37] [https://www.tonnerredengrais.com/blog/conseils/inconvenients-engrais-chimiques.html#:~:text=Probl%C3%A9matique%20plus%20directe,%C3%AAtre%20des%20indiv/consulté le 14/09/2022/](https://www.tonnerredengrais.com/blog/conseils/inconvenients-engrais-chimiques.html#:~:text=Probl%C3%A9matique%20plus%20directe,%C3%AAtre%20des%20indiv/consulté%20le%2014/09/2022/)
- [38] [https://espacepurlavie.ca/besoins-nutritifs-des-plantes#:~:text=Les%20plantes%20ont%20besoin%20de,mineurs%20\(oligo%2D%C3%A9l%C3%A9ments\)./](https://espacepurlavie.ca/besoins-nutritifs-des-plantes#:~:text=Les%20plantes%20ont%20besoin%20de,mineurs%20(oligo%2D%C3%A9l%C3%A9ments)./)consulté le 15/09/2022
- [39] B, K, Kawthar, “Paramétrisation et comparaison des modèles d’évaporation dans un chenal algal à haut rendement“, Institut Supérieur Agronomique de Chott Meriem .2019/2020 .
- [40] TOUAIHIA souhaib Effet de quelques métaux lourds sur la germination et la croissance des plantules d'Atriplex halimus L. Université de Laarbi Tébessi –Tébessa, MEMOIRE DE MASTER. 2021. pp 34

Annexe

Annexe A : Tableaux des paramètres étudiés**Tableau 1 :** longueur des feuilles (cm) dans les pots (TM)

Traitement Paramètre	T0	C1	C2	C3	NPK	Moyenne générale
Longueur (cm)	14,5	15,36	12,89	13,7	14.6	14.21

Tableau 2 : longueur des feuilles (cm) dans les pots (TP)

Traitement Paramètre	T0	C1	C2	C3	NPK	Moyenne Générale
Longueur (cm)	14.07	15.8	13.75	12.42	13.02	13.81

Tableau 3 : Variation Du SPAD (TM)

Traitement Paramètre	T0	C1	C2	C3	NPK	Moyene generale
Variation du SPAD	31.07	34.46	30.31	24.46	30.72	30.20

Tableau 4 : Variation Du SPAD (TP)

Traitement Paramètre	T0	C1	C2	C3	NPK	Moyenne générale
Variation du SPAD	31.19	32.2	29.65	19.67	30.97	28.73

Tableau 5 : Hauteur de la partie aérienne dans les rhizotron

Traitement Paramètre	T0	C1	C2	C3	Moyenne Générale
Hauteur de la partie aérienne	16.58	17.6	14.69	13.97	15.71

Tableau 6 : Nombre des feuilles dans les rhizotrons

Traitement Paramètre	T0	C1	C2	C3	Moyenne générale
Nombre des feuilles	11	10	11	7	9.75

Tableau 7 : Variation Du SPAD dans les rhizotrons

Traitement paramètre	T0	C1	C2	C3	Moyenne Générale
Variation Du SPAD	30.79	33.45	26.93	24.98	29.03

Annexe B : Paramètres mesurés à la récolte**Tableau 8 :** Longueur moyenne de la partie aérienne (cm) d'orge et luzerne

Traitement paramètre	T0	C1	C2	C3	Moyenne Générale
Longueur de la partie aérienne (cm) d'orge	33.13	35.36	32.76	30.66	32.97
Longueur de la partie aérienne (cm) luzerne	17.5	19.3	28.3	24.8	22.47

Tableau 9 : longueur moyenne de la partie racinaire de l'orge et luzerne.

Traitement paramètre	T0	C1	C2	C3	Moyenne Générale
longueur moyenne de la partie racinaire (cm) d'orge	24.63	26.43	25.66	26.2	25.73
longueur moyenne de la partie racinaire (cm) luzerne	20.3	25.8	24.56	25.3	23.99

Tableau 10 : Poids frais des feuilles de l'orge et luzerne.

Traitement paramètre	T0	C1	C2	C3	Moyenne Générale
Poids frais des feuilles (g) d'orge	1.5306	1.9048	1.6743	1.5046	1.6535
Poids frais des feuilles (g) luzerne	0.275	0.4365	0.912	0.7423	0.5914

Tableau 11 : Poids frais des racines de l'orge et luzerne.

Traitement paramètre	T0	C1	C2	C3	Moyenne Générale
Poids frais des racines (g) d'orge	0.1315	0.1529	0.1407	0.1539	0.1447
Poids frais des feuilles (g) luzerne	0.0954	0.1285	0.0321	0.0301	0.0715

Tableau 12 : Poids sec des feuilles de l'orge et luzerne.

Traitement paramètre	T0	C1	C2	C3	Moyenne Générale
Poids sec des feuilles (g) d'orge	0.2637	0.2793	0.2623	0.2018	0.2517
Poids sec des feuilles (g) luzerne	0.0801	0.1286	0.2231	0.1658	0.1494

Tableau 13 : Poids sec des racines de l'orge et luzerne.

Traitement paramètre	T0	C1	C2	C3	Moyenne Générale
Poids sec des racines (g) d'orge	0.0717	0.0761	0.0624	0.0597	0.0674
Poids sec des racines (g) luzerne	0.0426	0.0791	0.0692	0.0626	0.0633

Résumé :

Le but principal de cette expérimentation est de tester l'effet d'un biofertilisant à base des microalgues, sur la croissance et la productivité de deux types de plante : la luzerne et l'orge. Cultivée sous serre. Pour cela, il y a trois doses avec différentes concentrations du biofertilisant. ont été administrés à la Luzerne et l'orge, sous forme deux traitement : traitement par poudre et par macérât. La meilleure concentration obtenu pour la majorité des paramètres étudiés est celui de concentration 1 ce qui représente la plus grande quantité utilisée des microalgues (0.4 g), pour la plante de l'orge et pour la luzerne c'est la concentration 2 (0.2 g). Cependant, le traitement le plus performant, pour le paramètre de la croissance et la productivité est celui du traitement par macérât. Ainsi, la concentration 1 La meilleure concentration.

Mots-clés : Microalgues, biofertilisant, traitement, croissance, luzerne et l'orge.

Summary:

The main purpose of this experiment is to test the effect of a biofertilizer based on microalgae on the growth and productivity of two types of plant: alfalfa and barley. Cultivated in a greenhouse. For this, there are three doses with different concentrations of the biofertilizer. Alfalfa and barley were administered in the form of two treatments: treatment by powder and by macerate. The best concentration obtained for the majority of the parameters studied is that of concentration 1 which represents the largest quantity used of microalgae (0.4 g), for the barley plant and for alfalfa it is concentration 2 (0.2 g). However, the most effective treatment, for the parameter of growth and productivity, is that of treatment by macerate. Thus, concentration 1 The best concentration.

Keywords: Microalgae, biofertilizer, treatment, growth, alfalfa and barley.

الملخص

الغرض الرئيسي من هذه التجربة هو اختبار تأثير السماد الحيوي المعتمد على الطحالب الدقيقة لنمو وإنتاجية نوعين من النباتات: البرسيم والشعير. تزرع في دفيئة. لهذا ، هناك ثلاث جرعات بتركيزات مختلفة من السماد الحيوي ، وقد تم إعطاء البرسيم والشعير السماد الحيوي في شكل علاجين: العلاج بالمسحوق وبالنعق. أفضل تركيز تم الحصول عليه لمعظم المتغيرات التي تمت دراستها هو التركيز 1 الذي يمثل أكبر كمية مستخدمة من الطحالب الدقيقة (0.4 جم)، ونبات الشعير، أما بالنسبة للبرسيم فهو التركيز 2 (0.2 جم). ومع ذلك، فإن العلاج الأكثر فعالية، بالنسبة لمؤشر النمو والإنتاجية، هو العلاج بالنعق. وهكذا، فإن التركيز 1 هو أفضل تركيز.

مفتاح الكلمات: الطحالب الدقيقة، الأسمدة الحيوية، العلاج، النمو، البرسيم والشعير