

MINISTEREDEL'ENSEIGNEMENTSUPERIEURETDELARECHERCHESCIENTIFIQUE UNIVERSITE
AKLI MOHAND OULHADJ – BOUIRA

FACULTEDESSCIENCESDELANATUREETDELAVIEETDESSCIENCESDELATERRE
DEPARTEMENT D'AGRONOMIE



Réf:..../UAMOB/F.SNV.ST/DEP.BIO/2024

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME MASTER

Domaine : SNV

Filière : Sciences Agronomiques.

Spécialité : Production et Nutrition
Animale.

Présenté par :

KERROUCHE ILHAM & CHAAL SELMA

Thème :

Etude de l'impact des solutions nutritives enrichis en déchets organiques sur la croissance et la biomasse de la spiruline

Soutenu le : 26 / 06 / 2024

Devant le jury composé de :

Présidente :	Mme CHERIFI AMCB	SNV Bouira
Promotrice :	Mme CHERIFI ZMCB	SNV Bouira
Co-promoteur :	M. SALHI O MCA	ISVBlida
Examinatrice :	Mme BOUTHELDJAMCA	SNV Bouira

Année Universitaire : 2023/2024.

Remerciement

Avant tout, nous remercions Dieu tout puissant de nous avoir aidés et de nous avoir donné la foi et la force pour achever ce modeste travail.

*Nous exprimons notre profonde gratitude à notre promoteur **Madame CHERIFI Z** et à notre Co-promoteur **Monsieur SALHI Omar**, de nous avoir encadrés avec leur cordialité franche et coutumière, on les remerciié pour leur patience et leur gentillesse, pour ces conseils et ces orientations clairvoyantes qui nous guidés dans la réalisation de ce travail. Chaleureux remerciement.*

Nous remercions :

***Madame CHERIFI** de nous avoir fait l'honneur de présider notre travail.*

***Madame BOUTHELDJA** d'avoir accepté d'évaluer et d'examiné notre projet.*

***Monsieur SAGGAI Ali** qui nous a aidés à réaliser ce travail grâce à ces précieux conseils et son soutien.*

Nous saisisons cette occasion pour exprimer notre profonde gratitude à l'ensemble des enseignants de la faculté SNV de Bouira.

Nous adressons nos sincères remerciements à tous ceux qui ont participé de près ou de loin dans la réalisation de ce travail.

Dédicaces

À mes parents.

À mes chères sœurs et mon frère.

À une personne très chère à mon cœur.

À la famille KERRROUCHE et MERZOUK.

À moi-même ;

Ma réussite est dédiée pour vous.

Ilham

Dédicaces

Merci d'abord a Allah qui m'a guidé toujours vers le bon chemin.

*Aux deux meilleures personnes qui m'ont ramené à cette vie ; mes parents ‘
CHAAL. OetBADIS. L’ je vous aime énormément et éternellement.*

A moi-même sur tout, à ma patience et ma volonté

A tous les gens qui m'aiment vraiment

Selma

Résumé

La spiruline est largement intégrée dans les régimes alimentaires d'animale comme une protéine de haute valeur, Sa popularité croissante dans l'industrie découle de sa composition en macronutriments et micronutriments.

La présente étude souligne la facilité et l'efficacité de la culture de la spiruline en utilisant divers substrats, tels que les excréments de volaille et les bouses de vache. Pour ce faire, nous avons préparés trois milieux de culture (Témoin : Saggai, 2008), (Fientes de volailles), (Bouses de bovins), ainsi que le dispositif nécessaire pour favoriser une croissance optimale d'Arthrospira Platensis et maîtriser les diverses conditions de culture tout en surveillant les paramètres physico-chimiques (température, Ph, salinité, conductivité électrique) et sa morphologie

Le milieu enrichi en (fientes de volailles) est réputé pour être le plus efficace pour la croissance de spiruline, offrant toutes les conditions requises avec une production de biomasses atteignant 1,588 g, notamment 1,054 g et 0,851 g pour le milieu (Saggai, 2008) et le milieu enrichi en (Bouses de bovin) respectivement.

Le dosage de protéine réalisés sur la spiruline des trois milieux a révélé des valeurs basses à ceux qui est apportés dans la bibliographie ; avec un taux de 28,75 %, 28 % et 27,12 % pour le milieu à bases de fientes de volaille, Témoin et le milieu enrichi en excréments bovine respectivement.

Les résultats expérimentaux ont démontré l'efficacité de milieu à base de fientes de volailles en tant que milieu de culture, réduisant ainsi les coûts de production et rendant la culture de la spiruline plus économique.

Mots clés : Spiruline, biomasse, efficacité, fientes de volaille, bouses bovines, Bouira.

Abstract

Spirulina is widely incorporated into animal diets as a high-value protein. Its growing popularity in the industry stems from its macronutrient and micronutrient composition.

The present study highlights the ease and effectiveness of cultivating Spirulina using various substrates, such as poultry feces and cow dung. To do this, we prepared three culture media (Witness: Saggai, 2008), (Poultry droppings), (Cattle dung), as well as the device necessary to promote optimal growth of *Arthrospira Platensis* and control the various conditions. Of culture while monitoring the physicochemical parameters (temperature, PH, salinity, electrical conductivity) and its morphology

The medium enriched with (poultry droppings) is known to be the most effective for the growth of Spirulina, offering all the required conditions with a biomass production reaching 1.588 g, in particular 1.054 g and 0.851 g for the medium (Saggai, 2008) and the environment enriched in (cattle dung) respectively.

The protein dosage carried out on Spirulina from the three environments revealed low values compared to those given in the bibliography; with a rate of 28.75%, 28% and 27.12% for the medium based on poultry droppings, Control and the medium enriched with bovine excrement respectively.

Experimental results demonstrated the effectiveness of poultry droppings as a culture medium, thereby reducing production costs and making Spirulina cultivation more economical.

Keywords: Spirulina, biomass, efficiency, poultry droppings, cattle dung, Bouira.

الملخص

يتم دمج السبيروولينا على نطاق واسع في النظام الغذائي الحيواني باعتباره بروتيناً عالي القيمة. وتتبع شعبيتها المتزايدة في الصناعة من تركيبتها من المغذيات الكبيرة والمغذيات الدقيقة.

تسلط الدراسة الحالية الضوء على سهولة وفعالية زراعة السبيروولينا باستخدام ركائز مختلفة، مثل براز الدواجن وروث البقر. وللقيام بذلك، قمنا بإعداد ثلاث وسائط استزراع (شاهد: Saggai، 2008)، فضلات الدواجن، (روث الماشية)، بالإضافة إلى الجهاز اللازم لتعزيز النمو الأمثل لنبات *Arthrospira Platensis* والتحكم في ظروف الاستزراع المختلفة أثناء المراقبة المعلمات الفيزيائية والكيميائية (درجة الحرارة، PH، الملوحة، التوصيل الكهربائي) ومورفولوجيتها

من المعروف أن الوسط المخصب بـ (فضلات الدواجن) هو الأكثر فعالية لنمو السبيروولينا، حيث يوفر جميع الظروف المطلوبة مع إنتاج كتلة حيوية يصل إلى 1.588 جم، ولا سيما 1.054 جم و0.851 جم للوسط (Saggai, 2008) و البيئة الغنية بـ (روث الماشية) على التوالي.

كشفت جرعة البروتين التي أجريت على سبيروولينا من البيئات الثلاث عن قيم منخفضة مقارنة بتلك الواردة في المراجع؛ بنسبة 28.75%، 28%، و27.12% للوسط المعتمد على فضلات الدواجن، الكنترول والوسط المخصب بالبراز البقري على التوالي.

وأظهرت النتائج التجريبية فعالية فضلات الدواجن كوسيلة للاستزراع، وبالتالي تقليل تكاليف الإنتاج وجعل زراعة السبيروولينا أكثر اقتصاداً.

الكلمات المفتاحية: سبيروولينا، الكتلة الحيوية، الكفاءة، فضلات الدواجن، روث الماشية، البويرة

1.9.3 Cosmétique	11
1.9.4 Environnement	12

Chapitre II : culture de la spiruline

II.1 Conditions de culture de la spiruline	15
2.2 Nourriture de la spiruline	16
2.3 Mode de culture de la spiruline	16
2.3.1 Agitation	16
2.3.2 Récolte	17
2.3.3 Filtration	17
2.3.4 Séchage	17
2.4 Effet de différents paramètres sur la croissance de la spiruline	17
2.4.1 Effet de la lumière sur la croissance de la spiruline	17
2.3.2 Effet de la température sur la croissance de la spiruline	18
2.3.3 Effet du pH sur la croissance de la spiruline	18
2.3.4 autres milieux nutritifs pour la culture de la spiruline	18

Partie expérimentale

Chapitre I : Matériels et méthodes

I.1. Objectif du travail	23
I.2. Durée et lieu de l'expérimentation	23
I.3. Matériels	23
3.1 Matériels végétale	23

3.2 Matière de culture.....	23
3.3 Matériels de laboratoire	24
I.4 Méthode	24
4.1 Déroulement de l'expérimentation.....	24
4.2 Préparation de milieux de culture	24
4.2.1 Milieux de culture témoin	25
4.2.2 Milieux de culture à base de fientes et bouses bovine	27
4.3 Ensemencement	28
4.4 Conditions de culture	30
I.5.Evolution de la croissance	31
5.1 Etude de l'évolution des paramètres physico-chimiques.....	31
5.2 Etudes de caractérisation de la spiruline	32
5.2.1 Etude morphologique (forme et couleur)	32
5.2.2 Mesure de la densité optique.....	33
I.6.Récolte	34
I.7.Séchage	35
Détermination de la teneur en protéine par méthodeKjeldahl	36

Chapitre II: Résultats et discussion :

II.1 Evolution des paramètres physico-chimiques.....	41
1.1 Le PH	41
1.2 La température.....	42
1.3 La salinité.....	43
1.4 La conductivité électrique.....	45
II.2 Etude de la caractérisation de la spiruline.....	46
2.1 Etude morphologique(formeet couleur).....	46

2.2 Mesure de la densité optique à 560 nm.....	48
II.3 Rendement en biomasse	49
II.4 Teneur en Protéines.....	51
Conclusion et perspectives	54
Référence bibliographiques	57

Liste des tableaux

Tableau 1 : Composition du milieu de culture (SAGGAI, 2008)	25
Tableau 2 : Etapes de la méthode de Kjeldahl.....	36
Tableau 3 : Observations microscopiques.....	46
Tableau 4 : Couleurs du milieu de culture avec leur signification.....	47
Tableau 5 : rendement en de spiruline des milieux (Témoin), (Fiente) et (Bovin).....	50

Liste des figures

Figure 1 : Arthrospira(Spirulina)Platensis	5
Figure 2 :taxonomie de la spiruline	6
Figure3 : schéma de cycle de reproduction de la spiruline	7
Figure 4 : schéma de la structure d'une cyanobactérie	8
Figure 5 :valeurs des differents parametres pour la culture de la spiruline	15
Figure 6 : bassin de culture de la spiruline de « Sud spiruline »	16
Figure 7 : milieu CFTRI	18
Figure 8 : milieu BG-11	19
Figure 9 : milieu zerrouk	19
Figure10 : Dispositif expérimental.....	24
Figure 11 : Préparation de milieu Témoin (SAGGAI, 2008).....	26
Figure 12 : Préparation de milieux de culture enrichis en fientes de volaille et Bouses de bovin.....	28
Figure13 :Ensemencement de l'inoculum.....	29
Figure14 : Pompe d'aquarium.....	30
Figure15 : Résistance électrique 200 W.....	31
Figure16 : L'appareil multi-paramètres.....	32
Figure17 : Spectrophotomètre.....	33
Figure18 : récolte de la biomasse.....	34
Figure19 : Séchage de la spiruline.....	35
Figure20 : Dosage des protéines ; méthode Kjaldhal.	38
Figure 21 : rendement en spiruline dans les milieux (Témoin), (Fiente) et (Bovin).....	50
Figure 22 : Taux de protéines de la spiruline issus de milieu (Témoin), (Fientes) et (Bovin).....	51

Liste des graphes

Graphe 1 : positionnement de la spiruline par rapports d'autres aliments en termes de taux de protéines.....	9
Graphe 2 : Evolution de PH dans les milieux de culture (Témoin), (Fiente) et (Bovin).....	41
Graphe 3 : Evolution de la température dans les trois milieux de culture (Témoin), (Fiente) et (Bovin).....	43
Graphe 4 : Evolution de la salinité dans les milieux de culture (Témoin), (Fiente) et (Bovin).....	44
Graphe 5 : Evolution de la Conductivité électrique dans les milieux de culture (Témoin), (Fiente) et (Bovin).....	45
Graphe 6 : Evolution de la densité optique dans les milieux de culture (Témoin), (Fiente) et (Bovin).....	49

Introduction :

Introduction :

Il existe actuellement environ 25000 espèces d'algues sur terre. Parmi elles, on peut identifier une infime cyanobactérie, ayant émergé il y'a environ 3,5 milliards d'années avec les premiers êtres vivants, est réputée être aliment naturel le plus complet sur terre, la cyanobactérie *Arthrospira*, communément appelée spiruline (**Cruchot, 2008**).

Elle est réputée comme l'un des trésors les plus précieux de la nature, étant une cyanobactérie multicellulaire et filamenteuse aux propriétés mutualistes. Elle prolifère dans une diversité d'habitats, incluant les sols, les marais, les eaux douces, saumâtres et marines, ainsi que les sources thermales. Les environnements aquatiques alcalins et salins avec un Ph élevé (8,5-11,0) sont particulièrement propices à sa croissance, notamment dans les régions tropicales d'altitude où l'irradiation solaire est intense(**Jeyanthi, 2020**).

La spiruline, organisme photosynthétique, possède une valeur nutritionnelle élevée grâce a ses protéines, acide aminés, acide gras essentielles (comme le GLA) vitamines, pigments et oligo-éléments précieux. De plus elle aide à atténuer le réchauffement climatique en absorbant le dioxyde de carbone produit par l'homme (**Da Silva et al.2006**).

L'extrait de spiruline renferme une diversité de composés bioactifs bénéfiques pour la santé, tels que des phénols, des alcaloïdes, des phycocyanines, des terpénoïdes et des flavonoïdes. Ces substances présentent des propriétés remarquables d'antioxydation et d'anti-inflammation, consolidant ainsi la spiruline comme un complément alimentaire très prisé (Setyaningsih et al, 2020).

L'utilisation des résidus agricoles contribuera à atténuer l'empreinte environnementale anthropique, à abaisser les coûts de production des biocarburants, et à relever les défis liés aux énergies alternatives issues de ressources renouvelables. En outre, cette approche favorise la production de microalgues et de composés biologiquement actifs, pouvant être exploités comme matières premières pour l'alimentation animale, y compris celle des volailles (**Golubet al, 2021**).

Parmi les différents résidus, les effluents provenant de l'élevage avicole et bovin se démarquent par leur capacité à favoriser la biosynthèse des protéines, lipides et glucides grâce à leur abondance en azote, calcium et phosphore. Ces substrats sont économiquement avantageux, largement accessibles à grande échelle et disponibles de manière continue (**Satter, 2021**).

Introduction :

Cette étude vise à explorer la culture de la microalgue *Arthrospira platensis* en utilisant des fientes de volaille et des bouses de bovins comme milieux de culture. Notre travail est organisé en deux parties distinctes :

La première partie commence par une mise à jour des connaissances, comprenant deux chapitres :

- Le premier chapitre offre un aperçu général de la spiruline et de sa valeur nutritionnelle, ainsi que ses diverses applications dans le règne animal.
- Le deuxième chapitre explore les techniques et conditions de culture, en mettant l'accent sur l'impact des paramètres variables sur la croissance de la spiruline.

La deuxième partie se concentre sur la section expérimentale, détaillant les équipements utilisés et les méthodes employées pour mener cette étude. Elle présente également les résultats obtenus, qui seront ensuite analysés et discutés en profondeur.

En conclusion, une synthèse générale sera formulée, récapitulant les observations clés de cette recherche.

Partie bibliographique

Chapitre 1 :

Généralités sur la spiruline

Chapitre 1 : Généralités sur la spiruline

I.1. Historique :

En 1827 que Turpin a découvert la spiruline dans un échantillon d'eau douce. Plus tard, en 1844, une micro algue bleu-vert a été signalée autour de Montevideo (capitale de l'Uruguay) **(Dupire, 2011)**.

Sosa Texcoco dans les années 1970 commence à faire des usines de production à grande échelle de cette micro algue **(Ciferri O, 1983)**.

En effet **Leonardo** notait **en 1968** que les kanembus (une population d'Afrique centrale et occidentale vivant principalement dans la région du Kanem à l'ouest du Tchad, sur la rive nord du lac Tchad) parcouraient la surface des étangs riches en carbonates de sodium, recherchant les fameuses algues du lac, récolté sous forme de purée bleu-vert. Cette purée est ensuite utilisée pour faire des crêpes appelées dihé **(Girardin et Andreani, 2005)**.

Le Conseil supérieur d'hygiène publique de France a mis 10 ans pour autoriser la consommation d'algues, ce qui s'est finalement produit en 1984 **(Dargent L2009)**

En Afrique-du-Sud, des scientifiques ont mis au jour des fossiles de cyanobactéries vieux de 3,5 milliards d'années **(Durand et Chastel, 1993)**.

I.2. Définition :

(Ingrid et Martin, 1999) ont rapporté que comme toutes les plantes, cet organisme procaryote réalise la photosynthèse. Il s'agit d'une cyanobactérie photo-autotrophe de couleur bleu-vert et de forme spiralée appelée spiruline **(figure 1)**.

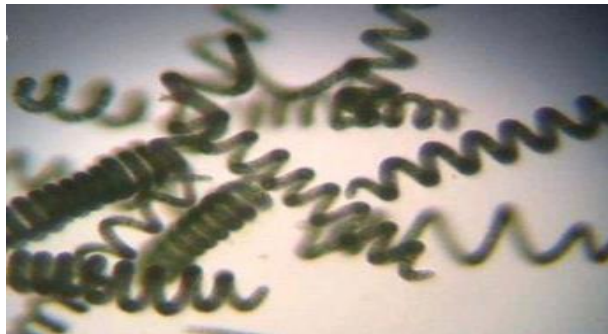


Figure 01: *Arthrospira* (*Spirulina*) *Platensis* **(Riviers, 2003)**

Chapitre 1 : Généralités sur la spiruline

I.3.Taxonomie :

D'après (Ripley Fox 1999), la spiruline appartient à cette systématique :

Règne : Monera
Sous règne : Prokaryota
Phylum : Cyanobacteria
Classe : Cyanophyceae
Ordre : Nostocales
Famille : Oscillatoriceae
Genre : Arthrospira
Espèce : Arthrospira Platensis

Figure 02 : taxonomie de la spiruline (Ripley Fox, 1999)

I.4.Reproduction :

La reproduction asexuée des cyanobactéries se fait par segmentation des filaments, un processus différent de la mitose chez les eucaryotes. Cette reproduction s'effectue par bipartition, ou scission simple (Konig, 2007). Lorsque la température dépasse 30 °C à l'ombre la vitesse de multiplication devient plus rapide (zarrouk 1966, in jourdan, 2006).

I.5.Cycle biologique :

Lorsque la spiruline atteint sa maturité, des nécrides se forment à partir de ses filaments (figure 2). Ces nécrides, qui se distinguent par leur forme biconcave, rappelle des disques de séparation.

Tandis que les hormogonies sont des filaments constitués de 2 à 4 cellules formés par la fragmentation du trichome provenant des nécrides, subissent une division binaire longitudinale (chaque cellule se divisant en deux). Ces hormogonies adoptent ensuite une forme en hélice caractéristique (Balloni et al, 1980 in Charpy 2008).

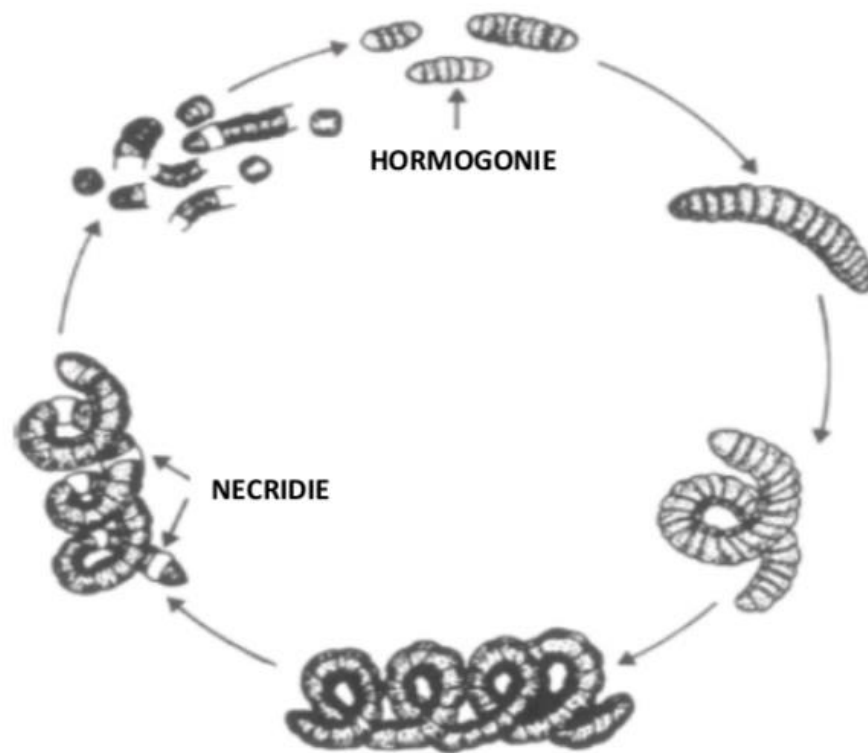


Figure 03 : schéma de cycle de reproduction de la spiruline (Morganproy, 2019)

I.6.Morphologie et structure :

Avec une paroi de type gram négatif classique, dépourvus de membrane nucléaire, ses cellules leur taille varie de 1 à 10 microns et ce sont de véritables procaryotes, le chlorophylle et du système II (PS-II) permet à ces cyanobactéries d'avoir un système photosynthétique similaire à celui des eucaryote.

Les membranes thylacoïdes contiennent des granules appelés phycobilisomes. Ces membranes contiennent les éléments du transport d'électrons, les pigments-accessoires et ceux impliqués dans la photosynthèse.

La phycocyanine (protéine dans un groupe protéique de type polypeptide) lui donne une couleur bleu et une fluorescence rouge, ce phycocyanine est un pigment de transport de l'énergie vers le PS-II et qui se trouve dans les phycobilisomes. (Goulamabasse, 2018).

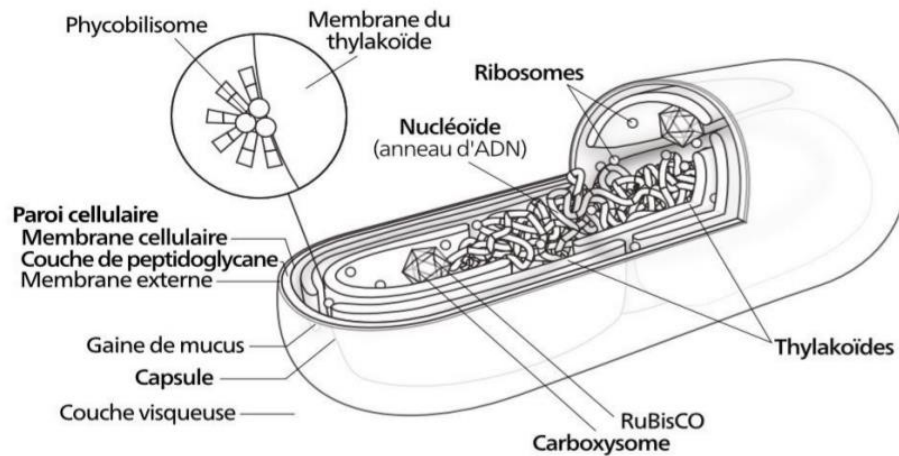


Figure 04: schéma de la structure d'une cyanobactérie (Goulamabasse, 2018).

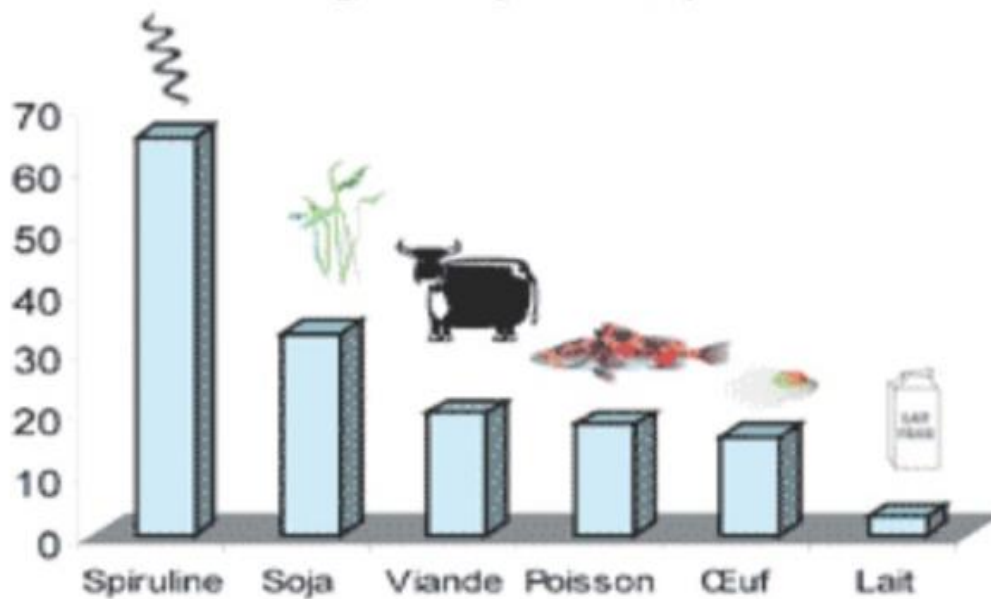
I.7. Répartition géographique :

La spiruline se trouve principalement dans une bande intertropicale entre les latitudes 35° nord et 35° sud, en raison de ses besoins en lumière et de sa préférence pour les environnements chauds. Elle prolifère généralement dans les lacs alcalins grâce à sa grande adaptabilité, ce qui en fait un organisme ubiquiste. (Charpy et al, 2008).

I.8. Valeur nutritive de la spiruline :

I.8.1. Les protéines :

La spiruline a une teneur en protéique élevée par rapport à d'autres aliments, elle atteint jusqu'à 55% à 70% (soja 35%, poisson 15 à 20%, les œufs 12%) grâce à l'absence de paroi cellulosique ; la spiruline présente une haute digestibilité des protéines (75 à 83%) (Gaydou, 2004).



Graph 01 : positionnement de la spiruline par rapports d'autres aliments en termes de taux de protéines(Goulamabasse, 2018).

I.8.2. Lipides :

D'après (Habib MAB. 2008) une cuillère à soupe de spiruline fournit 36 kcal, et seulement 1,3 mg de cholestérol ce qui en fait une petite quantité .

Selon (Otleş S, Pire R. 2001) les AGPI, notamment l'acide linoléique et l'acide γ -linoléique (GLA), représentent 30 à 35 % des lipides et peuvent augmenter de 1,2 à 1,6 % lors d'une alternance lumière/obscurité pendant la culture. Des analyses chromatographiques de la spiruline ont révélé l'absence d'acide alpha-linolénique (ALA), d'acide docosahexaénoïque (DHA) et d'acide eicosapentaénoïque (EPA).

La spiruline contient juste des omégas 6 (primordiale la production des leucotriènes et prostaglandine) beaucoup d'acides gras polyinsaturés (AGPI) environ 25 à 60% des lipides totaux. Mais peu d'acidesgras saturés (l'acide arachidique).

I.8.3. Vitamines :

Selon (Jean _ Marie Bard) « Les végétariens peuvent lutter contre la carence en vitamine B12 avec la spiruline qui contient une teneur élève de ce dernier (0,16 mg/100g), mais lors de lasupplémentations, il faut faire attention sur les paramètres de l'hématopoïèse (volume corpusculaire). Les analogues structuraux qui sont présents bloque le métabolisme de vitamine B12 ; ce quiexplique l'augmentation de concentration circulante de ce vitamine mais avec une absence d'effet sur les paramètres hématologiques après un essai sur les enfants qui

Chapitre 1 : Généralités sur la spiruline

prennent une alimentation végétarienne. Les caroténoïdes sont environ 500mg/100g et Beta carotènes sont de 200mg/100g dans la spiruline».

I.8.4. Les minéraux :

Le fer, présent en quantité supérieure de 20 fois à celle du germe de blé, ainsi que le calcium, le magnésium et le phosphore, sont les éléments prédominants dans la spiruline. (**Charpy L, 2008 et Shizhong Liang, 2004**).

I.8.5. Glucides et polysaccharides :

Le spirulane calcique (Ca_Sp.) et le spirulane sodique (Na_Sp.) sont des polysaccharides présents dans la spiruline (**Lee, 1988**). Un autre polysaccharide de la spiruline est l'immulina (**Lobner, 2008**).

Les glucides sont environ de 15 % à 25 % de la matière sèche de la spiruline (**Flaquet, 2006; Quillet, 1975; Shekharam, 1987**).

I.8.6. Toxicologie de la spiruline :

L'Aspergillus et son aflatoxine n'étaient pas du tout présent dans la spiruline séchée et conservée. Par conséquent, cette forme de spiruline est résistante aux moisissures et ne présente généralement pas de risque toxicologique (**Jacquet, 1975**).

I.9. Différents applications de la spiruline :

-Effet anticoagulant : cet effet est grâce au spirulane sodique selon (**Yamamoto 2003**). Aussi l'activation du cofacteur 2 de l'héparine qui donne la coagulation par l'action du spirulane calcique (**Hayakawa ; 1996, 2000, 2003**)

-Effet sur le système immunitaire : L'effet immunomodulateur de la spiruline a été démontré par de nombreuses études et expériences. (**Qureshi, 1996 ; Pascaud 1993 ; Borchers 2007**).

-Effet sur le système immunitaire : L'effet immunomodulateur de la spiruline a été démontré par de nombreuses études et expériences. (**Qureshi, 1996 ; Pascaud 1993 ; Borchers 2007**).

- Effet antiviral : Les premières études, menées sur des hamsters, ont porté sur le virus de l'herpès simplex pour observer l'inhibition de sa pénétration. D'autres recherches ont ensuite montré l'effet du spirulane calcique (Ca_Sp.) sur la pénétration et la phase de réplication du virus (**Hayashi, 1993, 1996**).

Selon (**Sguera, 2008**), la spiruline possède également d'autres effets à savoir:

Effet antioxydant : baisse le stress oxydatif.

Effet anti inflammatoire : voie per OS avant le déclenchement de l'inflammation.

Chapitre 1 : Généralités sur la spiruline

Effet anti cancéreux : unobstacle d'adhésion et de propagation des cellules tumorales vers la lame basale par le calcium_ spirulane.

Hepatoprotecteur : un effet beaucoup plus préventif.

La spiruline a aussi :

Effet contre l'hyperlipidémie : moins de taux de cholestérol sanguin remarqué chez les rats grâce à la spiruline (**Devi et Venkataraman en 1983**).

Effet contre le diabète : dans le sérum il y'a une baisse du glucose qui est due à la fraction soluble de la spiruline (**Takai et al 1991**).

Effet anti hypertension : (**Iwata et al 1990**).

Effet contre l'obésité : une baisse de poids après l'administration de 2,8 g de la spiruline 3 fois/jour pendant 1 mois (**Becker et al, 1986**).

Effet anti radiations : stabilisation de ADN grâce aux molécules protectrices de la spiruline selon (**Schwartz et al 1987**).

I.9.2. Utilisation de la spiruline en alimentation animale :

Chez les poules pondeuses, elle améliore la qualité des œufs, et chez les chevaux, elle est extrêmement bénéfique durant les phases de croissance, de convalescence, ou de compétition (**Casal, 2019**).

Ainsi, Pour favoriser la croissance et la fertilité, la spiruline est utilisée comme supplément alimentaire en aquariophilie (**Kim et al, 2006**).

Une étude menée sur un modèle d'hypercholestérolémie de lapin blanc de Nouvelle-Zélande suggère qu'un complément alimentaire base de spiruline protège les cellules contre les dommages a l'ADN causé par la peroxydation lipidique et le stress oxydatif. Les chercheurs ont démontré la capacité de la spiruline à moduler l'expression des gènes et à combattre le stress oxydatif chez des rats affectés par l'induction d'aflatoxines des mycotoxines (**Goulamabasse , 2018**).

I.9.3. Cosmétique :

La spiruline lorsque se mélange avec d'autres composes donne de véritable couleur, et durant des années elle rentre en fabrication des rouges-a-lèvres et des traceurs pour les yeux, les ongles deviennent plus forts et elle donne une brillance aux cheveux (**Bergendi et al, 1999**).

Grâce à ses éléments nutritives, la peau devient plus brillante et éclairait par l'utilisation des produits fabriqués à base de la spiruline comme les crèmes, les pommades, , les gels-douches , les savons et les masques . Elle renferme le seul colorant bleu qui n'est pas cancérogène qui s'appelle la phycocyanine (**Chopra A et al, 2007**).

Chapitre 1 : Généralités sur la spiruline

I.9.4. Environnementale :

Grace aux système de photosynthèse la spiruline participe dans l'enrichissement de l'atmosphère en oxygène (production d'un 16,8 tonnes d'O₂ /hectare/ans et captation de 23 à 40 tonnes de CO₂) donc la culture de la spiruline peut participer positivement dans la lutte de pollution, La spiruline préserve aussi les sols par l'utilisation économique d'eau, sa culture nécessite pas des zones fertiles et aussi elle donne un grand rendement en protéines végétales (environ 60% de son poids sec) , Elle lutte aussi la déforestation et l'érosion des sols .(

Anonyme 1)

Chapitre 2 :

Culture de la spiruline

Chapitre 2 : Culture de la spiruline

II.1. Conditions de culture de la spiruline :

Selon (**RongeadGneclieMahiAlai,2015**) : il y'a des paramètres et des normes pour faire la production de cette microalgue qu'ils doivent être respectés.

Ils sont mentionnés dans le tableau ci-dessus :

Chapitre 2 : Culture de la spiruline

Paramètre	Valeur	Remarque
La température	37°C	- 40°C n'est pas adéquat - 43°C la mort de spiruline - 20°C croissance nulle
La pluviométrie	Teneur en eau constant avec un minimum d'eau douce	- L'eau douce mieux que celles des mers (neutralité minérale) - Pas de concentration d'eau de plus (milieux favorables pour la croissance et le développement microbien) - Installation du siphon pour l'évacuation d'eau douce
L'ensoleillement	Favorable pour la croissance de spiruline	En hiver froids avec faible ensoleillement la spiruline devient saisonnière
Milieu de culture		
L'eau utilisé	Salée et alcaline	-Mieux être potable ou moins filtré -Eliminer les micro-organismes et corps étrangers
pH	-Entre 7,8 et 8,5 -Culture florissante 9,5 et 10,5	PH supérieur 10,5 le CO2 insuffisant pour la croissance de la spiruline
Salinité	Egal ou supérieur à 13 g/litres	
CO2	Abaisse le pH	Pour continuer la croissance de spiruline on administre le Carbone
Les minéraux	Valeur bien précis	Lors d'une forte concentration on a un risque de formation des boues minérales

figure 05 : valeurs des différents paramètres pour la culture de la spiruline (RongeadGneclieMahiAlai,2015)

Chapitre 2 : Culture de la spiruline

II.2. Nourriture de la spiruline :

La solution nutritive doit avoir des éléments nécessaires pour assurer la couverture de ses besoins nutritifs. Ces éléments sont :

Eléments ajoutés soufre (S) dans l'engrais : phosphore (P) , azote (N) , potassium (K) .

Autres éléments ajoutés lors de leur carence dans l'eau : Magnésium (Mg) fer (Fe) calcium (Ca) (Louvel , 2019)

II.3. Modes de culture de la spiruline :

II.3.1. Les bassins de culture :

Une forme arrondi Avec absence d'angles vifs, profond le plus plans possible, contenant une pente vers un endroit plus creux pour faire lavidange. La profondeur idéale est de 20 à 40 cm.

(Jourdan, 2007), recommande les superficies suivantes :

- 50 à 100 m² pour la production artisanale
- 1000 m² pour la production semi artisanale
- 5000 m² pour la production industrielle

Pour protéger le bassin des fientes de différents animaux et aussi de la pluie et de changement climatique, il est primordial de mettre un toit ou bien une couverture qui protège le bassin avec une façon qui permet a la spiruline de faire la respiration (Scheldeman, 2005).



Figure06 : bassin de culture de la spiruline de « Sud spiruline »(Anonyme2).

II. 3.2. Agitation :

L'agitation peut se faire manuellement a l'aide d'une rame ou d'un balai, ou bien avec une pompe d'aquarium ou une pompe appropriée (à hélice, à vis, etc.) sans causer de problèmes. Par temps ensoleillé, l'agitation doit se faire pendant quelques minutes chaque heure, au

Chapitre 2 : Culture de la spiruline

moins 4 fois par jour. Cette opération assure une répartition uniforme de la lumière sur toute la surface de croissance de la spiruline, assurant ainsi une bonne homogénéisation, et aide également à éliminer l'excès d'oxygène (Jourdan, 2006).

II.3.3. Récolte :

La spiruline, accumulée sous forme d'une soupe épaisse, pâteuse et molle, se concentre au bord des rives sous l'effet du vent. C'est à ce stade qu'elle est récoltée, souvent à l'aide d'un outil (Bluuel, cl.C., 1973) .

II .3.4. Filtration :

En cas d'une production à petite échelle, avec un temps de 30 min à 1h de filtration ; on obtient une pate verte de la spiruline. Le passage ça sera par 2 toiles pour une meilleure filtration le 1^{er} est de 150 micromètre et le 2^{ème}est de 60 micromètre.

D'abord faire éliminer les débris puis mettre un tapis vibrant dans la filtration d'une production à grande échelle (Fox, 1999).

II .3.5. Séchage :

Sur quatre claies rectangulaires, chacune composée d'un cadre en bois avec un grillage en nylon permettant le passage de l'air, on place l'échantillon de spiruline à sécher. Les principaux éléments du dispositif de séchage comprennent une unité en bois de forme parallélépipédique (pour la capture de données) et un micro-ordinateur, qui permet de surveiller la température tout au long de l'opération. Bien que l'atomisation (spray drying) soit utilisée dans l'industrie pour son avantage de rapidité, elle présente un risque d'altération du produit. En revanche, le séchage artisanal, bien que plus long, protège les cellules des gaz chauds (Jourdan, 2006).

II .4 Effet de différents paramètres sur la croissance de la spiruline :

II .4.1.Effet de la lumière sur la croissance de la spiruline :

La lumière estPhotosynthèses. Comme premier facteur limitant la croissance de micro algues et de cyanobactéries. De nombreuses études ont été menéesQuantifier et modéliser la dynamique de réponse associée à ce facteur. Ces études s'appuient surRésultats expérimentaux généralement exprimés en taux de productionBiomasse, mesurée par densité optique DO680 (en à proprement parler) soit par pesée de la biomasse sèche elle-même, soit par les niveaux d'oxygèneet libéré par les microalgues après la photosynthèse) (Laifa, 2022).

II .4.2.Effet de la température la croissance de la spiruline :

Chapitre 2 : Culture de la spiruline

La température est un paramètre qui contrôle la vitesse de réaction. Se

Souvent, une augmentation significative qui pose des problèmes dans les serres ou en plein soleil

Évaporation du milieu de culture. Il faut penser à ajuster ce paramètre

La température optimale de croissance de la Spiruline se situe à 35-38°C, minimum 15-20°C (**Vonshak, 1997**).

II .4.3. Effet du pH sur la croissance de la spiruline :

Par son action naturelle, la spiruline tend à augmenter l'alcalinité de son environnement. En effet , le dioxyde de carbone soluble dans l'eau , une fois capté par la spiruline , libèrent des ions carbonate (CO_3^{2-}) , ces ions par un processus d'hydrolyse , libèrent des ions hydroxydes (OH^-) , contribuant ainsi a l'alcalinisation du milieu (**Danesiet al, 2004**).

II .5 Autres milieux nutritifs pour la culture de la spiruline :

Plusieurs milieux existent pour la culture de spiruline : le milieu CFTR ; milieu BG11et le milieu ZARROUK cité par (**Boudjema et al 2015**). ces milieux sont présents dans ces tableaux :

NAHCO ₃	4.5g/l
K ₂ HPO ₄	0.5
NaNO ₃	1.5
NaCl (sel marin raffiné)	1.0
MgSO ₄ .7H ₂ O	0.20
FeSO ₄ .7H ₂ O	0.01
K ₂ SO ₄	1.0
CaCl ₂ .2H ₂ O	0.04

Figure 07 : Milieu CFTRI (centre Foodtechnologicalresearchinstitute, Mysore,india , Dr.venkataraman) (**Boudjema et al 2015**).

Chapitre 2 : Culture de la spiruline

NaNO ₃	1.5g/l
K ₂ HPO ₄	0.04
MgSO ₄ . (7H ₂ O)	0.075
CaCl ₂ .(2H ₂ O)	0.036
Acide citrique	0.006
Citrate d'ammonium ferrique	0.006
EDTA	0.001
Na ₂ CO ₃	0.02
Plus le mélange d'oligo-élément. (1ml de celui ci-dessus)	
H ₃ BO ₃	2.86g/l
Mncl ₂ . (4H ₂ O)	1.81
ZnSO ₄ . (7H ₂ O)	0.222
Na ₂ MOO ₄ . (2H ₂ O)	0.39
CO ₅ NO ₃) ₂ .(6H ₂ O)	0.079
CuSO ₄ . (5H ₂ O)	0.0494

Figure 08 : Milieu BG-11 (Pr Roger stanier) pour les algues bleues en générale. Pour la spiruline, il faut ajouter 1g/l de NaCl (**Boudjema et al 2015**).

NaHCO ₃	16.8
K ₂ HPO ₄	0.5
NaNO ₃	2.5
K ₂ SO ₄	1.0
NaCl	1.0
MgSO ₄ , (7 H ₂ O)	0.2
CaCl ₂	0.04
FeSO ₄ , (7 H ₂ O)	0.01
EDTA (acide éthylène diamino-tétra-acétique)	0.08

Figure09:composition de milieu ZARROUK
Elément chimique en g/l (**Boudjema et al 2015**).

Partie expérimentale

Chapitre I :

Matériel et Méthodes

I.1-Objectif du travail :

L'objectif de notre travail est d'évaluer l'effet des solutions nutritives enrichies avec des résidus organiques sur la croissance et la biomasse de la spiruline (*Arthrospira Platensis*), une micro algue à fort potentiel nutritionnel et environnemental.

Cette recherche se propose de valoriser des résidus organiques locaux en tant que substrat de culture pour la spiruline. Trois milieux de culture distincts ont été établis afin d'évaluer l'impact de chacun sur la croissance, le rendement et la qualité de la biomasse obtenue.

I.2. Lieu et durée de l'expérimentation :

Cette étude a été menée au sein de l'animalerie de l'Université Akli Mohand Oulhadj Bouira dont la préparation des milieux de culture à été effectuée au niveau de laboratoire, durant une période de quatre mois allant de mois de mars au mois de juin 2024.

I.3. Matériel :

I.3.1. Matériel végétal :

La micro algue employée dans cette étude est une variante de la spiruline appartenant à l'espèce *Arthrospiraplatensis*, classée sous le type M2 et endémique de la région de Tamanrasset. L'inoculum a été gracieusement fourni par Monsieur SEGGAI Ali, ancien enseignant-chercheur à l'Université de Ouargla en Algérie.

Pour notre essai expérimental nous avons utilisé :

- Unvolumede3, 150 L de l'inoculum spiruline.
- Milieu de culture (SAGGAI, 2008).
- Fientes de poules pondeuses.
- Bouses de bovin.

I.3.2. Matériel de culture :

- Un (1) Bac en plastique transparent.
- Deux (2) Pompes d'aquarium
- Résistance électrique
- Lampes
- Rallonges électriques
- Diffuseur d'air

3.3 Matériel de laboratoire :

- Balance de précision.
- Microscope optique, lames et lamelles
- Autoclave, Réfrigérateur
- Différentes verreries de laboratoire
- Spectrophotomètre
- Agitateur magnétique
- Pipettes graduées, micropipette

I.4-Méthodes :

I.4.1. Déroulement de l'expérimentation :

Avant le début de notre étude, nous avons aménagé l'endroit qui va abriter nos essais, il s'agit de l'animalerie pédagogique de la faculté SNVST, en absence des animaux, Nous avons procédé au nettoyage, à l'installation des tables, des lampes et des pompes. L'objectif était d'assurer la préservation des cultures et d'établir un système fermé avec une température maintenue constante.

Nous avons par la suite placé le bac en plastique sur une table, dans lequel nous avons placé neuf (09) récipients d'une capacité de 2.2 litres chacun. L'inoculum de spiruline a été, par la suite, répartie d'une manière égale entre eux.



Figure 10 : Dispositif expérimental (Photo personnelle, 2024)

I.4.2. Préparation des milieux de culture :

Trois (03) milieux de culture distincts ont été préparés. Le premier, de nature référentielle, est le milieu (Saggai, 2008). Le second est constitué de fientes de volaille, tandis que le dernier est élaboré à partir de bouses de bovins. Il convient de noter que chaque type de milieu de culture a été répété trois (03) fois, dans des conditions d'asepsie totale.

4.2.1. Milieu de culture Témoin (milieu SAGGAI 2008) :

La sélection de ce milieu découle de sa réputation en tant que milieu optimal pour la culture de la spiruline.

- Les proportions spécifiées (**Tableau N° 1**) des composants ont été méticuleusement pesées et prélevées à partir d'une fiole conique de 1 litre.
- Les constituants ont été soigneusement homogénéisés à l'aide d'un agitateur.
- L'eau a été ajoutée progressivement jusqu'à ce que le volume requis (5 litres) soit atteint.
- Le sel de table a été ajouté à raison de 1 gramme par litre.

Tableau 01: Composition du milieu de culture (**Saggai, 2008**).

Elément	Quantité (g/l)
Natron	10
Sulfate d'ammonium (SO ₄ (NH ₄) ₂)	0.2
Sulfate de potassium (K ₂ SO ₄)	0.1
Sulfate de fer (Fe SO ₄)	0.01
Sulfate de magnésium (Mg SO ₄)	0.2
Urée (CH ₄ N ₂ O)	0.2



(a)



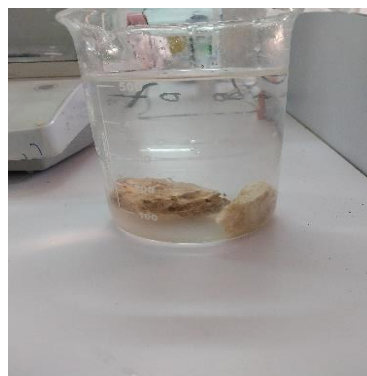
(b)



(c)



(d)



(e)



(f)

(a),(b),(c),(d) : pesé des constituants de milieu.

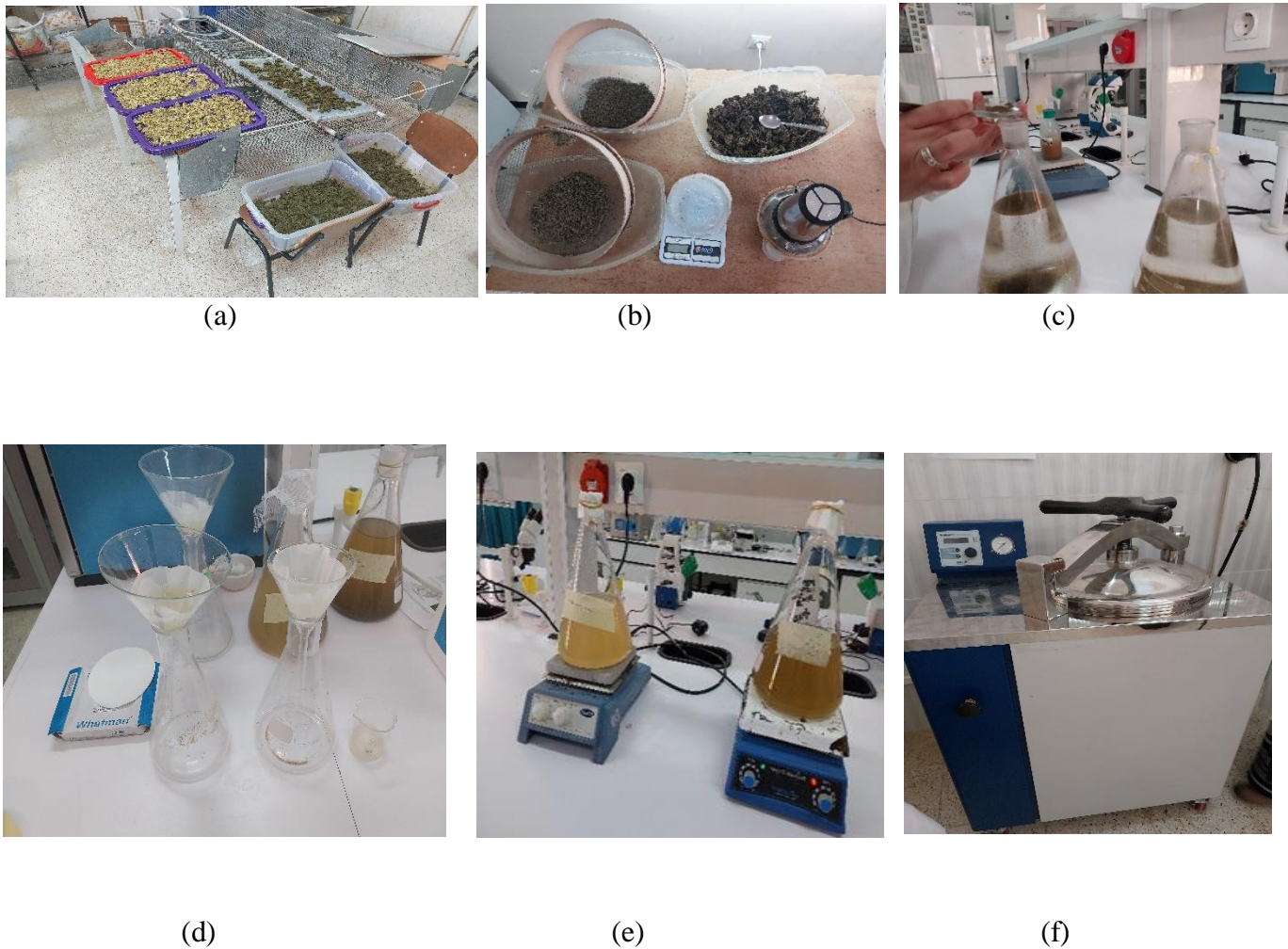
(e) : infusion de natron.

(d) : milieu de culture préparé.

Figure 11 : Préparation de milieu Témoin (Saggai, 2008)(Photo personnelle, 2024).

4.2.2. Préparation des milieux de culture expérimentale à base de fientes de volaille et bouses de bovin :

- Nous avons pesé 3 kg de fientes de poules pondeuses et de bouses de bovin (ces derniers ont été fournis par un élevage privé) que nous avons soumis à un processus de séchage pendant une durée de 5 jours.
- Après séchage, les fientes ont été réduites en une poudre fine afin d'atteindre un poids constant, puis tamisées à travers une maille de 3 mm, suivie d'une maille de 1 mm pour garantir une granulométrie uniforme.
- Une quantité de 6 g de cette poudre a été immergée dans 2000 ml d'eau distillée.
- La solution ainsi obtenue a été infusée pendant 24 heures sous agitation constante à l'aide d'un agitateur magnétique.
- Par la suite, le mélange a été filtré à travers un papier wattman pour éliminer les impuretés.
- La solution filtrée a été portée à ébullition pendant une durée d'une heure.
- Enfin, pour assurer une stérilisation complète, la solution a été soumise à un autoclavage à 121 °C pendant 20 minutes.



(a) : séchage de fientes de volailles et Bouses de bovin.

(b) : obtention de la poudre après tamisage.

(c) : infusion des substrats.

(d) : filtration des solutions.

(e) : Ebullition des solutions filtrées.

(f) : Autoclavage.

Figure 12 : Préparation de milieux de culture enrichis en fientes de volaille et Bouses de bovin (**Photo personnelle, 2024**).

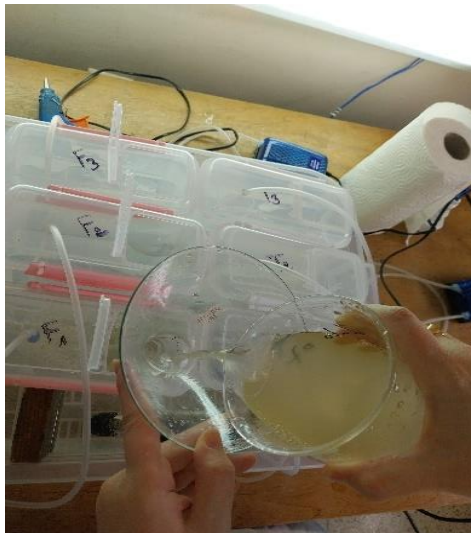
I.4.3 Ensemencement :

La mise en culture de la spiruline a été lancée le 25/04/2024. L'expérimentation a démarré avec l'ajout de 350 ml d'inoculum, auquel ont été combinés 500 ml de milieu de culture, conformément aux conditions suivantes :

- **Milieu 1 (T)** : constitué exclusivement de nutriments du milieu (Saggai, 2008).
- **Milieu 2 (F)** : enrichi du natron et de bicarbonate de sodium pour élever le pH et induire un environnement alcalin.
- **Milieu 3 (B)** : également supplémenté avec du natron et de bicarbonate de sodium pour ajuster le pH vers un milieu alcalin.



(a)



(b)



(c)

- (a) : filtration de spiruline mère.
(b) : versement de milieux de culture dans chaque boîte.
(c) : versement de la spiruline.

Figure 13 : ensemencement de l'inoculum(Photo personnelle, 2024)

I.4.4 Condition de Culture :**a- Agitation :**

Le processus d'agitation est assuré en continu par deux (02) pompes à air opérant sans interruption, 24/ heures sur 24 pendant toute la durée de l'expérience. Cette agitation est primordiale pour garantir une répartition uniforme de la lumière, des éléments nutritifs ainsi qu'une bonne aération (Goulamabasse, 2018).



Figure 14: Pompe à aquarium pour l'agitation(Photo personnelle, 2024).

b. Éclairage :

La lumière est la principale source d'énergie pour la prolifération des micro algues ; elle est fournie par un dispositif comprenant un double néon de (36 W +36 W), auquel s'ajoute ultérieurement une autre source lumineuse de 45 W pour illuminer simultanément les côtés opposés des boîtes de culture.

c. Température :

Le maintien d'une température constante, 24 heures sur 24, est assuré par une résistance électrique intégrée au dispositif.



Figure 15 : résistance électrique 200 W (Photo personnelle, 2024).

I.5. Evolution de la croissance algale :

I.5.1 Etude de l'évolution des paramètres physico-chimiques :

La surveillance de l'évolution est réalisée par des mesures quotidiennes des paramètres cités ci-dessous 3 fois par jour à (9 :00 h) le matin, à (12 :00 h) le midi et à (15 :00 h) l'après-midi, réalisées au moyen d'un appareil multi-paramètres HANNA type HI 9829.

- **Mesure du Ph.**
- **Mesure de la température.** (°C)
- **Mesure de la salinité.** (g/l)
- **Mesure de la conductivité électrique.** (ms/cm)



Figure 16 : L'appareil multi-paramètres. (Photo personnelle, 2024).

I .5.2 Etude de caractérisation de la spiruline :

5.2.1 Etude de la morphologie (forme et couleur) :

Les paramètres sensoriels tels que l'odeur, la couleur et l'apparence ont été surveillés quotidiennement afin de vérifier l'état physiologique de la spiruline. La forme a été déterminée par microscopie optique.

En ce qui concerne l'aspect des filaments, plusieurs cas peuvent se présenter (**Goulamabasse, 2018**), (**Jarisoia, 2005**).

-Des filaments cassés, pouvant résulter d'une agitation brutale du milieu de culture, d'une exposition excessive à la lumière, ou d'une carence en potassium.

-Une spiruline de petite taille, pouvant être due à une croissance trop rapide ou à un Ph et/ou une salinité trop élevée.

-Une carence en fer pouvant entraîner des filaments anormalement longs.

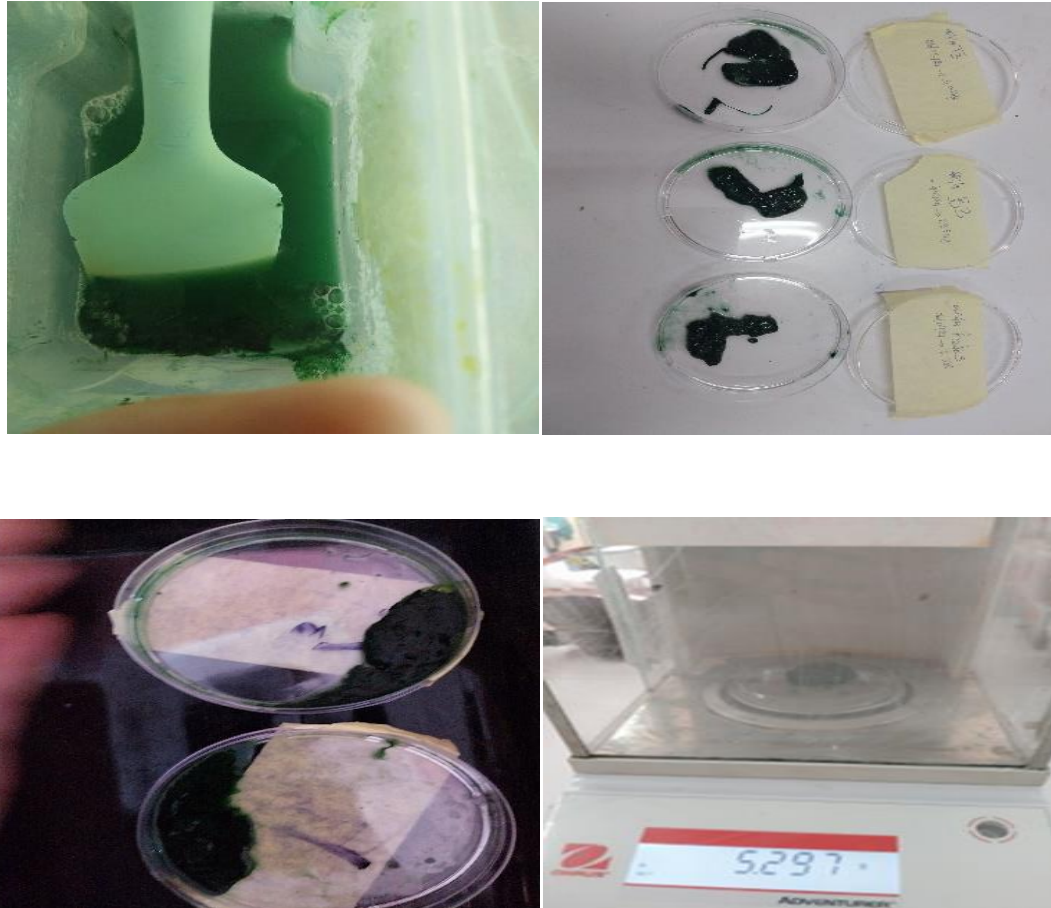
5.2.2 Mesure de la densité optique : Cette méthode évalue la concentration de biomasse en mesurant la densité optique à l'aide d'un spectrophotomètre à une longueur d'onde de 560 nm (Zarrouk, 1966).



Figure 17 : Spectrophotomètre (Photo personnelle, 2024).

6. Récolte :

Nous avons réalisé 4 récoltes durant la période de l'expérimentation.

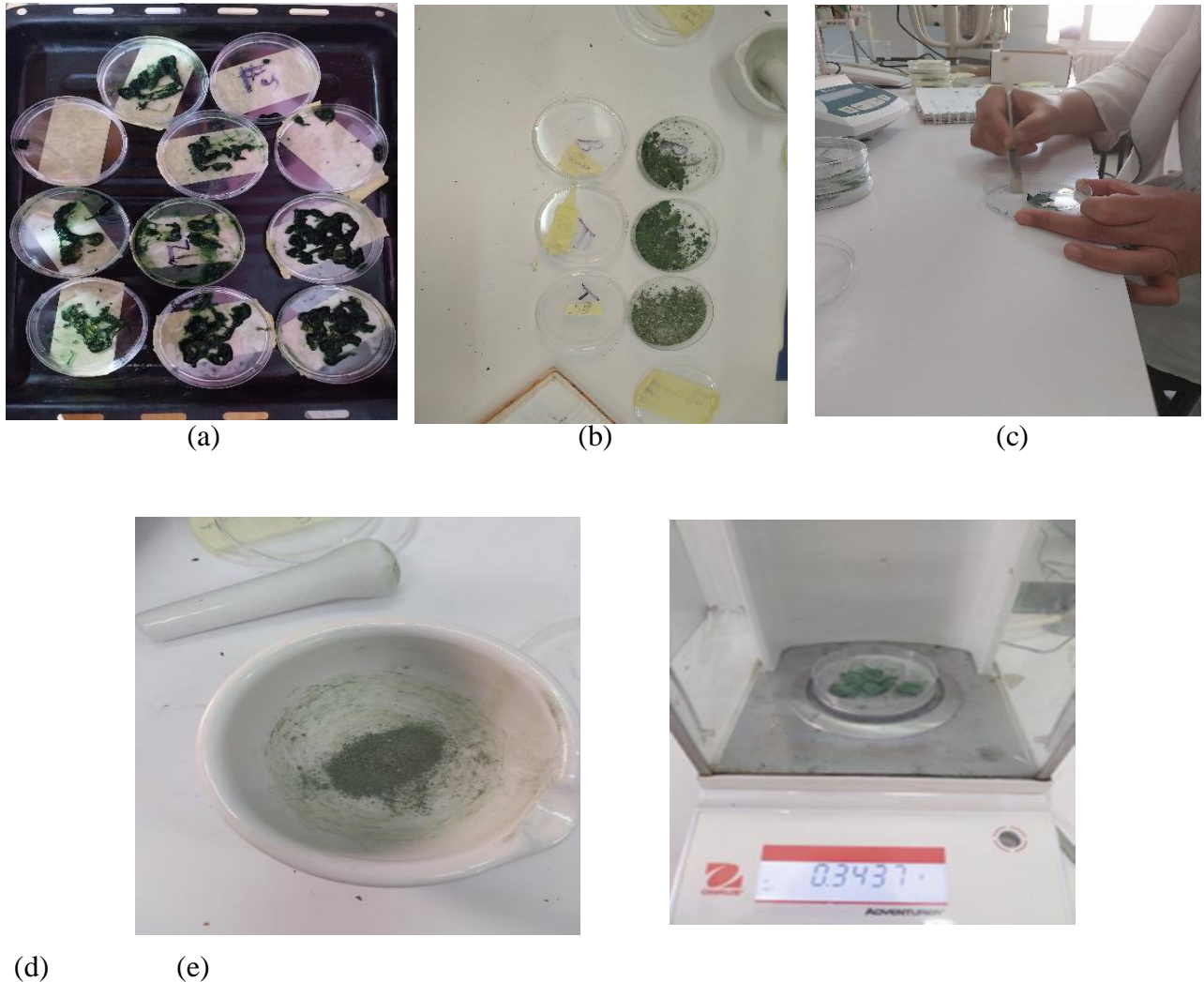


- (a) : récolte de la biomasse par une spatule.
- (b) , (c) : mettre la spiruline dans des boîte Pétri.
- (c) : pesé de la biomasse fraîche.

Figure 18 : récolte de la biomasse (Photo personnelle, 2024).

7. Séchage :

Le procédé consiste à déshydrater la récolte par séchage à l'air libre, puis la biomasse séchée est quantifiée à l'aide d'une balance électronique de haute précision.



(a) : séchage de la biomasse fraîche.

(b) , (c) : biomasse sèche.

(e) : broyage de la spiruline.

(d): pesé de la biomasse sèche.

Figure19 : Séchage de la spiruline(Photo personnelle, 2024).

8. Détermination de la teneur en protéine par la méthode Kjeldahl :

Pour réaliser cette technique, nous avons le matériel illustré dans le tableau ci-dessous :

Tableau 02 : Etapes et matériels de la méthode de Kjeldahl.

Etape	Matériels	Réactifs
La minéralisation	<ul style="list-style-type: none"> • Tubes de minéralisation • Minéralisateur Kjeldahl 	<ul style="list-style-type: none"> • Catalyseur : - sulfate de cuivre (CuSO₄) - sulfate de potassium (K₂SO₄) • Acide sulfurique concentré à 96 % (H₂SO₄)
La distillation	<ul style="list-style-type: none"> • Eau distillée • Acide borique 4% (H₃BO₃) • Hydroxyde de sodium (NaOH) • Tashiro 	<ul style="list-style-type: none"> • Erlenmeyer de 250ml • Distillateur
Le titrage	<ul style="list-style-type: none"> • Acide chlorhydrique à 0,1N (HCL) 	<ul style="list-style-type: none"> • Burette • Agitateur

➤ Mode opératoire :

a. Minéralisation : Introduire dans le tube de minéralisation :

- Un échantillon de 0.8g et éviter les contacts avec les parois.
- 4 g de catalyseur (2g de sulfate de potassium + 2g de sulfate de cuivre).
- 10 ml d'acide sulfurique concentré à 96%.
- Un essai doit être effectué à blanc contient uniquement de l'acide sulfurique.
- Placer les tubes sur le dispositif de chauffage, chauffé d'abord doucement (pour éviter la montée de la mousse).
- Faire ensuite, augmenter la température jusqu'à 380°C pendant 3h et 30 min.
- Laisser refroidir à température ambiante.

b. Distillation :

- Mettre dans un erlenmeyer de 250ml ,20 ml de l'acide borique à 4% additionnée de 10 gouttes d'indicateur de Tachiro (à base de rouge de méthyle).
- Placer l'erlenmeyer au-dessous de l'unité de distillation.
- Placer le tube sur l'unité de distillation et régler leur paramètre a fin d'ajouter 50 ml d'hydroxyde de sodium et 40 ml d'eau distillée.
- Mettre en marche la distillation
- Après 10 minutes de distillation, il y aura virage de la couleur du rouge au bleu verdâtre.

c. Titrage :

Il faut titrer rapidement le contenu de l'erlenmeyer avec l'acide chlorhydrique (HCL) à 0,1N, la lecture du volume de ce dernier se fait au moment du virage de la couleur rose.

Les résultats exprimés en pourcentage du poids de protéines par rapport au poids total de l'échantillon, sont donnés par l'équation suivante :

$$\%P = ((V_b - V_a) * N * 1,4007 / m) * 6,25$$

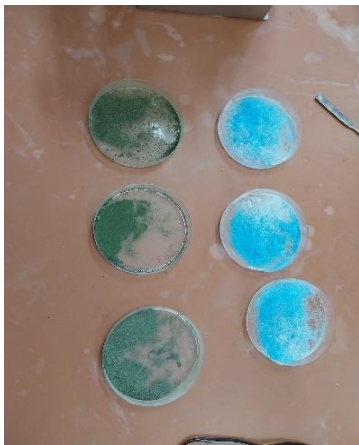
V_b = volume de l'acide chloridrique de titrage de l'échantillon

V_a = volume de l'acide chloridrique de titrage de blanc

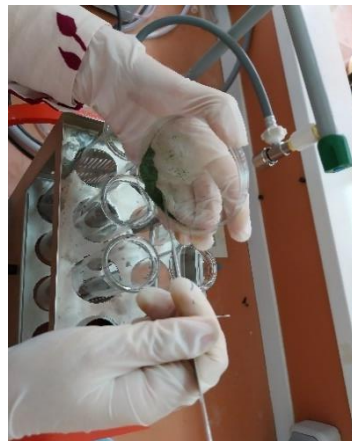
N = normalité de l'acide chloridrique

1,4007 = équivalent en l'azote par ml de HCL 0,1 N

m = masse de l'échantillon.



(a) (b) (c)



(d)



(e)



(f)

- (a) : pesée des échantillon et catalyseurs
- (b) : mettre dans le tube de minéralisation.
- (c) , (d) : ajoute de l'acide sulfurique.
- (e) : distillation.
- (f) : titrage.

Figure 20 : Dosage des protéines ; méthode Kjeldahl (**Photo personnelle, 2024**).

Chapitre II :

Résultats et discussion

II.1 Evolution des paramètres physico-chimiques :

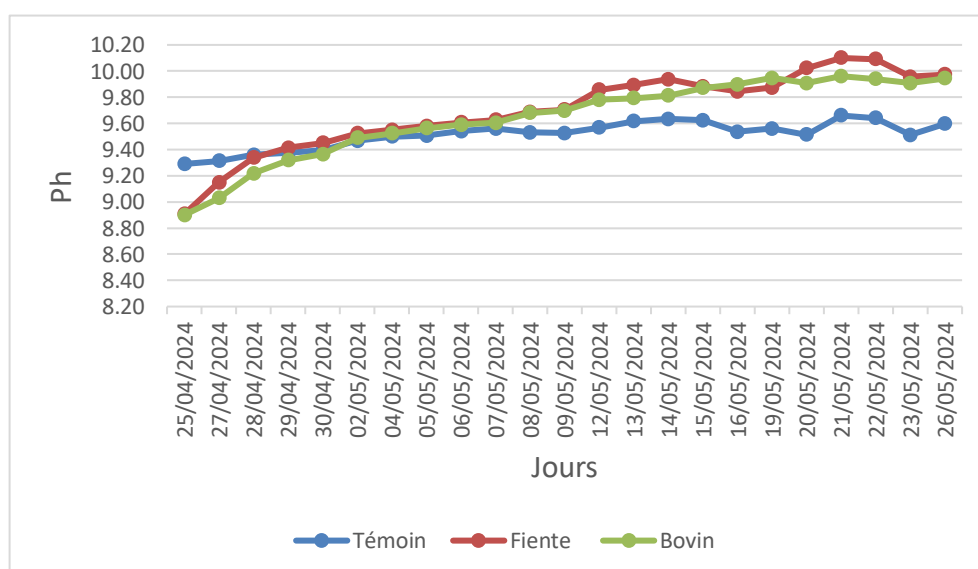
1.1 Evolution de Ph :

Le graphique représente la variation du Ph au fil du temps.

Initialement, le Ph de milieu Témoin au démarrage de l’essai était de 9,29, contre 8,91 et 8,9 dans le milieu de Fientes de volailles et Bosses de bovin respectivement.

Dans le milieu Témoin, une hausse atteignant environ 9.63, le 20^{ème} jour de la culture, après cette date une tendance à la baisse a été notée, un 2^{ème} Pic a été observé avec une valeur de 9,66 le 27^{ème} jour de culture, le Ph fluctue légèrement mais reste globalement dans la moyenne préconisée.

Les substrats à base d'excréments aviaires et de déjections bovines manifestent des niveaux de Ph remarquablement élevés, comparables, et affichent des variations plus rapides et accentuées par rapport au substrat témoin. Le vingtième jour de la culture, le substrat à base d'excréments aviaires atteint un apex de Ph de 9,94, suivi d'un deuxième apex de 10,10 le vingt-septième jour. De manière concomitante, le substrat enrichi en déjections bovines atteint un Ph de 9,96 le même jour.



Graphe 02 : Evolution de Ph dans les milieux de culture (Témoin), (Fiente) et (Bovin).

En effet, l'alcalinité des milieux est propice pour le développement de la spiruline, et pour atteindre le Ph optimal recommandé de 8,5 à 11 (**Jordan, 1999**).

(**Laiche et Bessei, 2009**) recommandent d'augmenter cette alcalinité par l'adjonction de bicarbonate de sodium (NaHCO_3) ou de natron (**Zarrouk, 1966**), (**Jordan, 2006**), (**Saggai, 2008**).

La cyanobactérie a proliféré de manière efficiente dans les trois substrats, induisant une élévation progressive du Ph, corroborant les observations de multiples chercheurs (**Niwootwhangchai et al, 2009**) et cela pourrait s'expliquer par l'enrichissement de ces milieux en intrants qui se portent comme une source de carbone.

Selon (**Doumanji, 2012**), (**Danesi et al, 2004**) et (**Belahcen et al, 2013**) ce phénomène indique une assimilation du dioxyde de carbone (CO_2) par la spiruline au cours de la photosynthèse. Le CO_2 interagit avec les carbonates du milieu ; ainsi, pour chaque molécule de CO_2 fixée, deux ions bicarbonate (HCO_3^-) se dissocient et une molécule de carbonate (CO_3^{2-}) est formée, laquelle est ensuite hydrolysée. Une molécule de bicarbonate et un ion hydroxyle (OH^-) se génèrent de nouveau, induisant une augmentation du Ph observée durant la croissance.

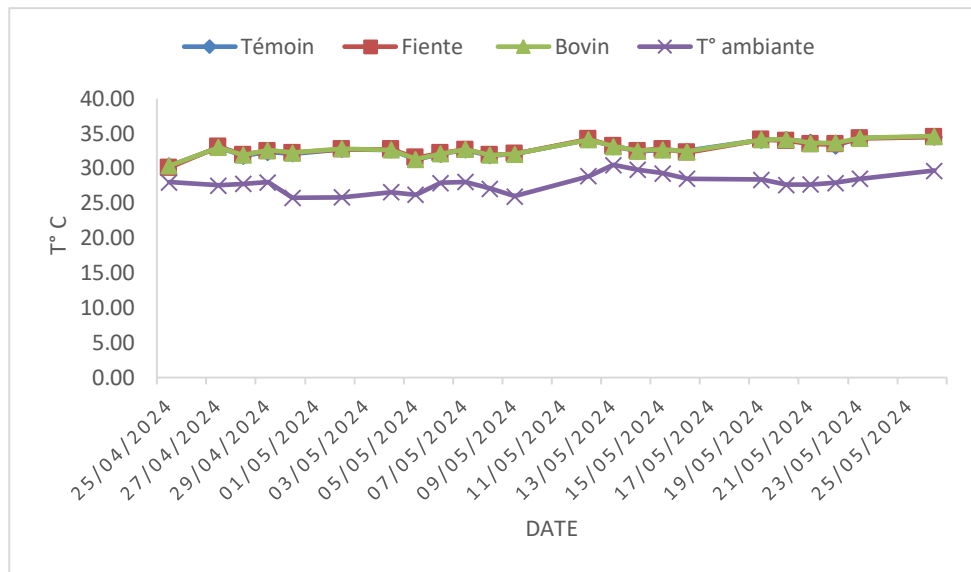
Cette élévation du Ph est un indicateur favorable de l'efficacité photosynthétique de la spiruline au cours de sa croissance (**Sánchez, 2007**), (**Jourdan, 2012**) et (**Kanon A.O.R, 2016**).

1.2 La Température :

Le graphique illustre la dynamique thermique en fonction du temps dans divers substrats de culture de la spiruline, ainsi que la température ambiante.

La température ambiante moyenne durant l'expérience était de 27,9°C.

La température moyenne du substrat de contrôle était de 32,7°C, celle du substrat à base d'excréments aviaires était de 32,81°C, et celle du substrat à base de fèces bovines était de 32,83°C.



Graph 03 : Evolution de la température dans les trois milieux de culture (Témoin), (Fiente) et (Bovin).

La température du milieu de culture exerce une influence déterminante sur le taux de prolifération d'*Arthrospiraplatensis* (Flaquet, 1996). Ce microorganisme thermophile présentant une température de croissance optimale comprise entre 35 et 37 °C (Richmond, 1986), (Saggai, 2008) et (Giorgoset al, 2011). Au cours de notre phase expérimentale, la température minimale enregistrée était de 30,09 °C ; bien que cette valeur soit inférieure à l'optimum thermique de 35 °C requis pour une croissance optimale de la spiruline, elle demeure nettement supérieure au seuil de tolérance minimal de 20 °C défini par (Jordan, 1999).

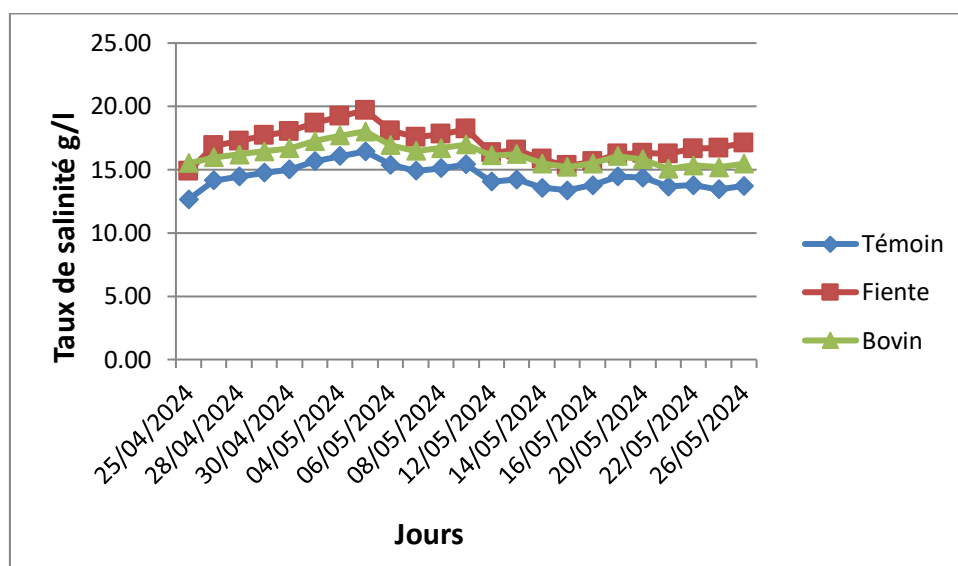
1.3 La salinité :

Le graphe ci-dessous représente la variation du taux de salinité pendant la période de culture de la spiruline.

Le milieu témoin montre une augmentation initiale de salinité puisqu'elle a passé de 12,64g/l jusqu'à 16,44 g/l le 11^{ème} jour de culture. Ensuite, le taux se stabilise avec de légères oscillations jusqu'à la fin de la période expérimentale.

En revanche, Le taux de salinité dans le milieu enrichi en fientes de volailles suit une tendance similaire au début, allant de 14,89 jusqu'à 19,69 g/l le 11ème jour. Après cette date, la salinité présente des fluctuations plus prononcées comparées aux autres milieux, avant de connaître une légère augmentation à la fin de la période d'observation.

Par ailleurs, la courbe de milieu enrichi en bouses de bovin montre une tendance intermédiaire entre le témoin et les fientes. Après une augmentation initiale, le taux de salinité progresse de 15,53 g/l jusqu' à un Pic de 18,03 g/l le 11^{ème} jour. Par la suite, il se stabilise avec de légères fluctuations similaires à celles observés dans le milieu Témoin.



Graphe 04 : Evolution de la salinité dans les milieux de culture (Témoin),(Fiente) et (Bovin).

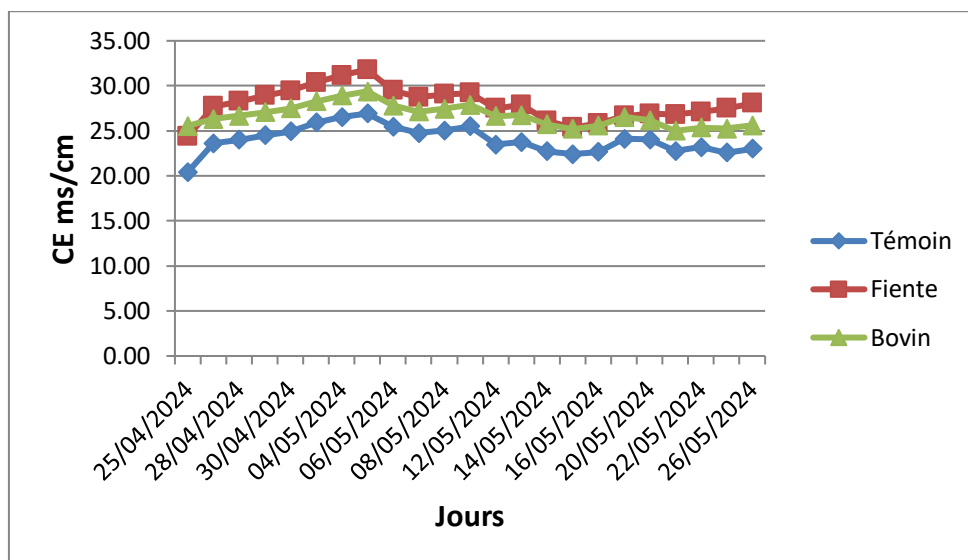
La salinité représente également un facteur abiotique restrictif dans la culture de la spiruline(Saggai, 2008), et elle favorise sa croissance, à condition qu'elle ne dépasse pas la plage optimale de développement, qui est de 30 grammes de sel par litre avec une salinité minimale de 13 grammes de sel par litre comme l'a rapporté (Saggai, 2008). L'accroissement progressif de la salinité dans divers environnements est attribuable à l'évaporation. La variation initiale résulte de la composition chimique des milieux employés. Par la suite, c'est l'évaporation qui provoque l'augmentation de la salinité au cours de l'expérience.

1.3 La conductivité électrique :

La variation de la conductivité électrique (CE) des différentes solutions nutritives utilisées pendant la culture de la spiruline est illustrée dans la figure ci-dessous.

La courbe du milieu témoin affiche une tendance relativement stable avec une légère augmentation, la conductivité est passée de 20,43 ms/cm à 26,92 ms/cm le 11ème jour de la culture

Par ailleurs, le milieu enrichi en fientes de volailles montre des valeurs de CE plus élevées par rapport au témoin soit, une augmentation notable passée de 29,43 ms/cm à 31,81 ms/cm le 11ème jour de culture. Cette évolution est aussi notée dans le milieu de bouses de bovin.



Graph 05 : Evolution de la Conductivité électrique dans les milieux de culture (Témoin), (Fiente) et (Bovin).

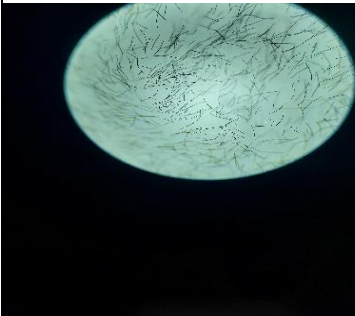

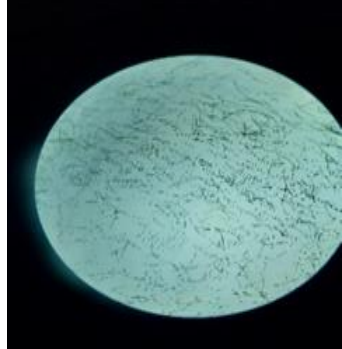



L'analyse de la conductivité ionique offre un aperçu quantitatif d'une solution à transporter une charge électrique. Une conductivité faible témoigne d'une concentration élevée en électrolytes. Par ailleurs, la conductivité est intrinsèquement liée à la thermodynamique de l'eau, augmentant en proportion avec la température. De surcroît, une diminution de la conductivité suggère une assimilation active des minéraux dissous par la spiruline. En effet, lors de l'absorption des minéraux par les microalgues, la concentration en ions libres dans la solution diminue, ce qui entraîne une augmentation de la conductivité électrique (Arief et al, 2008).

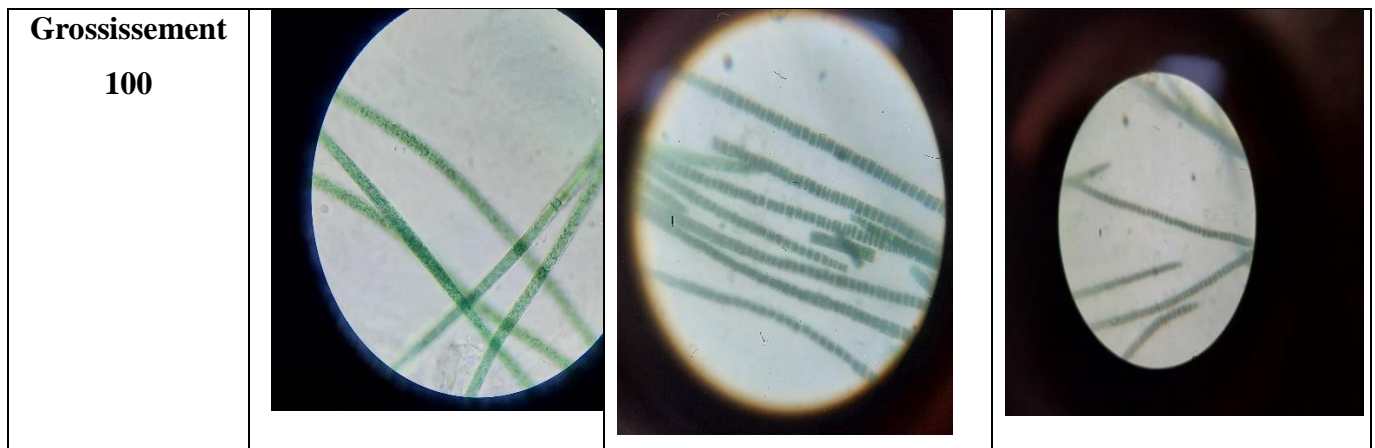
II.2 Etude de la caractérisation spiruline :

2.1 Etude morphologique :

Pour la forme de notre spiruline, au cours de la période expérimentale, nous avons observé et surveillé la morphologie de la spiruline à l'œil nu et au microscope optique.

Tableau 03 : Observations microscopiques (Photo personnelle, 2024).

	Témoin	Fientes Volailles	Bosses bovins
Grossissement 4			
Grossissement 10			



❖ Observations à l'œil nu :

L'examen visuel des milieux de culture représente une technique indispensable pour suivre la progression des cultures (Jourdan, 2012). Cette méthode a permis de détecter divers problèmes potentiels comme la coloration vert pâle, la décoloration de certains milieux, la formation d'agrégats de spirulines (flocs), ainsi que la présence de mousse et de bulles d'air sur les parois des boîtes.

❖ Observation au Microscope optique :

Au laboratoire, l'observation microscopique effectuée durant la période expérimentale nous a permis de monitorer la morphologie et les caractéristiques phénotypiques de la spiruline. Les observations ont été réalisées à l'aide d'un microscope optique à différents grossissements, afin d'évaluer la forme de la spiruline en culture, sa croissance, et de détecter d'éventuelles attaques par d'autres microorganismes ou contaminations.

D'après les images acquises par microscopie optique, la spiruline n'a révélé aucune différence au niveau des différents milieux de culture ; nous pouvons conclure que la morphologie de cette souche est droite.

Pour la couleur :

Le tableau suivant (**Tableau N° 4**) montre les différentes possibilités qui peuvent se produire en observant la couleur du milieu (Goulamabasse, 2018).

Tableau 4: Couleurs du milieu de culture avec leur signification (Goulamabasse, 2018).

Bleu-vert	vert	jaune	Jaune+écume	Jaune grisâtre	incolore
Culture trop ombragée	Culture en bonne santé	Trop forte lumière : photolyse	Lyse+exo polysaccharides	Contamination bactérienne	Culture précipitée ou dévorée par des prédateurs

Selon ce tableau, Une culture vigoureuse est identifiable par une teinte verte intense. Si la culture adopte une coloration jaune, cela signale une exposition à une illumination excessive. Un éclairage excessif, couplé à une teinte jaune et à la présence d'écumes, révèle une lyse cellulaire. Une coloration jaune-gris ou transparente indique la présence de microorganismes délétères pour la spiruline (**Goulambasse, 2018**).

- D'après les observations quotidiennes des boîtes, la couleur de la culture était verte dans les différentes boîtes et nous n'avons constaté aucun changement de couleur tout au long de l'expérimentation.

2.2 Mesure de la densité optique à 560 nm :

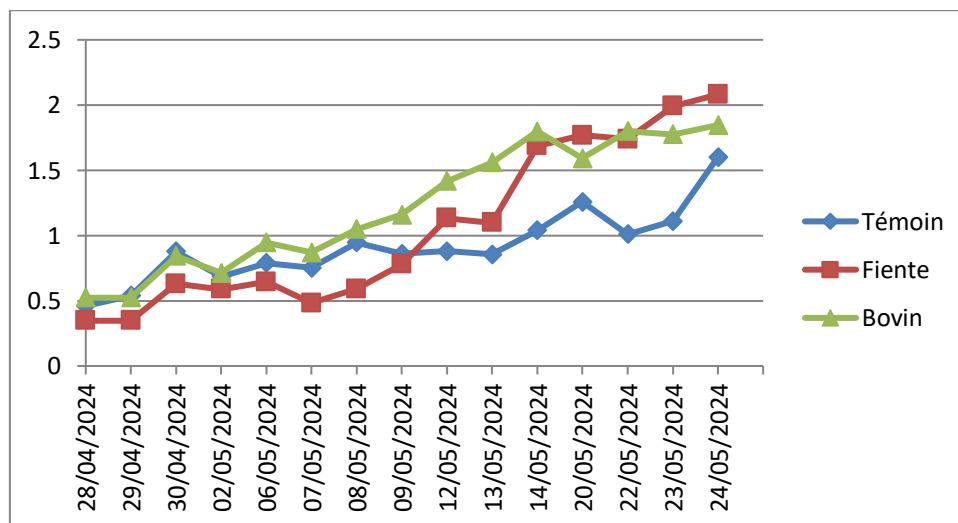
La densité optique de la culture de spiruline observée dans trois milieux différents en utilisant un spectrophotomètre à une longueur d'onde de 560 nm au cours de la période de l'expérimentation explique les taux de croissance de la spiruline.

Il est observé que les cellules de spiruline subissent une phase de latence nécessaire pour s'ajuster et s'acclimater à leurs nouveaux environnements nutritifs (**A, Richmond, 2004**). En conséquence, leur prolifération est limitée dans les trois milieux pendant une période de six jours, particulièrement notable dans le milieu enrichi en excréments aviaires. Passé cette phase, une croissance exponentielle se manifeste, caractérisée par une augmentation significative de la prolifération cellulaire.

Durant cette période, les cellules accumulent une quantité suffisante de composés intracellulaires et répliquent leur matériel génétique. La population cellulaire commence alors à croître par reproduction végétative, où chaque cellule se divise en deux cellules filles identiques, chacune contenant la moitié du contenu de la cellule mère, qui à leur tour se diviseront de manière similaire (**Laroisière, 2014**).

Le milieu témoin affiche une croissance progressive et régulière de la spiruline indiquant une fourniture nutritive adéquate mais modérée par rapport au milieu enrichi en fientes de volaille qui permet une croissance beaucoup plus rapide soit ce milieu est très riche en nutriments tels que l'azote et le phosphore. Enfin, le milieu enrichi en bouses de bovin, montre au début une forte croissance continue mais elle régresse à partir de 26-eme jour par rapport au milieu à base des fientes de volailles.

(Boniface et al, 2023)et(Arumugam et al, 2020) ont signalé la même tendance de croissance des algues lors de l'amélioration de la croissance d'espèces de microalgues suggérant que les nutriments organiques favorisent une meilleure croissance des microalgues que les nutriments inorganiques. Les légères fluctuations de la croissance observées dans les trois substrats peuvent être attribuées à une diminution de la disponibilité des nutriments essentiels pour la spiruline. Cela pourrait également être dû à une quantité insuffisante d'azote ajoutée dans le cas du substrat témoin.



Graph 06 : Evolution de la densité optique dans les milieux de culture (Témoin),(Fiente) et (Bovin).

II.3 Rendement en biomasse :

Le (Tableau 5) montre que le rendement en spiruline dans le milieu à base de fientes de volaille a donné 1,588g ; qui est significativement supérieure à celui de témoin et milieu à base de bouses de bovin avec des valeurs de 1,054 g et 0,851g respectivement.

Selon (Golub, 2013), l'augmentation notable de la biomasse observée avec l'utilisation d'extraits de fientes de volailles peut être attribuée à l'émergence d'une culture mixotrophe. Les fientes fournissent des quantités suffisantes de nutriments organiques, tandis que le carbone inorganique est introduit sous forme de CO₂. La biomasse de *Spirulina platensis* montre une corrélation positive avec la disponibilité des nutriments dans le milieu de culture, en accord avec les résultats de l'étude de (Holanda et al, 2020). Une teneur élevée en nutriments favorise une augmentation significative de la biomasse, due à une absorption accrue des nutriments par *S. platensis*. (Nogueira et coll, 2018) ont également constaté que la production de *S. platensis* s'intensifie avec une concentration accrue en azote dans le milieu de culture

Tableau 05 : Rendement en de spiruline des milieux (Témoin), (Fiente) et (Bovin).

Milieu	Biomasse fraîche (g)	Biomasse sèche (g)
Témoin	19,811	1,054
Fientes de Volaille	18,467	1,588
Bouses de bovin	11,899	0,851

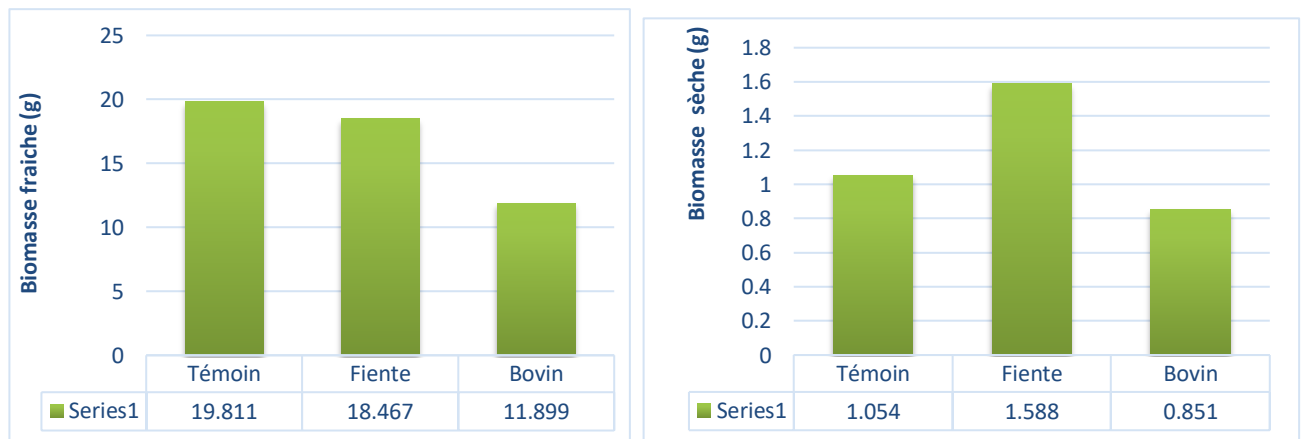


Figure21 : Rendement en spiruline dans les milieux (Témoin) ,(Fiente) et (Bovin).

(biomasses fraîche) et (biomasses séches)

II.3 Teneur en protéine :

La teneur en protéine est trouvée de 28,75% pour le milieu enrichi en fientes de volailles, 28% pour le milieu témoin et dernièrement 27,12 % en milieu à base de bousesbovines ; Ces valeurs se révèlent inférieures à celles rapportées par (**Jourdan, 1999**) qui se situent entre 60 et 70 % du poids sec. Cette divergence pourrait s'expliquer par les différences dans les procédés de culture, le timing de la récolte, les techniques de déshydratation et les conditions de préservation des échantillons (**Falquet, 2006**), (**Lounici, 2010**). Elle pourrait également être attribuée à la concentration en azote dans le milieu de culture, comme le suggèrent (**Thepparath et al, 2009**). Par ailleurs, la teneur en protéines de *Spirulina platensis* croît proportionnellement à la disponibilité des éléments nutritifs dans le milieu de culture (**Shanthi et al. 2021**).

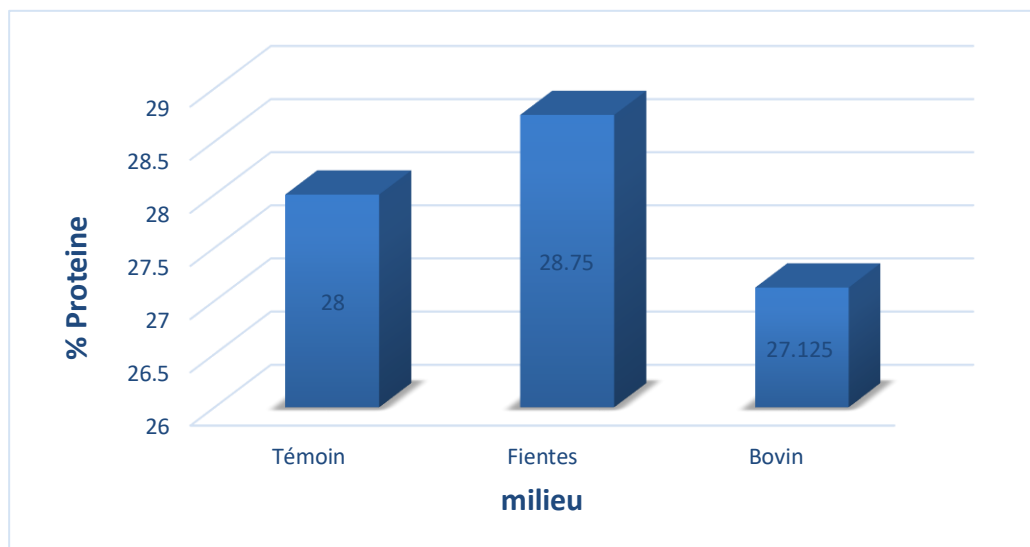


Figure 22 : Taux de protéines de la spiruline issus de milieu (Témoin), (Fientes) et (Bovin).

Conclusion

Conclusion

La spiruline (*Arthrospira platensis*), est une cyanobactérie qui a une composition chimique riche en différents constituants, une source complète de protéines, lipides, glucides, vitamine et minéraux, elle a des propriétés anti-inflammatoires et antioxydants

La production de la spiruline utilise largement moins de surface, moins d'eau, est une activité agricole permettant de réduire la déforestation, sa culture peut potentiellement offrir un élément de réponse au problème de changement climatique grâce à sa capacité d'atténuation par réduction et/ou élimination d'un volume important des émissions mondiales de gaz à effet de serre (**Ramiandrisoa et al, 2023**).

Notre étude a pour objectif d'optimiser une meilleure condition de culture pour pouvoir déterminer les réelles potentialités de croissance de la spiruline.

Trois formules d'intrants différentes avec trois répétitions ont été utilisés afin de visualiser la différence de performance de croissance de culture de spiruline (milieu Saggai,2008) (Fientes de volaille) et (Bosses de bovin). Les paramètres physico-chimiques à considérer pour sa croissance sont les suivants : Ph, température, salinité et conductivité électrique.

D'après les photos de microscope optique nous pouvons conclure que la forme de notre souche est droite, une culture en bonne santé qui est de couleur verte.

D'après cette étude, le milieu enrichi en fientes de volailles est plus efficace par rapport aux autres milieux, l'adaptation de la culture de spiruline dans ce milieu est fiable, avec un rendement en biomasse de 1,588g ; le milieu témoin de 1,054g et milieu à base de bouses de bovin de 0,851 g.

L'analyse de dosage des protéines n'a pas révélé une différence significative entre les trois milieux, la spiruline de milieu enrichi en fientes de volaille présente un taux de protéine de 28,75 %, de milieu témoin 28 % et celle de Bouses de bovin 27,12 %.

A la lumière de ce travail, nous pouvons conclure quelques recommandations qui sont cruciale pour le bon déroulement de la culture :

- Un éclairage suffisant, une bonne agitation et un Ph alcalin stable favorisent la croissance de la spiruline.
- Une température supérieure à 20°C et inférieure à 37°C permet une bonne vitesse de croissance.
- Optimisation de conditions ainsi le moment de récolte de la biomasse en utilisant des équipements (gants, blouses ...).

Conclusion

- Amélioration de mode de séchage et conservation des échantillons.

Compte tenu de ses résultats obtenus, notre travail reste préliminaire et il semble qu'il soit très utile de poursuivre cette étude tout en abordant dans le futur différents axe et valoriser d'autres substrats pour la culture de spiruline afin d'approfondir la recherche scientifique. Nous envisageons à :

- Approfondir la recherche sur les méthodes et les technologies innovantes pour améliorer la productivité et l'efficacité de la culture de spiruline dans des milieux à base de déchets organiques.
- Examiner les possibilités de valorisation des sous-produits de la culture de spiruline, tels que les résidus de culture pour d'autres applications potentielles comme les engrais organiques, les additifs alimentaires ou les biocarburants.
- Investiguer les possibilités d'intégration de la spiruline cultivée dans des milieux à base de déchets organiques dans les programmes de nutrition communautaire, notamment pour lutter contre la malnutrition et améliorer la sécurité alimentaire.
- Poursuivre les recherches sur l'empreinte environnementale de la culture de spiruline dans ces milieux spécifiques, en particulier en comparaison avec les pratiques agricoles traditionnelles et l'élevage intensif.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

A

Anonyme 1 (www.planet-durable.com)

Anonyme 2 :www.sud-spiruline.com/content/9-culture-spiruline

B

Balloni W, Tomaselli L, Giovannetti L, Margheri MC (1980): Biologiafondamentale Del genere Spirulina. In: Materassi R (ed) ProspettivedelaColturaMassiva di Spirulina in Italia. CNR Rome, pp 49–85.

Becker, et al. (1986). Clinical and biochemical evaluations of spirulina with regard to its application in the treatment of obesity. Inst. Chem. Pfan in Nutrition Reports Int'l, Vol. 33, No. 4, pg 565. Germany

Bellahcen O., Bouchabchoub A., Massoui M. & EL Yachioi M.(2013). Culture et production de Spiruline platensis dans les eaux usées domestiques.

Bergendi L, Benes L, Durackova Z, and Ferencik M. (1999) “chemistry physiology and pathology of free radicals “ life Sci, 65:1865-1874

Bluuel, cl.C.,1973:LesAlgues en Alimentation animale Th ('se : \léd. Vét. : Toulouse: 1977 :7

Borchers AT, Belay A, Keen CL, Gershwin ME (2007) *Spirulina and Immunity InSpirulina in HumanNutrition and Health*. Gershwin &Belay (ed.), CRC Press: 177-193.

BOUDJEMA ZAHIA , GUENFUOD SARRA, 2015 : Caractérisation phénotypique de spiruline et étude l'effet de l'intensité lumineuse sur la croissance d'une cyanobactérie *Arthrospiraplatensis*.

C

Casal , 2019 aliment idéal et le plus complet de demain , site web , récupéré sur www.spirulinefrance.fr

Charpy L., L.M.J., Alliod R., La Spiruline peut-elle être un atout pour la santé et le développement en Afrique? . Institut de Recherche pour le Développement. Marseille. Rapport d'expertise pour le Ministère de l'Agriculture et de la Pêche, 2008: p. P. 49

Références bibliographiques

Chopra K, Bishnoi M , (2007) “ antioxydant profile of spirulina “ : a Blue-green Microalga in spirulina In Gershwin & Belay (ed) spirulina . Human Nutrition and Health.

Ciferri, O., *Spirulina, the edible microorganism. Microbiol. Rev.* 47:551-578.
Cordella, I. Moussa, A.C. Martel, N. Sbirrazzuoli and L. Lizzani-Cuvelier, *Recent developments in food characterization and adulteration detection: Technique oriented perspectives.*, Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1983. **50** (7): p. 1751-1764.

Cruchot H, 2008. La Spiruline, Bilan et Perspective. Thèse docteur en pharmacie. Université de France-Comite.

D

Danesi, E.D.G, Rangel-Yagui C.O, Carvalho J.C.M. and Sato S., 2004. Effect of reducing the light intensity on the growth and production of chlorophyll by *Spirulina platensis*. *Biomass and Bioenergy*: 329-335.

Dargent L. *Spirulina platensis* et ses constituants intérêts nutritionnels et activités thérapeutiques. 175p Thèse disponible sur:
http://docnum.univlorraine.fr/public/SCDPHA_T_2009_LAURENT-DARGENT_JONATHAN.pdf
(dernière consultation mars 2016)

Devi M. A., Venkataraman L.V. (1983). Hypocholesterolemic effect of blue-green algae spirulina in albino rats in Nutrition Reports Int'l, 28:519-530. India.

DJAGHOUBI, A .(2013) Impact de la salinité des eaux de la région de Ouargla sur le comportement de Spiruline "Arthrospiraplatensis"

DOUMANDJI A., BOUTEKRABT L., SAIDI N., DOUMANDJI S., HAMEROUCH D. & HAOUARI S. (2012). Etude de l'impact de l'incorporation de la spiruline sur les propriétés nutritionnelles, technologiques et organoleptiques du couscous artisanal.

Dupire J. 2011. La spiruline un super aliment. 1 vol. 151 p.

Durand-Chastel H. ,(1993) La Spiruline, algue de vie. *Bull. Inst. Océanog.* Monaco, n° special12 : 7-11

Références bibliographiques

E

E. M. Gaydou, « Les constituants alimentaires des cyanobactéries », présenté à Colloque International sur les cyanobactéries pour la santé, la science et le développement, Ile des Embiez var, France, 2004, p. 13.

F

Falquet J, Hurni JP (2006)*Spiruline, Aspects Nutritionnels*. Antenna Technologies, Genève. 41 p.

(<http://www.antenna.ch/recherche/malnutrition/aspects-nutritionnels/>)

Fernandes da Silva , M ., Alberto caszza, A., francescoferrari , P., Perego , P., PedrosaBezerra , R ., Converti, A . et Figueiredo Porto, A.L. (2016) . A new bioenergetic and thermodynamic approach to batch photoautotrophic growth of arthrospira(Spirulina) plantensis in different photobioreactors and under different light conditions . bioresource technology (enligne) , v 207.220-228

Fox R , D 1999 ., « spiruline : technique pratique et promesse » , Aix en provence : Edi . sud, (1999), 246p.

G

Girardin-Andréani C. (2005). Spiruline : système sanguin, système immunitaire et cancer. *Phytothérapie*;4: p. 158-161

Goulamabasse Tessine Raza (2018) : la spiruline : activitestherapeutiques et son interet dans la lutte contre la malnutrition a Madagascar

Golub Natalia et Levtoun Igor, 2021 : Microalgae Cultivation on PoultryDroppingsExtract for Biodiesel Production,University of León.

H

Habib MAB. (2008) A review on culture, production and use of *Spirulina* as food for humans and feeds for domestic animals and fish. 33 p Disponible sur <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/011/i0424e/i0424e00.pdf> (dernière consultation mars 2016)

Hayakawa Y, Hirashima Y, Yamamoto H, Kurimoto M, Hayashi T, Lee J-B, Endo S (2003)*Mechanism of*

Références bibliographiques

activation of heparin cofactor II by calcium spirulan. Archives of Biochemistry and Biophysics 416: 47-52

Hayashi K, Hayashi T, Morita N, Kojima I (1993) *An extract from Spirulina platensis is a selective inhibitor of herpes simplex virus type 1 penetration into HeLa cells.* Phytotherapy Research 7: 76-80.

Hayashi T, Hayashi K, Maeda M, Kojima I (1996) *Calcium spirulan, an inhibitor of enveloped virus replication, from a blue-green alga Spirulina platensis.* Journal of Natural Products 59: 83-87

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1766730517301523>

I

Ingrid C. et Martin W. (1999) Toxic Cyanobacteria in Water: A guide to their public health consequences, monitoring and management. London: E & FN Spon; 1999.

Iwata, et al. (1990). Effects of spirulina on plasma lipoprotein lipase activity in rats in Journal Nutr. Sci. Vitaminol, 36:165-171. Japan

J

Jacquet J .,1976 . Microflore des preparations de spirulines .ann.Nutr.Alim.,29,589-601.

Jarisoa T., 2005. Adaptation de spiruline du sud de Madagascar à la culture en eau de mer, Mise au point de structures de production à l'échelle villageoise. Thèse doctorat en Es Sciences en Océanologie Appliquée. Université de Toliara

Jean-Marie Bard a,b,c : La spiruline, source de nutriments et aliment fonctionnel

Jourdan , 2006 ; manuel de culture artisanale pour la production de spiruline

Jourdan J., 2012. Cultivez votre spiruline. Manuel de culture artisanale, AntennaTechnology. Genève, Suisse,

V.jeyanthi Kumari, 2020 BIODIGESTED POULTRY DROPPINGS AND COW DUNG AS SUBSTRATUM FOR BLUE GREEN ALGAE - A DIETARY SUPPLEMENT

Références bibliographiques

K

Kanon A. O. R.2, Seu-Anoi N. M.2, Ouattara,Kouassi B. A. T.(2016) Etude comparative de deux types d'eau pour la culture de la spiruline ARTHROSPIRA PLATENSIS.

Kim C J ., Yoon , S. K., Kim,H.I.,Park , Y.H&Oh,H.M(2006) effect of Spirulina Platensis and probiotics as food additives on growth of shrimp *Penaeus chinensis* . journal of microbiology and biotechnology , 16,1248-1254 .

König, (2007): Les algues : première lignée végétale. Disponible sur : <http://www.futura-sciences.com/planete/dossiers/botanique-alguesvegetauxaquatiques-523/> publié en 2005 modifié en 2015

KomlanAigninoun ABLEDE et al ,2020 : Solubilisation des phosphate naturels par compostage à base des déchets animaux pour leur utilisation efficace en agriculture

L

Lobner M, Walsted A, Larsen R, Bendtzen K, Nielsen CH (2008) *Enhancement of Human Adaptive Immune Responses by Administration of a High-Molecular-Weight Polysaccharide Extract from the Cyanobacterium Arthrospira platensis*. Journal of Medicinal Food 11: 313-322.

Louvel, S (2019). La spiruline : interets humanitaires et therapeutiques. These de doctorat. Marseille faculté de pharmacie

M

Manet A. (2016) : La spiruline : *Indications Thérapeutiques, Risques Sanitaires et Conseils à l'Officine*. Thèse présentée pour l'obtention du titre de Docteur en pharmacie, Diplôme d'état, Université Grenoble Alpes, Faculté de Pharmacie de Grenoble

Morgan proy(2019) : la spiruline et son utilisation a l'officine

Mariana Holanda, Camila Besold, Ferran Llario Sempere, Paulo César Abreu,2020 : Treatment of effluents from marine shrimp culture with biofloc technology: Production of *Arthrospira (Spirulina) platensis* (cyanobacteria) and nutrient removal

Références bibliographiques

O

Otleş S, Pire R. (2001) Fatty acid composition of *Chlorella* and *Spirulina* microalgae species. *J AOAC Int.* **84**: 1708-14

P

Pascaud M (1993) *The essential polyunsaturated fatty acids of Spirulina and our immune response.* Bulletin de l'Institut Océanographique 12: 49-57

Q

Quillet M (1975) *Recherches sur les substances glucidiques élaborées par les spirulines.* Annales de la nutrition et de l'alimentation 29: 553-561.

Qureshi MA, Garlich JD, Kidd MT (1996) *Dietary Spirulina platensis enhances humoral and cell-mediated immune functions in chickens.* Immunopharmacology and Immunotoxicology 18: 465-476.

R

Richmond A., 1986. Microalgae of economic potentials. In Richmond, A. (ed.) Handbook of algal mass culture, CRC Press, Florida

Rongead Gneclle Mahi Alain (2015) : Utilisation des normes qualités comme outils de pérennisation des fermes de spiruline dans les pays en voie de développement

RymaLaifa (2022) : Performances techniques et environnementales d'un photobioréacteur pour la production solaire de la Spiruline

S

Références bibliographiques

Scheldeman P, Baurand D, Bouhy R, Scott M, Belay A, Wilmotte A. et al Arthrospira (Spirulina) strains from four continents are resolved into only two clusters, based on amplified ribosomal DNA restriction analysis of the internally transcribed spacer

Shanthi a, M. Premalatha a, N. Anantharaman ,(2021) : Potential utilization of fish waste for the sustainable production of microalgae rich in renewable protein and phycocyanin- Arthrospira platensis/Spirulina

Sara Monaliza Sousa Nogueira, José Souza Junior, Hudson Damasceno Maia, Jefferson Pablo Sousa Saboya (2018) :Use of Spirulina platensis in treatment of fish farming wastewater

Schwartz, J. et Shklar, G. (1987). Regression of experimental hamster cancer by beta-carotene and algae extracts. J. Oral. Maxillofac. Surg. Vol. 45(6).

Seggai A, 2008. Comptabilité des eaux des nappes de la région de Ouargla pour la culture de la Spiruline Arthrospiraplatensis (souche de Tamanrasset). Thèse de Magistère. Université d'Ouargla.

Setyaningsih, I., Sari, N. I., Tarman, K., Manurung, N., & Safithri, M. (2020, January). In vitro evaluation of face mask containing extract and biomass of Spirulina platensis and its antibacterial activity. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 404, No. 1, p. 012054). IOP Publishing

Sguera, S (2008). Spirulinaplatensis et ses constituants intérêts nutritionnels et activités thérapeutiques. Thèse docteur en pharmacie. Faculté de pharmacie. Université de France Comite

Shekharam KM, Venkataraman LV, Salimath PV (1987) *Carbohydrate Composition and Characterization of Two Unusual Sugars from the Blue Green Alga Spirulina Platensis*. Phytochemistry 26: 2267-2269.

Shizhong Liang, X.L., Feng Chen & Zijian Chen, Current microalgal health food R & D activities in China. Hydrobiologia, 2004. 512(1-3): p. 45-48.

Références bibliographiques

M.A. Satter, Maisha F. Orpa, M. Ahsan B. Habib, 2021 :Smart Production of Lipids as Bio Fuel in *Spirulina Platensis* (=Arthrospira Fusiformis), and Bio-Oxygen and Bio-Electricity in Media Cultured in Supernatant of Digested Poultry Waste.

T

Takai et al. (1991). Effect of water soluble and water insoluble fractions of spirulina over serum lipids and glucose resistance of rats in J. Japan Soc. Nutr. Food Science, 44:273-277.

V

Vonshak A., 1997. *Spirulina platensis (Arthrospira): Physiology, cell-biology and Biotechnology.* Taylor & Francis, Negev, Israel. Ed. Avigad Vonshak. p 233

Y

Yamamoto C, Nakamura A, Shimada S, Kaji T, Lee JB, Hayashi T (2003)*Differential effects of sodium spirulan on the secretion of fibrinolytic proteins from vascular endothelial cells: Enhancement of plasminogen activator activity.* Journal of Health Science 49: 405-409.

Z

Zarrouk C., (1966), Contribution à l'étude d'une cyanophycée. Influence de divers facteurs physiques et chimiques sur la connaissance et la photosynthèse de *Spirulina maxima*. Thèse de doctorat, Paris.