

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République algérienne démocratique et populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique
جامعة عين تموشنت بلحاج بوشعيب
Université –Ain Temouchent- Belhadj Bouchaib
Faculté des Sciences et de Technologie
Département d'Agroalimentaire



Projet de Fin d'Etudes
Pour l'obtention du diplôme de Master
Filière : Sciences Alimentaires
Spécialité : Agroalimentaire et Contrôle de qualité

Production et valorisation De la Spiruline

Présenté Par :

1/ HAMZA CHERIF Nassim
2/ ZENAGUI Walid

Devant le jury composé de :

Mr.KHALFA Ali.	MCA	U.Ain Témouchent	Président
Mme.ZITOUNI Amel	MCB	U.Ain Témouchent	Examinatrice
Mr.LARBI DOUKARA kamel	MCA	U.Ain Témouchent	Encadrant

Année Universitaire 2023/2024

Remerciement

On remercie dieu le tout puissant de nous avoir donné la santé et la volonté d'entamer et de terminer ce mémoire.

Tout d'abord, ce travail ne serait pas aussi riche et n'aurait pas pu avoir le jour sans l'aide de l'encadrement de Mr. LARBI DOUKARA Kamel, on le remercie pour la qualité de son encadrement exceptionnel, pour sa patience, sa rigueur et sa disponibilité durant notre préparation de ce mémoire.

Nos remerciements s'adressent également les membres de jurys Mr KHALFA Ali, Mme ZITOUNI Amel et à tous nos professeurs pour leurs générosités et la grande patience dont ils ont su faire preuve malgré leurs charges académiques et professionnelles.

*****Dédicace*****

Je dédie ce Mémoire à Nos parents pour leur soutien indéfectible et leur amour inconditionnel tout au long de notre parcours académique et professionnel.



Leur confiance en nous a été une source de motivation pour atteindre nos objectifs et réussirent cette étape importante de notre vie.

HAMZA CHERIF Nassir

ZENAGUI Walid

الملخص:

سبيرولينا هي بكتيريا زرقاء اللون، وغالباً ما تسمى الطحالب الخضراء المزرققة، وهي مطلوبة لفوائدها الغذائية والعلاجية العديدة. تستخدم كمكمل غذائي، فهي غنية بالبروتينات والفيتامينات والمعادن. يعتمد هدف عمانا على تربية بكتيريا السبيرولينا التي تتطلب ظروفاً محددة من درجات الحرارة ودرجة الحموضة والضوء والمياه العذبة والمغذيات الأساسية، ويتم دمجها مع الجبن الطازج مما يسمح بالجمع بين الفوائد الغذائية لهذه البكتيريا الزرقاء مع النكهة اللذيذة للجبن. تمكنا من زراعة سبيرولينا عضوي وصنعنا جبنة طازجة للظلي على أساس سبيرولينا. يوفر هذا المنتج الغذائي خياراً للدواقة مع فوائد صحية، وقد تم تقييمه من حيث الخصائص الحسية ووجد أنه مقبول من قبل المتذوقين.

❖ الكلمات المفتاحية:

سبيرولينا، مكمل غذائي، بكتيريا زرقاء اللون، تربية طحالب السبيرولينا، جبن طازج، الصحة.

Résumé :

La Spiruline est une cyanobactérie, souvent appelée algue (bleus-verte), qui est demandée pour ses nombreux bienfaits nutritionnels et thérapeutiques. Utilisée comme complément alimentaire, elle est riche en protéines, vitamines et minéraux.

L'objectif de notre travail est basé sur la culture de la Spiruline qui nécessite des conditions spécifiques températures, pH, lumière, l'eau douce, et les nutriments essentiels, et l'intégré au fromage frais qui permet à combiné les bienfaits nutritionnels de cette cyanobactérie avec la saveur délicieuse du fromage.

On a réussi de cultivé une Spiruline Bio et fabriqué un Fromage frais a tartiné a base de cette Spiruline.

Ce produit alimentaire offre une option gourmande et bénéfique pour la santé, on a évalué ce produit alimentaire sur la caractéristique sensorielle et on a obtenu un résultat acceptable par les dégustateurs.

❖ Mots clés :

Spiruline, Complément alimentaire, cyanobactérie, la culture de la spiruline, fromage frais, santé.

Abstract :

Spirulina is a cyanobacterium, often referred to as blue-green algae, which is in demand for its many nutritional and therapeutic benefits. Used as a dietary supplement, it is rich in proteins, vitamins and minerals.

The objective of our work is based on the cultivation of Spirulina which requires specific conditions of temperature, pH, light, fresh water, and essential nutrients, and is integrated with fresh cheese which allows us to combine the nutritional benefits of this cyanobacteria with the delicate flavor of cheese.

We have succeeded in growing organic Spirulina and making a fresh cheese spread from it.

This food product offers a gourmet option with health benefits, and was evaluated on sensory characteristics and found acceptable by tasters.

❖ Key words:

Spirulina, food supplement, cyanobacteria, spirulina cultivation, freshcheese, health.

Liste d'abréviation :

Um	<ul style="list-style-type: none">▪ Micro metre
U	<ul style="list-style-type: none">▪ Unité de masse
Ph	<ul style="list-style-type: none">▪ Potentiel hydrogène
SOD	<ul style="list-style-type: none">▪ Superoxyde dismutase (enzyme)

Glossaire

Tecuitlatl	<ul style="list-style-type: none">▪ Le nom de la Spiruline utilisé par les aztèque
Aztèques	<ul style="list-style-type: none">▪ Ancien peuple du Mexique
Kanembou	<ul style="list-style-type: none">▪ Ancien peuple du Tchad
Rétrécis	<ul style="list-style-type: none">▪ Réduction de taille
Nécrie	<ul style="list-style-type: none">▪ Qui provoque la scission du trichome en deux
Hormogènes	<ul style="list-style-type: none">▪ Qui se détache pour donner un nouvel individu
Scissiparité	<ul style="list-style-type: none">▪ Partage en 2 cellules
Pigment	<ul style="list-style-type: none">▪ Substance chimique colorante
Ruminant	<ul style="list-style-type: none">▪ Groupe de mammifères herbivores qui possèdent un système digestif unique
Codex Stan	<ul style="list-style-type: none">▪ Ensemble de normes alimentaire internationales

Liste des matières

Table des matières :

Liste des figures :

Figure 1 : Photo d'une femme kanembou " écrémant " la Spiruline de la surface du Lac Rombou	3
Figure 2 : Cycle biologique de la Spiruline selon.....	4
Figure 3 : Composition Chimique de la Spiruline	7
Figure 4 : Diagramme de formulation du fromage frais.....	15
Figure 5 : Ecole de formation technique de pêche et d'aquaculture Beni Saf Ain Temouchent.....	18
Figure 6 : Filament d'Arthrospira platensis observé par microscope.....	19
Figure 7 : La souche de Spiruline.....	19
Figure 8 : Questionnaire sur l'incorporation de la Spiruline au fromage.....	20
Figure 9 : pH mètre pour mesure le ph d'une solution.....	22
Figure 10: Disque de Secchi.....	23
Figure 11 : Tissu de tamisage.....	23
Figure 12 : Spiruline poudre.....	24
Figure 13 : Mixer le lait avec la Spiruline.....	25
Figure 14 : Fromage frais à la Spiruline.....	25
Figure 15 : 10 litres de milieu de culture.....	28
Figure 16 : Spiruline liquide.....	28
Figure 17 : pH de milieu de culture.....	28
Figure 18 : Spiruline sèche en poudre.....	28
Figure 19 : Questionnaire rempli.....	29
Figure 20: Evaluation de couleur de fromage avec la Spiruline.....	30
Figure 21 : Evaluation de la texture de fromage avec la Spiruline.....	31
Figure 22 : Evaluation d'arôme de fromage avec la Spiruline.....	31
Figure 23 : Evaluation de présentation de Fromage avec la Spiruline.....	32
Figure 24 : Evaluation d'apparence après avoir goûté.....	32
Figure 25 : Evaluation d'arôme après avoir goûté.....	33
Figure 26 : Evaluation de la texture âpre avoir goûté.....	33
Figure 27 : Evaluation de gout de fromage a la Spiruline.....	34
Figure 28: Evaluation sur l'harmonie entre la Spiruline et le fromage.....	34

Table des matières

Liste des tableaux :

Tableau 1: Composition moyenne globale de la Spiruline	12
Tableau 2 : Composition moyenne pour 100 g de fromage frais	16
Tableau 3 : Produits ajouté pour une culture de 10 litre de milieu de culture	21
Tableau4 : milieu d'enrichissement de la Spiruline pour un milieu de culture de 10 litres.....	22
Tableau 5 : L'évaluation organoleptique de produit (avant de goûter le fromage à la Spiruline).....	30
Tableau 6 : L'évaluation organoleptique de produit (après avoir goûté le fromage a la Spiruline).....	30

Liste des annexes :

Annexe 1 : Matériel de culture.....	43
Annexe 2 :Produits ajouté au milieu de culture + balance.....	44
Annexe 3 :Spiruline vue microscopique.....	45
Annexe 4 :Milieu de culture.....	46
Annexe 5 :Tamis en tissu pour la récolte.....	47
Annexe 6 :Analyse organoleptique a l'école de pêche Beni saf.....	48

Sommaire:

Remerciement.

Dédicace.

Résumé.

Liste d'abréviation.

Glossaire

Table des matières.

Liste des figures.

Liste des tableaux.

Liste des annexes.

Sommaire.

Introduction : 1

Chapitre I: Recherche Bibliographie

I. La Spiruline: 3

1. Histoire : 3

2. Définition et principales caractéristiques : 3

2.1. Taxonomie : 4

2.2. La Reproduction : 4

2.3. Composition et valeur nutritionnelle : 4

2.3.1. Les Protéines : 4

2.3.2. Les glucides : 5

2.3.3. Les lipides : 5

2.3.4. Les vitamines : 5

2.3.5. Les minéraux : 5

2.3.6. Les Enzymes : 6

Table des matières

2.3.7. Les Pigments :	6
2.3.8. Les Fibres :	7
3. Culture de la Spiruline :	7
3.1. Condition de la culture :	7
3.1.1. Température :	8
3.1.2. La lumière :	8
3.1.3. Le pH :	8
3.2. Milieu de Culture :	8
3.2.1. L'eau :	8
3.2.2. Les Eléments nutritif :	8
3.3. Techniques de culture :	9
3.3.1. Ensemencement :	9
3.3.2. Agitation :	9
3.3.3. Ombrage :	9
3.3.4. Mesure de la concentration d'une culture de Spiruline :	9
3.3.5. Récolte :	10
3.3.6. Filtration :	10
3.3.7. Séchage :	10
3.3.8. Broyage :	11
4. Utilisation et importance de la Spiruline :	11
4.1. Alimentation humaine :	11
4.1.2. Santé :	11
4.2. Alimentation des animaux :	12
4.2.1. Complément alimentaire :	12
4.2.2. Favoriser la croissance et la fertilité :	12
4.2.3. Renforcer les défenses immunitaires :	12

Table des matières

4.3. Toxicité :	12
5. Aspects nutritionnelle :	12
II. Le fromage :	13
1. Historique :	13
2. Généralité sur le fromage :	13
3. Composition du fromage :	14
4. Classification du fromage :	14
4.1. Fromage à pâte pressées :	14
4.2. Fromage à pâte molle :	14
4.3. Fromages à pâte fraîche :	14
4.4. Fromage frais :	15
4.4.1. Définition :	15
4.4.2. Les étapes de fabrication du fromage frais :	15
4.4.3. Les différents types de fromages frais :	15
4.4.4. Composition et valeur énergétique du fromage frais :	16

Chapitre II: Matériel et méthode

I. La culture de la Spiruline	18
1. Objectif :	18
2. Lieux et période de stage	18
3. Matériel :	19
3.1. Matériel biologique :	19
3.2. Matériel du laboratoire :	19
4. Méthode :	20
4.1. Préparation de milieu de culture :	20
4.2. Ensemencement :	21
4.3. Surveillance et ajustement :	21

Table des matières

4.4. Récolte :	23
4.5. Séchage :	24
II. Fabrication du fromage (protocole personnelle) :	24
1. Matériels de fabrication de fromage :	24
2. Méthode de fabrication de fromage :	24
3. Etude organoleptique :	25

Chapitre III: Résultats et discussion

1. La récolte de la Spiruline :	28
2. L'incorporation de la Spiruline au fromage :	29
3. Analyse sensorielle du fromage a la Spiruline :	29
4. Evaluation avant de goûter :	30
5. Evaluation après avoir goûté :	32
Conclusion et perspective :	36
Références Bibliographiques :	38
Les Annexes :	43

Introduction

Introduction :

La Spiruline (*Arthrospiraplatensis*) est une micro-algue bleu-vert qui est devenue de plus en plus populaire en tant que super-aliment, en raison de sa valeur nutritionnelle exceptionnelle, elle est riche en protéines, en acides aminés essentiels, en vitamines, en minéraux et en antioxydants.

De plus la Spiruline contient des pigments bénéfiques tels que la chlorophylle et la phycocyanine, qui ont démontré des propriétés antioxydants et anti-inflammatoires. Qui peut être utilisé dans l'alimentation humaine comme un complément alimentaire **(Soizic, 2019)**.

Depuis plusieurs années, la production de la Spiruline implique principalement la culture de cette micro-algue dans des bassins peu profonds remplis d'eau enrichie en sels minéraux. Cette culture nécessite des conditions spécifiques telles qu'une température chaude et une exposition à la lumière solaire. Une fois que la Spiruline atteint sa densité cellulaire maximale, elle est récoltée, lavée pour éliminer les impuretés, puis séchée pour conserver ses nutriments **(Vonshak, 1997)**.

Le fromage, ancien produit universelle apprécié, représente l'art et la science de la transformation du lait. C'est un univers de saveurs, de textures et de traditions, chaque variété raconte une histoire de terroir et de savoir-faire artisanal, apprécié dans le monde entier, le fromage transcende les frontières culturelles **(Smith, 2020)**.

L'objectif de cette combinaison est d'augmenter la teneur en protéines, vitamines, minéraux et d'antioxydants, ce qui renforce le système immunitaire, améliore l'énergie et favorise une meilleure santé globale.

Cela offre la possibilité de varier les sources de nutriments dans la consommation quotidienne tout en proposant une alternative délicieuse et révolutionnaire.

Pour mieux cerner l'objectif dans lequel s'inscrit ce sujet nous avons subdivisé notre travail en trois chapitres :

- Le premier chapitre nous allons essayer de donner une approche générale sur la Spiruline, le fromage.
- Le second chapitre comprend le matériel et les méthodes utilisées dans cette étude.
- Le troisième chapitre concerne la présentation des résultats obtenus, qui sont discutés par rapport aux travaux réalisés.

Et une conclusion générale avec des perspectives vient clôturer ce travail.

Chapitre I :
Recherche bibliographie

I. La Spiruline:

1. Histoire :

De nombreux ouvrages de l'époque coloniale citaient déjà une certaine substance bleu-vert que les Aztèques utilisaient, le Tecuitlatl est un Limen, sorte de purée considérée par les colons comme minéral, une terre, consommée par les paysans après avoir été séchée et broyée. De par son contenu qualitativement très remarquable, le Tecuitlatl a joué un rôle important, sinon décisif, pour assurer une alimentation suffisante, correcte et équilibrée à la nation Aztèques (Fox, 1999).

L'algue ne fut vraiment redécouverte par le botaniste belge J. Léonard lors d'une expédition belgo-française basée au Tchad (1964 - 1965). Ce dernier a constaté que les Kanembus du sud (Figure 1) Kanem écumaient la surface des mares aux environs du lac Tchad, mares riches en carbonates de sodium, à la recherche de la fameuse algue abondante sur ce lac et récoltée sous forme d'une purée bleu-verte. Cette purée était ensuite utilisée dans la préparation de gâteaux vendus dans la région et appelé « dihé » (Girardin, 2005).



Figure 1 : Photo d'une femme kanembu " écrémant " la Spiruline de la surface du Lac Rombou (Fox, 1999).

2. Définition et principales caractéristiques :

De manière générale, cette micro-algue miraculeuse dénommée Spiruline est considérée comme riche en protéines (60 à 70 % de son poids avec neuf acides aminés essentiels), en acides gras essentiels (c-linoléique), en minéraux (fer, calcium, potassium, phosphore, manganèse, cuivre, zinc, magnésium...), en oligoéléments, en vitamines (A, B1, B2, B6, B12, E, K) et contient de la chlorophylle, des fibres et un pigment bleu (la phycocyanine). Elle est consommée fraîche ou sèche et peut être présentée en poudre ou en granulés (Sall et al., 1999).

La Spiruline est une cyanobactérie filamenteuse, faisant partie des algues bleu-vert, se multiplie dès que la température de l'eau dépasse 30 °C, qui se nourrit uniquement de minéraux contenus dans son milieu aqueux (Vonshak, 2002).

Avec une longueur moyenne de 250 µm, le diamètre du filament formé est d'environ 10 µm (Sall et al., 1999). La forme hélicoïdale qui lui donne l'allure d'un minuscule ressort lui a valu son appellation de « Spiruline » (Charpy et al., 2008).

2.1. Taxonomie :

La Spiruline fait partie des cyanobactéries, apparue sur la terre il y a environ trois milliards et demi d'années, elle est considérée souvent comme une algue planctonique microscopique. C'est en fait une bactérie appartenant aux cyanobactéries filamenteuses du genre *Arthrospira*, le plus souvent enroulée en spires d'où son nom commercial (**Girardin, 2005**).

L'espèce du Spiruline (*Arthrospiraplatensis*) se compose de trichomes atteignant 350µ de long, de 5 à 11 µ de diamètre, un peu rétrécis au niveau des articulations. Les tours de spire ont un diamètre de 20 à 50 µ, diminuant légèrement vers les extrémités (**Fox, 1999**).

2.2. La Reproduction :

La Spiruline se reproduit suivant un mode végétatif asexué, la multiplication ne se produit que par fragmentation, le trichome forme des cellules spéciales appelées Nécriidies assimilées à des disques de séparation agissent comme des cellules spécialisées uniques (Figure 2), permettant la rupture du trichome, au niveau des quelles le trichome est divisé en plusieurs parties pour donner de nouveaux filaments de 2 à 4 cellules appelés Hormogonies (**Théodore, 2017**).

Les cellules d'hormogonie subissent des processus d'agrandissement et de maturation, chaque individu va donner deux individus par scissiparité, qui sont identiques génétiquement et plus ou moins morphologiquement (**Théodore, 2017**).

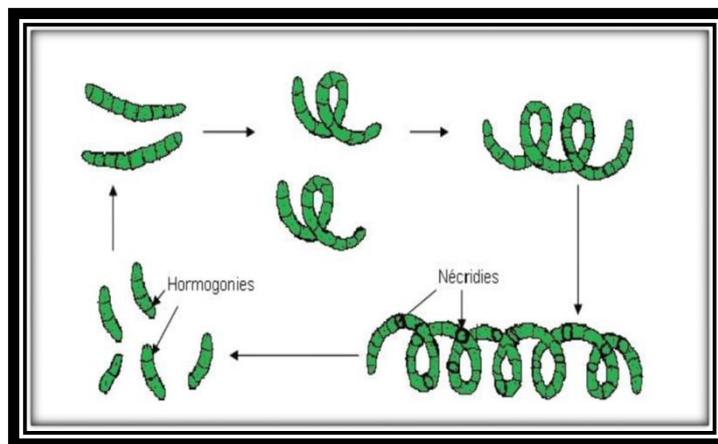


Figure 2 : Cycle biologique de la Spiruline selon (**Balloni et al., 1980 in Charpy, 2008**)

2.3. Composition et valeur nutritionnelle :

La Spiruline est utilisée, en alimentation humaine, compte tenu de ses teneurs en protéines, vitamines, minéraux et acides gras non saturés (Figure 3) ; C'est l'ensemble de tous ces nombreux facteurs nutritifs qui en fait un aliment si précieux. La composition chimique des Spirulines est variable selon les conditions de culture. Les caractéristiques les plus intéressantes restent toujours présentes (**Clement, 1975**).

2.3.1. Les Protéines :

Les protéines représentent entre 50 et 70% du poids sec, ces valeurs sont tout à fait exceptionnelles, même parmi les micro-organismes. D'un point de vue qualitatif, ces protéines sont

complètes, car tous les acides aminés essentiels figurent représentent 47% du poids total des protéines (**Bujard et al., 1970**).

2.3.2. Les glucides :

Les glucides constituent globalement 15 à 25% de la matière sèche des Spirulines. L'essentiel des glucides assimilables est constitué de polymères tels que des glucosanes aminés (1.9% du poids sec) ou encore de glycogène (0.5%). Les glucides simples ne sont présents qu'en très faibles quantités (glucose, fructose et saccharose), on trouve aussi des polyols comme le glycérol, le mannitol et le sorbitol (**Cifferi, 1983 ; Flaquet, 1996**).

2.3.3. Les lipides :

La composition en lipides se caractérise par un bon équilibre entre acides gras saturés et acides gras polyinsaturés.

La composition des principaux acides gras révèle la présence d'une forte concentration en acides gras essentiels, incluant des oméga-3 et des oméga-6 qui préviendraient l'accumulation de cholestérol dans l'organisme (**Hug et Von Der Wied, 2011**).

Ces lipides peuvent être séparés en une fraction saponifiable (83%) et une fraction insaponifiable (17%), contenant essentiellement des paraffines, des pigments, des alcools terpéniques et des stérols (**Clement, 1975**).

La Spiruline est considérée comme l'une des meilleures sources alimentaires connues d'acide γ -linoléique, après le lait humain et quelques huiles végétales peu courantes, fort chères et non chauffées (huiles d'onagre, de bourrache, de pépin de cassis et de chanvre) (**Cruchot, 2008**).

2.3.4. Les vitamines :

La Spiruline offre de nombreuses vitamines qui contribuent au bon fonctionnement de notre organisme : des vitamines du groupe B (en particulier, vitamines B1, B2 et B12) qui participent au métabolisme énergétique et au fonctionnement du système nerveux et la β carotène, précurseur de la vitamine A, qui joue un rôle essentiel dans la vision, la reproduction des cellules et le fonctionnement normal du système immunitaire (**Miranda et al., 1998**).

La vitamine B12, la plus fortement représentée dans la Spiruline, est de loin la plus difficile à obtenir dans un régime sans viande, car aucun végétal courant n'en contient (la Spiruline est 4 fois plus riche que le foie cru, longtemps considérée comme meilleure source de vitamine B12) (**Jourdan, 2006**).

2.3.5. Les minéraux :

Elle contient aussi beaucoup de micronutriments tels que des minéraux, et des pigments fortement antioxydants (**Lecointre, 2017**).

Les minéraux spécialement intéressants dans la Spiruline sont le fer, le zinc, le magnésium, le calcium, le phosphore et le potassium (**Dansou, 2002**).

La haute teneur de la Spiruline en fer (minéral essentiellement présent dans les aliments d'origine animale comme la viande, les abats et le poisson) la rend particulièrement populaire auprès des végétariens, sportifs, femmes enceintes et adolescents en phase de croissance (**Michka, 2005**).

2.3.6. Les Enzymes :

De nombreuses enzymes entrent aussi dans la composition de la Spiruline, sortes de «facilitateurs» biologiques, dont l'exceptionnel SOD (super oxyde dismutase), qui représente une arme majeure contre l'oxydation ou le vieillissement cellulaire (**Ahounou, 2018**).

2.3.7. Les Pigments :

Les trois principaux pigments, contenus dans la Spiruline, responsables de sa couleur sont la chlorophylle, la phycocyanine et la β carotène (**Sguera, 2008**).

a) La Chlorophylle :

Le taux de chlorophylle contenu dans la Spiruline est d'environ 1%, l'un des plus élevés que l'on puisse trouver dans la nature (**Ahounou, 2018**).

Sa structure étroitement apparentée à celle de l'hémoglobine des mammifères lui confère parfois l'appellation de "sang vert", c'est à ce pigment photosynthétique que la Spiruline doit sa couleur verte : bien que ce ne soit pas le pigment le plus important en quantité, son fort pouvoir colorant l'emporte sur les autres (**Ahounou, 2018**).

Faisant l'objet de nombreuses études, la chlorophylle a démontré plusieurs qualités, par exemple, contribue à rétablir l'équilibre acido-basique, améliore le travail cardiaque, régule le transit intestinal, augmente le taux des globules rouges et stimule la cicatrisation interne comme externe (**Ahounou, 2018**).

b) La Phycocyanine :

La phycocyanine est le plus exceptionnel pigment faisant partie de la composition de la Spiruline (**Sguera, 2008**).

Responsable de sa couleur bleutée, c'est le plus puissant antioxydant et anti-radicalaire que l'on puisse trouver, véritable booster de nos défenses naturelles, il stimule la formation des globules rouges, favorise l'activité musculaire, inhibe la croissance des cellules cancéreuses et détoxifier l'organisme de tous produits chimiques nuisibles à notre corps (**Shmitz, 2014**).

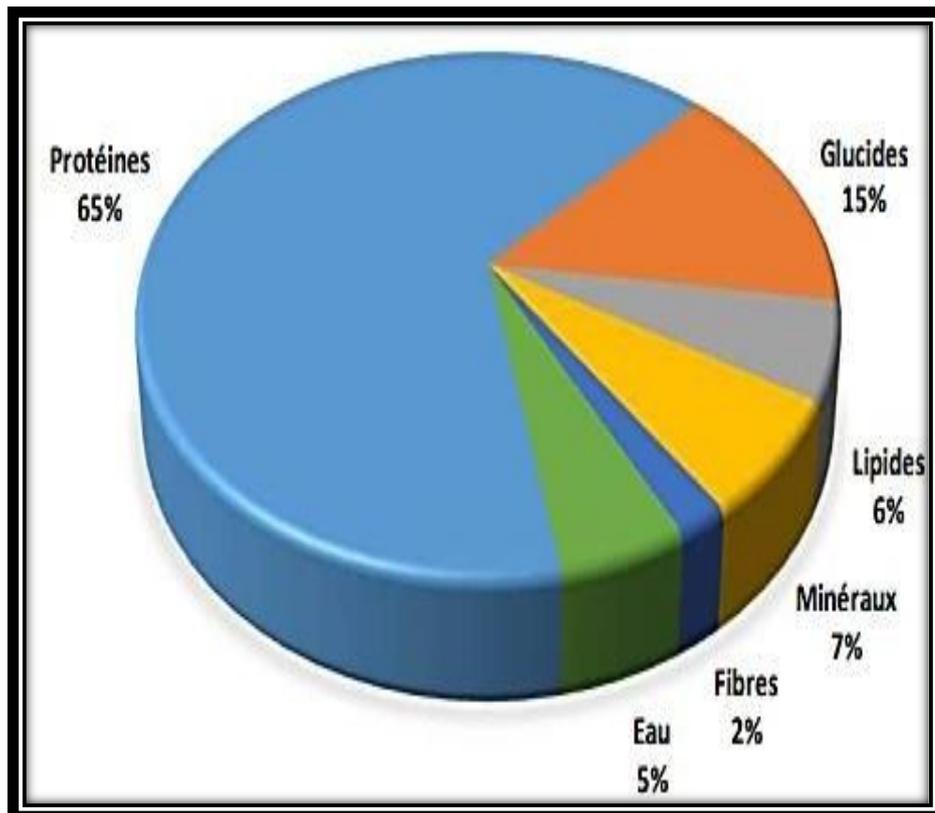
c) La Bêta-carotène :

La bêta-carotène, pigment orange, précurseur de la vitamine A, aussi présent dans la Spiruline en grande quantité, joue un rôle important dans le renouvellement des cellules et dans les défenses immunitaires (**Charpy et al., 2008**).

Possédant de nombreuses propriétés anti-oxydantes pour lutter contre le vieillissement des cellules, il permet aussi de réduire les risques de cancer, favoriser la cicatrisation des plaies et protège la peau des agressions extérieures (Charpy et al., 2008).

2.3.8. Les Fibres :

Sa teneur en fibres alimentaires soit relativement modeste. En moyenne, la Spiruline sèche contient environ 1 à 3 % de fibres alimentaires, principalement de type soluble ; Ces fibres



contribuent à la santé digestive en améliorant le transit intestinal (Becker, 2007).

Figure 3 : Composition Chimique de la Spiruline (Lecointre, 2017).

La **Figure 03** représente la composition chimique de la Spiruline avec 65% de Protéines, 15% Glucides, 6% lipides, 7% Minéraux, 2% Fibres, 5% Eau.

3. Culture de la Spiruline :

3.1. Condition de la culture :

Il existe trois facteurs essentiels déterminants pour la culture de la Spiruline la température, la lumière et le pH (Jourdan, 1999).

3.1.1. Température :

Les premiers repères concernant les températures sont à peu près les mêmes que pour l'homme 37°C, température idéale pour pousser la vitesse de croissance de la Spiruline (**Falquet, 1996**).

Des températures supérieures à 40°C ne lui conviennent pas, et, elle meurt lorsqu'elle est exposée à 43°C. Par ailleurs, à 20°C, sa croissance est pratiquement nulle (**Fox, 1999**).

3.1.2. La lumière :

La lumière influent directement sur la croissance de la Spiruline qui assuré par la photosynthèse ainsi qu'une forte intensité lumineuse peut conduire à la photolyse et pour l'éviter, il est convenable de vérifier deux conditions nécessaires (**Fox, 1999**).

Les bassins de culture doivent être placés dans des endroits recevant une exposition directe au soleil pendant de longues heures chaque jour ou des installations avec un éclairage artificiel adapté peuvent également être utilisées (**Vonshak, 1997**).

3.1.3. Le pH :

La Spiruline se développe dans des milieux alcalins, avec un pH optimal entre 8 et 11, si cette variation non respecte peuvent inhiber sa croissance. Le pH du milieu de culture doit être surveillé et ajusté régulièrement (**Borowitzka, 2000**).

3.2. Milieu de Culture :

Le milieu de culture composé à la fois l'eau salé et alcaline et contient des engrais l'azote (N), phosphore (p), potassium (K) sont les trois principaux éléments, vient ainsi le soufre et le fer et d'autre traces minéraux (**Jourdan, 1999**).

3.2.1. L'eau :

L'eau utilisée pour la culture de la Spiruline doit être propre et dépourvue de contaminants pouvant compromettre sa croissance, des sources d'eau appropriées, telles que l'eau de source ou de puits, ainsi que l'eau du robinet dé-chlorée, peuvent être utilisées (**Richmond et Amos, 2008**).

Une surveillance régulière de la qualité de l'eau et des ajustements éventuels, tels que la dé-chloration et la filtration, sont recommandés pour garantir des conditions optimales de croissance de la Spiruline (**Richmond et Amos, 2008**).

3.2.2. Les Eléments nutritif :

La culture réussie de la Spiruline dépend de la disponibilité adéquate d'éléments nutritifs essentiels qui soutiennent sa croissance et sa reproduction, ces éléments comprennent des sources de carbone, d'azote, de phosphore et de minéraux (**Borowitzka, 2000**).

Le bicarbonate de sodium (NaHCO_3) ou le carbonate de sodium (Na_2CO_3) sont souvent utilisés comme sources de carbone, tandis que le nitrate de sodium (NaNO_3), le nitrite de sodium (NaNO_2) ou l'urée ($\text{CH}_4\text{N}_2\text{O}$) fournissent de l'azote.

Le phosphate de potassium ($\text{K}_2\text{-HPO}_4$) ou le phosphate de sodium (Na_3PO_4) sont des sources courantes de phosphore, tandis que le sulfate de fer (FeSO_4), le chlorure de magnésium (MgCl_2) et le chlorure de potassium (KCl) fournissent des minéraux essentiels. Ces éléments doivent être fournis dans des proportions appropriées et surveillés régulièrement pour maintenir des conditions de croissance optimales pour la Spiruline (**Borowitzka, 2000**).

3.3. Techniques de culture :

3.3.1. Ensemencement :

Dans un site dépourvu de la Spiruline, ou pour redémarrer avec une nouvelle souche, il doit démarrer avec un gramme de Spiruline concentré dans un volume de culture, si on veut travailler avec un volume important il s'agit de multiplier de volume de semence initiale, il est convenable de faire des cultures successives, si la concentration de culture est plus faible, il faut ombrer avec une agitation continue sinon la Spiruline va s'agglomère (**Jourdan, 1999**).

3.3.2. Agitation :

Elle est nécessaire pour assurer une bonne culture, au moins (2 à 4) fois par jour, qui augmente avec l'intensité de la lumière, cela permet d'assurer l'homogénéisation de la culture, répartition de l'éclairage, évité la formation des boues minéraux et aussi l'agglomération des filaments de la Spiruline (**Jourdan, 1999**).

Le mode d'agitation peut être, manuelle avec un balai ou électrique avec une pompe ou une roue à aubes, l'agitation peut être continue si on utilise une pompe sans danger sur la Spiruline. L'agitation nocturne continue favorise nettement l'autoépuration de milieu (**Jourdan, 1999**).

3.3.3. Ombrage :

L'ombrage est nécessaire quand la température de la culture est très basse inférieure de 10C° , avec une forte intensité lumineuse pour éviter la destruction de la Spiruline par la photolyse, ainsi une culture sous ombrage est plus facile à récolter et la qualité de la Spiruline est améliorée (**Jourdan, 1999**).

3.3.4. Mesure de la concentration d'une culture de Spiruline :

La concentration d'une culture peut être évaluée par l'intensité de sa couleur, on utilise pour cela un disque de Secchi, il s'agit d'une règle graduée à l'extrémité de laquelle se trouve fixé droit (**Flaquet, 1996**).

3.3.5. Récolte :

La récolte doit être organisée de façon à maintenir un flux continu entre matières premières et produit fini ; ainsi, une récolte régulière (tous les deux jours) permet à la culture de garder un rythme de croissance exponentielle (**Sorto, 2003**).

Une fois la culture prête pour la récolte, on doit pouvoir prélever au moins 25 % de la culture par jour.

En l'absence de récoltes, avec suffisamment de nutriments, la concentration en Spiruline croît jusqu'à l'équilibre entre photosynthèse et respiration ; Il n'est pas souhaitable pour la culture de rester longtemps sans être récoltée, à très haute concentration, cela peut même être une cause de mortalité (**Jourdan, 1999**).

3.3.6. Filtration :

La récolte consiste d'abord à filtrer une partie de la culture sur une toile très fine (maille de 30 à 60 μm) de manière à recueillir la Spiruline sur la toile et à laisser passer le filtrat qui pourra être réutilisé dans le bassin de production.

Afin de récolter une Spiruline aussi pure que possible, il est conseillé de disposer de trois tamis superposables de maillage différent (**Doumenge et al., 1993**).

Après un temps variable selon l'importance de la récolte et la concentration de la Spiruline dans le milieu (entre 30 minutes et une bonne heure), la pâte verte de Spiruline qui s'est accumulée sur le filtre peut être récupérée (**Jourdan, 2006**).

La consistance de la biomasse obtenue dépend de la santé de la culture, une culture neuve donne une biomasse facile à récolter, car s'agglomérant bien, alors qu'une culture plus ancienne ou en mauvais état, donne une pâte très liquide car renfermant un pourcentage d'eau très élevé (**Cruchot, 2008**).

Cependant, la biomasse doit être récoltée rapidement, afin de ne pas la laisser traîner à l'air libre: il s'agit d'éviter les fermentations provoquées par la décomposition des protéines et également toute contamination provenant de l'extérieur (**Doumenge et al., 1993**).

3.3.7. Séchage :

Le séchage est le seul moyen sûr de conserver et de distribuer la Spiruline. Lorsque la Spiruline pressée ne peut être séchée de suite, il faut la conserver dans un récipient fermé, au réfrigérateur bien froid et pas trop longtemps (sinon elle dégage une odeur désagréable lors de l'extrusion).

La Spiruline "égouttée" contient environ 90 % d'eau. La Spiruline essorée en contient encore près de 80 %. Or, la Spiruline séchée ne doit pas contenir plus de 7 à 8 % d'eau. Comme le séchage doit être suffisamment rapide pour que le produit sèche sans fermenter, la biomasse issue du pressage est préalablement répartie par extrusion en "spaghetti", sur un plateau formé d'un cadre

garni d'une moustiquaire en nylon ou en inox (maille 1 mm) L'extrusion peut aussi se faire à l'aide d'un décorateur de gâteau ou avec un poussoir à saucisses (**Darcas, 2000**).

Une fois extrudée, la Spiruline est séchée au soleil, ou mieux, dans un courant d'air à faible humidité relative (séchoir solaire indirect, ou électrique, ou à gaz, ou déshumidificateur), jusqu'à ce qu'elle ne soit plus molle du tout. Elle se détache alors facilement du support plastique et se broie aisément. Avec un bon ensoleillement et un air sec, le séchage solaire est la solution la plus rapide et la moins coûteuse pour des faibles productions.

Ce mode de séchage nécessite cependant que la Spiruline soit protégée par une moustiquaire et qu'elle ne soit pas exposée directement aux rayons du soleil : un soleil intense et direct provoque une destruction de la chlorophylle par les rayons UV, ainsi qu'une altération sensible de son goût et de ses qualités nutritives (**Darcas, 2000**).

Toutefois, le climat chaud et humide de certaines régions d'Afrique (Bénin par exemple) ne permet pas un chauffage solaire. Il faut donc d'autres techniques de séchage : par exemple, le séchage dans une armoire métallique munie d'un déshumidificateur et d'un ventilateur recyclant l'air à travers plusieurs plateaux (**Doumenge et al., 1993**).

En pratique, le temps de séchage ne doit pas dépasser 6 à 8 heures. La température maximale pour conserver toutes les qualités nutritives de la Spiruline est fixée à 65°C. Le produit final doit être d'une jolie couleur verte, craquant, facile à détacher du support de séchage et facile à transformer en poudre (**Cruchot, 2008**).

3.3.8. Broyage :

Après avoir séché, on peut broyer la Spiruline avec un moulin à café, afin d'obtenir une poudre plus ou moins fine selon le goût de chacun (**Jourdan, 2006**).

4. Utilisation et importance de la Spiruline :

Elle est très appréciée pour ses bienfaits sur la santé et l'environnement, grâce à sa culture facile et son fort rapport nutritionnel.

4.1. Alimentation humaine :

En alimentation humaine elle est utilisée comme colorant naturel dans les chewing-gums, produits laitiers, boissons non alcoolisées comme la menthe (**Sguera, 2008**).

La phycocyanine est un des rares pigments naturels de couleur bleue. Elle apparaît également dans une gamme de produits algaux mélangée à du sel (**Sguera, 2008**).

4.1.2. Santé :

Dans les pays développés, et depuis peu dans quelques régions d'Afrique, la Spiruline est consommée comme complément alimentaire « bénéfique à la santé », longtemps recommandée comme complément en cas de carences en acides gras essentiels (**Hudson et Karis, 1974**).

La Spiruline peut aider à diminuer l'excès de cholestérol et à améliorer la santé. Elle est un concentré de nutriments essentiels telles que les protéines et les vitamines B. seulement trois grammes par jour assurent la quantité suffisante en vitamine B12 et elle en contient deux fois plus que la viande (**Grosogeat, 2009**).

C'est pourquoi la Spiruline est considérée comme la source la plus abondante de cette vitamine. Ce supplément alimentaire joue également un rôle dans la prévention de nombreuses maladies. Sa teneur en calcium, en potassium, en sodium, en phosphore et en fer est élevée. Ses effets contre l'anémie ont été démontrés grâce à sa haute teneur en fer. Le calcium et le potassium sont importants pour la formation des os, le sodium et potassium aident à maintenir l'équilibre acide-base (**Grosogeat, 2009**).

4.2. Alimentation des animaux :

4.2.1. Complément alimentaire :

La Spiruline est utilisée comme complément alimentaire chez les animaux de compagnie (chiens, chats, les chevaux, les vaches, les poules, les poissons et les oiseaux) (**Henrikson, 1994**).

4.2.2. Favoriser la croissance et la fertilité :

Des études sur les poissons d'aquarium et la crevette ont montré les effets bénéfiques de *Spirulina platensis* dans ce domaine (**Kim et al., 2006**).

4.2.3. Renforcer les défenses immunitaires :

La Spiruline est ajoutée aux granulés dans la nourriture des poissons d'élevage, plus souvent soumis à des infections virales ou bactériennes que les poissons sauvages, à cause de l'effet immunostimulant de *Spirulina platensis* (**Watanuki et al., 2006**).

4.3. Toxicité :

À l'issue des nombreuses études menées par des chercheurs spécialisés dans le domaine des cyanobactéries, il ressort que la Spiruline (*Arthrospira*) n'est pas toxique, la Spiruline destinée à l'alimentation humaine, après des analyses poussées, a été autorisée à la vente depuis de nombreuses années dans les pays industrialisés (**Crucho, 2008**).

5. Aspects nutritionnelle :

La Spiruline est un aliment naturel qui a des valeurs nutritionnelles exceptionnelles en protéines, lipides, glucides et vitamines. Sa composition chimique varie en fonction de la souche et le milieu de croissance, la composition biochimique de la Spiruline a été analysée depuis 1970 (**Sall et al., 1999 ; Charpy et al., 2008**).

Le tableau (1) indique la composition quantitative moyenne en nutriments et micronutriments de la Spiruline selon **Jourdan (2006)**.

Tableau1:Composition moyenne globale de la Spiruline (**Jourdan, 2006**).

Nutriments	Teneurs en % du poids de la spiruline
Protéines	65 %
Glucides	15 %
Minéraux	7 %
Lipides	6 %
Eau	5 %
Fibres	2%

II. Le fromage :

1. Historique :

Le nom fromage dérive du mot latin « *formaticus* » qui signifie former ou mouler, la première occurrence de l'utilisation du fromage comme aliment est inconnue, les ethnologues tiennent preuve que l'homme connu depuis longtemps le phénomène de coagulation du lait depuis la découverte sur les rives du lac Neuchâtel (en suisse) des moules à caillé datant de 5000 ans av J-C (**KATZ et weaver, 2003**).

Les peaux d'animaux et les viscères soufflés étant utilisés depuis l'Antiquité comme réceptacles pour stocker de nombreuses denrées alimentaires, il est possible que le procédé de fabrication du fromage ait été découvert par hasard lorsque du lait ai était stocké dans un récipient fabriqué à partir de l'estomac d'un ruminant, le lait s'est ainsi transformé en caillé et en lactosérum par la présure déposée dans l'estomac (**Abiazar, 2007**).

C'était déjà une pratique courante dans l'Antiquité, en Europe de l'Est et en Asie de l'Ouest, de transporter du lait. Certains facteurs étaient certainement nécessaires pour transformer le lait en fromage comme la chaleur, l'acidité et les sucs gastriques. Ainsi, des extraits d'estomac de plusieurs types d'animaux (moutons, chèvres, vaches), mais également des extraits de plantes ont été utilisés pour la préparation de fromages (**Abiazar, 2007**).

2. Généralité sur le fromage :

Le fromage, selon la norme (CODEX STAN 283-1978), est le produit affiné ou non affiné, de consistance molle ou semi dure, dure ou extra dure qui peut être enrobé et dans lequel le rapport protéines de lactosérum /caséines ne dépasse pas celui du lait. On l'obtient par coagulation complète ou partielle du lait grâce à l'action de la présure ou d'autres agents coagulants appropriés et par égouttage partiel du lactosérum résultant de cette coagulation (**Eck et Gillis, 1997**).

Le fromage est un produit alimentaire obtenu par coagulation du lait, suivie du pressage et de l'affinage du caillé ainsi formé. Il existe une grande variété de fromages dans le monde, chacun ayant des caractéristiques distinctes en termes de texture, de goût et de composition nutritionnelle (**Mcgee, 2004**).

3. Composition du fromage :

L'un des composants principaux du fromage est les lipides, ils présentent 20 à 30 % de l'extrait sec total et contribuent à la saveur du fromage frais ou affinés (Walther et al., 2008). Les fromages sont riches, aussi, en protéines contenant des acides aminés essentiels (Scott et al. 1998).

Ainsi 100g de fromage frais apportent 30% à 40% des besoins journaliers en protéines pour un adulte, alors qu'une quantité équivalente en fromage dur apporte 40% à 50% (Renner, 1993).

Le fromage contient des quantités appréciables en minéraux, où le fer, le calcium et le phosphore sont les plus abondants. En effet, 100g de fromage dur peut approvisionner 50% des besoins journaliers en phosphore d'un adulte (Tsuchita et al., 2001).

4. Classification du fromage :

Les saveurs et les textures qu'ils présentent varient en fonction de l'origine du lait (y compris le régime alimentaire de l'animal), de la pasteurisation, du taux de matière grasse, de l'espèce des bactéries et des moisissures sélectionnées, du procédé de fabrication et du temps de maturation (FOX, 2017).

Les herbes et les épices peuvent être utilisés pour changer le goût ou bien la fumaison. Il y a une grande diversité de fromages qui se distinguent par leur saveur, leur parfum, leur texture ou leur forme. La diversité de cette variété est influencée par divers facteurs tels que l'origine du lait, la matière dont le lait est transformé et sa manipulation thermique. Les fromages peuvent être divisés en trois catégories (Fox, 2017).

4.1. Fromage à pâte pressées :

Ce sont des fromages dont le caillé est pressé après soutirage, puis mis à l'affinage. Dans cette catégorie, on peut distinguer les fromages à pâte pressée non cuite et les fromages à pâte pressée cuite (pâte dure, le caillé chauffé à 65 C°) (Majdi, 2009).

4.2. Fromage à pâte molle :

Le fromage à pâte molle est un camembert affiné en surface par les moisissures. La texture de ce type de camembert est molle caractérisée par une couleur du blanc cassé allant au jaune pâle. Une croûte molle couverte des moisissures blanches (Mdahou, 2017).

4.3. Fromages à pâte fraîche :

Un fromage à pâte fraîche a une texture molle granuleuse ou lisse, crémeuse et veloutée, c'est un fromage peut égouttés caractérisé par une teneur très élevée de l'humidité et une teneur de 60 à 80% de la matière grasse (Majdi, 2009).

4.4. Fromage frais :

4.4.1. Définition :

Le fromage frais est une pâte très humide, peu minéralisée, c'est le produit d'une coagulation lente à dominance acide, obtenue grâce à l'action des bactéries lactiques combinée ou non à celle d'une faible quantité de présure (1-5 ml/ l de lait) et un temps d'incubation long (Eck et Gillis, 1997).

4.4.2. Les étapes de fabrication du fromage frais :

– Coagulation :

La coagulation est définie par le passage de l'état liquide à l'état solide du lait par la formation d'un gel, elle se caractérise par la déstabilisation de la forme micellaire originelle des caséines (Goudedranche et al., 2000).

– Egouttage :

C'est une étape de déshydratation de caillé formé. À ce stade, le caillé se sépare du lactosérum, par la synérèse en éliminant la partie liquide (lactosérum) par différentes voies : un égouttage lent effectué dans des sacs à fromages employé, habituellement, pour les fromages artisanaux, et l'autre voie rapide consiste à découper le caillé, le brasser, le presser (Kongo et al., 2016).

– Le salage :

Le salage est une étape facultative de la production du fromage qui succède à l'égouttage, elle est réalisée selon le goût du fromage pour inhiber le développement microbien et accentuer la saveur (Benkerroum et Tamime, 2004), la figure 4 représente diagramme de la fabrication de fromage frais.

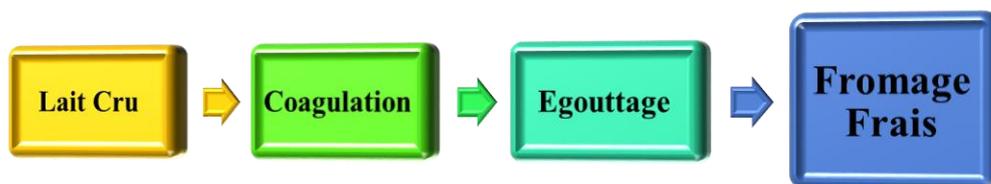


Figure 4 : Diagramme de formulation du fromage frais.

4.4.3. Les différents types de fromages frais :

L'égouttage lent se fait en sacs ou en filtres ou bien en cuves, mais les technologies modernes d'ultrafiltration ou de centrifugation du caillé maigre permettent d'obtenir un égouttage rapide (Gret, 2002).

Les diverses technologies employées permettent de distinguer :

- ✓ Fromages blancs moulés où le caillé garde son individualité à l'état de blocs ou de grains.
- ✓ Fromages blancs frais à structure homogène : à l'extrait sec faible et à texture onctueuse comme les fromages battus ou lissés (**Gret, 2002**).

La teneur en matière sèche peut être abaissée jusqu'à 11-15 % pour les fromages frais, selon que leur teneur en matière grasse est au moins 20 g pour 100 g de fromage après une dessiccation complète (**Luquet, 1985**).

4.4.4. Composition et valeur énergétique du fromage frais :

Le fromage est très riche de par sa composition, en protéines, eau, peptides bioactifs, acides aminés, lipides, acides gras, vitamines et en minéraux (**WaltheR et al., 2008**).

La composition du fromage frais dépend de la composition du lait d'origine et de la technologie mise en œuvre (**Mahaut et al., 2000**).

La composition et la valeur calorique moyennes des fromages frais sont présentées dans le tableau N°2.

Tableau 2 : Composition moyenne pour 100 g de fromage frais (**Eck et Gillis, 2006**).

Constituent	Teneur
Eau (g)	79
Energie (kcal)	118
Glucides (g)	4
Lipides (g)	7.5
Protéine (g)	8.5
Calcium (mg)	100
Phosphore (mg)	140
Magnésium (g)	10
Potassium (mg)	130
Sodium (mg)	40
Zinc (mg)	0.5

Chapitre II :
Matériel et Méthode

I. La culture de la Spiruline

1. Objectif :

L'objectif de notre étude consiste l'élevage de la Spiruline, fabriqué le fromage frais à partir de lait de vache et évaluer l'analyse organoleptique de produit fini fromage frais incorporé avec la poudre de Spiruline (*Arthrospira platensis*).

2. Lieux et période de stage

Pour l'élevage de la Spiruline, on a fait un stage de la culture et reproduction de la Spiruline à l'école de formation technique de pêche et d'aquaculture situé à Beni Saf dans la wilaya d'Ain Temouchent, dans une période de 15 jours du 12/02/24 au 27/02/24.



Figure 5 : Ecole de formation technique de pêche et d'aquaculture Beni Saf Ain Temouchent

3. Matériel :

3.1. Matériel biologique :

Le matériel biologique utilisé pour la culture c'est l'algue bleu-vert (*Arthrospira platensis*)(Figure 6).



Figure 6 : Filament d'*Arthrospira platensis* observé par microscope.

La souche d'*Arthrospira platensis* rapporté de l'école de formation technique de pêche et d'aquaculture de Beni Saf (Figure 7).



Figure 7 : La souche de Spiruline

3.2. Matériel du laboratoire :

- Boîte en plastique alimentaire de 20 Litre (annexe)
- Resistance avec thermostat 150 W (annexe)
- Lampe Led(annexe)

- Compresseur d'aquarium (annexe)
- L'appareil du Ph mètre (Figure 9)
- Balance électronique (annexe)
- Microscope optique (annexe)
- 10 Litre d'eau de source
- Questionnaire sur l'incorporation de la Spiruline au fromage (Figure 8).
- Disque de Secchi (Figure 10)
- Un tissu de tamisage (Figure 11)

Questionnaire sur l'incorporation du Spiruline au fromage :			
Nom :	Mauvais	acceptable	Excellent
.....			
<u>Avant de goûter</u>			
Couleur			
Texture			
Arome			
Présentation			
<u>Après avoir goûté</u>			
Apparence			
Arome			
Texture			
gout			
Harmonie			

Figure 8 : Questionnaire sur l'incorporation de la Spiruline au fromage

4. Méthode :

On a pu démarrer notre culture à petite échelle pour nous habituer avec les phénomènes naturels et manipuler les outils de travail que nous aurons fabriqués nous-mêmes. Bien que nous ne puissions garantir la qualité de la Spiruline produite dans un lieu précis, sous un climat spécifique et dans des conditions particulières.

4.1. Préparation de milieu de culture :

On a ajouté 10 litre d'eau de source dans des boites de plastique alimentaire propre transparente pour profiter plus de luminosité, installé une résistance avec thermostat pour avoir une température optimale entre 25° et 35°, une lampe *Led* aidé la lumière naturelle a arrivé à la luminosité souhaitable de 12h par jour, et un compresseur d'aquarium pour assurer un mélange homogène du nutriment et une distribution uniforme des cellules de Spiruline.

Après on a dissous les produits de milieu de culture recommandé par **Jourdan(2018)**, interpréter dans le tableau 3 notre milieu de culture.

Tableau 3 : Produits ajouté pour une culture de 10 litre de milieu de culture :

Produit pour milieu de culture	Quantité
Bicarbonate de sodium	80g
Chlorure de sodium	50g
Nitrate de potassium	20g
Sulfate dipotassique	10g
Phosphate monoammonique	2g
Sulfate de magnésium	2g
Chlorure de calcium	1g
Sulfate de fer	Solution à 10 g de fer/litre = 1 ml

4.2. Ensemencement :

Avant d'ensemencé la Spiruline pure dans le milieu de culture on a d'abord mesuré le pH avec un pH mètre (**Figure 9**), et le maintenir entre 9 et 10, utilisons du bicarbonate de sodium pour ajuster si nécessaire.

Pour éviter le choc thermique on a équilibré la température de la souche avec la température du milieu de culture.

Après ensemencé la souche pure de Spiruline dans le milieu de culture préparé, maintenir une densité cellulaire initiale suffisante pour favoriser la croissance rapide (**Jourdan, 2018**).

On a versé la souche pure doucement et progressivement pour réduire le changement rapide de température, ensuite mélangé le milieu de culture avec précaution pour distribuer uniformément les cellules.

4.3. Surveillance et ajustement :

Nous avons assuré la vérification quotidienne de pH et la température, en cas de baisse du niveau d'eau (due à l'évaporation), ajouter de l'eau propre pour maintenir la profondeur idéale.

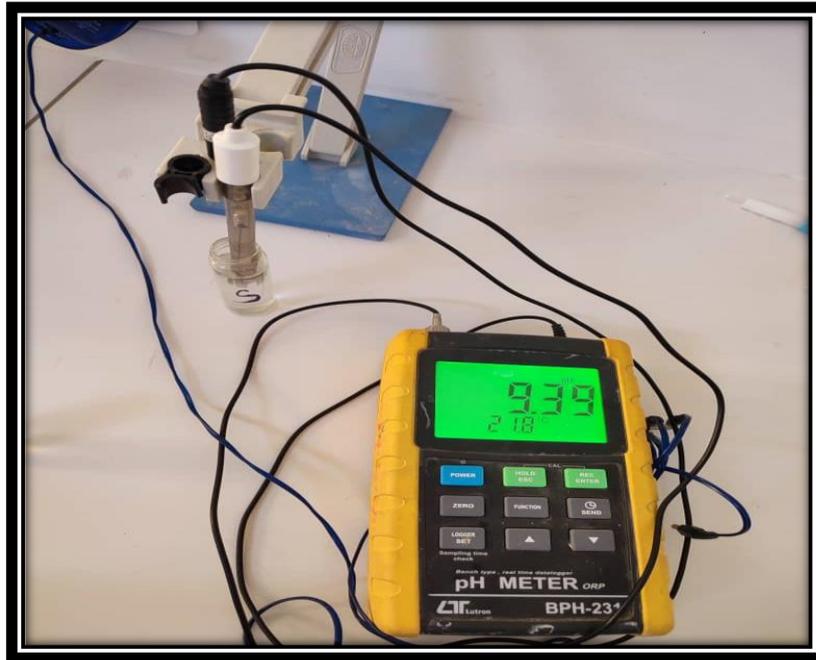


Figure 9 : pH mètre pour mesure le ph d'une solution

Milieu d'enrichissement selon **Jourdan (2018)**, dissoudre les nutriments suivant le tableau 4 pour un milieu de culture de 10 litre une fois par semaine.

Tableau 4 : milieu d'enrichissement de la Spiruline pour un milieu de culture de 10 litre :

Bicarbonate de sodium (NaHCO_3)	160g
Nitrate de sodium (NaNO_3)	25g
Phosphate dipotassique (K_2HPO_4)	5g
Chlorure de sodium (NaCl)	10g
Sulfate de magnésium(MgSO_4)	1.6g
Sulfate de fer (FeSO_4)	0.1g
Sulfate de calcium (CaSO_4)	0.4g
Sulfate de potassium (K_2SO_4)	10g

4.4. Récolte :

Le disque Secchi (**Figure 10**) nous aide à connaître si la Spiruline est prête à être récolté en abaissant lentement le disque dans le milieu de culture jusqu'à ce qu'il disparaisse a 3 cm de profondeur et plus.



Figure 10 : Disque de Secchi

On prend le tissu de tamisage à maille fin pour séparer la Spiruline de l'eau (**Figure 11**).



Figure 11 : Tissu de tamisage

4.5. Séchage :

Étalée la Spiruline récolté en fin couche sur une surface propre et l'exposé au soleil pendant 48h, pour évaporé l'eau présent dans la Spiruline et avoir notre Spiruline sèche (**Figure 12**).



Figure 12 : Spiruline poudre

II. Fabrication du fromage (protocole personnelle) :

L'objectif de notre étude consiste à évaluer la qualité de fromage frais à partir de lait de vache enrichi avec la poudre de Spiruline à différentes concentrations de Spiruline (*Arthrospira platensis*).

1. Matériels de fabrication de fromage :

- Lait de vache
- Citron
- Casserole
- Mixeur
- Sel
- Ail en poudre
- Margarine
- Grande cuillère
- Petite boîte en plastique alimentaire

2. Méthode de fabrication de fromage :

Dans une casserole on met 2 litres de lait de vache froid entre 4° et 6° et on ajoute 2 grammes de poudre de Spiruline et les mélange pendant 10 min jusqu'à la Spiruline dissoute et le lait devenir vert (**Figure 13**).



Figure 13 : Mixer le lait avec la Spiruline

Ensuite avec un petit feu on laisse le lait quelques minutes et ajouter deux grandes cuillères de jus de citron pour avoir une bonne coagulation

Après filtré et séparé lactosérum, on prend notre pâte de fromage et la met dans une boîte pour ajouter le sel, l'ail, 10 grammes de margarine, et mixer le mélange jusqu'à trouver une bonne texture de fromage à tartiner (**Figure 14**).



Figure 14 : Fromage frais à la Spiruline

3. Etude organoleptique :

L'analyse sensorielle est une discipline scientifique qui vise à mesurer, analyser et interpréter les réactions des personnes aux caractéristiques des produits perçus par les sens humains, à savoir la vue, l'odorat, le goût, le toucher et l'ouïe.

Cette méthode est couramment utilisée dans l'industrie alimentaire, les cosmétiques, les produits pharmaceutiques et bien d'autres domaines pour évaluer la qualité des produits, développer de nouveaux produits et comprendre les préférences des consommateurs (Lawless et al., 2010).

Concernant l'analyse sensorielle on a fait une étude organoleptique sur le territoire d'Ain Temouchent, Université BELHADJ Bouchaib, l'école de formation technique de pêche et d'aquaculture avec différent personne pour avoir un meilleur résultat, donc on a préparé notre fromage avec la Spiruline et distribuer avec un questionnaire d'évaluation sensorielle (**Figure 8**).

Chapitre III :
Résultat et discussions

1. La récolte de la Spiruline :

Avec la culture de 10 litres de milieu de culture de Spiruline (Figure 15) nous réussissons à récolter chaque deux semaine 4 gramme de Spiruline liquide (Figure 16). Cette production commence par le maintien des conditions optimales dans le bassin, y compris la lumière 12h par jour, la température 30° a 35°, pH entre 9 et 10 (Figure17) et les nutriments spécifiques nécessaires à la croissance de la Spiruline.

La Spiruline est séchée par le soleil pendant 48H pour mieux le conservé (Figure 18). Le produit final, riche en protéines et en nutriments essentiels, apporter ses bienfaits nutritionnels à tous ceux qui en consomment.



Figure 15 : 10 litre de milieu de culture



Figure 17 : pH de milieu de culture



Figure 16 : Spiruline liquide



Figure 18 : Spiruline sèche en poudre

2. L'incorporation de la Spiruline au fromage :

Après la culture de la Spiruline on a fabriqué un fromage est incorporer avec la Spiruline, qui ouvre un champ de possibilités gustatives et nutritives passionnantes entre tradition fromagère et innovation nutritionnelle uniques, savoureux et riches en bienfaits pour la santé.

3. Analyse sensorielle du fromage a la Spiruline :

L'analyse sensorielle est une discipline scientifique qui vise à mesurer, analyser et interpréter les réactions des personnes aux caractéristiques des produits perçus par les sens humains, à savoir la vue, l'odorat, le goût, le toucher et l'ouïe.

Cette méthode est couramment utilisée dans l'industrie alimentaire, les cosmétiques, les produits pharmaceutiques et bien d'autres domaines pour évaluer la qualité des produits, développer de nouveaux produits et comprendre les préférences des consommateurs (LAWLESS et *al.*,2010).

Après avoir distribué et testé notre produits alimentaire on a obtenue des questionnaires rempli par les dégustateurs pour une évaluation sensorielle avant et après avoir goûté (Figure 19).

Questionnaire sur l'incorporation du spiruline au fromage :

Nom :	Mauvais	acceptable	Excellent
<i>W. A. B. S. ...</i>			
Avant de goûter			
Couleur		X	
Texture		X	
Arome		X	
Présentation		X	
Après avoir goûté			
Apparence		X	
Arome			X
Texture			X
gout			X
Harmonie			X

Figure 19 : Questionnaire rempli

Les résultats concernant les analyses sensorielles sont présentés dans le tableau ci-dessous Tableau (5 et 6) et les figures (20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28).

Tableau 5 : L'évaluation organoleptique de produit (avant de goûter le fromage à la Spiruline).

Avant de goûter	Mauvais	Acceptable	Excellent
Couleur	18	21	8
Texture	1	35	11
Arome	0	33	14
Présentation	10	32	5

Tableau 6 : L'évaluation organoleptique de produit (après avoir goûté le fromage à la Spiruline).

Après avoir goûté	Mauvais	Acceptable	Excellent
Apparence	0	35	12
Arome	0	23	24
Texture	0	17	30
Gout	0	2	45
Harmonie	0	10	37

4. Evaluation avant de goûter :

a) Couleur

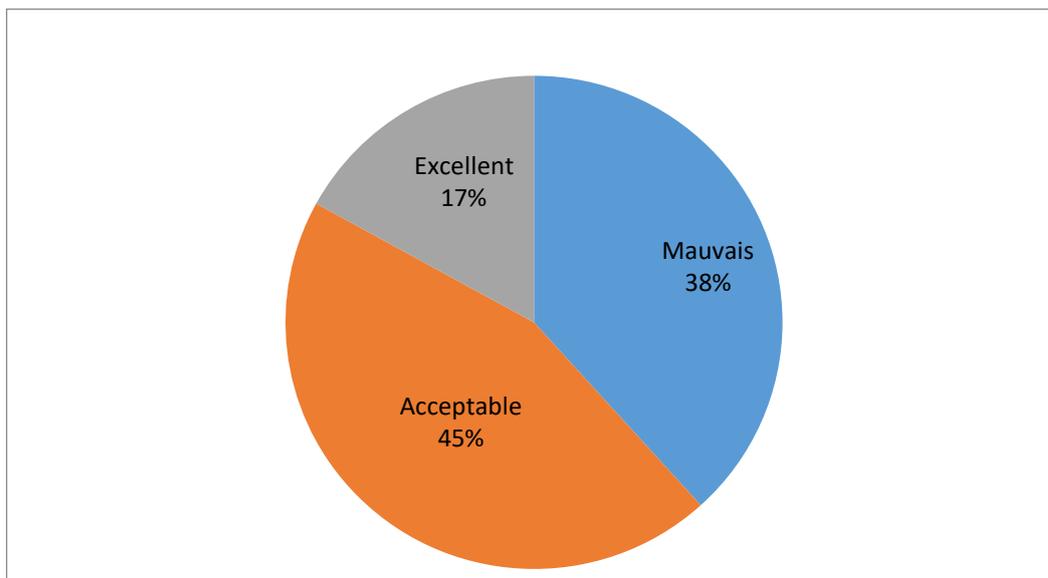


Figure 20 : Evaluation de couleur de fromage avec la Spiruline

A partir de la (Figure 20) on a obtenue 38% d'une couleur de fromage vert mauvaise, 45% acceptable et 17% une couleur excellente.

b) Texture

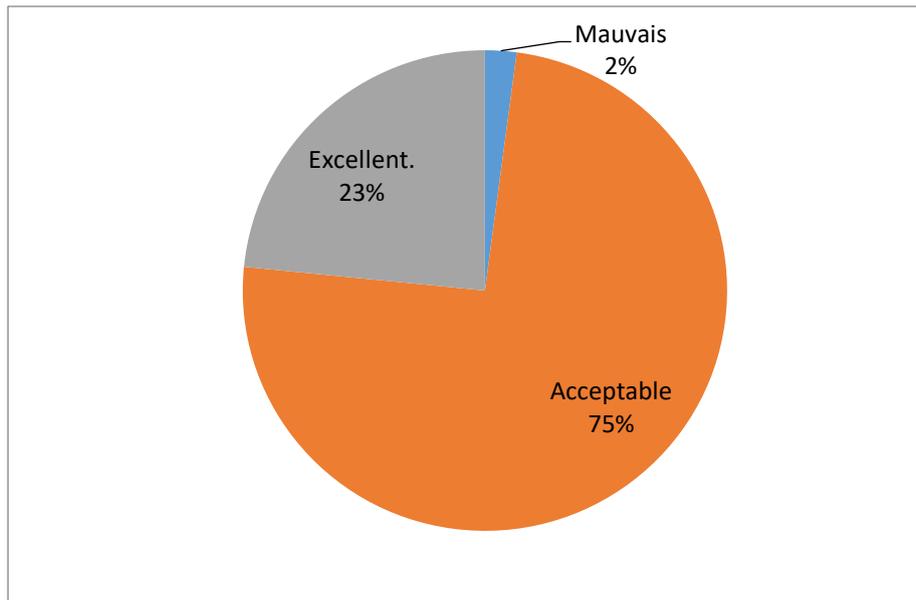


Figure 21 : Evaluation de la texture de fromage avec la Spiruline

La (Figure 21) représente que 2% de texture mauvaise, 75% une texture acceptable et 23% excellent.

c) Arôme

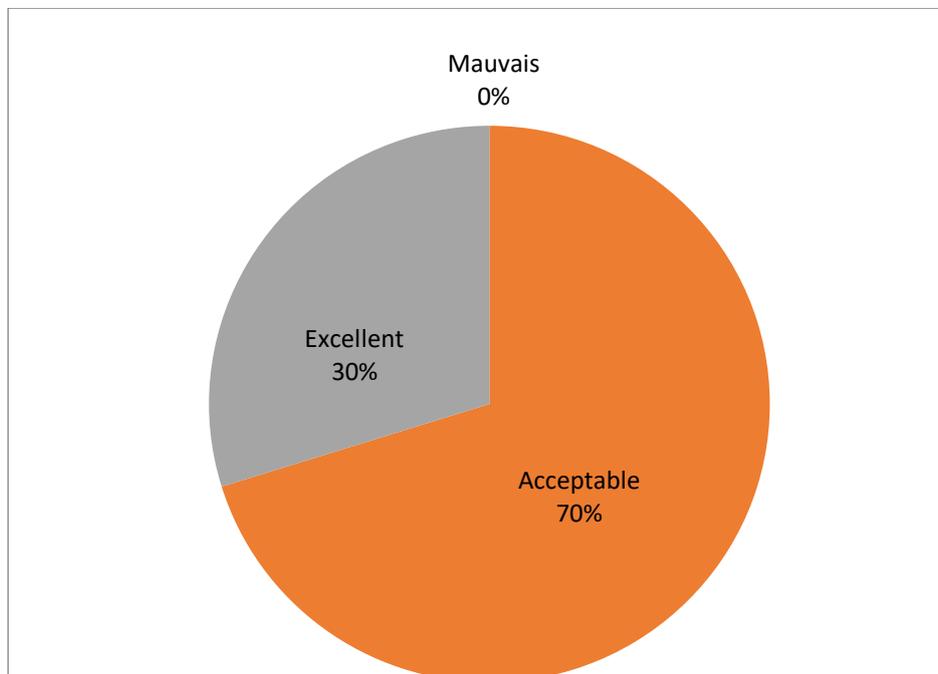


Figure 22 : Evaluation d'arôme de fromage avec la Spiruline

L'arôme a marqué 70% d'acceptation, 30% excellent et 0% mauvais (Figure22).

d) Présentation

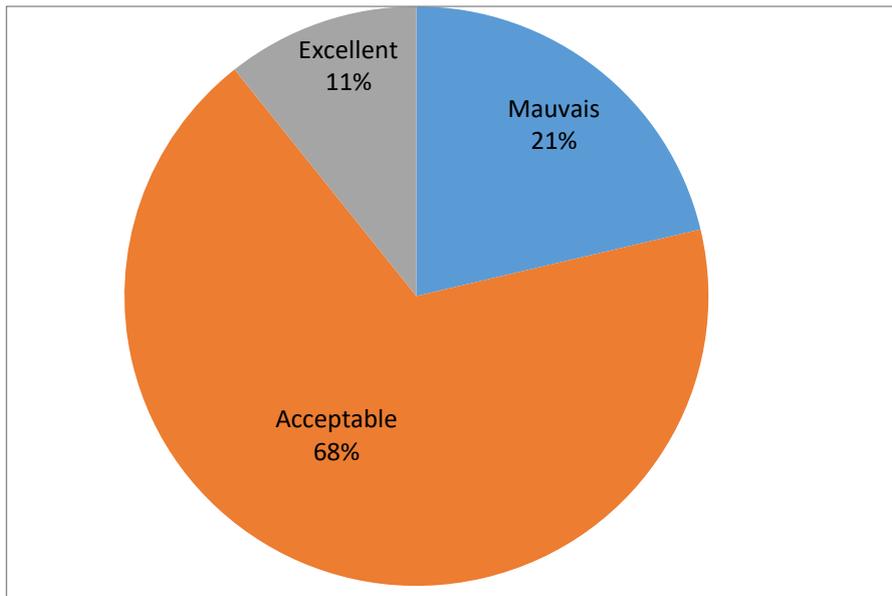


Figure 23 : Evaluation de présentation de Fromage avec la Spiruline

Pour l'évaluation de présentation de fromage avec la Spiruline on a obtenu 21% d'une mauvaise présentation mais 68% d'une présentation acceptable et 11% excellent (Figure23).

5. Evaluation après avoir goûté :

a) Apparence

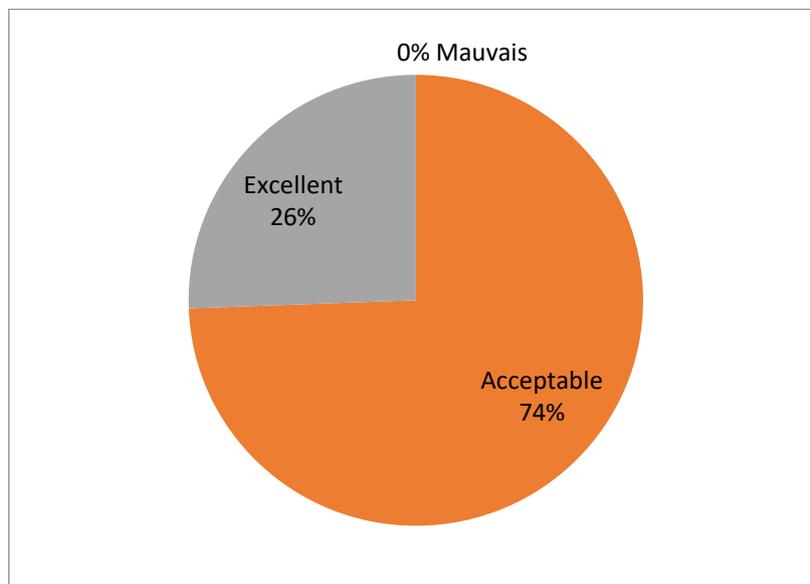


Figure 24 : Evaluation d'apparence après avoir goûté

Après avoir goûté le fromage avec la Spiruline on a obtenu un résultat de 74% d'acceptation et 26% excellent (Figure24).

b) Arôme

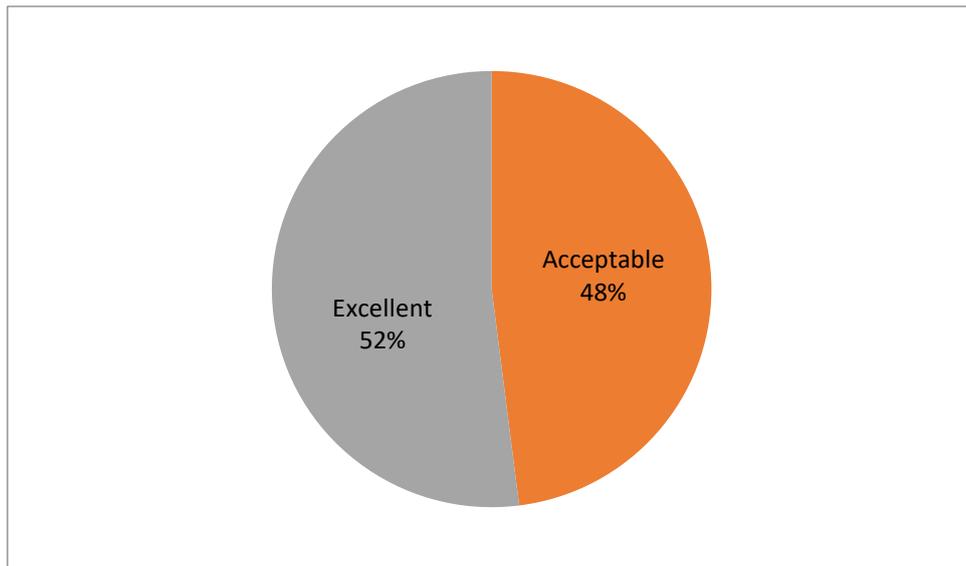


Figure 25 : Evaluation d'arôme après avoir goûté

Concernant l'arôme, après avoir goûté le fromage on a repéré 48% d'un arôme acceptable et 52% arôme excellente (Figure 25).

c) Texture

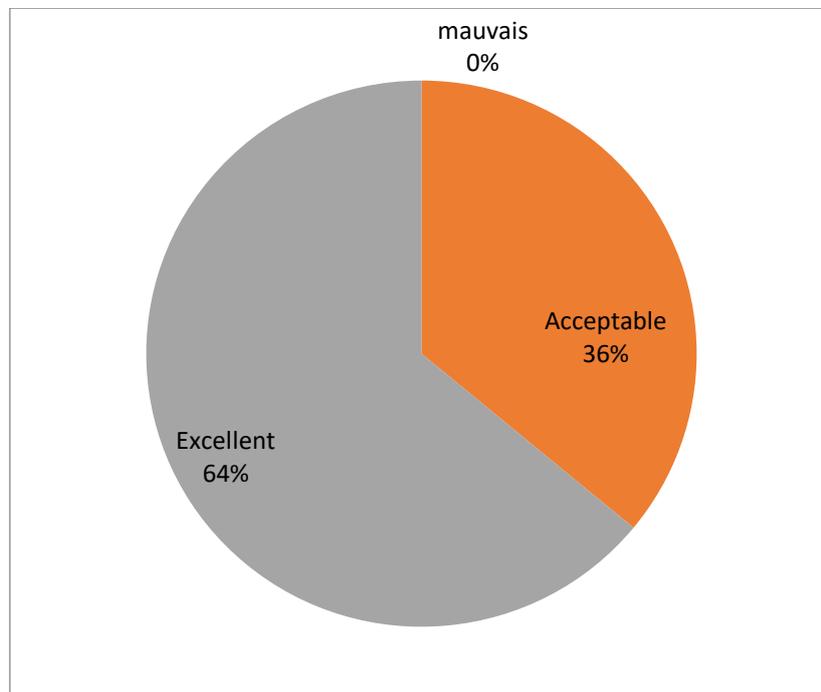


Figure 26 : Evaluation de la texture après avoir goûté

D'après la (Figure 26) on a détecté 36% d'une texture acceptable et 64% texture excellente.

d) Gout

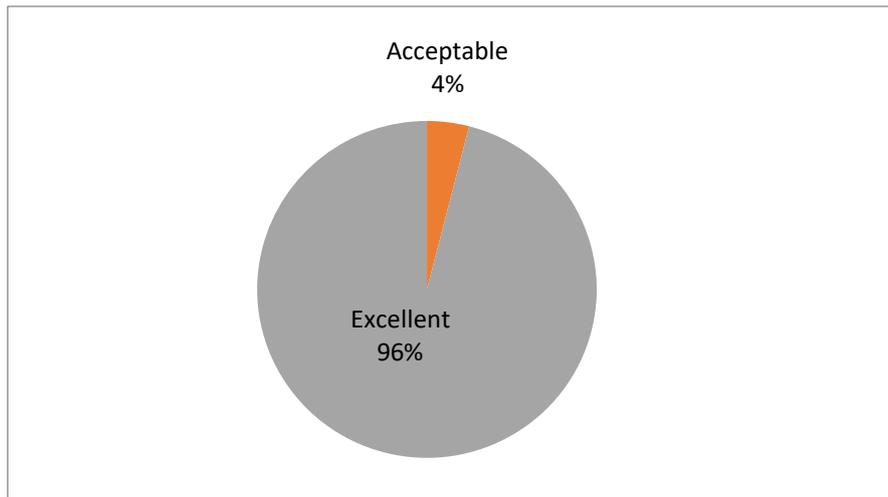


Figure 27 : Evaluation de gout de fromage à la Spiruline

La (Figure 27) représente 96% d'un excellent gout et 4% d'un gout acceptable.

e) Harmonie

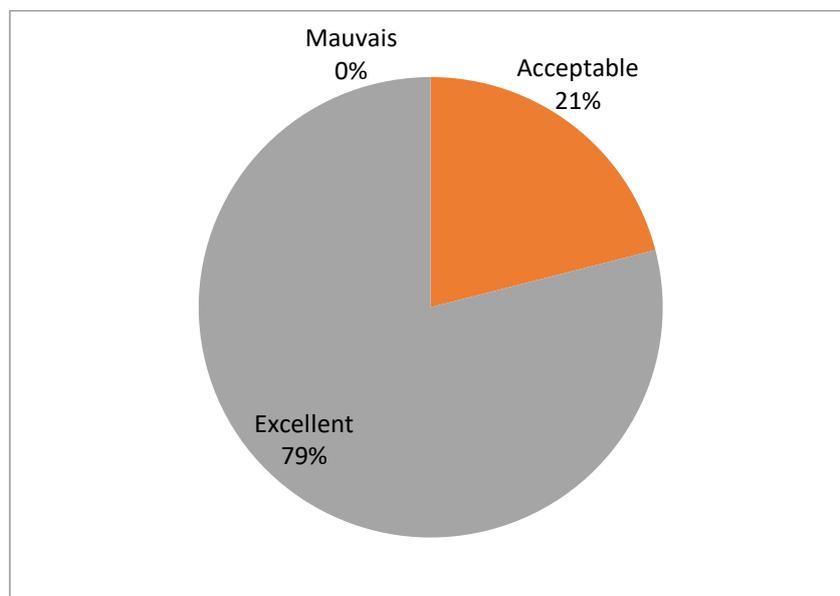


Figure 28 : Evaluation sur l'harmonie entre la Spiruline et le fromage

L'harmonie entre le fromage et la Spiruline est noté sur 79% excellent et 21% acceptable (Figure 28).

Selon les résultats de l'évaluation sensorielle réalisée par 47 dégustateurs traduite en tableau (5 et 6) et graphique secteur (20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29) sur la qualité de fromage frais à base de lait de vache incorporé avec la Spiruline, selon la couleur, texture, arôme, présentation, gout, apparence et l'harmonie, nous avons enregistré des différentes expressions majoritairement acceptable et excellent.

***Conclusion
et perspective***

Conclusion et perspective :

La Spiruline a également un effet bénéfique sur les performances sportives, améliore la digestion, contribue à la perte de poids en augmentant la satiété, et améliore la santé de la peau et des cheveux. De plus, elle peut contribuer à contrôler la glycémie, ce qui est bénéfique pour les individus souffrant de diabète de type 2.

Le fromage maison à tartiner présente de multiples avantages. Il contient de nombreuses protéines et du calcium, qui sont indispensables pour la santé des os et des muscles.

En réalisant la préparation du fromage à domicile, nous avons la possibilité de gérer les ingrédients, évitons ainsi les additifs et conservateurs qui sont présents dans les fromages commerciaux.

En outre, il est possible de le personnaliser en ajoutant des herbes et des épices afin d'améliorer sa valeur nutritive et ses saveurs. Il s'agit d'une alternative savoureuse et équilibrée pour les collations, les petits déjeuners et les apéritifs, propice à une alimentation plus naturelle et variée.

En ajoutant de la Spiruline au fromage à tartiner maison, on peut concilier les avantages des deux aliments. L'apport de protéines, de vitamines, de minéraux et d'antioxydants de la Spiruline renforce les bienfaits nutritionnels du fromage.

Avant de l'assaisonner, nous pouvons ajouter une petite quantité de Spiruline en poudre au caillé pour enrichir le fromage en nutriments essentiels, ce qui favorise l'amélioration de l'énergie, le renforcement du système immunitaire et la promotion de la santé globale.

Ce mélange propose une saveur singulière et une teinte verte séduisante, métamorphosant un fromage à tartiner classique en un super-aliment délicieux et riche en nutriments.

En revanche, l'expérience de cultiver de la Spiruline dans un environnement de 10 litres est une expérience qui permet d'explorer les principes fondamentaux de la culture des micro-algues. Elle illustre la manière de gérer les conditions indispensables comme la lumière, la température, le pH et les nutriments afin de promouvoir une croissance optimale.

La réalisation de cette activité conduit à la fabrication d'un produit alimentaire riche en protéines, vitamines et minéraux, ce qui met en évidence son potentiel en tant que source nutritive durable. Bien que les conditions idéales soient difficiles à maintenir, cette expérience propose une introduction concrète à l'aquaculture et met en évidence les avantages de la Spiruline pour la nutrition et le bien-être.

Cependant, les avis des dégustateurs sur la Spiruline au fromage et majoritairement acceptable concernant la couleur verte, texture douce, l'arôme, l'apparence, le goût de fromage frais qui nous ont donné une harmonie excellente entre ce super-aliment et le fromage maison traditionnel.

***Références
Bibliographiques***

Références Bibliographiques :

- Abiazar R. (2007)**. Complication des protéines laitières par les extraits de gousses Vertes decaroubier Propriétés technologiques des coagulums obtenus. Thèse de Doctorat. Agroparistech. 197
- Ahounou M. N., 2018**. La Spiruline : Un complément alimentaire en conseil à l'officine. Enquête d'utilisation. Thèse pour l'obtention d'un Diplôme d'Etat de Docteur en Pharmacie, Université de Rouen, UFR de Médecine et de Pharmacie, p 17-27, 40.
- Balloni W, Tomaselli L, Giovannetti L, Margheri MC (1980)**. Biologia fondamentale del genere *Spirulina*. In: Materassi R (ed) Prospettive della Coltura Massiva di *Spirulina* in Italia. CNR Rome, pp 49–85
- Benkerroum N, Tamime A Y. (2004)**. Technology transfer of some Moroccan traditional dairy products to small industrial scale. *Food Microbiol* N°21, 399–314 pp
- Becker, E.W. (2007)** Micro Algae as a Source of Protein. *Biotechnology Advances*, 25, 207-210. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biotechadv.2006.11.002>
- Borowitzka, M.A.** "Commercial production of microalgae: ponds, tanks, tubes and fermenters." *Journal of Biotechnology*, 2000.)
- Bujard, E., Braco, U., Mauron, J., Mottu, F., Nabholz, A., Wuhrmann, J.J. et Clément G. (1970)**. Composition and Nutritive Value of Blue Green Algae (*Spirulina*) and their Possible Use in Food Formulations. *3rd. international Congress of Food Science and Technology, Washington*.
- Casal Alain, 2019**. LA SPIRULINE EXPLIQUÉE Aux sceptiques et aux convaincus 137pages
- Charpy L, (2008)**. Colloque International « la Spiruline et le développement », formation et transfert de technologie, en matière de culture de Spiruline : 28 - 29 et 30 avril 2008. Toliara -Sud-Ouest Madagascar : 8, 9, 89, 91, 131-134.
- Charpy L., Langlade M. J., Alliod R., 2008**. La Spiruline peut-elle être un Atout pour la Santé et le Développement en Afrique ? Institut de recherche pour le développement, Marseille, p 6, 16.
- Ciferri, O. (1983)**. *Spirulina*, the Edible Microorganism. *Microbial. Rev.* Vol. 47:551- 578.
- Clement G., (1975)**. Production et constituants caractéristiques des algues *Spirulina maxima* et *platensis*. *Ann. Nutr. Aliment.* 29(6), pages 477-487.
- Cruchot H., (2008)**. La Spiruline, Bilan et Perspective. Thèse docteur en pharmacie. Université de France-Comite, pp 332.
- Dansou D.K., (2002)**. Développement de la culture de la Spiruline (*Spirulina platensis*) et valorisation de celle-ci au Burkina Faso. Mémoire de d'études supérieures spécialisées (D.E.S.S.) option : industries agro-alimentaires. Université de Ouagadougou, 74p.
- Darcas C. (2000)**. La Spiruline, une algue pour la santé- Livret guide de production. Bassins. C Technap/Credeva. Disponible sur: <http://credeva.online.fr/fich2.htm#2-Bassin>
- Doumange F, Durand-Chastel H, Toulemont A. (1993)**. Spiruline, algue de vie! *Spirulina*, algae of life. Bulletin de l'institut Océanographique de Monaco. Monaco: Musée Océanographique. P 36, 37.

Références Bibliographiques

- Eck et Gillis JC. (2006).** Le fromage. 3ème Edition : Tec et Doc, Lavoisier. Paris,347-384-691-360-24-87-213pp.
- Eck A., Gillis J.C., (1997).** Le Fromage, De la science à l'assurance-qualité ; 3^e éd-Paris, 890p
- Falquet j., hurni J. P., (2006).** Spiruline, Aspects Nutritionnels, Article scientifique, Researchgate, p 3 – 16.
- Falquet, (1996).***Spirulina*: Aspects nutritionnels, document Antenna technologie Genève.
- Fox R.D (1999).** Spiruline, Technique pratique et promesse. Aix enprovence: Edisud; 1999.
- Fox, P. F., McSweeney, P. L. H., Cogan, T. M., &Guinee, T. P. (2017).** "Fundamentals of Cheese Science." Springer.
- Girardin-Andréani, C. (2005).** Spiruline : système sanguin, système immunitaire et cancer.Phytothérapie. 2005 ; 4 : p. 158-161.
- Goudédranche H, Fauquant J, Maubois J.L. (2000).** Fractionnassions of globularmilkfatby membrane microfiltration. Lait, 80-93-98 pp.
- Katz. H et Weaver W.W. (2003).** Encyclopedia of food and culture. Volume1:Acceptance to food politics. Charles Scribner's Sons. New York, 718p.
- Kongo J.M. &Malcata F.X. (2016).** Cheese: Chemistry and Microbiology.In: Encyclopedia of Food and Health. Elsevier, 735-740.In:Cheese. Elsevier, 5-21.
- Gret. (2002):**Transformation les produits laitiers frais à la ferme. 1ère Ed 2002, Educagri Éditions. 232p.
- Grosogeat H., (2009).** ‘‘Ma promesse anti-âge. « Ralentir le vieillissement, Maigrir durablement, Combattre les maladies modernes »’. Ed Odile Jacobe, 212p. Paris.
- Henrikson, (1994).** Earth food Spirulina, How this remarkable blue-green algae can transform your health and our planet. RonoreEnterprises Inc., U.S.A.
- Hudson B.J.F., Karis I.G., (1974).** The lipids of the alga Spirulina. J. Sci. Food Agric 25, pp 759-763.
- Hug C et Von der wied D., (2011).** La Spiruline dans la lutte contre la malnutrition, Bilan et perspectives. Antenna Technologies, Genève, 30 p.
- Jordan, (1999)** sugar as a source of carbon for spirulina (*Arthrospira platensis*) culture, international biotechnology, Inde, PPP58, 96,97.
- Jourdan, Paul., (2006)** : Manuel de culture artisanale de la Spiruline.
- Jourdan, Paul., (2018).***La culture de la Spiruline: Techniques et applications.* Presses d'Algues.
- Kim. C.J, et al. (2006).**Effet of *Spirulinaplatensis* and probiotics as feed additives on growth of shrimp *Fenneropenaeuschinensis*. Journal of microbiology and biotechnology.

Références Bibliographiques

- Lawless, H. T., & Heymann, H. (2010).** Sensory Evaluation of Food: Principles and Practices. Springer.
- Lecointre R., (2017).** Optimisation de la production de Spiruline dans une ferme à Madagascar afin de lutter contre la malnutrition infantile, Mémoire d'Ingénieur, Agroalimentaire, Oniris, Ecole Nationale Vétérinaire, Agroalimentaire et de l'Alimentation, Nantes Atlantiques, p 5.
- Luquet F. M. (1985).** Laits et produits laitiers - Vache, brebis, chèvre. Tome 1 : Les laits De la mamelle à la laiterie. Tech. & Doc., Coll. STAA, Lavoisier, Paris.
- Mahaut M, Jeantet R, Brule G. (2000).** Initiation à la technologie fromagère : Technique et documentation. EN6636.
- Majdi A (2009).** 'Les fromages AOP et IGP.', in Séminaire sur les fromages AOP et IGP. INT-Ingénieur agronomie. (2009)., 88p
- McGee, H. (2004).** "On Food and Cooking: The Science and Lore of the Kitchen." Scribner.
- Mdahou A., (2017).** Etude de l'évolution de la flore microbienne indigène d'un fromage industrielle à pâte molle type camembert au cours de son affinage et évaluation de ces aptitudes technologiques. Thèse de doctorat en production et biotechnologie animales, université d'Abdelhamid Ibn Badis Mostaganem (2017)., 132p
- Michka, (2005).** La Spiruline pour l'homme et la planète, Terra Magna Georg.
- Miranda M. S., Cintra R. G., Barros S. B., (1998).** Antioxydant Activity of the microalga *Spirulina maxima*, Braz J Med Biol Res, 1998; 31: 1075-9.
- Richmond, A. (2008).** "Handbook of Microalgal Culture: Biotechnology and Applied Phycology." John Wiley & Sons, 2008.
- Sall M.G., Dankoko B., Badiane M., Ehua E., Kuwakuwi N., (1999).** La Spiruline, Une Source Alimentaire à Promouvoir, Laboratoire de Chimie Thérapeutique, Dakar, Sénégal, Article 46 (3).
- Scott R, Robinson RK et Wilbey RA. (1998).** Cheese making practice 3rd edition: Springer. Science and Business Media, New York, USA, 449p.
- Shmitz T., (2014).** Les Incroyables Propriétés de la Phycocyanine, Principe de santé, Revue N° 72.
- Perrault A., (2017).** A la Recherche de Nouveaux Caroténoïdes Super Antioxydants, Portail Actus, INRA, Université d'Avignon, France.
- Sguera S., 2008.** *Spirulina Platensis* et ses Constituants, Intérêts Nutritionnels et Activités Thérapeutiques, Thèse pour obtenir le Diplôme d'Etat de Docteur en Pharmacie, Université Henri Poincaré - Nancy 1, Faculté de Pharmacie, p 15.
- Sorto M. (2003).** Voies alimentaires d'amélioration des situations nutritionnelles : utilisation et consommation de la Spiruline au Tchad. 2ème Atelier international ; Ouagadougou, 23-28 /1 1/ 2003. Disponible sur : <http://spirulinagadez.ftce.fr/pdfs/Tchad—Sorto.pdf>
- Théodore Z. G. H. C. (2017).** Optimisation de la culture de la Spiruline en milieu contrôlé : éclairage et estimation de la biomasse (Doctoral dissertation, Toulouse 3).

Références Bibliographiques

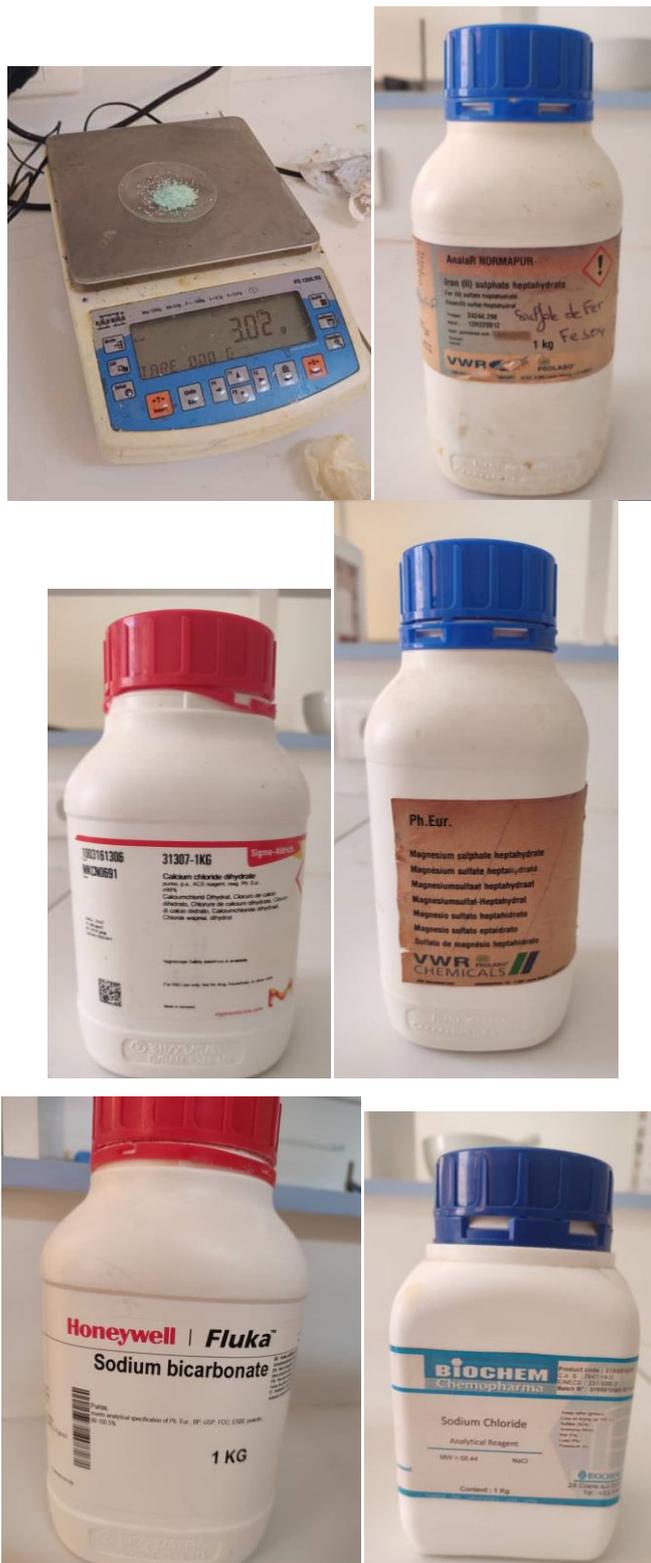
- Tsuchita H, Suzuk T et Kuwata. (2001).**The effect of casein phosphopeptides on calcium absorption from calcium-fortified milk in growing rats. *British. Journal of Nutrition.* 85, 5-10.
- Vonshak A., (2002).***Spirulina platensis (Arthrospira) : Physiology, Cell-biology and Biotechnology,* p 1-17.
- Vonshak, A. (1997).** "Spirulina platensis (Arthrospira): Physiology, Cell-Biology and Biotechnology." CRC Press, 1997
- Walther B, Schmid A, Sieber R et Whrmuller K. (2008).** Cheese in nutrition and health. *Review Dairy Sc. Technology.* 88, 39-405.
- Watanuki. H, Ota. K, et al. (2006).** Immunostimulant effects of dietary *Spirulina platensis* on carp, *Cyprinus carpio.* *Aquaculture* 258.p 157-163.

Les annexes

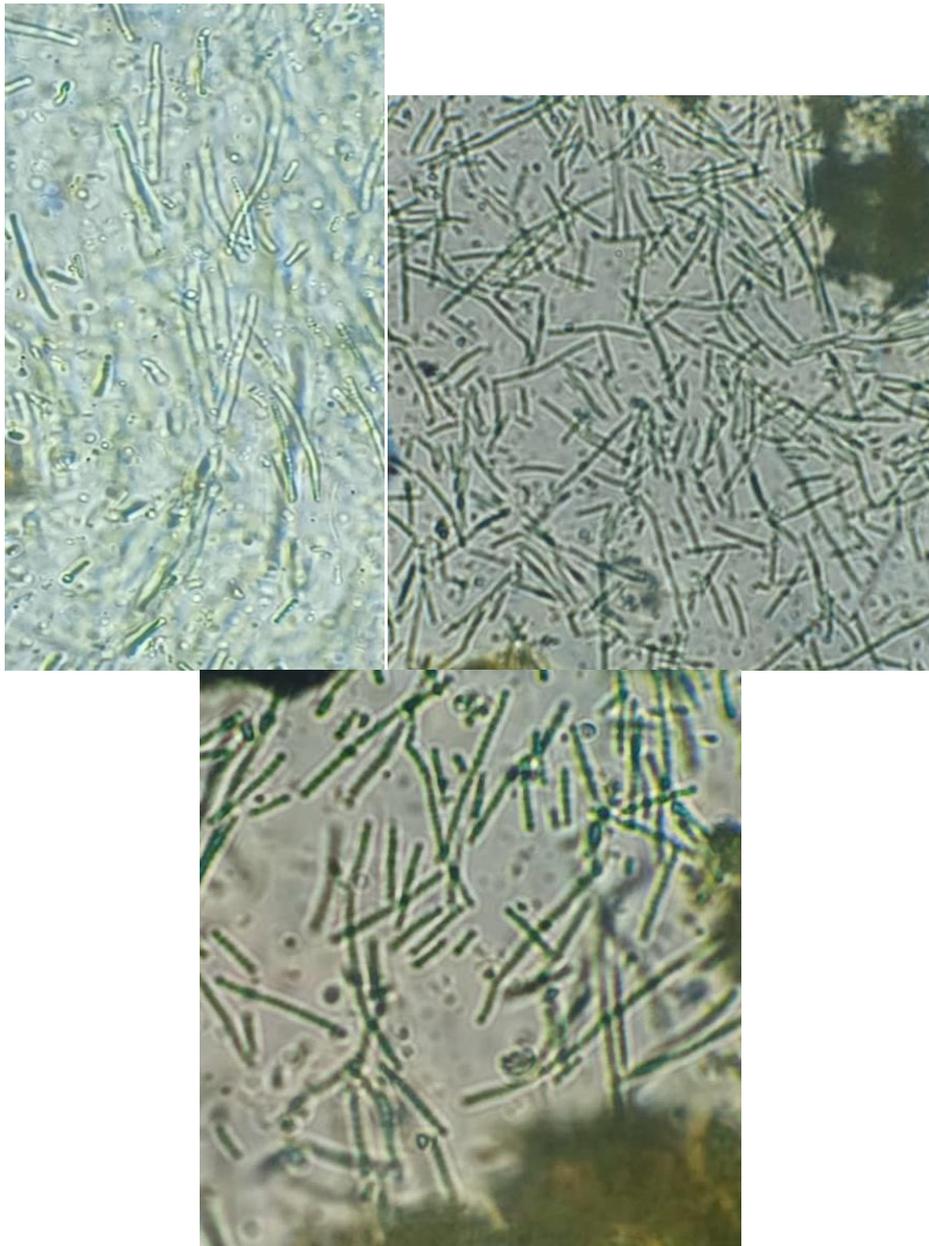
Les Annexes :



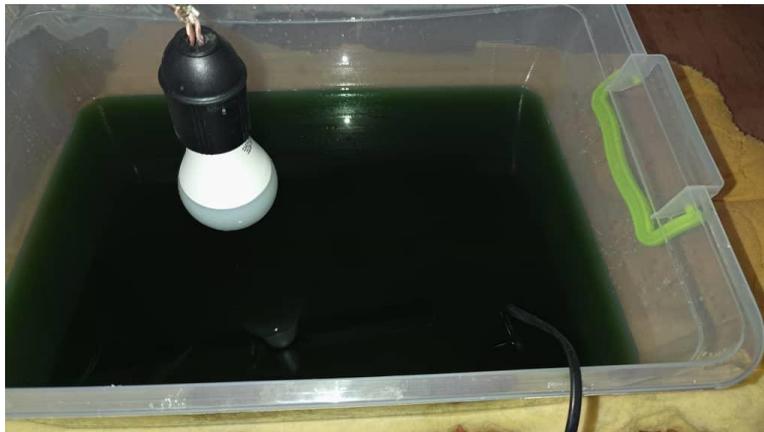
Annexe 1 : Matériel de culture



Annexe 2 : Produits ajouté au milieu de culture + balance



Annexe 3 :Spiruline vue microscopique



Annexe 4 :Milieu de culture



Annexe 5 : Tamis en tissu pour la récolte

من تنظيم غرفة الصيد البحري و تربية المائيات لولاية عين تموشنت بالتنسيق مع مديرية الصيد البحري و تربية المائيات لولاية عين تموشنت و تحت الاشراف البيداغوجي لمدرسة التكوين التقني للصيد البحري و تربية المائيات بني صاف و التي امتدت على مدار 03 ايام متتالية .

تميز اليوم الاخير من الدورة باجراء حصة تطبيقية على مستوى مخبر المدرسة بعنوان: " LA CULTURE DE LA SPIRULINE"

اظافة لذلك كانت هناك عملية تذوق للسبيرولينا مع الجبن حيث لاقت استحسان واسع من طرف المشاركين في الدورة.

#في الاخير تم تسليم الشهادات لجميع المشاركين في الدورة بحضور مدير و رئيس الغرفة الولائية للصيد البحري و تربية المائيات لعين تموشنت ،نائب مدير الدراسات و التربصات و اساتذة المدرسة.



Annexe 6 : Analyse organoleptique a l'école de pêche Beni saf