

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 الجيلالي بونعامة
Université Djilali Bounaama de Khemis Miliana
Faculté des sciences de la nature et de la vie et des sciences de la terre
Département de Biologie



Mémoire de fin d'études

En vue de l'obtention de diplôme de **Master** en

Domaine : Science de la Vie et de la Nature

Filière : Biologie

Spécialité : Microbiologie Appliqué

Incorporation de la spiruline dans un fromage fabriqué à partir de lait de vache

Présenté par :

- *AZIZI Bouchra*
- *ZEMAM Manal*
- *MOSRANE Manal*

Devant le jury :

Mme. Zaouadi N.	MCB	Présidente	(U.D.B Khemis Miliana)
Mme. Bensehaila S.	MCA	Promotrice	(U.D.B Khemis Miliana)
Mme. Sadi F.	MCA	Examinatrice	(U.D.B Khemis Miliana)

Année universitaire : 2021/2022



Remerciement

Nous tenons à remercier Dieu de nous avoir donné la force et la bonne santé, la patience, la volonté et le courage de mener ce modeste travail.

*Il nous est agréable d'exprimer nos sincères remerciements et notre profonde gratitude à notre promotrice **Mme Bensehaila .S** de nous avoir guidé au cours de ce travail .Nous lui exprimons notre reconnaissance pour ses précieux conseils qui nous ont aidés dans l'élaboration de ce travail. Merci pour sa disponibilité et sa Coopération remarquable.*

Nos vifs remerciements au membre de jury d'avoir accepté d'évaluer notre travail.

Nous remercions également les personnels de la laitière d'Arib de nous avoir bien accueillis et guidés durant notre stage.

En particulier à Mr « BOULAL Mohammed » technicien De laboratoire. Nous vous remercions d'avoir enrichis nos connaissances et de nous avoir guidés durant toute la période du stage et nous avons grandement apprécié votre soutien, votre implication et votre expérience.

Nos plus vifs remerciements s'adressent au personnel du laboratoire microbiologique de la laitière d'ARIB « Mme Sara et Mme Latifa » et ceux du laboratoire physico-chimique « Mr kadaoui .S ,Mr Mostapha et Mr Nouredine » pour leur patience et leurs précieuses aides, pendant la réalisation de ce travail.

Ainsi à tous les enseignants pour leurs efforts tout au long de nos années d'études.

Nous tenons à remercier toutes les personnes qui ont contribué de manière directe ou indirecte à l'aboutissement de ce travail.



Dédicace

Je dédie ce travail

*À mon très cher père **Mohamed**, pour sa confiance, ses encouragements et son soutien dans toute ma carrière d'étude dès le premier pas jusqu'à ce jour-là et qui m'a appris que la patience est le Secret du succès.*

*À la source de la tendresse, ma mère **Aicha**, pour sa gentillesse sa douceur, pour son affection, son amour ses sacrifices et ses encouragements.*

*À mes chers frères ; **Rachid, Mahfoud et Sid Ahmed.***

*A ceux que j'aime beaucoup et qui m'ont soutenue tout au long de ce projet : À ma chère grand-mère « **Mima hadja** » rabi ykhaliha et ma toutes les familles **AZIZI et BENRABEH***

*À mes irremplaçables sœurs ; **Imane, Salima***

*Sans oublier mes cousines : **Amina, Imane, Rania, manel, chahra, kaouther et Fatima Zohra***

*A ma chère **Amie zemam manal**, En souvenir de notre sincère et profonde Amitié et des moments agréables que nous avons passés ensemble.*

*A mes amies de cœur roumaissa, **Rofaida, Djihane, manel, sarah***

Et enfin à toute mes amies de la promotion microbiologie appliquée 2021/2022 pour tous les moments que nous avons partagés ensemble

Bouchra



Dédicace

*Je dédie ce modeste travail à mes très chers à mon cœur :
A ma mère, leur amour, sacrifice, patiences, soutien moral et
Matériel depuis mon enfance*

*A mon cher père **Benmira** et mes frères : **youcef** et **abd el karim**, leur amour,
sacrifice, il reste toujours*

Dans mon cœur ...

*A qui m'a soutenu pendant mes études, m'encouragé et qui est près
A mes chères sœurs dans ma vie...**Amina, Ahalm, et Fatma**
A tous les enfants : **lina, abd el fettah et akram***

*A toute mes chères cousines surtout : **kholoude, Islam**
Et mes plus adorables amies pendant mon cursus universitaires
Bouchra, Roumaissa, Manal ,Fadwa, salima ,wafa et roufaida*

*A toute ma Famille : **zemam et ournide**
A tous ce qui ont participé dans le succès de ce travail...*

Manal



Dédicace

Je dédie ce travail

A

Ceux qui ont donné un sens à mon existence, en m'offrant une

Éducation digne de confiance

Ce qui a attendu avec patience Les fruits d'une bonne éducation

*A celle qui m'a donnée la vie, le symbole de tendresse, qui s'est sacrifiée pour
mon bonheur et ma réussite à ma mère ...*

*A mon père, école de mon enfance, qui a été mon ombre durant toutes les
années d'études, et qui a veillé tout au long de ma vie à m'encourager, à me
donner l'aide et à me protéger. Que dieu les gardes et les protèges*

*A mes chères adorables frères : **Mohammed, Oussama et Abdelkader "dido"**.*

*A mon mari : "**Nacerdinne**" qui me aider trop dans la période de ce travail, que
dieu le garde.*

*A mon binôme **Bouchra et Manal**.*

A tous ceux qui me sont chères

A tous ceux qui m'aiment

A tous ceux que j'aime

A toute la promo de microbiologie appliquée 2022-2023

A Tous les enseignants qui m'ont suivi tout au long de mon parcours éducatif

Manel

Résumé

La spiruline est une espèce de micro algue la plus populaire connue pour sa teneur élevée en protéines et ses composants bioactifs tels que la phycocyanine et l'allophycocyanine, Cette microalgue peut être utilisée comme source de nourriture et être appliquée dans certains produits alimentaires.

Notre travail a pour objectif de produire un nouveau fromage frais de type petit suisse enrichi avec de la spiruline « *Spirulina platensis* », nous avons préparés différentes concentrations (0,5, 1 et 2%) et nous avons évalué sur les caractéristiques physico-chimiques, microbiologiques et sensorielles.

L'ajout de la spiruline augmente légèrement la teneur en protéines et affecte la couleur des fromages. Ils ont atteint un bon profil microbiologique et ont tous été qualifiés d'acceptables pour la consommation par les dégustateurs. Cependant, les fromages contenant 0,5 et 1% de spiruline ont été principalement choisis en raison de l'odeur et du goût caractéristiques moins intenses de la spiruline.

Nous concluons qu'il est possible de produire un fromage frais acceptable avec l'ajout de spiruline sans changements significatifs dans la chaîne de production de fromage.

Mots clés : « *Spirulina platensis* », microalgues. , fromage frais, source de nourriture, la chaine de production.

Summary

Spirulina is one of the most popular species of microalgae known for its high protein content and bioactive components such as phycocyanin and allophycocyanin. This microalgae can be used as a food source and be applied in some food products.

The objective of our work is to produce a new fresh cheese type Petit Suisse enriched with *Spirulina platensis*, we have prepared different concentrations (0.5, 1 and 2%) and we have evaluated on the physicochemical, microbiological and sensory characteristics.

The addition of *Spirulina* slightly increases the protein content and affects the color of the cheeses. They achieved a good microbiological profile and were all qualified as acceptable for consumption by the tasters. However, the cheeses containing 0.5 and 1% *Spirulina* were mainly chosen because of the characteristic less intense smell and taste of *Spirulina*.

We conclude that it is possible to produce an acceptable fresh cheese with the addition of spirulina without significant changes in the cheese production line.

Key words: *Spirulina platensis*, microalgae, fresh cheese, food source, production chain.

الملخص

سبيرولينا هي واحدة من أشهر أنواع الطحالب الدقيقة المعروفة بمحتوياتها العالية من البروتين والمكونات النشطة بيولوجيًا مثل فيكوسيانين والوفيكوسيانين. يمكن استخدام هذه الطحالب الدقيقة كمصدر غذائي وتطبيقها في بعض المنتجات الغذائية

الهدف من عملنا هو إنتاج نوع جديد من الجبن الطازج "بتي سويس" المخصب بالسبيرولينا "سبيرولينا بلاتينسيس"، وقمنا بإعداد تركيزات مختلفة (0.5 و 1 و 2%) وقمنا بتقييم الخصائص الفيزيائية الكيميائية والميكروبيولوجية والحسية.

تزيد إضافة السبيرولينا قليلاً من محتوى البروتين وتؤثر على لون الجبن. لقد حصلوا على صورة ميكروبيولوجية جيدة وتم تأهيلهم جميعاً على أنهم مقبولون للاستهلاك من قبل المتذوقين. ومع ذلك، تم اختيار الجبن الذي يحتوي على 0.5 و 1% سبيرولينا بشكل أساسي بسبب خصائص الرائحة والطعم الأقل كثافة للسبيرولينا.

نستنتج أنه من الممكن إنتاج جبن طازج مقبول مع إضافة سبيرولينا دون تغييرات كبيرة في سلسلة إنتاج الجبن.

الكلمات الرئيسية: سبيرولينا بلاتينسيس، طحالب دقيقة، جبن طازج، مصدر غذائي، خط إنتاج.

Table des matières

Remerciement

Dédicace

Résumé

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste des abréviations

Introduction	1
Partie bibliographique	
Chapitre I : la spiruline	
I.1 Qu'Est-ce que la spiruline ?	3
I.1.1. Définition	3
I.1.2. Historique	5
I.1.3. Morphologie de la spiruline	6
I.1.4. Classification Taxonomique	7
I.1.5. Cycle biologique et reproduction	8
I.1.6. Habitat et réparations géographiques	8
I.2. La composition chimique	9
I.2.1 Protéines	9
I.2.2 Lipides	11
I.2.3. Acides nucléiques	12
I.2.4. Glucides	13
I.2.5. Vitamines	13
I.2.6. Minéraux et oligo-éléments	14

I.2.7. Pigments	15
I.3. Etape de production de la spiruline	16
I.3.1. La filtration	16
I.3.2. Lavage et l'essorage	17
I.3.3. L'extrusion	18
I.3.4. Le séchage	19
I.3.5. Le broyage	20
I.3.6. Stockage et conditionnement de la spiruline	21
I.4. Principales application de la spiruline	22
I.4.1. En agroalimentaire	22
I.4.2. En médecine	23
I.4.3. En cosmétique	23
I.5. Activités thérapeutiques	23
I.5.1. Activité antioxydant	24
I.5.2. Activité anti-cancéreuse	24
I.5.3. Activité sur le système immunitaire	24
I.5.4. La spiruline et le cholestérol	25
I.5.5. La spiruline et le diabète	25

Chapitre II : le fromage frais

II. Généralités sur le lait	26
II.1.1. Définition	26
II.1.2. Composition physicochimique du lait	26
II.1.2.1. Eau	26
II.1.2.2. Protéines	26
II.1.2.3. Matière grasse	27
II.1.2.4. Matière azote	27
II.1.2.5. Lactose	28
II.1.2.6. Minéraux	28

II.1.2.7. Vitamines	29
II.1.3. Propriétés physicochimique du lait	30
II.1.3.1. Ph et acidité	30
II.1.3.2. Température	30
II.1.3.3. Densité	31
II.1.4. Caractéristiques organoleptiques	31
II.1.5. Technologie laitière	31
II.1.5.1 Définition de fromage	31
II.1.5.2. Grand famille des fromages	32
II.2. Le fromage frais	33
II.2.1. Définition	33
II.2.2. Composition et valeur énergétique	33
II.2.3. Différent types de fromage frais	34
II.3. Petit suisse	35
II.3.1. Définition	35
II.3.2. Les étapes de fabrication de fromage frais de type (petit-suisse).	35
II.3.2.1. Caillage	35
II.3.2.2. D'écaillage	37
II.3.2.3. Egouttage	37
II.3.2.4. Ré engraissement	38
II.3.3. Les matières utilisées dans la fabrication du fromage frais type petit suisse	38
II.3.3.1. matière première « lait cru »	38
II.3.3.2. les matières entrant dans la fabrication du « petit suisse »	38
II.3.4. la microflore de fromage frais	41
II.3.4.1. la flore bénéfique (la flore lactique)	41

II.3.4.2. La flore d'altération	43
II.3.4.3. la flore pathogène	43

Partie pratique

Chapitre III : Matériels et Méthodes

III.1. Matériels	45
III.2. Méthodes	45
III.2.1. Analyse physico-chimiques de Lait cru	46
III.2.1.1. Détermination de la température	46
III.2.1.2. Détermination de la matière grasse	46
III.2.1.3. Détermination de l'acidité titrable	47
III.2.1.4. Détermination de la densité	48
III.2.1.5. Détermination de l'extrait sec total (EST)	49
III.2.1.6. Détermination de l'extrait sec dégraissé (ESD)	49
III.2.1.7. Détermination de pH (potentiel d'hydrogène)	50
III.2.2. Analyse physico-chimique de poudre de lait	50
III.2.2.1. l'acidité titrable de poudre de lait	50
III.2.2.2. Matière grasse de poudre de lait	51
III.2.3. Analyse physico-chimique de crème fraîche	52
III.2.4. Analyse physicochimique de fromage frais avec la Spiruline	52
III.2.4.1. Détermination du PH	53
III.2.4.2. Détermination de matière grasse	54
III.2.4.3. Détermination de l'extrait sec totale (EST)	55
III.2.4.4. Détermination de l'extrait sec dégraissé	56
III.2.5. Analyses microbiologiques de lait cru	56
III.2.6. Analyse microbiologie de produit fini (petit suisse) avec la spiruline	57

III.2.6.1. Recherche et dénombrement des Coliformes totaux et Coliformes fécaux (<i>E. coli</i>)	59
III.2.6.2. Recherche et dénombrement des staphylococcus aureus	59
III.2.6.3. Recherche de Salmonella	61
III.2.6.4. Recherche de <i>Listeria monocytogènes</i>	63
III.2.7. Analyses biochimiques	64
III.2.7.1. Dosage des protéines	64
III.2.7.2 Détermination du taux de Cendres (minéraux)	64
III.2.8. Analyse du profil sensorielle des fromages frais enrichi en spiruline	64

Chapitre IV : Résultats et discussion

IV.1. Résultats des analyses physicochimiques	66
IV.1.1. Lait cru, poudre de lait et crème fraiche	66
IV.1.2. Produit fini (petit suisse) avec la spiruline	67
IV.2. Résultats des analyses microbiologiques	68
IV.2.1. lait cru	68
IV.2.2. poudre de lait et crème fraiche	69
IV.2.3. produit fini (petit suisse) avec la spiruline	69
IV.2.4. Evaluation de la qualité microbiologique du produit fini « petit suisse » avec spiruline au cours du stockage	70
IV.3. Résultats des analyses biochimiques	71
IV.3.1 protéines	71
IV.3.2. minéraux	72
IV.4. Analyse sensorielles	73
Conclusion	76

Références Bibliographiques

Annexe

Liste des Figures

Figure 01 : vue microscopique de la spiruline	3
Figure 02. Spiruline observé au microscope (<i>spiruline platensis</i>)	4
Figure 03. Spiruline observé au microscope (<i>spiruline maxima.</i>)	4
Figure 04 : filaments des deux espèces de spiruline observés au microscope optique	6
Figure 05 : Cycle biologique de la spiruline	8
Figure 06 : Carte des principaux lieux de production de spiruline dans le monde	9
Figure 07 : Filtration de l'eau par tamisage	17
Figure 08 : Obtention de la pâte	17
Figure 09 : Essorage de la spiruline	18
Figure 10 : Extrusion de spiruline	18
Figure11 : Formation de spaghettis	19
Figure 12 : Séchage des spaghettis de spiruline	20
Figure 13 : Broyage de la spiruline séchée et formation des	21
Figure 14 : Spiruline en paillettes conditionnée	22
Figure15 : les différents types de la coagulation des laits	37
Figure 16 : principaux genres des bactéries lactiques.	42
Figure 17 : Levure	43
Figure 18 : Quelques bactéries pathogènes	44
Figure 19 : la matière grasse de lait cru.	47
Figure 20 : Détermination de la densité avec le lactodensimètre	48
Figure 21 : détermination du PH	50
Figure 22 : fromage frais à différentes concentrations de spiruline.	53
Figure 23 : détermination de la matière grasse de petit suisse avec Spiruline	55
Figure 24 : dilutions décimales 10^{-1} à 10^{-4}	58

Figure 25 : détermination de taux de cendre dans un four a moufle	64
Figure 26 : Description sensoriel de fromage frais enrichi avec 0.5 g de la spiruline	73
Figure 27 : description sensoriel de fromage frais enrichi avec 1 g de la Spiruline	73
Figure 28 : description sensoriel de fromage frais enrichi en 2g de la Spiruline	74

Liste des Tableaux

Tableau 01 : classification taxonomique de la spiruline	07
Tableau 02 : Pourcentage moyen des acides aminés de <i>Spirulina platensis</i> selon différents auteurs et de <i>Spirulina mexican</i> d'après	10
Tableau 03 : Composition typique en pourcentage des principaux acides gras de 3 espèces de Spiruline d'après	11
Tableau 04 : La teneur en acides nucléiques des spirulines est très inférieure à celle de la généralité des unicellulaires.	13
Tableau 05 : Minéraux et oligoéléments contenus chez <i>Spirulina platensi</i>	14
Tableau 06 : Teneurs en pigments exprimées en mg pour 10g de matière sèche de <i>Spirulina platensis</i>	15
Tableau 07 : Composition lipidique du lait	27
Tableau 08 : Composition vitaminique moyenne du lait cru	29
Tableau 09 : composition du lait en minéraux	30
Tableau 10 : Composition moyenne pour 100 g de fromage frais	34
Tableau 11 : Les groupes de poudre de lait et ses caractéristiques	39
Tableau12 : Rôles des ferments lactiques en fromagerie	40
Tableau 13 : les micro-organismes recherchés dans la matière première et le produit fini	56
Tableau 14 : résultats des analyses physicochimiques	66
Tableau 15 : résultats des analyses physico-chimiques de fromages frais enrichi en Spiruline.	67
Tableau 16 : résultats des analyses microbiologiques de lait cru	68
Tableau 17 : résultats des analyses microbiologies de la crème fraiche et poudre de lait.	69
Tableau 18 : les résultats des analyses microbiologiques du fromage frais enrichi en spiruline.	70
Tableau 19 : les résultats des analyses microbiologiques de fromage frais enrichi en spiruline au cours de son stockage à 4°C	71
Tableau 20 : résultats de taux des protéines de chaque produit	72
Tableau 21 : résultats des taux de Cendres	72

Liste des Abréviations

- **%**: Pourcent.
- **±** : écartype
- **°C**: Degré Celsius.
- **°D** : Degré Doronic (quantité d'acide lactique naturel dans le lait qui est 0,1g)
- **µg**: Microgramme
- **Ac**: Acide gras
- **ANP**: Azote non protéique
- **AP**: Azote des protéines
- **ARDA** : Amplified Ribosomal DNA Restriction Analysis
- **BL** : Bactérie lactique
- **CMP** : Caséino macro peptide
- **CO2** : Dioxydes de carbone.
- **Coli fécaux** : Coliforme fécaux.
- **Coli totaux** : Coliforme totaux.
- *E. Coli* : *Escherichia Coli*.
- **ESD** : extrait sec dégraissée
- **EST** : Extrait sec total
- **F.T.M.A** : Flore totale aérobie mésophile
- **FAO**: Food and Agriculture Organization.
- **FB** : Fromage blanc.
- **G** : gramme.
- **g**: Gramme
- **GAMT** : germe aérobie mésophile totale
- **h** : Heure
- **ISO** : Organisation internationale de normalisation.
- **J.O.R.A** : Journal Officiel de la République Algérienne
- **J.O.R.F** : Journal officiel de la République française
- **K**: Kappa
- **Kcal** : Kilocalorie
- **Kg** : kilogramme.
- **L** : litre.

- **Lc** : Lactococcus
- **Mc** : la masse en gramme de la capsule vide.
- **MG** : Matière grasse.
- **mg**: milligramme..
- **Min**: Minute
- **ml**: Millilitre
- **Ms** : Matière sèche.
- **N°** : Nombre
- **Na OH**: Hydroxyde de sodium
- **PCA** : Plate Count Agar
- **PH** : Potentielle d'hydrogène
- **SFB** : Bouillon selenite cystine
- **T** : Température.
- **T/min** : Tour par minute.
- **TB** : Taux butyreux
- **UFC** : Unité Formant Colonie.
- **UFC/ml** : Unité Formant de Colonie par milli litre.
- **UI** : unité internationale
- **V/P** : volume sur le poids.
- **VIH** : Virus de l'immunodéficience humaine
- **VRBG** : violet cristal rouge neutre bile glucosée.
- **VRBL** : Gélose lactosée biliée au cristal violet et au rouge neutre
- **α** : Alpha
- **β** : Bêta



Introduction

Introduction

Introduction

Les aliments fonctionnels jouent un rôle important dans l'alimentation humaine et, ces derniers temps, leur prévalence a augmenté en raison de la demande croissante des consommateurs pour des aliments nutritifs et sûrs avec des bienfaits pour la santé, en particulier d'origine naturelle, compte tenu de leurs caractéristiques et leur capacité à améliorer la santé des individus à travers des nutriments et des substances bioactives, qui font partie de plusieurs aliments naturels, exercent des effets pharmacologiques, et donc ajoutent pratiquement leur « fonctionnalité » aux produits alimentaires (**Ovando, 2018**)

Dans ce contexte, les micro-algues sont devenues une ressource innovante et prometteuse de compléments nutritionnels car elles sont cultivées commercialement pour produire des composés précieux, notamment des protéines, des pigments, des lipides, des acides aminés essentiels, des acides gras mono-insaturés et polyinsaturés, des caroténoïdes, des stéroïdes et des vitamines, entre autres. (**Ovando, 2018**)

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. ces dernières années parmi les ressources alimentaires non conventionnelles (**Sall et al., 1999**). Elle a été proposée comme complément protéique d'une alimentation suffisamment énergétique.

Le lait et les produits laitiers jouent un rôle important dans l'alimentation car ils contiennent les bienfaits nutritionnels des protéines, des minéraux et des vitamines. Surtout en Algérie, les produits sont largement consommés et constituent une part importante de l'alimentation quotidienne des Algériens. Parmi ses produits les fromages sont les plus consommés même par les personnes qui ne tolèrent pas le lait (**Anonyme, 1973**).

Le fromage est le plus ancien mode de conservation du lait : il est né à partir de recette empirique qui est toujours utilisée à l'heure actuelle (**luquet, 1986**). Et présentés sous plusieurs types (les fromages frais, à pâtes pressées, à pâtes dures, à pâtes filées, les fromages fondus, ainsi que les fromages à pâte molle, à croûte lavée ou fleurie.)

Introduction

Le fromage frais est intéressant dans la mesure où c'est le fromage le plus facile à fabriquer du point de vue temps. Dès la traite et jusqu'à son utilisation en industrie, il doit être de forme cylindrique avec un poids de 30g ou de 60g environ, que sa teneur en matière grasse est au moins de 4 g pour 100g de fromage desséché et qu'enfin, sa teneur en extrait sec totale s'élève au minimum à 30g pour 100g de fromage (Veisseyre, 1979).

Notre travail est basé sur les objectifs suivants:

- **Améliorer la valeur nutritionnel du fromage par l'ajout de la spiruline**
- **Essayez de fabriquer un produit laitier (fromage) consommable avec de qualité**

Notre travail est réalisé au niveau de la laiterie d'Arib (O.R.L.A.C) « AIN DEFFLA » a porté sur le monde de fabrication d'un fromage frais type « petit-suisse » à l'échelle industrielle.

A green scroll graphic with a dark green border and a lighter green fill. The scroll is unrolled in the middle, revealing the text. The top and bottom edges are rounded, and there are small circular details at the corners suggesting the scroll's binding.

Partie bibliographique

A green scroll graphic with a white border, featuring a small red and white icon in the top right corner.

Chapitre I : la spiruline

Chapitre I : La spiruline

I.1. Qu'Est-ce que la spiruline ?

I.1.1.Définition

La spiruline est le nom commun des cyanobactéries, cyanobactéries et *Arthrospira*. Il existe deux types de spiruline : l'*Arthrospira* et la Spiruline. Seul le premier est la nourriture. Elle est considérée comme un type d'algues microscopiques, d'où le nom de "micro algues", qui tire son nom des cellules interconnectées formant des filaments enroulés en spirale, comme le montre. (Karleskind, 2018).

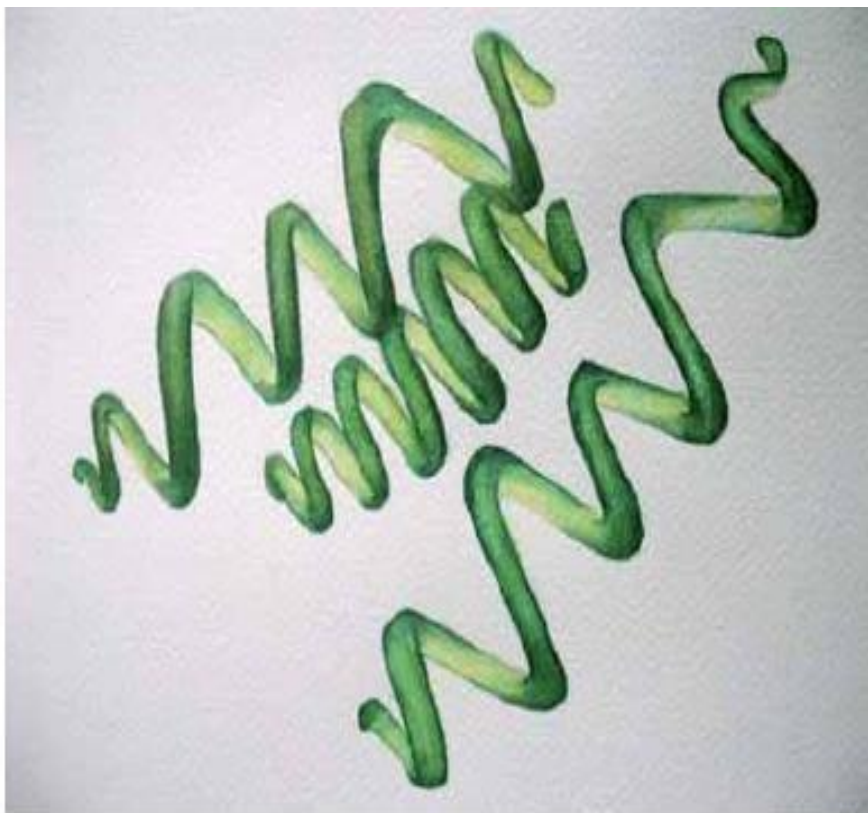


Figure 01 : vue microscopique de la spiruline. (Hairson et Quentin, 2020)

Contrairement à certaines autres cyanobactéries, la spiruline ne possède pas de cellules spécialisées pour fixer l'azote de l'air (hétérothalamus). La taille de la spiruline varie selon la souche et les conditions de croissance. Cependant, nous avons observé des filaments d'une longueur moyenne d'environ 250 μm et d'un diamètre d'environ 10 μm .

Il existe 2 espèces principales de spiruline (**Figure 2 et Figure 3**) (Evoli, 2015).

- La *Spirulina Platensis* du Tchad : la plus connue et la plus cultivée. Elle a une longueur qui peut atteindre 350 μm et un diamètre compris entre 6 et 12,45 μm .



Figure 02. Spiruline observé au microscope (*spiruline platensis*) (Ripley, 1999).

- La *Spirulina Maxima* du Mexique : elle se caractérise par des trichomes de 70 à 80 μm de long et de 7 à 9 μm de diamètre, légèrement effilés aux extrémités.



Figure 03. Spiruline observé au microscope (*spiruline maxima.*) (Ripley, 1999).

I.1.2. Historique

La spiruline est l'une des premières formes de vie terrestre, elle est utilisée pour la première fois par les peuples dans l'antiquité, puis par les Aztèques (peuple de Mexique) et les populations du Tchad, elle était utilisée comme farine pour les gâteaux et tortillas (**Audrey, 2016**)

➤ Au XVe siècle

Les soldats de l'empereur parcouraient certains kilomètres en mangeant à chaque pause la SPIRULINE, afin d'apporter du poisson à l'empereur. Les aztèques récoltaient dans le lac de Texcoco une boue bleue verte qu'ils faisaient sécher au soleil. Cette boue était utilisée comme un complément de farine qu'ils mangeaient comme du fromage ou pour le pain.

➤ Au XVIe siècle

Les lacs asséchèrent par les conquistadors pour faire des terres des pâturages et terres cultivables, conséquence de la disparition des algues bleues (**Audrey, 2016**).

En 1492, Christophe Colomb la découvrit au Mexique, sous forme de petites galettes vertes séchées et le note dans son carnet de bord. Cortès, qui en ses mémoires décrit également vers 1521 la façon dont les aztèques la récoltaient et la consommaient. La spiruline a ensuite été décrite pour la première fois par Wittrock et Nordstedt en 1844 (**Wittrock et al., 1844**). Elle fut redécouverte, au Tchad, vers 1930 par un pharmacien français des troupes coloniales puis en 1940 par le botaniste français Dangeard (**Farrar, 1966**).

En 1959, Brandilly, anthropologue et cinéaste, publie un article sur la spiruline : « Depuis des lustres, une tribu africaine du Tchad (les Kanembous) exploite la nourriture de l'an 2000 » (**Farrar, 1966**). Elle restera une simple curiosité avant le 7ème congrès du pétrole en 1967 à Mexico, à l'occasion duquel des chercheurs de l'institut Français du pétrole rendirent compte de leurs travaux sur la spiruline (**Wittrock et al., 1844**).

La première culture artisanale de spiruline méritant vraiment cette appellation revient sans doute à Fox Ripley qui fut le premier à lancer cette activité en Inde en 1973, en collaboration avec le Navsari Agricultural Collège. Ce fut l'origine de sa première exploitation industrielle, en 1976, par la société Sosa Texcoco basée au Mexique. Actuellement, le nombre de ces exploitations avoisine la trentaine (**Fox, 1999**).

I.1.3. Morphologie de la spiruline

C'est une micro algue vivant en eau douce, d'environ 0.3 mm de long (Tabutin et al., 2002). La spiruline se présente sous la forme d'un filament pluricellulaire bleu vert, mobile, non ramifié et enroulé en spirale appelé trichome ; De cela que la spiruline tient son nom. La longueur moyenne du filament est de 250 μm lorsqu'il a 7 spires et son diamètre est d'environ 10 μm (Cruchot, 2008).

Cependant les spirulines présentent différentes formes spiralées classiques, ondulées et droites et les conditions écologiques contrôlent cela (Fox, 1999).

Actuellement, 50 souches d'Arthrospira recensées à travers le monde ont été étudiées pour en décrire la diversité génétique. Un travail de classification de différentes souches d'Arthrospira, récemment réalisé, repose sur Ces deux espèces souvent retrouvées pour l'alimentation sont : *Arthrospira platensis*, initialement originaire du Kanem (Tchad) et *Arthrospira geitleri* ou *maxima*, originaire du Mexique.

Les différences entre ces deux espèces sont les suivantes :

- ✓ *Arthrospira platensis* : se caractérise par des trichomes atteignant 350 μm de long et entre 6 et 12,45 μm de diamètre ; ils sont un peu rétrécis au niveau des articulations. Les tours de spires ont un diamètre de 20 μm à 50 μm diminuant légèrement vers les extrémités.
- ✓ *Arthrospira maxima* : se caractérise par des trichomes de 70 à 80 μm de long de 7 à 9 μm de diamètre et légèrement effilés aux extrémités ; ils forment une spirale régulière de 3 à 8 tours et de 40 à 60 μm de diamètre. Les cellules constituant des trichomes mesurent entre 5 à 7 μm de long et ne rétrécissent pas au niveau des articulations (Cruchot, 2008).

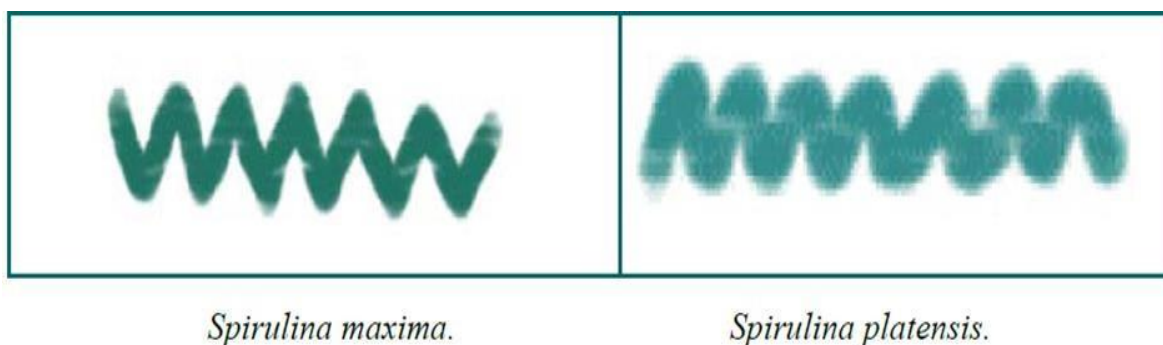


Figure 04 : filaments des deux espèces de spiruline observés au microscope optique (Cruchot, 2008)

I.1.4. Classification taxonomique

La classification systématique de la spiruline a été étudiée par plusieurs auteurs où elle est considérée comme une algue à l'origine, une désignation finale en tant que cyanobactérie a été adoptée et acceptée par la suite pour figurer au « Bergey's Manual of Determinative Bacteriology » (Goulambasse, 2018).

Il existe à ce jour 200 genres et environ 1 500 espèces de cyanobactéries connues ; étant très difficiles à détecter, il en reste sans doute encore beaucoup à découvrir (Cruchot, 2008).

D'un point de vue taxonomique, la spiruline a été classée comme suit par les systématiciens :

Tableau 01 : classification taxonomique de la spiruline (Castenholz *et al.*, 2001)

Règne	Monera
Sous règne	Negibacteria
Division	Cyanobacteria
Classe	Cyanophyceae
Ordre	Nostocales
Famille	Oscillatoriaceae
Genre	<i>Arthrospira</i> (Stizenberger) ex Gomont 1893
Espèces	- <i>Arthrospiragomontiana</i> Setchell 1895 - <i>Arthrospirajenneri</i> Stizenberger ex Gomont 1893 - <i>Arthrospiraneopolitana</i>

Classification suivant selon le CIN, CIN « Code international de nomenclature pour les algues, les champignons et les plantes ». (Loizeau et Price ,2017).

I.1.5. Cycle biologique de reproduction

Son mode de reproduction est la bipartition par scission simple. C'est une reproduction asexuée, par segmentation des filaments qui s'effectue en plusieurs étapes. (Figure 5)

- Une fois la maturité atteinte, les filaments de la spiruline forment des nécridies, des cellules ayant un aspect concave.
- Il s'ensuit une fragmentation du trichome à partir des nécridies aboutissant à de nouveaux filaments constitués de 2 à 4 cellules appelées hormogonies.

Ces derniers croissent par division binaire et prennent la forme typique hélicoïdale, chacune des cellules donne deux cellules par scissiparité. Sa vitesse de multiplication est particulièrement rapide dès que la température dépasse 30°C à l'ombre ; lorsque ces conditions sont réunies et que le milieu est favorable, le temps de génération est très court (7heures). (Charpy et al., 2008).

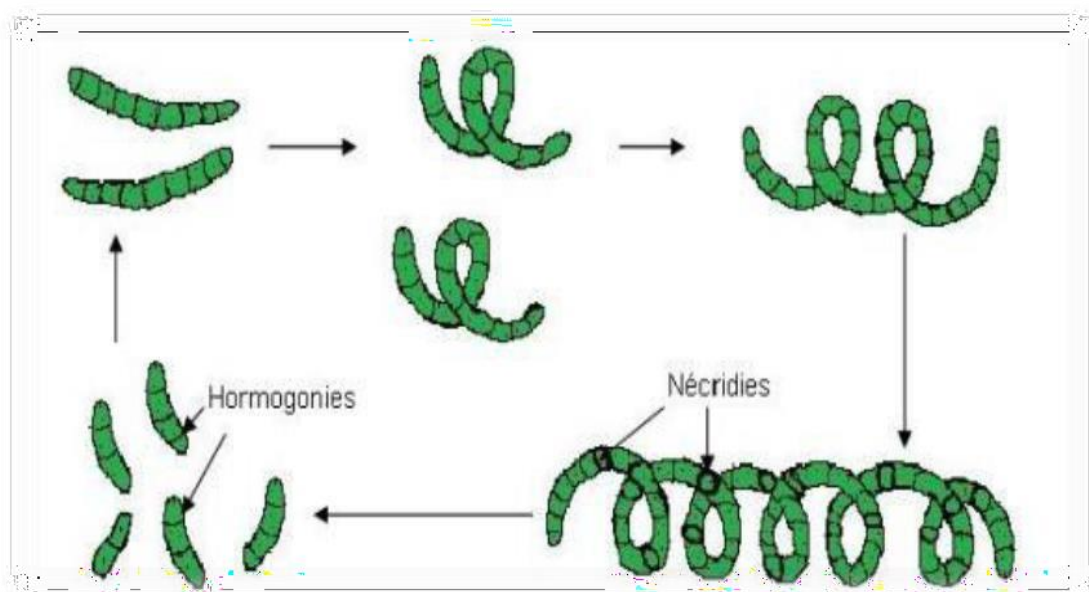


Figure 05 : Cycle biologique de la spiruline (Balloni et al., 1980).

I.1.6. Habitat et Répartions géographique

La principale culture commerciale à grande échelle de micro algues a commencé au Début des années 1960 au Japon avec la culture de *Chlorella*, suivie de *SpirulinaPlatensis* en 1970 dans le lac Texcoco, au Mexique. La spiruline est produite dans Plusieurs pays.

En 2013, la production mondiale était estimée à 5 000 tonnes. La majeure partie de la production provient des États-Unis, de la Chine et de l'Inde. (Evoli, 2015)

Malgré des conditions de culture favorables, l'Afrique reste l'un des continents où la production de spiruline est la plus faible. La plupart des sites de production ont été créés par des ONG et d'autres groupes de soutien pour lutter contre la malnutrition en Afrique. En Côte d'Ivoire, il existe 2 fermes de spiruline. La ferme de Sapde la Mé est située sur l'axe Yakassé-Attobrou, à 15 km d'Adzopé (102 km au sud-est d'Abidjan). Une autre ferme est située dans le village de Raffierkro au centre du pays (10 km au sud de la ville de Bouaké).

En Europe, la France est le principal producteur. La plupart des exploitations sont situées dans le sud de la France, principalement en raison des conditions climatiques favorables. Selon la Fédération française de la spiruline, la production annuelle de tous ces produits est d'environ 40 tonnes. Cette production ne couvre que près de 20 % de la consommation française. En effet, la demande intérieure Ménages est estimée aujourd'hui à environ 250 tonnes de spiruline par an. (Evoli, 2015)

La figure ci-dessous présente la cartographie mondiale de production Commerciale de spiruline



Figure 06 : Carte des principaux lieux de production de spiruline dans le monde. (Evoli, 2015)

I.2. Composition chimique

I.2.1. Protéines

Dans une étude sur l'apport en spiruline traditionnelle au Tchad, la teneur en protéines de la spiruline a été estimée à seulement 5 à 8 % de l'apport en protéines requis pour les hommes adultes. (Delpuech, 1975 ; Sorto, 2003). Sa teneur en protéines très élevée : (60% –70%) de

Chapitre I : la spiruline

son poids, soit 2 fois plus que dans le soja et 3 fois plus que dans les viandes et poissons en général (**J. Falquet, 1996**).

D'un point de vue qualitatif, les protéines de la spiruline sont complètes, car tous les acides aminés essentiels y figurent, ils représentent 47% du poids total des protéines (**Bujard, 1970**).

De plus, tous ces acides aminés essentiels se retrouvent en quantité équilibrée dans la spiruline (**J. Falquet, 1996**).

Tableau 02 : Pourcentage moyen des acides aminés de *Spirulina platensis* selon différents auteurs et de *Spirulina mexican* d'après (**Borowitzka, 1988**).

Acides aminés	Jacquet 1974	Clément 1975b	Fox 1999	Borowitzka
Acides aminés essentiels%				
Isoleucine	5,60	6,40	5,98	5,70
Leucine	8,00	9,00	8,71	8,70
Lysine	4,20	4,80	5,28	5,10
Méthionine	2,25	2,60	2,85	2,60
Phénylalanine	4,40	4,60	5,09	5,00
Thréonine	4,70	5,50	5,58	5,40
Tryptophane	1,00	1,60	1,48	1,50
Valine	5,70	6,90	7,72	7,50
Acide aminé non essentiel%				
Alanine	7,25	7,90	8,24	7,90
Arginine	6,60	6,70	7,92	7,60
Acide aspartique	9,30	9,20	9,50	9,10
Cystéine	0,95	0,90	0,93	0,90
Acide glutamique	NC	12,90	13,20	12,70
glycine	4,80	5,00	5,07	4,80
histidine	1,60	1,60	1,50	1,50
Proline	3,60	3,90	4,32	4,10
Sérine	5,00	5,60	5,46	5,30
Tyrosine	4,30	4,90	NC	4,60

Le spectre d'acides aminés montre que la valeur biologique des protéines de la spiruline est très haute et que l'optimum pourrait être atteint par complémentation avec une bonne source d'acides aminés soufrés et éventuellement de lysine et/ou histidine. Remarquons que les populations du Tchad qui en consomment, l'associent au mil spécialement riche en méthionine et cystéine (Tabutin et al., 2002).

I.2.2. Lipides

Les lipides représentent généralement de 6 à 8% du poids sec de la Spiruline mais ce Pourcentage peut atteindre 11% (Hudson et Karis ,1974). La composition en lipides totaux se Caractérise par un bon équilibre entre acides gras saturés et acides gras polyinsaturés(AGPI). Elle se subdivise en deux fractions : une fraction saponifiable « ou acides gras » (83%) et une fraction insaponifiable (17%) (Clément, 1975).

➤ Les acides gras

La fraction saponifiable, représentant 4,9 à 5,7% de la matière sèche de la Spiruline (Fox, 1999),est essentiellement composée de monogalactosyl diglycéride et de digalactosyl diglycéride (23%), de sulfoquinovosyl diglycéride (5%) et de phosphatidyl glycérol (25,9%) (Xue et al., 2002). Les triglycérides ne sont présents qu'à de très faibles taux (0,3%). La phosphatidyl choline, la phosphatidyl éthanolamine et le phosphatidyl inositol ne sont pas présents en quantité appréciable. Il est à noter que 4,6% de phospholipides sont encore indéfinis.

Tableau 03 : Composition typique en pourcentage des principaux acides gras de 3 espèces de Spiruline d'après (Pascaud et al., 1993).

Acide gras	<i>S pasifica</i>	<i>S maxima</i>	<i>S platensis</i>
Palmitique (16:0)	4,42	63,0	25,8
Palmitoléique (16:1) oméga-6	4,4	2,0	3,8
Stéarique (18:0)	Traces	1,0	1,7
Oléique (18:1) oméga-6	0,4	4,1	16,6
Linoléique (18:2) oméga-6	24,3	13,0	40,1
Gamma-linolénique (18:3) oméga-6	22,1	13,0	40,1
Alpha-linolénique (18:3) oméga-3	Traces	Traces	Traces

La composition des principaux acides gras de 3 espèces de Spiruline (Tableau 3) révèle la Présence d'une forte concentration en acides gras essentiels (acides gras insaturés C18).

Ces acides gras incluent les oméga-3 et des oméga-6 qui sont qualifiés d'essentiels car l'organisme humain en a absolument besoin et ne peut les produire.

Les acides gras oméga-3 et oméga-6 de la Spiruline préviendraient l'accumulation de Cholestérol dans l'organisme. Ceci pourrait expliquer en partie la diminution des taux en Cholestérol et triglycérides observés lors des expériences de (**Ramamoorthy et Premakumari, 1996 ; Samuels et al., 2002**). Ces expériences sur l'homme sont cependant réalisées avec de faibles effectifs et sur des sujets souffrant d'hyper cholestérolémie ou hyperlipidémie.

L'acide gamma-linolénique (non-essentiel car il peut être synthétisé à partir de l'acide gras Linoléique) constitue 10 à 20% des acides gras (soit 1-2% du poids sec) chez *Spirulina Maxima* et jusqu'à 40% chez *S. platensis*, (soit 4% du poids sec). La Spiruline figurerait Parmi les meilleures sources connues d'acide gamma-linolénique,

➤ La fraction insaponifiable

La fraction insaponifiable est composée essentiellement de stérols, de terpènes, D'hydrocarbures saturés (paraffines) et de pigments. Cette fraction représente 1,1% à 1,3% de la matière sèche de la Spiruline (**Fox, 1999**). Bien que certaines études révèlent l'absence de stérols, il semblerait que ces derniers Représentent néanmoins 1,5% de la fraction lipidique non polaire de la Spiruline (**Falquet et Hurni, 2006**).

D'après (**Hudson et Karis, 1974 ; Clément, 1975**).les taux de stérols libres ne dépassent pas 0,015% du poids sec de la cyanophycée. Ces stéroïdes sont principalement le colion astérol, l'avena sterol et en plus faible quantité, le cholestérol.

Certains des stérols présents pourraient partiellement expliquer l'activité antimicrobienne de la Spiruline (**Clément, 1975**).

I.2.3. Acides nucléiques

La teneur en acides nucléiques (ADN et ARN) est un point nutritionnel important car la Dégradation biochimique d'une partie de leurs composants (les purines : adénine et guanine) produit en dernier lieu de l'acide urique. Or une élévation du taux d'acide urique plasmatique peut produire à la longue des calculs rénaux et des crises de goutte. On n'admet généralement que la dose maximum admissible à long terme d'acide nucléique se situe aux alentours de quatre grammes par jour, pour un adulte (**Boudène, 1975**). Il faut ajouter que l'ARN produit deux fois plus d'acide urique que l'ADN, pour une même teneur en purines et que l'élévation

du taux d'acide urique dépend aussi de multiples facteurs, tels que l'âge, le sexe ou encore l'obésité...

Chez *S. Platensis* comme chez *S. Maxima*, on rapporte des valeurs de 4.2 à 6% d'acides Nucléiques totaux dans la matière sèche (Santillan, 1974 ; Afaa, 1982). La proportion d'ADN serait d'un Quart à un tiers par rapport à l'ARN (15). Ces chiffres sont à mettre en rapport avec d'autres aliments.

Tableau 04 : La teneur en acides nucléiques des spirulines est très inférieure à celle de la généralité des unicellulaires. (Santillan, 1974 ; Afaa, 1982)

Aliments	Acide nucléique totaux (% mat. Sèche)
Viande de bœuf	1,5
Foie de bœuf	2,2
Spiruline	4-6
Levure	23

En se basant sur une valeur moyenne de 5% en acides nucléiques, la limite quotidienne de 4 grammes d'acides nucléiques représente le contenu de 80 grammes de spiruline sèche. Cette quantité équivaut à environ huit fois la dose de spiruline recommandée comme supplément alimentaire. On peut donc raisonnablement penser que la teneur en acides nucléiques de la spiruline ne pose pas de problèmes, même à long terme et pour des doses élevées.

I.2.4. Glucides

De façon générale, les glucides interviennent dans le bon fonctionnement des muscles et de la spiruline et représentent une source d'énergie rapide sans fatiguer le pancréas et avec une perte cerveau comme source d'énergie. Les polysaccharides constituent 15 à 25 % de la matière sèche de la minime en insuline (Babadzhanov et al., 2004). Les glucides simples sont en très faible quantité constituant, ainsi un avantage sur le plan diététique.

I.2.5. Vitamines

La Spiruline est une algue vitaminée, elle est la deuxième source de vitamine B1 Derrière la levure de bière. Elle contient aussi une concentration relativement élevée de Provitamine A, vitamine B 12 et β -carotène (Belay, 1997).

I.2.6. Minéraux et oligo-éléments

Les macroéléments ou minéraux se différencient des oligoéléments entre autres par les Quantités quotidiennes que nous devons apporter à notre organisme. Les besoins en Macroéléments sont de l'ordre du gramme (g) ou du dixième de gramme par jour tandis que ceux en oligoéléments sont de l'ordre du milligramme (mg) ou du centième de milligramme (μg).

Les oligoéléments ou éléments traces présents dans la spiruline sont le fer, le zinc, le Cuivre, le sélénium, l'iode, le fluor, le chrome, le calcium et magnésium, les autres éléments, en quantité plus significative, sont considérés comme des minéraux (**Tableau 05**).

(Avino et al., 2000)

Elément	Quantités (mg/kg de biomasse sèche)
Cr	11,3 à 14,2
Fe	900 à 1176
Mn	554 à 592
Zn	21 à 375
Ca	4320
Cl	4890
K	9000
Mg	670 à 2700
Na	4500 à 235000
P	6700 à 9000

A noter la très forte concentration en sodium (235 g/kg) qui selon (Avino et al., 2000) Dépend de la haute salinité du milieu de culture (Avino et al., 2000). Néanmoins, cette concentration est auminimum de 4,5 g/kg ce qui est tout de même élevé pour un aliment. Cependant d'autres publications donnent des chiffres différents pour ces oligoélémentsMais elles ne précisent pas s'il s'agit de dosages réalisés chez *Spirulinaplatensis* ou maxima.Ainsi pour 1 kg de spiruline, des valeurs de 10 g de calcium, 1600 mg de potassium, 4600 mg de manganèse, 28 % de sélénium et 880 à 1500 mg de fer hautement assimilable ont été trouvées (Sall et al., 2000).

I.2.7. Pigment

La spiruline, cette algue qu'on dit bleue mais que nous voyons verte et qui donne aux Plumes des flamants leur couleur rose, contient toutes sortes de pigments. Elle contient des chlorophylles dont la chlorophylle a (typique des végétaux), des Caroténoïdes dont le principal est le β -carotène et des phycobili protéines telles la phycocyanine et la phycoérythrine. Les teneurs en pigments de *Spirulina platensis* apparaissent dans le tableau ci-dessous (**Tableau 06**). (Saini et Sanyal, 2014).

Tableau 06 : Teneurs en pigments exprimées en mg pour 10g de matière sèche de *Spirulina platensis*. (Reuters, 2006).

Pigment	Teneur en Mg /10G
Chlorophylles totales	115
Chlorophylles a	61-75
Caroténoïdes (orange)	37
Phycocyanine (bleu)	1500-2000
Phycoérythrine (rouge)	2900-10000

a) Phycocyanine et β -carotène

Les teneurs en phycocyanine et phycoérythrine varient selon la souche et les Conditions de culture. En effet, les teneurs en phycobili protéines (qui captent l'énergie lumineuse vers les photosystèmes) sont régulées par l'intensité de l'éclairement. Le Tableau 5 montre que la cyanobactérie *Spirulina platensis* est une excellente source de phycocyanine.

En effet, la fraction protéique pourrait contenir jusqu'à 20% de phycocyanine. Cette Dernière joue un rôle bénéfique sur la santé des êtres vivants qui la consomme. Elle Aurait une activité anti-tumorale, elle induirait un mécanisme d'apoptose (Autodestruction) des cellules cancéreuses. Elle aurait aussi une activité antioxydant et elle aurait également un rôle d'hépatoprotection.

En outre, la forte teneur en ce pigment pourrait être d'un grand intérêt industriel, Effectivement, la phycocyanine, pigment bleu profond, est le seul colorant non toxique Utilisé d'ailleurs en confiserie.

D'après certaines études, les antioxydants comme le β -carotène contenus dans la Spiruline permettraient d'inhiber à la fois l'effet mutagène et l'effet régulateur induit par les radicaux libres, préservant ainsi nos tissus. Le β -carotène est d'autre part un précurseur de la vitamine A. (Saini et Sanyal, 2014).

b) Chlorophylle a

La spiruline contient plus de 1% de chlorophylle, ce qui est l'un des taux les plus élevés de tout le règne animal et ce qui lui confère la coloration verte.

Il existe une étonnante similitude entre le sang humain et celui des plantes, en effet, la formule chimique de la chlorophylle est proche de celle de l'hémoglobine sauf que c'est autour de l'ion fer que s'organise La spiruline contient plus de 1% de chlorophylle, ce qui est l'un des taux les plus élevés de tout le règne animal et ce qui lui confère la coloration verte. Il existe une étonnante similitude entre le sang humain et celui des plantes, en effet, la formule chimique de la chlorophylle est l'hémoglobine et que c'est autour de l'ion Magnésium que s'organise la chlorophylle (Hayashi *et al.*, 1996).

I.3. Etapes de production de la spiruline

Une fois la culture prête pour la récolte, on doit pouvoir prélever au moins 25 % de la culture par jour. D'autre part, il est préférable de pratiquer la récolte le matin de bonne heure et à l'aide de pompe, car la teneur de la spiruline en protéines y est généralement plus élevée que le soir (Fox et D, 1999).

La récolte étant une opération un peu délicate, il est conseillé de suivre un protocole assez rigoureux, divisible en six étapes successives :

I.3.1. La filtration

Afin de récolter une spiruline aussi pure que possible il est conseillé de la faire passer à travers une toile de 150 μm avant celle de 30 ou 60 μm de manière à recueillir les débris sur la première et la spiruline sur la deuxième toile et à laisser passer le filtrat qui pourra être utilisé dans le bassin de production .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 .En cas de production à grande échelle ,un tapis vibrant peut être mis après avoir éliminé les débris (Fox et D, 1999)

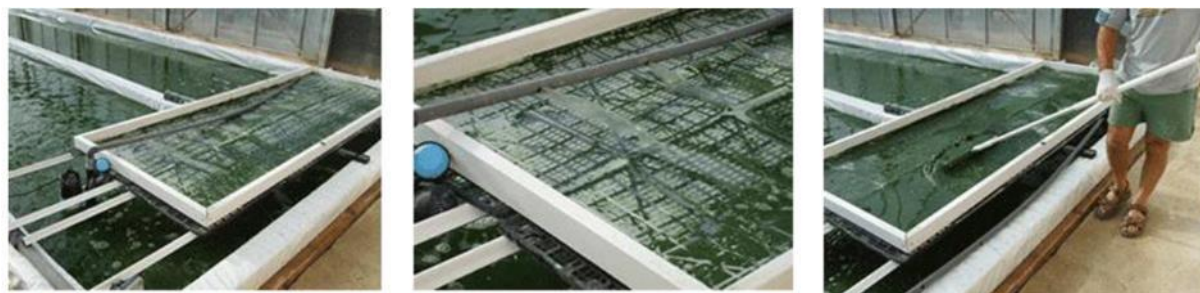


Figure 07 : Filtration de l'eau par tamisage (Fox et D, 1999)



Figure 08 : Obtention de la pâte (Fox et D, 1999)

I.3.2. Lavage et l'essorage

Lorsque la culture est sale, malodorante ou trop salée, J.P Jourdan conseille de laver la biomasse avec de l'eau douce potable avant le pressage et le séchage. (Jourdan et J-P, 2006)

De son côté, J. Falquet pense que le lavage de la spiruline après la récolte et avant le pressage est à éviter.

L'essorage est réalisé par pression. Dès l'apparition du liquide vert passant à travers la toile de pressage, il est conseillé de stopper cette opération. Dans tous les cas le temps de pressage ne doit pas excéder 30 à 35 minutes, afin de réduire le risque de fermentation. (Jourdan et J-P, 2006)



Figure 09 : Essorage de la spiruline (Jourdan et J-P, 2006)

I.3.3. L'extrusion

Lorsque la biomasse est bien essorée, elle ressemble à une galette molle et compacte. Elle est roulée sur elle-même, placée dans le poussoir à saucisse en inox, adapté, et actionné par une manivelle, pour une extrusion en forme de « spaghettis ». (Jourdan et J.P, 2006)



Figure 10 : Extrusion de spiruline (Jourdan et J.P, 2006)

Ces « spaghettis » sont disposés sur un cadre garni d'une moustiquaire en nylon que nous appelons « clayette ». Il est important de former des spaghettis réguliers, en évitant de faire des paquets, ce qui ralentirait le séchage. (Jourdan et J.P, 2006)



Figure11 : Formation de spaghetti (Jourdan et J.P, 2006)

I.3.4. Le séchage

Il existe différents procédés de séchage, le choix du procédé dépend de l'application future de la biomasse algale. Le plus ancien est le séchage solaire mais il est possible de sécher par d'autres moyens comme le séchage en sécheur convectif ou conductif, ou encore par atomisation, par lyophilisation ou par DIC (Détente Instantanée Contrôlée). (Cherifi et al., 2018).

- Le séchage solaire consiste à étendre sous serre ou à l'air libre les algues récoltées et concentrées et à faire évaporer l'eau par l'action du soleil.
- Le séchage par atomisation est une méthode de déshydratation d'un liquide (jus, lait, ...) sous forme de poudre par passage dans un flux d'air chaud. Lors de la déshydratation par atomisation, le liquide est pulvérisé en fines gouttelettes, dans une enceinte cylindrique verticale au contact d'un courant d'air chaud afin d'évaporer l'eau. La poudre obtenue est entraînée par le flux de chaleur jusqu'à un cyclone ou un filtre à manche qui va séparer l'air de la poudre.
- Le séchage par lyophilisation consiste à ôter l'eau d'un produit liquide, pâteux ou solide, à l'aide de la surgélation puis une évaporation sous vide de la glace sans la faire fondre (sublimation). La vapeur d'eau quitte le produit puis est capturée par congélation à l'aide d'un condenseur, ou d'un piège à froid. Cette technique permet de conserver à la fois le volume, l'aspect et les propriétés du produit traité. Elle est la plus consommatrice en énergie. (Cherifi et al., 2018).



Figure 12 : Séchage des spaghettis de spiruline. (Cherifi et al., 2018).

I.3.5. Le broyage

Pour tout procédé d'extraction, les membranes cellulaires peuvent représenter des barrières importantes pour le solvant. Cela nécessite pour certaines algues un broyage de la biomasse avant extraction. Un broyage mécanique efficace peut supprimer le besoin d'utiliser des procédés à températures et pressions élevées, permettant au solvant d'entrer directement en contact avec les molécules cibles. (Cherifi et al., 2018).

Différentes méthodes peuvent être utilisées pour broyer la membrane des cellules en amont d'une application de solvants extractifs.

- Le broyage mécanique peut se réaliser au moyen de plusieurs technologies : l'homogénéisation de cellules, le broyage à billes, les ultrasons, et l'autoclavage.
- Les méthodes non mécaniques de destruction des parois incluent des procédés tels que : la congélation/décongélation, l'utilisation de solvants organiques, les chocs osmotiques et des réactions acido-basiques ou des lyses enzymatiques.
- L'utilisation de micro-ondes ou la sonication (ultrasons) sont des méthodes étudiées et présentant un fort intérêt. Un broyage efficace peut, chez certaines algues, suffire pour s'affranchir de l'étape d'extraction et passer directement à une étape de purification par filtration. (Cherifi et al., 2018).



Figure 13 : Broyage de la spiruline séchée et formation des paillettes (Cherifi *et al.*, 2018).

I.3.6. Stockage et conditionnement :

Les contenants devront laisser passer la lumière et être stockés dans un lieu clair mais à l'ombre, à 4°C pendant deux à 3 jours. En ce qui concerne la biomasse non lavée et pressée jusqu'à une teneur en matière sèche comprise entre 20 et 30 %, la durée de conservation ne dépasse pas quelques heures à température ambiante. La congélation est possible mais elle doit s'effectuer aussi rapidement que possible sinon, y'aura risque d'endommager ses filaments. (Jourdan et J-P, 2006)

Au final, sur le plan de la qualité nutritionnelle du produit sec, quatre paramètres sont à prendre en compte :

- Le type de séchage (gardant les filaments intacts ou brisant les filaments) ;
- Le taux d'humidité résiduel ;
- La protection contre la lumière ;
- La protection contre l'oxygène ;

Par conséquent, seul un conditionnement opaque et sous vide peut garantir la conservation longue durée de la spiruline. Les sachets aluminisés multicouches thermoscellables sont donc fortement recommandés.

Une spiruline de bonne qualité, emballée sous vide dans ces sachets de 25, 30 ou 50 grammes et conservée à une température inférieure à 30°C se conserve pendant cinq ans. (Jourdan et J.P, 2006)



Figure 14 : Spiruline en paillettes conditionnée. (Jourdan et J.P, 2006)

I.4. Principales applications de la spiruline

I.4.1. En agroalimentaire

« Sur le marché, on trouve beaucoup de produits enrichis avec la spiruline : pâtes, biscuits, crèmes glacées, bonbons, nouilles, boissons (Mobin et al., 2019) tirant profit de la riche composition nutritionnelle de la spiruline qui contient à la fois des protéines, des sucres, des lipides et des caroténoïdes (Molino et al., 2018). Certaines études ont mentionné que le goût, la texture, la couleur et l'odeur de la spiruline constituent un obstacle à leur consommation (García et al., 2017).

Des études assez anciennes avaient déjà suggéré de « dissimiler » la spiruline dans des produits de couleur verte (épinards, nouilles, crèmes glacées à la menthe) afin de masquer la couleur verte et l'odeur de poisson (Alsenani et al., 2015).

Cependant en Chine, où la consommation des algues est plus ancienne, les produits disponibles sur le marché, en plus des capsules, sont des produits agroalimentaires où la spiruline a été incorporée. La production de la spiruline en Chine est estimée à 9600 T/année, d'une valeur marchande de 680 millions USD avec une croissance de 10% par année (Chen et al., 2016).

Les produits où la spiruline est incorporée sont des nouilles, pain, biscuits, thé et diverses boissons (Liang et al., 2004). Il est à noter qu'en aucun des cas, le goût ou l'odeur de la spiruline n'ont constitué un obstacle à la commercialisation des produits. En effet, le consommateur chinois serait plus habitué à la consommation des algues et, en conséquence, a facilement accepté les produits où la spiruline est incorporée sans pour autant utiliser un masquant de goût ou d'odeur. En conséquence, la Chine est devenue le premier producteur

mondial de spiruline et d'autres micro algues avec 90% de cette production est destinée à l'alimentation humaine sous forme de nutraceutiques (Chen *et al.*, 2016). »

I.4.2. En médecine

De la composition exceptionnelle de la spiruline, découlent de multiples applications thérapeutiques dont les plus importantes sont :

- Le renforcement des défenses immunitaires (une opportunité pour lutter contre les maladies opportunistes).
- Le traitement de certaines affections dermatologiques.
- Elle constitue également un partenaire efficace pour calmer les douleurs rhumatismales et l'arthrose, la lutte contre l'ostéoporose, l'excès de cholestérol, l'hypertension, et les allergies. Elle protège le cœur et augmenterait la régénération des cellules cérébrales (Dupont *et al.*, 2014).

Toutes ces applications thérapeutiques de la spiruline ont permis aujourd'hui sa vente et sa consommation comme complément alimentaire.

I.4.3. En cosmétique :

Elle est utilisée dans les masques cryogéniques et crèmes anti-âge, par son action sur le renouvellement cellulaire et la tonicité des tissus (Spolaore *et al.*, 2006). Elle est aussi utilisée en synergie avec d'autres algues, comme agent cicatrisant et antiseptique.

I.5. Activités thérapeutiques :

La spiruline est riche de multiples substances capables d'expliquer une action de stimulation du système immunitaire (vitamines, AGE et oligoéléments). La présence d'antioxydants agissant en synergie (bêta-carotène, vitamine E, zinc et sélénium) souligne en même temps une action contre les radicaux libres et donc un intérêt certain dans la lutte contre le cancer. Mais la spiruline recèle d'autres substances plus complexes qu'elle détient en exclusivité, et dont le rôle thérapeutique, à la fois curatif et préventif, n'a été objectivé par la recherche scientifique que depuis le début des années 1990. Il s'agit de la phycocyanine et des polysaccharides membranaires.

I.5.1. Anti oxydant

Les principaux actifs antioxydants qui confèrent un statut indétrônable d'antioxydant puissant à la spiruline sont : la phycocyanine, la bêta carotène, les polyphénols, la super oxyde dismutase (SOD) et d'autres vitamines et minéraux contenus dans cette matière. de nombreuses études in vitro et in vivo ont identifié cette activité potentielle de la spiruline (où de ses extraits) et ont montré que le traitement à la spiruline réduit significativement le stress oxydatif (**Goulambasse, 2018**).

I.5.2. Anti cancéreuse

Différentes études et analyses d'experts, ont affirmé que la bêta-carotène, un des antioxydants implanté dans la spiruline, pourrait inverser le processus cancéreux et inhiber le déploiement des cellules cancérigènes. Une de ces analyses confirmatives du résultat fut élaborée avec des personnes qui avaient une leucoplasie buccale (état précancéreux de la bouche). Ces derniers, ont montré après une prise quotidienne d'1g de spiruline pendant un an une amélioration de leur état et réussirent à arrêter le développement de la pathologie. La phycocyanine intervient aussi dans cette activité en s'attaquant aux radicaux libres responsables du cancer (**Vidalo, 2015**).

I.5.3. Activité sur le système immunitaire

Depuis le début des années 1990, date à laquelle il a été découvert, les études se sont succédé qui toutes ont mis en évidence la capacité des PSM à stimuler le système immunitaire tant humoral que cellulaire, entre autres par la stimulation des nombreux organes impliqués : foie, rate, thymus, système lymphatique, moelle osseuse. Boajiang, un chercheur chinois, a démontré en 1994 que la production des éléments du système humoral (anticorps, cytokines) était stimulée, mais aussi que les éléments cellulaires comme les lymphocytes T, les macrophages et les NK celles voyaient leur nombre majoré et surtout leur efficacité accrue (**Boajiang, 1994**). De même une équipe américaine dirigée par le Pr Qureshi, travaillant in vitro sur des macrophages de poulet, a mis en évidence une prolifération accrue de ceux-ci, ainsi qu'une meilleure efficacité phagocytosique (vacuolisation augmentée) (**Qureshi, 1995**).

I.5.4. La spiruline et le cholestérol

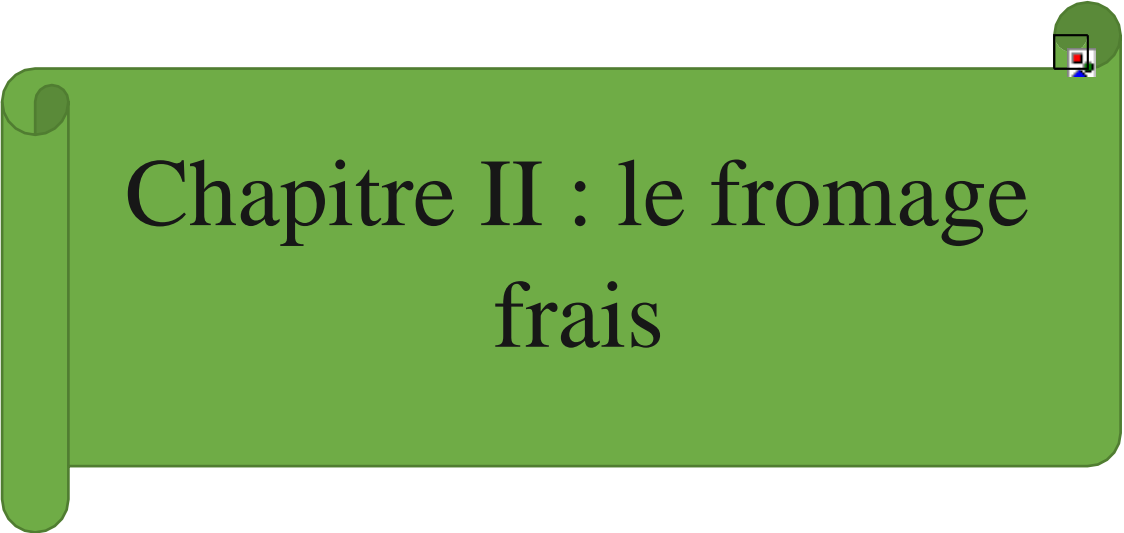
Il existe une corrélation statistique entre l'excès de cholestérol et l'infarctus, la thrombose, l'artérite et les maladies cardio-vasculaires qui sont la première cause de mortalité en occident. Les causes sont multiples mais se conjuguent, comme, une alimentation trop riche, alimentation trop sucrée, trop salée, le stress, l'alcool, le tabac, le manque d'exercice physique, ... Aux alentours de la quarantaine, le cholestérol en excès dans le sang se dépose sur les parois interne des artères : c'est l'athérosclérose. Dans un second temps, les vaisseaux se durcissent, c'est ce qu'on appelle l'artériosclérose. Ce qui va entraîner une diminution du diamètre des artères qui, parfois, se bouchent totalement. Un coronaire qui se bouche donne l'infarctus (**La spiruline et le cholestérol, 2022**).

Avec son fort taux d'acide gamma-linolénique (AGL), la spiruline est naturellement capable de faire baisser le taux de cholestérol sanguin de façon significative. Pour rappel, l'AGL est classé comme un acide gras essentiel, c'est à-dire que le corps en a besoin mais ne peut pas en synthétiser, et doit donc être apporté par l'alimentation. L'AGL facilite la production d'une très importante substance appelée prostaglandine E1 (PGE1). Celle-ci aide à prévenir les crises cardiaques et les accidents vasculaires cérébraux, elle aide également à éliminer l'excès de liquide, à améliorer la circulation sanguine, à ralentir la production du cholestérol (**L'acide gamma linoléique, 2022**).

I.5.5. La spiruline et le diabète :

La spiruline a eu des effets antidiabétiques par la diminution de l'hémoglobine glyquée et de la glycémie chez les patients diabétiques de type 2.

L'effet anti-diabète de la spiruline n'a été observé que chez les sujets diabète de type 2 (insulinodépendant) et non chez les diabétiques de type 1. Il devrait être confirmé chez des sujets non diabétiques sur une longue période. La spiruline pourrait être intégrée dans l'alimentation du diabétique sous des contrôles biologiques réguliers. Cependant, le rôle de la spiruline ou de ses constituants dans l'insulino-sécrétion devrait être précisé par d'autres études.

A green scroll graphic with a white border, featuring a small icon of a document with a red and blue mark in the top right corner.

Chapitre II : le fromage frais

Chapitre II : Fromage Frais

II.1. Généralités sur le lait

II.1.1. Définition

Le lait a été défini en 1908, au cours du Congrès International de la Répression des Fraudes à Genève comme étant : « Le produit intégral de la traite totale et ininterrompue d'une femelle laitière bien portante, bien nourrie et non surmenée. Le lait doit être recueilli proprement et ne doit pas contenir de Colostrum » (Alais, 1975)

La dénomination « lait » est réservée exclusivement aux produits de la sécrétion mammaire normale, obtenus par une ou plusieurs traite, sans aucune addition ni soustraction et n'ayant pas été soumis à un traitement thermique (JORA N°69, 1993).

II.1.2. Composition physicochimique du lait

Le lait est considéré comme une émulsion de matière grasse dans une solution aqueuse, comprenant de nombreux éléments, dont les uns sont à l'état dissous et les autres sous la forme colloïdale. Il renferme une grande quantité d'eau 87%, le lactose (4,8 %), les lipides (3,7%), la caséine (2,6%), l'azote non protéique (urée, créatinine), les protéines du petit lait (0.6%) et les sels minéraux (Doyle et al., 2001).

II.1.2.1. Eau

L'eau est un élément quantitativement le plus important, il représente environ 9/10 (81 à 87 %) du lait. Le lait est riche en eau : ½ litre de lait (2 grands verres) apporte 450 ml d'eau Il participe donc à la couverture des besoins hydriques de l'organisme (Fredot, 2005).

II.1.2.2. Protéines

Elles constituent avec les sels la partie la plus complexe du lait. Leur importance tient à plusieurs raisons : quatrième groupe de substances par son abondance après l'eau, le lactose et les matières grasses (Mathieu, 1998). On distingue deux grands groupes de protéines dans le lait : les caséines et les protéines (Pougheon et al., 2001).

Les caséines ont une teneur de 27 g/l ; elles se répartissent sous forme micellaire de phosphocaseinate de calcium et elles sont facilement dégradées par toutes protéolytiques.

Chapitre II : Fromage Frais

Les protéines solubles du lactosérum se répartissent entre (Luquet ,1985) :

- Les albumines : β lactoglobuline : 3 g
 - Lactalbumine : 1,2 g
 - Sérum albumine : 0,4 g
- Les globulines : Immunoglobulines : 0,7
 - gLacto-transferrine : 0,3 g
- Les enzymes : Lipase, protéase, phosphatase alcaline

La majeure partie des protéines du lait est naturellement synthétisée dans les cellules sécrétoires de la glande mammaire. Cependant certaines proviennent de plasmocytes spécialisés, d'autres du sang (Ribadeau et al., 1988).

II.1.2.3. Matière grasse

Les matières grasses du lait se compose principalement de triglycérides, de phospholipides et d'une fraction insaponifiable constituée en grande partie de cholestérol et de β – carotène. Le tableau N° 07 indique les proportions des différents constituants de la fraction lipidique du lait (Grappin et Pochet ,1999).

Tableau 07 : Composition lipidique du lait (Grappin et Pochet, 1999).

Constituants	Proportions de lipides du lait
Triglycérides	98
Phospholipides	01
Fraction insaponifiable	01

II.1.2.4. La matière azotée du lait

Il représente chez la vache 5% de l'azote total du lait. Il est essentiellement constitué par l'urée (33 à 79% de l'azote non protéique du lait). On y trouve également et par ordre d'importance les acides aminés, l'acide urique, l'ammoniac, la créatinine. Il y a une corrélation étroite entre la teneur en urée du lait et celle du sang (Hanzen, 1999).

II.1.2.5. Lactose

Le lactose est le glucide, ou l'hydrate de carbone, le plus important du lait puisqu'il constitue environ 40 % des solides totaux. D'autres glucides peuvent être présents en faible quantité, comme le glucose et le galactose qui proviendraient de l'hydrolyse du lactose.

En outre, certains glucides peuvent se combiner aux protéines. Ainsi, le lait contient près de 4,8 g de lactose, tandis que la poudre de lait écrémé en contient 52% et la poudre de lactosérom, près de 70% (**Juillard et Richard, 1996**).

II.1.2.6. Les vitamines du lait

Les vitamines sont des substances biologiquement indispensables à la vie puisqu'elles participent comme cofacteurs dans les réactions enzymatiques et dans les échanges à l'échelle des membranes cellulaires (**Vignola, 2002**). L'organisme humain n'est pas capable de les synthétiser. On distingue d'une part les vitamines hydrosolubles (vitamine du groupe B et vitamine C) en quantité constantes, et d'autre part les vitamines liposolubles (A, D, E et K) (**Jeantet et al., 2008**). Le tableau N°08 indique la composition vitaminique moyenne du lait cru.

Chapitre II : Fromage Frais

Tableau 08 : Composition vitaminique moyenne du lait cru (Amiot *et al.*, 2002).

Vitamines	Teneur moyenne
Vitamines liposolubles	
Vitamine A (+carotènes)	40µg/100ml
Vitamine D	2.4µg/100ml
Vitamine E	100µg/100ml
Vitamine K	5µg/100ml
Vitamines hydrosolubles	
Vitamine C (acide ascorbique)	2mg/100ml
Vitamine B ₁ (thiamine)	45µg/100ml
Vitamine B ₂ (riboflavine)	175µg/100ml
Vitamine B ₆ pyridoxine	50µg/100ml
Vitamine B ₁₂ (cyanocobalamine)	0.45µg/100ml
Niacine et niacinamide	90µg/100ml
Acide pantothénique	350µg/100ml
Acide folique	5.5µg/100ml
Vitamine H (biotine)	3.5µg/100ml

II.1.2.7. Les minéraux

La quantité des minéraux contenus dans le lait après incinération varie de 0,60 à 0,90%. Ils prennent plusieurs formes ; ce sont le plus souvent des sels, des bases, des acides (**Juillard et Richard, 1996**).

À cette liste s'ajoutent certains éléments, comme le soufre présent dans les protéines et les oligo-éléments suivants, qui sont présents à de faibles concentrations ou à l'état de trace : manganèse, bore, fluor, silicium, brome, molybdène, cobalt, baryum, titane, lithium et probablement certains autres. Cette composition est sujette à d'importantes variations selon les

Chapitre II : Fromage Frais

saisons et l'alimentation des vaches. Ainsi, un lait provenant de vaches en pâturage sera plus stable lors des traitements thermiques puisque sa teneur en citrate sera plus élevée ; ce composé fixe le calcium qui peut avoir un effet déstabilisant. (Juillard et Richard, 1996). Le tableau N°09 indique les proportions des différents minéraux du lait

Tableau 09 : composition du lait en minéraux (Juillard et Richard, 1996).

Minéraux	Teneur (mg/kg)	Minéraux	Teneur (mg/kg)
Sodium(Na)	445	Calcium(Ca)	1180
Magnesium(Mg)	105	Fer (Fe)	0.50
Phosphore (P)	896	Cuivre (Cu)	0.10
Chlore (Cl)	958	Zinc (Zn)	3.80
Potassium (K)	1500	Iode (I)	0.28

II.1.3. Propriétés physicochimique du lait

Les principales propriétés physico-chimiques utilisées dans l'industrie laitière sont l'acidité et le pH, la température (point de congélation et d'ébullition), la densité et la masse volumique.

II.1.3.1. PH et l'acidité

Le pH et l'acidité de titration ne sont pas étroitement liés dans le lait. C'est ainsi que l'on peut avoir des laits de même pH mais avec des acidités différentes et inversement. L'acidité du lait dépend, par exemple, de l'extrait sec du lait (au d'écaillage, caillé et sérum ont le même pH mais des acidités différentes), parce que le pH ne mesure que les protons libres, et l'acidité dornic mesure l'acidité totale du lait (naturelle et développée). Les mesures d'acidité sont plus significatives que Les mesures du pH (Aminot et al., 2002).

II.1.3.2. Température

- ✚ **Le point de congélation** : Toute variation supérieure à $-0,52^{\circ}\text{C}$ étant un indice de mouillage. Il permet la détection du mouillage du lait à partir de 3%. L'abaissement du point de congélation peut aussi être causé par la subdivision du lactose en plusieurs

molécules plus petites. Il peut aussi servir à évaluer le degré d'hydratation des protéines (Luquet, 1985).

- ✚ **Le point d'ébullition du lait** : est de 100,5°C. Il augmente avec la concentration du lait et diminue avec la pression. Ce phénomène est appliqué dans les procédés de concentration du lait comme le lait UHT (Amiot *et al.*, 2002).

II.1.3.3. Densité

La densité du lait d'une espèce donnée, n'est pas une valeur constante, elle varie d'une part, proportionnellement avec la concentration des éléments dissous et en suspension et d'autre part, avec la proportion de la matière grasse (Alais, 1984). La densité du lait de vache est comprise entre 1030 et 1033 à une température de 20°C, à des températures différentes, il faut effectuer une correction. La densité est mesurée par le thermo-lacto-densimètre (Alais, 1984). D'après (Vignola, 2002), la densité du lait augmente avec l'écrémage, et diminue avec le mouillage.

II.1.4. Caractérisation organoleptiques

Le lait est un liquide blanc, opaque, deux fois plus visqueux que l'eau, de saveur légèrement sucré et d'odeur peu accentuée (Veisseyre, 1979)

II.1.5. Technologie laitière

Dans des buts technologiques et nutritionnels particuliers, l'industriel laitier peut modifier la composition biochimique du lait et des produits laitiers grâce à l'utilisation de technologies. Par les connaissances acquises en science et en technologies laitières au cours des dernières années, il est actuellement possible de fabriquer industriellement ou expérimentalement des laits modifiés au niveau de leur composition protéique, lipidique, minérale et glucidique. Ces modifications peuvent être quantitatives et / ou qualitatives (Gaucheron et Tanguy, 2009).

Les humains peuvent produire une gamme complète de produits laitiers à partir du lait.

Il existe dans Chaque produit laitier a de nombreux procédés techniques spécifiques : yaourt, Crème, beurre, fromage vieilli.

II.1.5.1. Définition de fromage

Les fromages sont des formes de conservation ancestrales de la matière utile de lait (Protéines, matière grasse ainsi qu'une partie de calcium et le phosphore). Ils sont issus du lait De vache, chèvre ou brebis. Leurs qualités nutritionnelles et organoleptiques sont appréciées par l'Homme dans tout le globe (Belbeldi, 2013).

La dénomination « fromage » est réservée au produit fermenté ou non, affiné ou non, obtenu à partir des matières d'origine exclusivement laitière suivantes : lait, lait partiellement ou totalement écrémé, crème, matière grasse (MG), babeurre, utilisées seules ou en mélange et coagulées en tout ou en partie avant égouttage ou après élimination partielle de la partie aqueuse. La teneur minimale en matière sèche (MS) du produit ainsi défini doit être de 23 g pour 100 g de fromage (Djafri et Djaout, 2015).

II.1.5.2. Grandes familles des fromages

Les différents types de fromages présentent des caractères spécifiques liés à la fois au mode de coagulation et d'égouttage et à la flore microbienne, qui libère des enzymes responsables de la saveur, de la texture et de l'aspect de la pâte.

➤ Fromage à pâte fraîche

Fromages peu égouttés qui n'ont pas été affinés, il y a juste coagulation des protéines du lait sous l'effet des ferments lactiques (acidification), les micro-organismes utilisés : *Lactococcus lactis*, *Lactococcus lactis cremoris*, *Lactococcus lactis diacetylactis* (Chamba, 2008).

➤ Fromage à pâte ferme

Constitués d'une pâte compacte, renfermant un peu moins d'eau que les fromages frais, mais contenant plus de sels minéraux dont les sels de calcium notamment. Dans cette catégorie, on distingue :

- ✓ Les fromages à pâte ferme non cuite (Edam, Saint Paulin, etc.)
- ✓ Les fromages à pâte ferme cuite (Gruyère, Conti, etc.). Les micro-organismes utilisés : *Lactococcus lactis cremoris*, *Streptococcus thermophilus*, *Lactobacillus casei*, levures, moisissures diverses (Parente et Cogan, 2004 ; Yildiz, 2010).

➤ Fromage à pâte molle

Fromages ayant subi un affinage relativement prolongé (protéolyse et lipolyse intenses par la flore de surface) après une fermentation lactique (ex. Camembert). Les microorganismes utilisés : *Lactococcus lactis*, *Lactococcus lactis cremoris*, *Streptococcus thermophilus*, *Brevibacterium linens*, *Geotrichum candidum*, *Penicillium camemberti*, levures (Branger, 2012 ; Yildiz, 2010).

➤ Fromage à pâte Persillé

Fromages affinés, à moisissures interne (ex. Roquefort). Il y'a développement interne de *Penicillium roqueforti* grâce à l'action de *leuconostoc* et des levures qui produisent une ouverture et une petite quantité d'éthanol. Les micro-organismes utilisés :

Lactococcuslactis, *Lactococcus lactis cremoris*, *Streptococcus thermophilus*, *Leuconostoc*, *Penicillium roqueforti*, levures (Settanni et Moschetti, 2010).

➤ Fromage fondus

Constitués d'un mélange de fromage, de beurre, de crème et de lait, pasteurisé (95°C) ou stérilisé (125°C). Appelés aussi fromages remaniés, ils sont de nombreux types dont certains sont obtenus après récupération des fragments de fromages à pâte ferme tel que le Gruyère et qui présentent certains défauts.

En réalité, il s'agit plus d'une dissolution suivie d'une dispersion de protéines dans l'eau que d'une fonte qui, correspond au sens physico-chimique du terme, à la désintégration d'une structure solide cristalline par l'apport d'énergie thermique ou l'exercice d'une pression, il n'y a pas d'ajout de ferments Lactiques (Boutonnier, 2012).

II.2 Fromage frais

II.2.1. Définition

Le fromage frais est un fromage non affiné qui a subi une fermentation principalement lactique et de présure. Les fromages blancs fermentés et commercialisés avec le qualificatif «frais» ou sous la dénomination «fromage frais» doivent renfermer une flore (ferments) vivante au moment de la vente au consommateur. Sous leur action, le lait se sépare en deux phases : le caillé, solide, et le lactosérum, liquide (Syndifrais, 2011).

D'autres étapes (égouttage, centrifugation, fouettage, ajout de crème ou moulage) permettent d'obtenir de la faisselle, du fromage blanc lissé ou du petit-suisse.

II.2.2. Composition et valeur énergétique

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).

Chapitre II : Fromage Frais

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°10

Tableau 10 : Composition moyenne pour 100 g de fromage frais (Eck et Gillis, 2006).

Constituant	Teneur
Eau (g)	79.00
Energie (kcal)	118.0
Glucides (g)	4.00
Lipides(g)	7.5
Protéine (g)	8.5
Calcium (mg)	100.00
Phosphore (mg)	140.00
Magnésium(g)	10.00
Potassium (mg)	130.0
Sodium (mg)	40.0
Zinc (mg)	0.5
Vitamine A UI	170

UI : unité internationale

II.2.3. 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. Les diverses technologies employées permettent de distinguer (Gret, 2002) :

- 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, à l'extrait sec plus élevé et texture à tartiner comme les petits suisses.

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**).

II.3. Petit suisse

II.3.1. Définition

Le petit suisse est un fromage frais renfermant des glucides, des protéines, et des lipides, sa fabrication est faite d'après (**Fondation De Technologie Laitière du Québec**), à partir d'un lait pasteurisé et standardisé en matière grasse enrichi de ferments lactiques avant sa coagulation à la présure, la crème est alors rajoutée et mélangé de façon continue à cette pâte le mélange est lissé et réfrigéré avant le conditionnement.

La définition légale précise que la forme de ce fromage est cylindrique, que son poids est de 60g environ, que sa teneur en matière grasse est au moins de 40 pour 100g de fromage desséché et qu'enfin, sa teneur en extrait sec total s'élève au minimum à 30 g pour 100g de fromage. Le demi-suisse ou petit-suisse, et un suisse de 30g (**Veisseyre, 1979**).

II.3.2. Les étapes de fabrication de fromage frais de type (petit suisse)

Les fromages sont des formes de conservation et de stockage de la matière utile du lait que sont appréciées grandement les qualités nutritionnelles et organoleptiques (**Hermier et al., 1992**).

Le lait peut être totalement ou partiellement écrémé, entier ou enrichi de crème (petit-suisse). En fromagerie, leur fabrication ne comprend que quatre étapes :

II.3.2.1. Caillage

La coagulation du lait résulte de l'association des micelles de caséine plus au moins modifiées. Cette agglomération mène à la formation d'un coagulum. Ces modifications physico-chimiques des caséines sont induites soit par acidification, soit par action d'enzymes coagulantes, ou par l'action combinée des deux (**Gastaldi, 1994**). Le caillage ne dépasse en général pas 24h.

- **Coagulation par acidification :**

L'acidification du lait peut être obtenue par les produits de fermentation de bactéries acidifiantes ou par des composés chimiques d'action acidifiante.

Les substances minérales passent progressivement à l'état dissous et la teneur en sels minéraux (Ca^{++} , H_3PO_4) de la phase soluble augmente ce qui permet la déminéralisation et désagrégation des micelles (totale à pH5).

La modification de la structure quaternaire des caséines, la libération des ions H^+ à (pH4à6) provoquent une diminution du degré d'hydratation des protéines et donc leur insolubilisation et la formation d'un coagulum (**Eck, 2006**).

- **Coagulation enzymatique :**

Le système de coagulation le plus utilisé pour l'élaboration du fromage. Elle consiste à transformer le lait de l'état liquide à l'état de gel par l'action de plusieurs enzymes Protéolytiques, elles sont soit d'origine animale, soit végétale (ficine, broméline), et soit microbienne (enzymes de certaines moisissures ou bactéries). (**Eck, 2006**). L'enzyme la plus fréquente en fromagerie est la présure.

Cette coagulation distingue deux phases :

- ✓ **Phase primaire :** Hydrolyse de la liaison Phe (105) -Met (106) de la caséine K ce qui conduit à la formation de deux peptides :
 - **La paracaséine K (segment 1 - 105) :** reste intégrée à la micelle, liée aux caséines α et β .
 - **Le caséino-macropéptide (C.M.P) (segment 106 - 169) :** hydrophile, acide et à charge ionique élevée, libéré dans le sérum entraîne une diminution de l'hydratation, la solubilité et la charge électrique des micelles.
- ✓ **Phase Secondaire (Coagulation Physico-chimique)**

En présence de Ca^{++} et HPO_4^{2-} , les micelles de caséines modifiées forment des micelles de paracasinates de phosphates de Ca^{++} où sont retenus le sérum et les globules gras. La coagulation débute à un taux d'hydrolyse de la caséine K atteint 80 à 85%, elle atteint sa Vitesse max lorsque la totalité de la caséine K est dégradée de plus, les sites d'agrégation des Micelles ne seraient pas répartis uniformément à la surface, mais seraient très localisés, ce qui expliquerait que la déstabilisation des micelles ne conduise pas à un précipité dense mais à un réseau protéique très lâche emprisonnant la totalité de la phase aqueuse. Le gel présure est très

minéralisé .Il s'ensuit une augmentation de sa cohésion et de sa fermeté (raffermissement du gel).

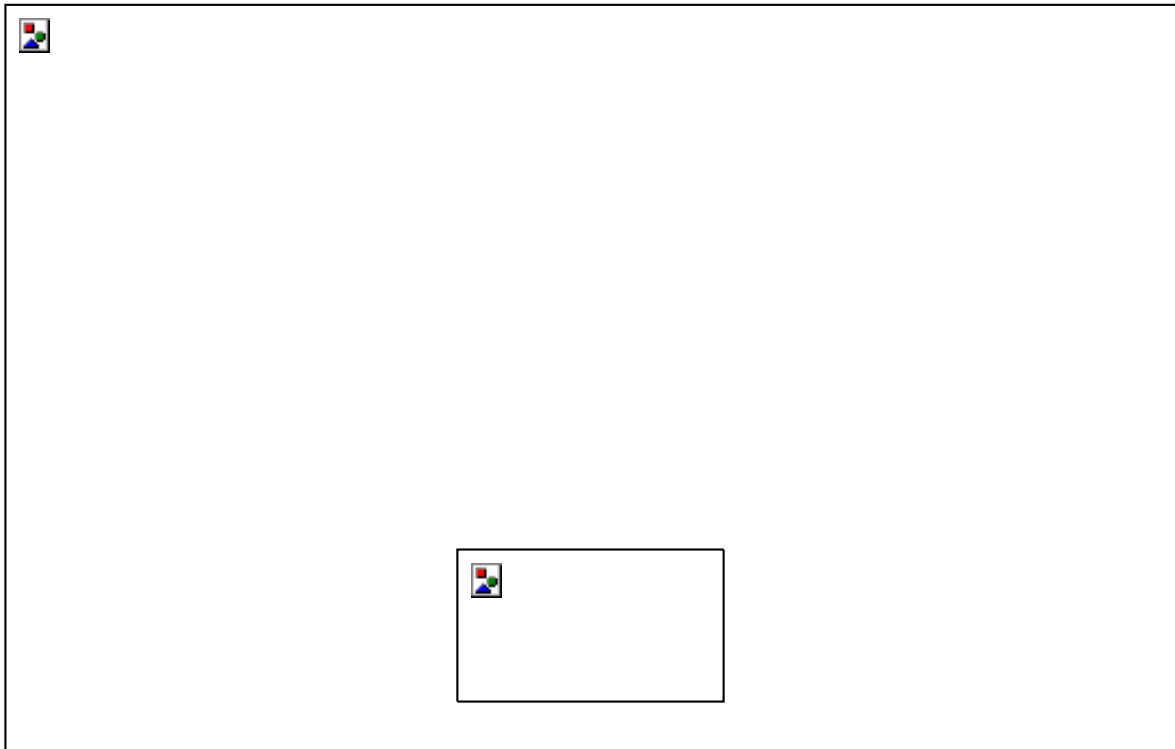


Figure15 : les différents types de la coagulation des laits (Majdi, 2009)

N.B :

La présure est utilisée surtout pour faciliter l'égouttage du fromage, on utilise des faibles doses de présure (1,5 à 5 mg par 100l du lait) à température 15 à 20 °C. Le caillé se forme pendant 30-60 mn (Majdi, 2009).

II.3.2.2. D'écaillage

Lorsque l'acidité du caillé arrive à la norme demandé, le caillé fera l'objet d'un d'écaillage par agitation pour facilite l'opération de l'égouttage.

II.3.2.3. Egouttage

Le processus d'égouttage et dépend à des facteurs directs correspondant à :

- des traitements de type mécanique et thermique.
- des facteurs indirects (acidification et coagulation enzymatique).
- des facteurs liés à la matière première (richesse en caséine laitière, en protéines

solubles et en matière grasse) (Ramet, 1997).

Cette étape consiste à une séparation physique entre solide et liquide où le gel obtenue par floculation des caséines est instable, il se transforme rapidement à la suite de la concentration des micelles, ce qui provoque l'expulsion du liquide hors de caillé.

Ce phénomène appelé synérèse permet de séparer le caillé contenant la caséine et la matière grasse, des minéraux et les protéines et les protéines soluble du lait (Vignola, 2002)

Le produit secondaire de l'égouttage représente 80% du lait utilisé qu'est le lactosérum ou petit lait riche en protéine soluble (albumine) avec des sels minéraux (calcium) (Roudaut et Lefranq, 2005)

II.3.2.4. Ré engraissement

La pâte maigre résulte de l'égouttage doit être mélanger avec la crème fraîche pasteurisé avec un pourcentage bien déterminer pour avoir un produit fini dans les normes recommander par l'entreprise .

II.3.3. Les matières utilisées dans la fabrication du fromage frais type petit suisse

II.3.3.1. Matière première « lait cru »

En général, le lait matière première déterminé chez le producteur y reste seulement quelques heures (de 12 à 48 h, jusqu'à 72 heures selon les régions et le temps de l'année) avant d'être collecté et ensuite traité dans un établissement de transformation. (Derrache , 1997).

II.3.3.2. Les matières entrant dans la fabrication du « petit suisse»

- **La crème fraîche :**

Selon la norme codex alimentaires (Carol et Vignola, 2002), La crème est « le produit laitier fluide plus ou moins riche en matière grasse qui se présente sous la forme d'une émulsion du type grasse-dans-lait-écrémé» (OMS et autre, 2001).

La crème est constituée simplement du lait concentré en matière grasse à environ 10 fois (lait entier : 35g/kg) (Anonyme, 1995).

- **La poudre de lait :**

Le lait en poudre est un produit pulvérulent obtenu par l'évaporation de l'eau du lait donc

Chapitre II : Fromage Frais

toute l'eau a été éliminée pour ne laisser que la matière sèche sous forme de poudre. Cette déshydratation assure une longue conservation dans les emballages fermés à l'abri de l'air et l'humidité. (Keilling et Dewilde, 1985).

Les poudres de lait sont répartir en 4 groupes (Gret, 2010).

Tableau 11 : Les groupes de poudre de lait et ses caractéristiques (Gret, 2010)

La poudre de lait riche en matière grasse	La poudre de lait entier	La poudre de lait partiellement écrémé	La poudre de lait écrémé
Lait déshydraté contenant au moins 42% de matières grasses	Lait déshydraté contenant au moins 26% et moins de 42% de matières grasses	Lait déshydraté dont la teneur en matière grasse est supérieure à 1.5% et inférieure à 26 %	Lait déshydraté contenant au maximum 1.5% de matières grasses

- **Les ferments lactiques :**

Les bactéries lactiques sont des cellules vivantes, procaryotes, hétérotrophes et chimio organotrophe (Luquet, 1985), Ce sont des bactéries à Gram+, généralement immobiles, non sporulées, anaérobies facultatives (Leseurr et melik, 1999).

La réfrigération bloque leur multiplication donc elles ne se développent pas en dessous de 8 à 10°C. Elles sont détruites par la pasteurisation (Anonyme, 2009)

Grâce à leur métabolisme et leurs activités enzymatiques différentes, Cela lui permet d'avoir une grande maîtrise l'arôme, la saveur et la texture de ces produits.

Les bactéries lactiques jouent un rôle principal dans la conservation des dérivés laitiers, elles aident même sur la digestion par l'amélioration de l'équilibre microbiologique intestinal (voir tableau N°12) (Assainya et al., 2006)

Chapitre II : Fromage Frais

Tableau12 : Rôles des ferments lactiques en fromagerie (Alian et al., 2007)

Propriété des ferments Lactique	Effete sur les produits
Transformer les sucres en acide lactique	<p>Abaissement du pH:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Conservation des produits. ▪ Limitation du développement des bactéries nuisibles. <p>Modification de la micelle de caséine : Modification de la structure du caillé.</p> <p>Classification des fromages suivant le niveau de déminéralisation (caillé présure, mixte, lactique), solubilisation des minéraux liés à la caséine.</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Action sur l'égouttage des cahiers (teneur en eau). ▪ Action sur la texture des fromages : <p>–Si la pâte minérale : textures ou plehomogène.</p> <p>–Si la pâte déminéralisée : texture friable, cassante, diminution de la concentration en lactose.</p>
Transformer les sucres en CO ₂ .	Liberation du CO₂
Transformer les citrates	<p>Formation de diacétyle (arôme):</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Recherche en produit frais (yaourt, beurre, pâtes fraîches et pâte molle).
Transformer la caséine	<p>Proteolysis pendant la maturation:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Activation de la croissance (peptides, acides aminés). ▪ Modification de la texture, couleur, flaveur.
Produire des polysaccharides	<p>-Épaississement du milieu : yaourt, pâtes fraîches.</p> <p>-Augmentation de la viscosité par libération de polysaccharides pendant la fermentation lactique.</p>

- **La présure :**

La présure composé principalement de la chymosine avec petite quantité de coagulant le plus utilisé " la pepsine ". la présure d'origine animale ,elle appartient à la famille des endopeptidases, c'est- à-dire des peptidases qui agissent au sein des chaînes polypeptidiques constituant les protéines qu'elles contiennent une activité spécifique qu'est l'hydrolyse de la caséine-K seulement pendant les fabrications fromagères (**Vignola,2002**)

II.3.4. la microflore de fromage frais

Les microorganismes, principalement, présents dans le fromage sont les bactéries. Mais, on peut aussi trouver des levures et des moisissures, voire des virus donc Il est très difficile de mentionner toutes les espèces intervenant dans la fabrication des fromages car elles sont très nombreuses, en particulier dans le cas des produits au lait cru. De très nombreuses espèces bactériennes sont susceptibles de se développer dans le lait qui constitue, pour elles, un excellent substrat nutritif. Au cours de leur multiplication dans le lait, elles libèrent des gaz, des substances aromatiques, de l'acide lactique, diverses substances protéiques, voire des toxines pouvant être responsables de pathologie chez l'homme (**Laithiet, 2011**).

Les micro-organismes présents dans le lait ont été historiquement utilisés pour la transformation et la conservation du lait et la flore microbienne permettra la production d'une gamme très diversifiée de fromages (**Laithiet, 2011**).

L'importance et la nature des bactéries contaminants le lait, dépendent, de l'état sanitaire de l'animal, de la nature des fourrages (**Agabriel et al., 1995**), mais aussi des conditions hygiéniques observées lors de la traite, de la collecte, de la manutention et de la température de conservation du lait (**Robinson, 2002**)

II.3.4.1. la flore bénéfique (la flore lactique)

Les bactéries lactiques sont définies comme des cellules vivantes, procaryotes, hétérotrophes et chimio-organotrophes. Elles produisant de l'acide lactique comme produit principal du métabolisme par la fermentation du lactose (**Menasria, 2011**).

Elles regroupent des bacilles et des coques à Gram positif, non sporulés, catalase négative (**Djeddi et Chabane, 2014**).

Ce sont des bactéries responsables de l'acidification du lait, maturation de la crème et la

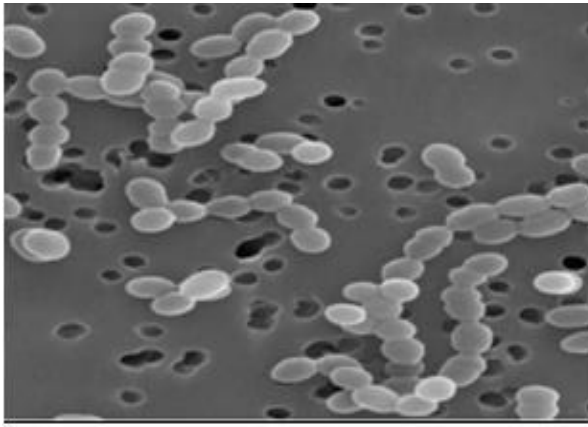
Chapitre II : Fromage Frais

coagulation de la caséine du lait (caillage) (Roissard et Luquet, 1994).

Certaines bactéries lactiques produisent du gaz carbonique avec divers composés qui contribuent à l'arôme des produits laitiers et la production d'enzymes protéolytiques contribuent à l'affinage des fromages (Baliarda, 2003).

Les bactéries lactiques sont divisées en deux groupes :

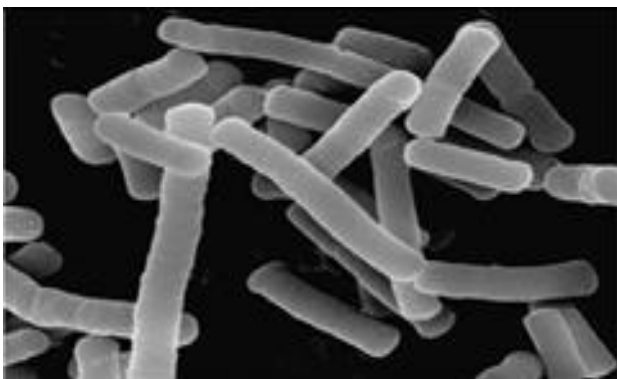
- Homofermentaires : l'acide lactique est le seul produit de la fermentation du glucose ;
- Hétérofermentaire : a fermentation du glucose aboutit à la formation d'acide lactique plus d'autres composés : éthanol, CO₂ ...etc. (Priyanka et Pakash, 2009).



Le genre Leuconostoc (Djoughri et Madani, 2015)



Le genre Entérocooccus (Michel, 2005)



le genre Lactobacillus (Djoughri et Madani, 2015)



Le genre streptococcus (Khater et Ghefar,2017)

Figure 16 : principaux genres des bactéries lactiques.

II.3.4.2. La flore d'altération

Du fait même de leur composition et des conditions de production, les produits laitiers peuvent être contaminée par des microorganismes, La flore d'altération causera des défauts sensoriels de goût, d'arôme, d'apparence ou de texture et réduira la vie du produit laitier (Essalhi, 2002).

Cette flore regroupe différentes bactéries tel que : les coliformes, les levures, les moisissures et les Bactéries psychotropes... (Abdesalam, 1984).

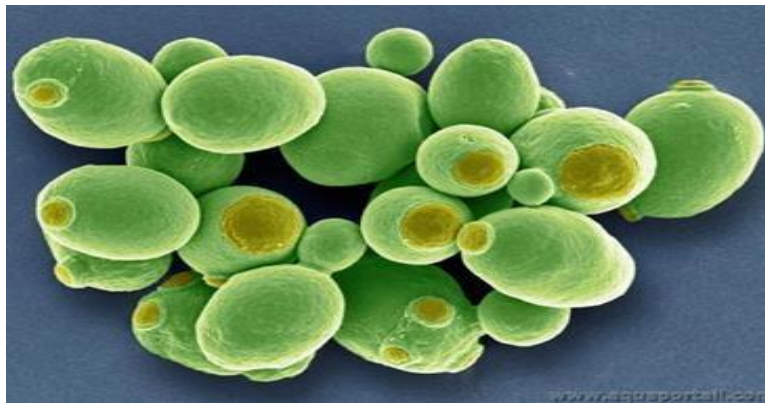


Figure 17 : Levure (aquaportail, 2009).

II.3.4.3. La flore pathogène

Cette flore est l'ensemble des microorganismes contaminant le lait, de la récolte jusqu'à la Consommation. Elle peut se composer d'une flore d'altération, qui causera des défauts sensoriels ou qui réduira la durée de conservation des produits, et d'une flore pathogène dangereuse du point de vue sanitaire (Vignola, 2002).

Ces contaminations par divers microorganismes peuvent provenir de l'environnement *Entérobactéries, Pseudomonas, Flavobacterium, microcoques, corynébactéries, Bacillus*, etc., par l'intermédiaire du matériel de traite et de stockage du lait, par le sol, l'herbe ou la litière.

Des contaminations d'origine fécale peuvent entraîner la présence de *Clostridium*, d'entérobactéries coliformes et, éventuellement, d'entérobactéries pathogènes : *Salmonella, Yersinia*. Ceci explique l'importance d'un contrôle rigoureux du lait (Leyral et Vierling, 2007).

D'autres microorganismes peuvent se trouver dans le lait, lorsqu'il est issu d'un animal malade. Il peut s'agir d'agents de mammites, c'est-à-dire d'infections du pis : *Streptococcus Pyogènes, Corynebacterium pyogènes, staphylocoques*, etc.

Chapitre II : Fromage Frais

Il peut s'agir aussi de germes d'infection générale qui peuvent passer dans le lait en l'absence d'anomalies du pis : *Salmonella* ; *Brucella*, agent de la fièvre de Malte, et exceptionnellement *Listeria monocytogenes*, agent de la listériose ; *Mycobacterium bovis* et *tuberculosis*, agents de la tuberculose ; et quelques virus.

Hormis les maladies de la mamelle, le niveau de contamination est étroitement dépendantes conditions d'hygiène dans lesquelles sont effectuées ces manipulations, à savoir l'état de propreté de l'animal et particulièrement celui des mamelles, du milieu environnant (étable, local de traite), du trayon, du matériel de récolte du lait (seaux à traire, machines à traire) et enfin, du matériel de conservation et de transport du lait (bidons, cuves, tanks) (FAO, 1995).

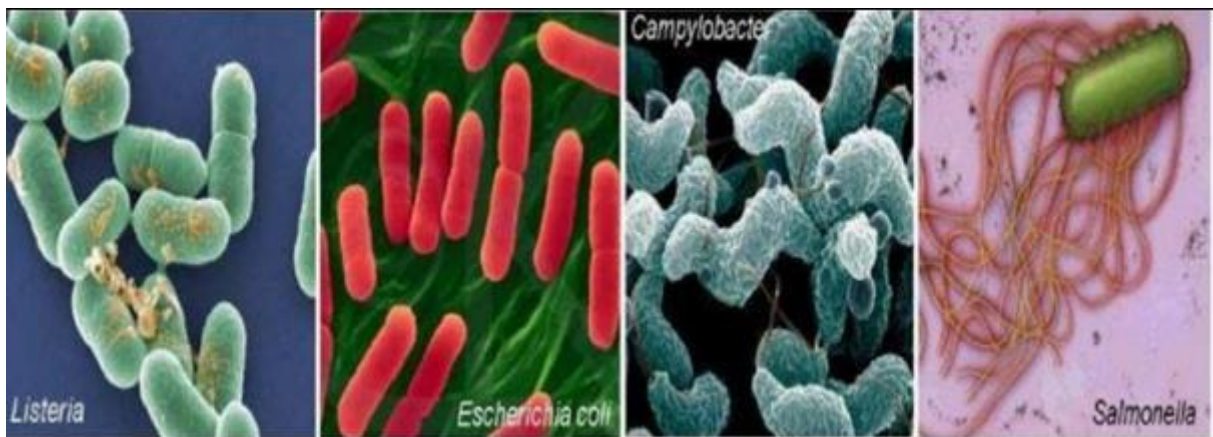


Figure 18 : Quelques bactéries pathogènes (Prescott et al., 2003).



Partie pratique

A green scroll banner with a white border, featuring a small icon of a document with a red square in the top right corner.

Chapitre III : Matériels et Méthodes

Chapitre III : Matériels et Méthodes

Introduction

Notre travail a été réalisé au niveau de l'unité LAITERIE ARIB « Ain Défla ».

Le prélèvement et l'échantillonnage au cours de production à savoir (lait cru, poudre de lait, crème fraîche jusqu'à le produit fini) ont été réalisés au niveau de l'unité en utilisant les méthodes citées dans la partie expérimentale.

Les échantillons pour laboratoire sont transférés, en respectant des conditions, vers les laboratoires en vue de les analyser, à savoir que :

- Les analyses physico-chimiques sont effectuées dans le laboratoire d'analyses physico-chimiques de l'entreprise LAITERIE ARIB,
- Les analyses microbiologiques sont effectuées au niveau de laboratoire d'analyses microbiologique.

Objectif

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*).

Lieu et période de stage

La partie expérimentale de notre travail a été effectuée au niveau du laboratoire de laiterie d'ARIB située dans la wilaya d'Ain Defla durant la période qui s'est étalée du mois de 03/03/2022 jusqu'au mois de 03/06/2022.

III. Matériels et méthodes

III.1. Matériels

Tous les appareils et réactifs utilisés dans cette étude sont mentionnés en détail dans (Annexe 01).

III.2. Méthodes

✓ Lait cru

C'est un aliment de base pour l'homme, indispensable pour le nouveau-né, il s'avère très bénéfique pour l'adulte. Traditionnellement, le lait de vache a été considéré comme un aliment de base dans de nombreux régimes alimentaires. Il fournit une matrice accessible, riche

en une grande variété nutriments essentiels : des minéraux, des vitamines et des protéines faciles digérer. Il est par conséquent essentiel à l'ensemble des fonctions du corps. (Drewnowski, 2005).

Le lait des vaches qui nous reçoivent dans la laitière d'Arib sont de différentes régions de wilaya d'Ain défla et autre wilaya comme Chlef et Média.

➤ Prélèvement et échantillonnage

Les récipients utilisés pour le prélèvement des échantillons doivent être stériles. Les prélèvements doivent se faire avec une asepsie rigoureuse. Les échantillons doivent être transportés rapidement au laboratoire selon des conditions définies.

III.2.1. Analyse physico-chimiques de Lait cru

III.2.1.1. Détermination de la température (NF T 90-100)

❖ Principe

La température de lait cru est mesurée à l'aide d'un thermomètre. Elle est exprimée en °C.

❖ Mode opératoire

Un thermomètre est plongé pendant 2 mn dans un bêcher contenant 50ml de lait, et la lecture de la température s'effectue directement sur la graduation du thermomètre

III.2.1.2. Détermination de la matière grasse

❖ Principe

Le principe de la technique consiste en la dissolution des éléments du lait, excepté la matière grasse, par l'acide sulfurique sous l'influence de la force centrifuge et grâce à l'adjonction d'une petite quantité d'alcool iso amylique (1ml), la matière grasse se sépare en une couche claire et transparente (Norme AFNOR, 1980).

❖ Mode opératoire

- Dans le butyromètre, Introduire 10ml d'acide sulfurique.
- à l'aide de la pipette, ajouter 1 ml de lait sans mouiller le col et en évitant un mélange prématuré entre le lait et l'acide.
- Verser à la surface du lait 1ml d'alcool iso amylique, boucher ensuite avec soin le butyromètre, agiter avec précaution mais rapidement (pour disparition des grumeaux),

attendre que l'ampoule soit remplie, retourner et attendre que l'ampoule soit complètement vidée, après quelque retournements successifs.

- Centrifuger pendant 5min.

Le résultat est exprimé en g/l et la lecture se fait directement sur le butyromètre.



Figure 19 : la matière grasse de lait cru.

III.2.1.3. Détermination de l'acidité titrable

❖ Principe

Elle est basée sur le titrage de l'acide lactique par la soude (NaOH) en présence de phénophtaléine à 1 % comme indicateur coloré virant au changement de couleur rose pale (**Haggad et al., 2009**).

Cette acidité est exprimée en degré Dornic (°D) où : 1 ° D représente 0,1 g d'acide lactique dans un litre de lait (**Mathieu, 1998**).

❖ Mode opératoire

- Remplir la burette de la solution de NaOH N/9 et la fixer au statif, régler le niveau du liquide à Zéro.
- A l'aide de la pipette de 10ml, prélever 10 ml de lait cru et transférer dans un bicher de 100 ml.
- Ajouter 3 gouttes de solution de phénolphtaléine.

- titrer avec une solution sodique (Na OH, N/9) à l'aide d'une burette jusqu'au virage au rose pâle.
- lire le volume sur la burette (en millilitre de Na OH titré).

III.2.1.4. Détermination de la densité

❖ Principe

La densité d'un corps est exprimée par le rapport de sa masse spécifique à celle de l'eau pure mesurée dans la même condition.

La mesure de la densité du lait s'effectue à l'aide d'un thermo lactodensimètre, Elle correspond au poids en Kg d'un litre de lait.

❖ Mode opératoire

- Verser doucement le lait dans une éprouvette tenue inclinée, afin d'éviter la formation de mousse.
- Remplir l'éprouvette jusqu'à ras bord de manière que le lait déborde légèrement pour entraîner les traces de mousse qui pourraient gêner le lecteur.
- Plonger le thermo lactodensimètre dans le lait en le retenant jusqu'au voisinage de l'équilibre.
- Lire la température et la densité et convertir la densité en utilisant le tableau.

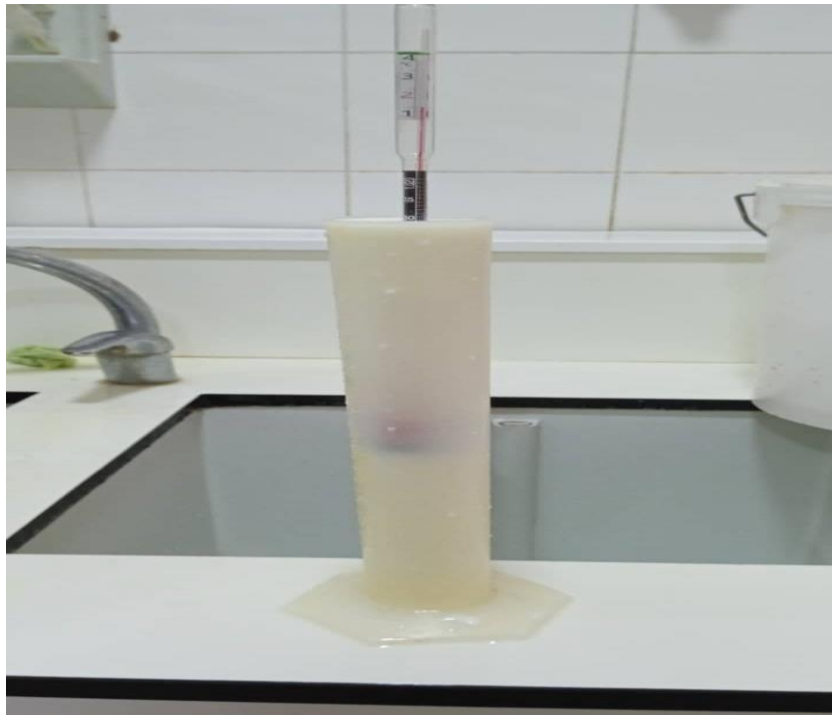


Figure 20 : Détermination de la densité avec le lactodensimètre

III.2.1.5. Détermination de l'extrait sec total (EST)**❖ Principe**

La matière sèche du lait est la masse exprimée en pourcentage pondéral. Elle est exprimée par la masse en gramme de la matière sèche du lait .

Le principe de cette méthode est basé sur l'évaporation de l'eau contenue au niveau de l'échantillon analysé .sous l'effet d'une source de chaleur qui est, dans ce cas, constituée par la lumière infrarouge.

❖ Mode opératoire

- Dans une coupelle en aluminium, séchée et tarée, peser 1gr ± 0.1 de produit à analyser Etaler sur toute la surface de la coupelle en faisant attention de ne pas toucher les bords de celle-ci.
- Mettre la coupelle dans la thermo balance et la mettre en marche en baissant le couvercle et en appuyant sur TAR.

III.2.1.6. Détermination de l'extrait sec dégraissé (ESD)**❖ Définition**

La teneur en matière sèche dégraissé est la masse exprimée en pourcentage des résidus après dessiccation et sans la teneur en matière grasse. Le résultat est donné par la formule suivante :

$$\text{ESD (\%)} = \text{EST} - \text{MG}$$

Ou :

ESD : extrait sec dégraissé.

EST : extrait sec total.

MG : matière grasse.

III.2.1.7. Détermination de pH (potentiel d'hydrogène)

❖ Principe

Le pH est déterminé à l'aide d'un pH-mètre, en introduisant directement la sonde dans l'échantillon à analyser à une température de 20°C.

❖ Mode opératoire

- Etalonner le PH mètre à l'aide des deux solutions tampon à PH =4+-0.1 et PH=7+-0.1.
- Introduire l'électrode dans le bécher contenant le lait reconstitué à analyser dont la température doit être 20°C.
- Attendre la stabilisation du pH pour effectuer la lecture (la valeur affichée sur l'écran de PH mètre).



Figure 21 : détermination du PH

III.2.2. Analyse physico-chimique de poudre de lait

III.2.2.1. l'acidité titrable de poudre de lait

❖ Mode opératoire :

➤ Cas de produit solide (la poudre de lait) : (NF V 04-350)

- Dans un bécher de 100 ml peser 2g de l'échantillon.
- Ajouter lentement 20 ml d'eau distillée tiède en agitant le bécher, bien mélanger à l'aide d'une baguette en verre.
- Laisser reposer 20ml environ,

- Ajouter de l'indicateur coloré 3 à 4 gouttes de solution de phénolphtaléine et titrer par la solution sodique jusqu'au virage au rose.

❖ Expression des résultats :

L'acidité titrable, exprimé en gramme d'acide lactique pour 100g l'échantillon, est donné par la formule :

$$0.01 \times V \times 100 / 2 = V / 2$$

Ou : V est le volume en milli litre de la soude nécessaire au titrage.

1ml de solution titrée correspond à 0.01g d'acide lactique.

III.2.2.2. Matière grasse de poudre de lait

❖ Principe :

Dissolution des éléments du lait sec, matière grasse exceptée par l'acide sulfurique sous l'influence de la flore centrifuge et grâce à l'adjonction de l'alcool isoamylique, la matière grasse se séparer.

❖ Mode opératoire :

- Introduit 10ml d'acide dans le butyromètre, ne pas mouiller le col
- Ajouter 8ml d'eau distillée sans provoquer un mélange brutal avec l'acide,
- Peser 2.5 ± 0.005 g de poudre dans un petit carré de papier,
- Introduit quantitativement la prise d'essai dans le butyromètre,
- Ajouter 1ml d'alcool.
- Boucher puis secouer horizontalement le butyromètre maintenu dans une position verticale afin d'éviter une attaque brutale du lait par l'acide.
- Retourner et secouer à plusieurs reprises.
- Lorsque le lait est complètement dissous, maintenir le butyromètre bouchon vers le haut, attendre que le mélange ait complètement rempli l'ampoule terminale.

III.2.3. Analyse physico-chimique de crème fraîche**❖ Principe :**

Dissolution des proviennes par addition d'acide sulfurique, séparation de la M G par centrifugation favorisée par l'alcool iso- amylique, l'Obtention de la MG en g/l par lecteur direct sur l'échelle du butyromètre

❖ Mode opératoire :

- Peser dans le godet préalablement taré 5g d'échantillon,
- L'introduire dans la panse du butyromètre,
- Ajouter 10ml d'acide sulfurique+1ml d'alcool iso amylique, à l'aide d'une pipette ajouter 6à7 ml d'eau.
- Agiter et retourner le butyromètre pour que les protéines soient dissoutes, procéder à 4 ou 5 retournement successifs,
- Placer ensuite dans le bain d'eau à 65°C/5mn ;
- Centrifuger pendant 5 min et fait le lecteur après avoir placé butyromètre dans le bain d'eau pendant 5mn.
- La teneur en M.G est exprimée en pourcentage.

III.2.4. Analyse physicochimique de fromage frais avec la spiruline**➤ Préparation des échantillons****❖ Principe**

La préparation de différentes concentrations basées sur que l'être humaine ne peut être consommée plus que 5g de la spiruline dans 100g de fromage frais « petit suisse » par jour.

❖ Mode opératoire

A partir d'un produit fini petit suisse pesez différentes concentrations lesquels : 0,5%, 1% et 2% de la spiruline et mélangez bien pour obtenir trois différents concentrations.



Figure 22 : fromage frais à diffèrent concentration de spiruline.

III.2.4.1. Détermination du PH (NF V04-316)

❖ Principe

Le PH représente l'acidité du lait à un moment donné. On le mesure habituellement à l'aide d'un PH-mètre (Vignola et al., 2002).

❖ Mode opératoire

- Etalonner le pH-mètre à l'aide de deux solutions tampons (pH4 et pH7) ;
- Plonger l'électrode dans le produit à analyser et lire la valeur de pH stabilisée ;
- Retirer l'électrode et le rincer avec de l'eau distillée.

❖ Lecture

La valeur du pH est lue directement sur le pH- mètre.

III.2.4.2. Détermination de matière grasse (NF 04-287)**❖ Principe**

Dosage de la matière grasse par la méthode butyrométrique de **Van Gulin**, Ce qui diffère des autres dosages de M.G l'acide sulfurique est de densité 1.525.

❖ Mode opératoire

- Prise d'essai : peser 3g dans le godet taré du butyromètre
- Fermer le col du butyromètre, ajouter l'acide jusqu'à remplissage au 2/3 la Chambre du butyromètre.
- Le placer ensuite après l'avoir fermé de l'autre côté dans le bain d'eau à 65°C Pendant 5mn
- Le retirer du bain d'eau et l'agiter 10 secondes,
- Répéter l'opération de chauffage et d'agitation jusqu'à dissolution totale des protéines.
- Ajouter ensuite 1ml d'alcool, agiter puis ajouter de l'acide sulfurique par l'ouverture étroite jusqu'à ce que le niveau atteigne les 35% de l'échelle, fermé avec un petit bouchon et faire des retournements.
- Le placer dans le bain d'eau à 65°C pendant 5mn, centrifuger pendant 10mn et procéder à la lecture après l'avoir replacé dans le bain d'eau pendant 5mn.

❖ Expression de résultats

La matière grasse est bien détectée par sa couleur jaune claire par rapport aux autres constituants. La teneur en MG du produit exprimée en pourcentage en masse est déterminée par l'expression suivante :

$$\text{MG}\% = \text{N1} - \text{N2}$$

Ou :

N1 : la valeur atteinte par le niveau supérieure de la colonne du butyromètre.

N2 : la valeur atteinte par le niveau inférieure de la colonne du butyromètre.

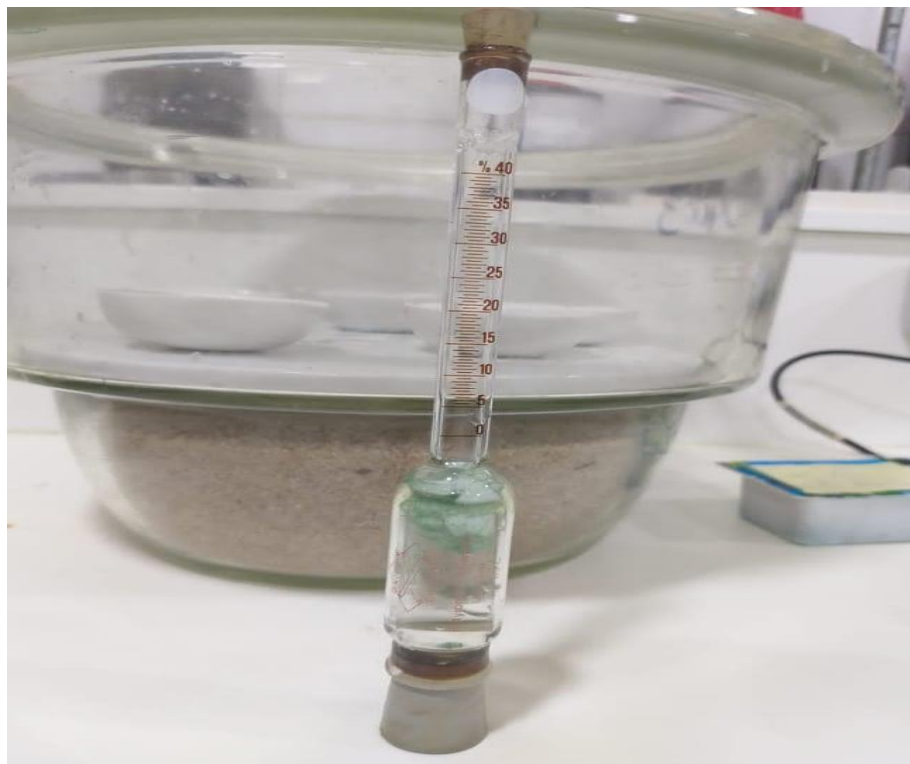


Figure 23 : détermination de la matière grasse de petit suisse avec spiruline

III.2.4.3. Détermination de l'extrait sec totale (EST) : (NF T90-029)

❖ Principe

Le principe de cette méthode est basé sur l'évaporation de l'eau contenue au niveau de l'échantillon analysé sous l'effet d'une source de chaleur qui est, dans ce cas, constituée par la lumière infrarouge.

❖ Mode opératoire

- Placer la coupelle séchée et tarée dans le dessiccateur.
- peser $1\text{gr} \pm 0.1$ de produit à analyser Etaler sur toute la surface de la coupelle en faisant attention de ne pas toucher les bords de celle-ci.
- Fermer le couvercle et mettre START jusqu'à l'obtention d'un poids constante pour faire la lecture.

❖ Lecture

La lecture des résultats se fait directement à partir de l'affichage sur le cadran du dessiccateur.

❖ Expression des résultats

$$EST = V' \times 10 \text{ (g/l)}.$$

Ou :

V' : valeur donné par le dessiccateur.

III.2.4.4. Détermination de l'extrait sec dégraissé**❖ Définition**

La teneur en matière sèche dégraissé est la masse exprimée en pourcentage des résidus après dessiccation et sans la teneur en matière grasse. Le résultat est donné par la formule suivante :

$$ESD\% = EST - MG$$

Ou :

ESD : extrait sec dégraissé.

EST : extrait sec total.

MG : matière grasse.

III.2.5. Analyses microbiologiques de lait cru :**❖ La mesure de l'activité réductase du lait :**

Test de la réductase Test de la réduction du lait (on peut aussi faire le test d'acidité). Ce test permet d'avoir la qualité de fraîcheur du lait ; en effet, une cellule microbienne se reproduit chaque 20 min, donc si lait est trop chargé en microorganismes, il est riche en réductase : enzyme qui réduit le bleu de méthylène et alors plus le lait est riche en réductase, plus la décoloration sera rapide. Le test consiste à mettre dans un tube à essai 20 ml de lait à analyser + 1 ml de bleu de méthylène et incuber à 37 °C Temps de décoloration contamination Qualité de lait (**Kurmann,1966**).

- 20 mn Très forte Très sale.

- 20 mn à 2 H forte Sale.

- 2 H à 5 H Bon lait (frais).

❖ Germes recherchés :

Le tableau suivant montre les micro-organismes recherchés dans la matière première et le produit fini.

Tableau 13 : les micro-organismes recherchés dans la matière première et le produit fini
(JORA N°39, 2 juillet 2017)

Produit Germe	Lait cru	Poudre du lait 0%	Crème fraîche pasteurisé	Lait pasteurisé	Sortie thermisation	Sortie tank de la crème	Sortie refroidisseur	Produit fini
G A M T				⊗		⊗		
Enterobacater Iaceae		⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	
<i>Escherichia Coli</i>								⊗
<i>Staphylococcus aureus</i>		⊗	⊗					⊗
Salmonelles		⊗	⊗	⊗				⊗
Mesure d'activité réductase	⊗							
<i>Listeria monocytogène</i>								⊗

III.2.6. Analyse microbiologie de produit fini (petit suisse) avec la spiruline

La manipulation de base est celle du transfert de germes d'un récipient à un autre, il faut donc respecter certaines règles lors des manipulations :

- travailler de façon absolument aseptique.
- se laver les mains avant et après manipulation.
- nettoyer et aseptiser les paillasse avant et après manipulation.
- travailler le plus près possible du bec bunsen avec ustensiles stériles.

- toutes les boîtes de pétri, bouillonsensemencés, ainsi que les ustensiles souillés (pipettes, râtaux...) devront être autoclave ou stériles (eau de javel).

➤ Préparation de solution mère :

Dans les conditions d'asepsie, à partir de 3 concentrations préparés (homogénéisation de 0.5g ,1g et 2g de spiruline avec 99.5 g, 99g et 98g de fromage frais successivement), peser 1ml de chaque concentration par une pipette graduée et la-mettre dans un tube contient 9 ml de l'eau physiologique.

Appliquer une homogénéisation à l'aide d'un vortex, donc les 3 solutions mères sont réalisé (10^{-1}).

➤ Préparation des dilutions décimales :

Une série de dilutions décimales est réalisé en prélevant 1ml de solution mère dans 9 ml d'eau physiologique stérile, ce qui consiste la dilution (10^{-2}).

Après homogénéisation de cette dernière la même opération est répétée jusqu'à la dilution (10^{-4}).

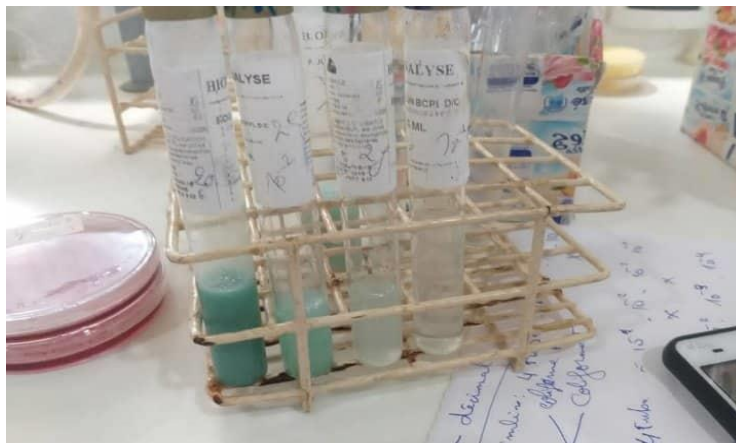


Figure 24 : dilutions décimales 10^{-1} à 10^{-4}

➤ Recherche et dénombrement de la flore microbienne

Dans nos recherches, nous nous sommes appuyés sur certaines espèces bactériennes que l'on peut retrouver dans les fromages frais présentées dans le tableau agréé par le journal officiel algérien N°39. (Annexe N°2).

III.2.6.1. Recherche et dénombrement des Coliformes totaux et Coliformes fécaux (*E.coli*) (NF V 08-050, NF V 08-060)**❖ Définition**

Les coliformes appartiennent à la famille des Enterobacteriaceae, capables de fermenter le lactose. Ce sont des bacilles à Gram négatif, aérobies ou anaérobies facultatifs, non sporulés, à oxydase négative, se développant à une température de 35°C-37°C, ces coliformes peuvent être responsables de gonflement précoces dans le fromage, ce dernier étant dû à la formation d'hydrogène très peu soluble dans le fromage (Tormo, 2010).

❖ Mode opératoire

- A partir de dilution ($10^{-2}/10^{-3}$), porter aseptiquement 1ml de chaque dilution dans une boîte de pétri vide.
- Ajouter le milieu VRBL (liquide) dans la boîte.
- Faire ensuite des mouvements circulaires et de va et vient en forme de « 8 » pour bien mélanger à l'inoculum.
- Effectuer cette méthode pour chaque dilution à cause de :
 - ✓ La 1^{ère} série des boîtes sera incubées à 37°C pendant 24 à 48h pour la recherche des coliformes totaux.
 - ✓ La 2^{ème} série des boîtes sera incubées à 44°C pendant 24 à 48 h pour la recherche des coliformes fécaux.

III.2.6.2. Recherche et dénombrement des *staphylococcus aureus* (NF V 08-057)**❖ Définition**

Les *Staphylococcus aureus* appartiennent à la famille de Micrococcaceae. Ce sont des Cocci à Gram positif, non sporulés, aéro-anaérobies facultatifs, immobiles, halophiles, se divisent en plusieurs plans en formant des amas irréguliers, coagulase, protéase et catalase positives (Laurent et al., 1998).

❖ Mode opératoire**✓ Préparation du milieu d'enrichissement**

- Au moment de l'emploi, ouvrir aseptiquement le flacon contenant le milieu Giolitti Cantoni pour y ajouter 15 ml de la solution de Tellurite de potassium.

- Mélanger soigneusement donc Le milieu est alors prêt à l'emploi.

✓ Enrichissement

- partir des dilutions décimales retenues, porter aseptiquement 1 ml par dilution dans un tube à vis stérile.
- Ajouter par la suite environ 15 ml du milieu d'enrichissement. Bien mélanger le milieu et l'inoculum.

✓ Incubation

L'incubation se fait à 37 °C pendant 24 à 48 h.

✓ Lecture

- Seront considérés comme positifs, les tubes ayant virés au noir.
- Pour s'assurer qu'il s'agit bien d'un développement de *Staphylococcus aureus*, ces tubes feront l'objet d'un isolement sur gélose Chapman préalablement fondu, coulée en boîtes de pétri et bien séchée.
- Les boîtes de Chapman ainsiensemencées seront incubées à leur tour à 37 °C pendant 24 à 48 h. après ce délai, repérer les colonies suspectes à savoir les colonies de taille moyenne, lisse, brillantes, pigmentés en jaune et pourvues d'une coagulase et d'une catalase.

❖ Expression des résultats

- Si à la dilution 10^{-3} , le tube a noirci au bout de 24 h d'incubation, mais à l'isolement sur Chapman il n'y a pas des colonies caractéristiques ; ce tube est considéré comme négatif.
- Si par contre à la dilution 10^{-1} , le tube a noirci au bout de 24 h d'incubation, et à l'isolement, il y a des colonies caractéristiques, il faut tenir compte de la dilution en question, car le nombre réel de *Staphylococcus aureus* correspond à l'inverse de la dilution. Dans ce cas, il y a donc 10 *Staphylococcus aureus* par g ou ml du produit à analyser.

✓ Epreuve de la coagulase

Pour assurer de la spécificité des colonies de staphylocoques, procéder comme suit :

- Soumettre au moins cinq colonies typiques par boîte, en les transférant dans des tubes contenant du bouillon spécial, à raison d'une colonie par tube.
- Faire incuber à l'étuve, à $37 \pm 1^\circ \text{C}$, pendant 24 heures.
- Introduire 0,5 ml de chaque culture ainsi obtenue, dans un tube stérile distinct, contenant 0,5 ml de plasma de lapin, bien mélanger.
- Faire incuber à l'étuve, à $37 \pm 1^\circ \text{C}$, et examiner les tubes après 2 heures et 6 heures d'incubation, en vue de déceler toute coagulation du plasma de lapin.
- Si au moins cinq colonies coagulent le plasma de lapin, conclure à la présence de staphylocoques à coagulase positive dans la dilution correspondante de l'échantillon.

✓ Epreuve de la catalase

- Placer une goutte d'une solution de peroxyde d'hydrogène sur une lame de microscope.
- Prélever une colonie avec une pipette pasteur et l'émulsionner doucement dans la goutte de H_2O_2 une des deux gouttes.
- Observer immédiatement et après 5 minutes s'il y a apparition (catalase positive) ou absence (catalase négative) de bulles d'oxygène.

III.2.6.3. Recherche de Salmonella (NF V 08-052)

❖ Définition

Les bactéries de genre *Salmonella* appartiennent à la famille des *Enterobacteriaceae* dont elles possèdent les principaux caractères :

Bacilles à Gram négatif, anaérobies facultatifs, habituellement mobiles grâce à une ciliature péri triche, mais *Salmonella gallium* est toujours immobiles, elles possèdent une catalase, réduisent les nitrates en nitrites, fermentent les glucoses avec production d'acide et de gaz.

❖ Mode opératoire

La recherche de *Salmonella* nécessite une prise d'essai à part.

✓ Pré-enrichissement :

- Mettre 25 g de produit à analyser dans un flacon de 225 ml de TSE et bien homogénéiser.
- Incuber à 37 °C pendant 18 h

✓ Enrichissement :

L'enrichissement doit s'effectuer sur deux milieux sélectifs différents à savoir que :

- le milieu de RappaportVassiliadis réparti à raison de 10 ml par tube,
- le milieu de Sélénite Cystine réparti à raison de 100 ml par flacon.

L'enrichissement proprement dit, se fait donc à partir du milieu de pré-enrichissement de la façon suivante :

- 0,1 ml pour le tube de RappaportVassiliadis,
- 10 ml pour le flacon de Sélénite Cystine.

✓ Incubation

Elle se fait à 37 °C pendant 24 h.

✓ Lecture

Une réaction positive est indiquée par le virage de la couleur du milieu au rouge brique.

✓ Isolement

Le tube et/ou le flacon positifs fera/feront l'objet d'un isolement sur le milieu sélectif "Hektöen".

❖ Lecture

Les Salmonelles se présentent sous forme des colonies bleues vertes au centre noir sur gélose Hektöen.

✓ Confirmation

Toutes les colonies caractéristiques feront l'objet d'une identification morphologique biochimique et sérologique qui se déroule comme suit :

- état frais (forme, mobilité).
- coloration de Gram (forme et Gram).
- ensemencement dans un tube de TSI qui sera incubé à 37 °C pendant 24 h (fermentation des glucides, production du gaz et de H₂S).
- ensemencement dans un tube de gélose nutritive inclinée qui sera incubé à 37 °C pendant 24 h, etc.

III.2.6.3. Recherche de *Listeria monocytogenes* (JORA, N°03. 2006)

❖ Définition

Listeria monocytogenes est un coccobacille Gram positif, facultativement anaérobique en forme de bâtonnet, qui mesure habituellement de 0,5 à 2 µm de longueur et 0,5 µm de diamètre. Elle est capable de croître à faible température et à un pH entre 4,3 et 9,6 et peut se reproduire à des températures situées entre 1 et 45 °C.

❖ Mode opératoire

En général, la recherche de *Listeria monocytogenes*, nécessite au moins quatre étapes :

- Enrichissement primaire (25 gr ou 25 ml dans 225 ml de milieu Fraser au 1/2)

Incubation à 30° C pendant 18 à 24 h.

- Ensemencement secondaire 0,1ml sur Fraser en tubes de 10 ml, et Isolement en stries sur gélose Oxford ou Palcam Incubation à 37° C pendant 24 à 48 h.
- Sélection de trois à cinq colonies caractéristiques et isolement en stries sur une autre plaque de gélose Oxford ou Palcam Incubation à 37° C pendant 24 à 48 h.
- Purification sur gélose TSYEA.
- Incubation à 37° C pendant 24 h (ou plus, si nécessaire).
- Examens complémentaires.

III.2.7. Analyses biochimiques

III.2.7.1. Dosage des protéines

La méthode de Kjeldahl est la méthode de référence de dosage d'azote total pour le domaine alimentaire. Elle consiste à effectuer une minéralisation complète des molécules organiques, transformant l'azote présent en ammoniacque qui peut être dosé par différentes techniques (Guillou *et al.*, 1976).

III.2.7.2 Détermination du taux de Cendres (minéraux)

❖ Mode opératoire

- Peser la capsule séchée et refroidie.
- Introduire 4g de fromage dans la capsule
- Mettre dans le four à moufle pendant 4 heures à 550°C
- Retirer la capsule du four et la mettre dans le dessiccateur.
- Laisser refroidir jusqu'à température ambiante.
- Peser à 0,001 près.
- Calculer le taux de cendres avec la formule suivante :

$$\text{Taux de cendres} = (M_1 - M_0 / M) \times 100$$

M₁ : Masse en g de la capsule et du résidu après dessiccation et refroidissement

M₀ : Masse en g de la capsule vide

M : Masse en g de la prise d'essai.



Figure 25 : détermination de taux de cendre dans un four a moufle

III.2.8. Analyse du profil sensorielle des fromages frais enrichi en spiruline

L'objectif de l'analyse consiste à donner une description sensorielle du fromage frais de lait de vache type petit suisse en richi en spiruline de différents concentrations en complément à l'analyse physico-chimique et microbiologique.

❖ Principe (Berodier et *al.*, 2003)

Elle consiste à donner à un sujet un échantillon de fromage et les caractéristiques sensorielles sont évaluées par des observations visuelles et des dégustations.

La caractérisation porte sur :

- Texture
- Gout
- Couleur
- Odeur et arôme

✓ Constitution du jury

Le groupe d'examineur est constitué de 20 personnes « techniciennes de laboratoires et l'administrateur d'unité d'Arib »

❖ Mode opératoire (Berodier et *al.*, 2003)

Les échantillons de fromage sont placés dans des boites fermé selon la concentration, Le dégustateur répond aux questions sur la grille d'évaluation (**Annexe N°2**) et évaluer les caractéristiques sensorielles.

A green scroll graphic with a white border, featuring a rolled-up edge on the left and a small square icon on the top right. The text is centered within the scroll.

Chapitre IV : Résultats et Discussion

Chapitre IV : Résultats et discussion

IV.1. Résultats des analyses physicochimiques

IV.1.1. Lait cru, poudre de lait et crème fraîche

Les résultats physicochimiques sont donnés dans le tableau suivant :

Tableau 14 : résultats des analyses physicochimiques

Paramètres	Lait cru	JORA °n 69 Du 27- 10-1993	Crème fraîche	Norme JORA 1993	Poudre de lait 0%	Norme AFNOR 1986
PH	6,64 ±0.03	6,6-6,8	/	/	/	/
Densité	1029 ± 1	1028-1034	/	/	/	/
A°D	15 ± 1	14 à 18°D	12 ± 0.57	9-12°D	15	14-15°D
MG	35 ± 1.52	30-38 g/l	39 ± 0.57	30-40 %	Trace	0.15% MAX
EST	/	/	447±3.60	350-460g/l	/	/
ESD	/	/	57 ± 2.51	50-60g/l	/	/

Les résultats physicochimiques du lait cru qui rentre dans la fabrication du petit-suisse présente une conformité des paramètres à savoir :

- ✓ PH de lait cru 6,64 ±0.03
- ✓ L'acidité de 15 ± 1
- ✓ La densité de 1.029. ± 1
- ✓ La matière grasse(MG) de 35 ± 1.52

Ces résultats sont conformes aux normes établies par l'unité d'Arib.

Concernant les résultats de l'analyse physico-chimique de la poudre de lait, nous présentons une conformité des paramètres recherchés l'acidité 15°D et la matière grasse sous forme de trace qui confirme la poudre de 0% de MG.

- Cela est dû aux bonnes conditions de fabrication ; de transport et de stockage de la poudre de lait, sachant que cette matière est importée de l'étranger

Les résultats physicochimiques de la crème fraîche issue de la séparation de lait cru de la matière grasse les paramètres analysés obtenus sont comme suite :

- ✓ L'acidité de 12.23 ± 0.57 .
- ✓ Extrait sec total (EST) de 447 ± 3.60 .
- ✓ La matière grasse (MG) de 39 ± 0.57 .
- ✓ Extrait sec dégraissé (ESD) 57.33 ± 2.51 .

Ces résultats sont conformes aux normes établie l'unité interne d'Arib

IV.1.2. Matière Premier (petit-suisse) avec la spiruline

Les valeurs du pH, de l'extrait sec total (matière sèche), de l'extrait sec dégraissé et de matière grasse des trois échantillons du fromage frais préparés sont représentées dans le tableau suivant :

Tableau 15 : résultats des analyses physico-chimiques de fromages frais enrichi en Spiruline.

Paramètres	Matière premier (petit- suisse)	E 1	E2	E3
PH	4,65	5,13	5,15	5,25
MG %	4	4	4	4
EST (g/l)	202,8	209,8	218,3	231,8
ESD (g/l)	162,8	169,8	178,3	191,8

E1 : produit finis avec 0.5 g de spiruline,

E2 : produit finis avec 1 g de spiruline,

E3 : produit finis avec 2 g de spiruline.

D'après le tableau 15 nous avons enregistré des pH suivant : pour échantillon1 pH est égale à 5,13, l'échantillon2 le pH est égale à 5,15 et pour l'échantillon 3 le pH est égale à 5,25 en comparant avec l'échantillon Témoin le pH est 4,65.

La Spiruline croît dans des milieux naturels caractérisés par des eaux saumâtres, chaudes (28 à 40°C), alcalines ($8 < \text{pH} < 11,5$), natronées (fortement concentrées en carbonates et bicarbonates) (**Doumenge et al., 1993 ; Fox, 1999**).

L'augmentation du pH enregistrée dans les trois échantillons enrichi à la spiruline est due à l'ajout de cette micro algue, qui présente un pH alcalin car la spiruline consomme les carbonates et bicarbonates de milieu dans lequel elle vivait.

Concernant l'extrait sec total (EST) des trois échantillons du fromage frais, Nous avons enregistré une augmentation progressive, cette différence de taux d'E.S.T est due à la composition de la matière biologique Qu'on a ajoutée (**spiruline**).

IV.2. Résultats des analyses microbiologiques

IV.2.1. lait cru

Les résultats des analyses microbiologiques sont donnés dans le tableau ci-dessous

Tableau 16 : résultats des analyses microbiologiques de lait cru

Germes Recherché	Lait cru	Norme JORAN°39 2017 UFC / G UFC /ml	
		m	M
Germe aérobies C°	07 x10 ⁵ ± 1.60	3x10 ⁵	10 ⁶
Coliformes fécaux	06 x10 ³ ± 1.27	5x 10 ²	5x10 ³
<i>Staphylococcus aureus</i>	Abs	10 ²	10 ³
Salmonella	Abs	Abs / 25 ml	
<i>Listeria monocytogenes</i>	Abs	100	

Les résultats de l'analyse microbiologiques de lait cru ont montré la présence d'une quantité élevée de germes aérobies et coliformes fécaux mais pour *Staphylocoque aureus* et *Salmonella* sont absentes, parce que le lait est n'a pas encore traité. mais on peut traiter thermiquement à 95 C° pendant 1 à 5 mn afin d'améliorer la qualité technologique et hygiénique du lait par destruction des germes hétéro fermentaire indésirables et pathogènes (**Mahaut et al., 2000**).

IV.2.2. Poudre de lait et crème fraîche

Tableau 17 : résultats des analyses microbiologiques de la crème fraîche et poudre de lait.

Germe Recherché	Poudre de lait 0%	Crème fraîche	Norme JORAN°39 2017	
			UFC / G	
			UFC /ml	
			m	M
Entérobactériaceae	0	0	10	10 ²
<i>Staphylococcus aureus</i>	0	0	10	10 ²
Salmonella	Abs	Abs	Abs / 25 g Abs / 25 ml	

Les résultats de l'analyse microbiologique de la poudre de lait et crème fraîche utilisé dans notre étude montrent :

- ✓ L'absence totale des Entérobactériaceae.
- ✓ L'absence totale de *Staphylococcus aureus*.
- ✓ L'absence totale de salmonella.

Cela veut dire que la poudre de lait et crème fraîche conforme à la norme. Cette conformité est l'œuvre d'une bonne hygiène du personnel chargé à la traite.

IV.2.3. Matière première (petit-suisse) avec la spiruline

L'objectif des analyses microbiologiques est de garantir une certaine sécurité hygiénique et un niveau de qualité organoleptique, pour cela lorsqu'un produit est destiné à la consommation, le niveau de contamination de celui-ci doit être réduit le plus possible par un choix judicieux de la matière première et une surveillance constante de toutes les étapes de la fabrication de petit suisse.

Les résultats microbiologiques du fromage frais avec spiruline sont rapportés dans le tableau suivant :

Tableau 18 : les résultats des analyses microbiologiques du fromage frais enrichi en spiruline.

Micro – organisme (UFC/g)	1 ^{er} concentration (0.5g)		2 ^{ème} concentration (1g)		3 ^{ème} concentration (2g)	
	10 ⁻²	10 ⁻³	10 ⁻²	10 ⁻³	10 ⁻²	10 ⁻³
Coliformes fécaux (<i>E. coli</i>)	0	0	0	0	2	0
Coliformes totaux	98	61	97	88	96	68
Staphylocoques à coagulase +	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs
Salmonella	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs
<i>Listeria monocytogènes</i>	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs

L'ensemble des résultats des analyses microbiologiques obtenus montre que les 3 concentrations ont une qualité microbiologique satisfaisante par rapport à le journal officiel de la république algérienne N°39. (**Annexe N°2**)

Cela est dû aux bonnes conditions hygiéniques lors de la préparation de petit suisse ainsi l'efficacité du traitement thermique effectué qui a permis la destruction de la totalité de ces micro-organismes.

IV.2.4. Evaluation de la qualité microbiologique du produit fini « petit suisse » avec spiruline au cours du stockage

Pour la salubrité du produit, Nous avons suivi la qualité microbiologique du fromage frais « Petit-suisse » au cours de son stockage à 4°C. Les résultats sont regroupés dans le tableau suivant :

Tableau 19 : les résultats des analyses microbiologiques de fromage frais enrichi en spiruline au cours de son stockage à 4°C

Germes Recherchés	J ₀	J ₇	J ₁₅	J ₂₁	Normes : J.O.R.A n° daté du 2 mai 1986
Coliformes totaux	Abs	Abs	Abs	Abs	10 germes/g
Coliformes fécaux	Abs	Abs	Abs	Abs	1 germes /g
<i>Staphylococcus aureus</i>	Abs	Abs	Abs	Abs	10 germes /g
Salmonella	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs/g
Levures	Abs	Abs	Abs	Abs	10 ⁰² germes/g
Moisissures	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs/g

Les résultats obtenues indiquent une absence totale de tous les germes recherchés (Coliformes totaux, Coliformes fécaux, *Staphylococcus aureus*, Salmonella, levures et moisissures) durant la conservation du produit, Ceci traduit une bonne qualité microbiologique des pots de conditionnement.

IV.3. Résultats des analyses biochimiques

IV.3.1. protéines

Dans la littérature, un grand nombre de méthodes est utilisé pour le dosage quantitatif des protéines de lait (protéines totales, caséines, protéines du lactosérum).

La méthode utilisée pour le dosage quantitative des protéines du fromage frais (petit-suisse) c'est par calculé selon les normes de la laitière d'Arib (voir annexe) et les résultats sont présenté dans le tableau suivant :

Tableau 20 : résultats de taux des protéines de chaque produit

Aliments	100 g de fromage frais	10 g de la spiruline	E1	E2	E3
Taux des protéines (g)	33,81	6,5	33,965	34,121	34,43

E1 : fromage frais avec 0.5g de spiruline,

E2 : fromage frais avec 1 g de spiruline.

E3 : fromage frais avec 2g de spiruline.

Les valeurs de teneur en protéines augmentent d'une manière générale, l'augmentation de la teneur en protéines peut s'expliquer par la richesse de la spiruline en protéines sans oublier leur présence dans le fromage frais.

IV.3.2.Minéraux

Les cendres du fromage fabriqué sont le produit résultant de l'incinération de la matière sèche du fromage frais enrichi en spiruline à différents concentrations dans un four à moufle réglé à 550°C durant 4 heures. Les résultats sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau 21 : résultats des taux de Cendres

Échantillon	0.5 g de spiruline	1g de spiruline	2g de spiruline
Poids Capsules +cendres (g)	10,5	10,78	11,23
Taux des minéraux en (%)	0,5	0,25	0,25

D'après les résultats obtenus dans le tableau, on observe que les minéraux présente dans 4 g de fromage frais enrichi en spiruline est entre 0.25% et 0.5%. Ces taux sont comparés par rapport aux valeurs de (**karleskind, 2018**) et on constate que ces valeurs sont similaires à celle rapportée en raison de taux de minéraux présents dans spiruline.

IV.4. Analyse sensorielles :

L'analyse sensorielle de la fromage frais type petit suisse enrichi en spiruline avec différents concentrations 0.5 g ,1g et 2g à travers le questionnaire établi, et les informations recueillis après dégustation ont permis de donner les résultats suivants : les résultats sont présentés dans **l'annexe** .

Les résultats statistiques des tests de dégustation des trois échantillons sont résumés dans les figures

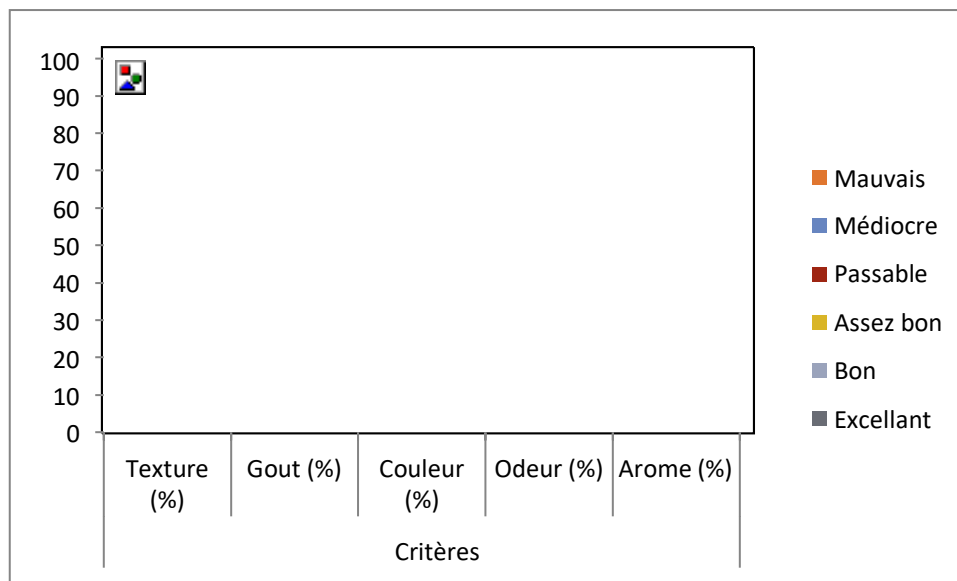


Figure 26 : Description sensoriel de fromage frais enrichi avec 0.5 g de la spiruline

A partir de la **figure 26** , nous pouvons constater que les dégustateurs ont dit que le gout (**45%**) de petit suisse enrichi en 0.5 g de spiruline est bon même la couleur (**60%**),l'odeur (**85%**) et l'arôme (**65%**) sont bons. Ils ont constaté que la texture (**100%**) est excellente.

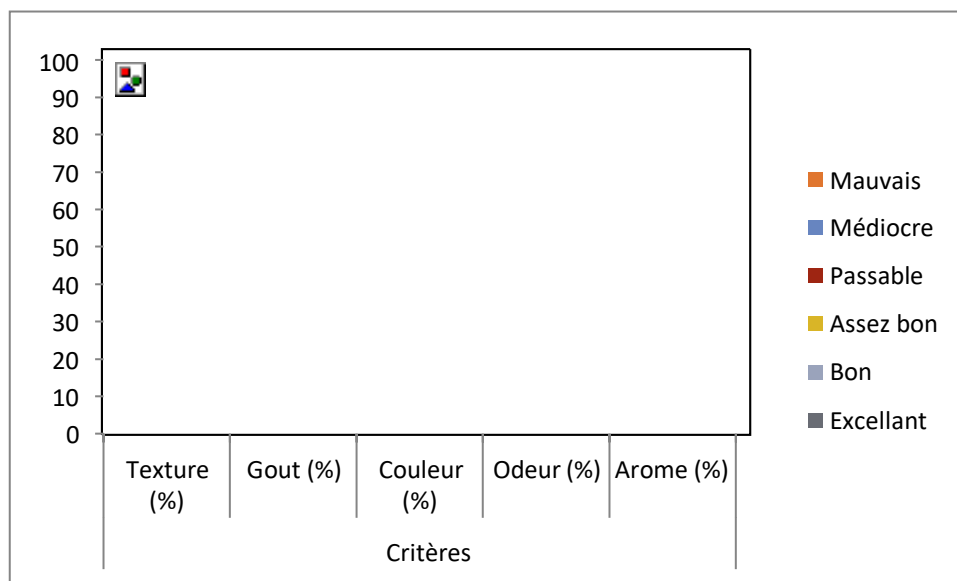


Figure 27 : description sensoriel de fromage frais enrichi avec 1 g de la spiruline

Les résultats de **la figure 27** indiquent que le petit suisse enrichi en 1 g de la spiruline à un gout (50 %) et la texture (100%) sont excellent, l’odeur (80%), l’arôme (50%) et la couleur verte (55%) sont bons.

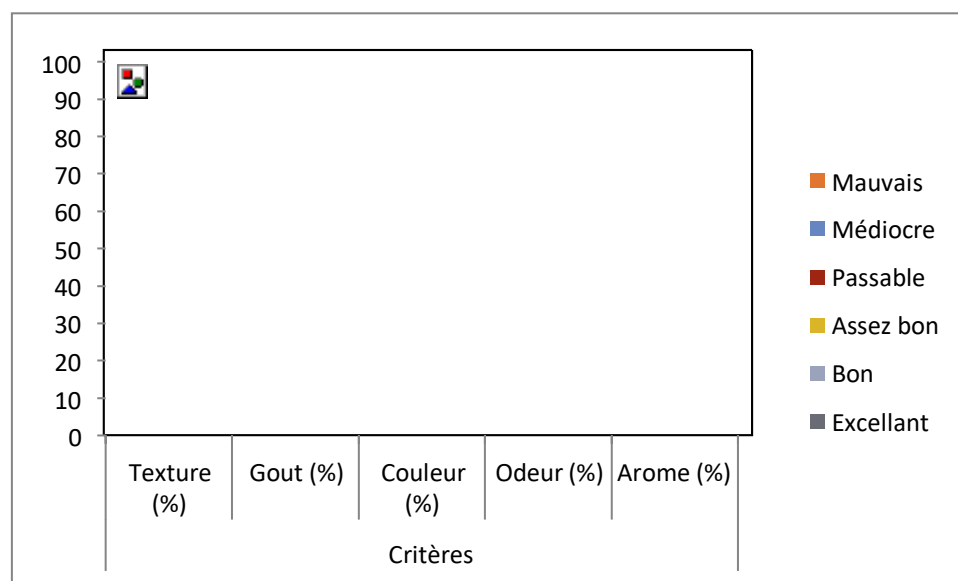


Figure 28 : description sensoriel de fromage frais enrichi en 2g de la spiruline

Dans **la figure 28**, Les résultats de dégustation du petit suisse enrichi de 2g de spiruline sont repartis comme suit :

la texture (100%) est excellente, le gout(35%)est assez bon , la couleur (45%) médiocre et passable ,l’odeur (45%) et l’arôme (40%) sont passable.

Selon les résultats de l'évaluation sensorielle réalisée par des dégustateurs (les figures 27 , 28 et 29) sur la qualité des trois fromages frais type petit suisse, nous avons constaté de différences significatives entre les 3 produits fabriqués pour ce qui concerne les autres critères : texture, couleur, goût, l'odeur et arôme des fromages frais additionnée avec de la spiruline

La majorité de dégustateurs ont préféré le fromage de 0.5 et 1g de spiruline selon la texture, le gout et l'arôme, tandis que le fromage de 2 g de la spiruline est préféré et très demandé par les sportifs car ils connaissent sa richesse en protéines, qui aide à la construction musculaire.

A green horizontal scroll graphic with a vertical strip on the left side, resembling a rolled-up document. The word "Conclusion" is centered on the scroll. A small red and white icon is visible in the top right corner of the scroll.

Conclusion

Conclusion

Conclusion

Selon l’OMS ; le nombre de maladies chroniques a connu une hausse spectaculaire durant ces dernières décennies, même dans les pays en voie de développement comme le nôtre.

Effectivement, l’Algérie a connu ½ une augmentation du nombre de patients souffrant de maladies chroniques sont liées de manière significative à ce que nous mangeons .C’est dans ce contexte particulier que dans les années 80, un nouveau concept alimentaire a été mis au point ; il s’agit des « aliments fonctionnels ». Ils se caractérisent par des effets bénéfiques sur la santé, qui sont induits par des composants biologiquement actifs, soit de source végétale ou animale ; ce qui leur confère un rôle dans la prévention ou le traitement de certaines pathologies. Parmi eux, nous retrouvons les alicaments à base de spiruline.

La présente étude constitue une contribution à l’étude de l’impact de l’incorporation de la spiruline dans le fromage frais afin de préparer une variété de fromage enrichi. L’appréciation de ce dernier se manifeste dans ses propriétés nutritionnelles, technologiques et organoleptiques. En effet, les résultats obtenus sont encourageants et pourraient conduire à l’obtention d’un nouveau produit très riche en nutriments tout en gardant les mêmes caractéristiques du fromage.

Les propriétés nutritionnelles de cette dernière en font une source alimentaire qui mérite une attention particulière dans nos pays en développement où se pose avec acuité le problème de la disponibilité alimentaire. En effet, le développement de nouvelles sources de protéines pour répondre à la pénurie rencontrée dans certaines régions du globe, est un besoin urgent, et la protéine de *Spirulina platensis* pourrait représenter cette source de protéine bon marché et riche en acides aminés essentiels.

La principale qualité apportée par la spiruline est la richesse en protéines végétales qui permettent la réduction d’une consommation excessive en viande et cette micro algue constitue une bonne source d’antioxydants qui pourrait faire de lui une alternative à certains additifs synthétiques.

Aliment consommé depuis des centaines d'années, la spiruline bénéficie d'une composition très riche et variée faisant les frais d'un fort engouement ces dernières années, en autres sur le marché des compléments alimentaires.

Présentée comme une « algue miracle aux mille vertus », cette cyanobactérie est souvent mise en avant dans les officines et magasins bio.

Conclusion

Dans les années 70, l'Etat algérien a pris la décision de subventionner le lait pour augmenter l'apport en protéines de la population qui était insuffisant. Cependant, sa consommation est accompagnée d'une prise importante d'acides gras saturés présents en grande quantités dans la matière grasse laitière. C'est pour cela que d'autres alternatives doivent être proposées, comme l'introduction de la spiruline dans divers produits, car elle constitue une source riche en protéine, facile à cultiver et peu couteuse.

L'évaluation sensorielle de fromage frais avec spiruline a permis de montré l'acceptabilité du produit additionnée en Spiruline par le consommateur, malgré les appréciations plus ou moins négative de quelques dégustateurs sur la couleur du produit mais pourrait être un nouveau produit puisse s'imposer et trouver une place dans les repas quotidiens des populations.

A green horizontal banner with rounded corners and a scroll effect on the left side. The text is centered in a bold, black, serif font.

Références Bibliographiques

- A -

- **Abdessalam A., (1984)** - Contribution à l'étude du lait des ceintures laitières ériurbaines de la zone cotonnière du Sénégal, Thèse de Médecine Vétérinaire, Univ. Dakar, 126p.
- **Agabriel C., Coulon J.B., Brunshwig G., Sibra C. et Nafidi C. (1995).** Relations
- **Alais C. (1975).** Sciences du lait. Principes des techniques laitières. Edition Sepaic, paris
- **Alais C. (1984).** Sciences du lait. Principes de techniques laitières. 3ème édition, Ed publicité France. PP 431- 432.
- **Alsenani F, Ahmed F, Schenk PM.(2015) .***Nutraceuticals from microalgae*. CRC Press. Boca Raton, FL, United States, 685 P
- **Amiot J., Fournier S., Lbeuf Y., Paquin P., Simpson R et Turgeon H., (2002).** Composition, propriétés physicochimiques, valeur nutritive, qualité technologique et Techniques d'analyse du lait In VIGNOLA C.L, Science et technologie du lait Transformation du lait, École polytechnique de Montréal, ISBN : 3-25-29 (600 pages). Anim., 8 (4). Pp : 251-258.
- **Anonyme (1973).** Arrêt Société Anonyme « Librairie François Maspero », Conseil d'Etat, Assemblée, du 2 novembre 1973, 82590, publié au recueil Lebon.
- **Anonyme (1995).** «Lait et produits laitiers dans la nutrition humaine ».FAO, Rome, p194-195-200.
- **Audrey Manet (2016) :** LA SPIRULINE : Indications thérapeutiques, risques sanitaires et conseils à l'officine. p 11.
- **Avino P., Carconi P.L., Lepore L., Moauro A.** Nutritional and environmental properties Of algal products used in healthy diet by INAA and ICP-AES. Journal of Radio analytical and Nuclear Chemistry. 2000; 244 (1): p. 247-252.
- **Avino P., Carconi P.L., Lepore L., Moauro A.***Nutritional and environmental properties of algal products used in healthy diet by INAA and ICP-AES*. Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry. 2000; 244 (1): p. 247-252.

- B -

- **BALIARDA A., (2003)** - Evaluation de la réponse au stress chez les bactéries lactiques appartenant aux genres *pediococcus* et *tetragenococcus*, Approches physiologiques et génétiques, Univ. Bordeaux, 174p.
- **Balloni W, Tomaselli L, Giovannetti L, Margheri MC (1980)**. Biologia fondamentale de le gener *Spirulina*. In: Materassi R (ed) Prospettive della Coltura Massiva di *Spirulina* in Italia. CNR Rome, pp 49–85
- **Belay, A. (1997)**. Mass culture of *Spirulina platensis* - The Earthrise farms Experience in "*Spirulina platensis* (*Arthrospira*)" Ed. Avigad Vonshak, Taylor & Francis, Londre, pp.131-158.
- **Berodier F., Lavanchy P., Zannoni M., Casals J., Herrero L. et Adamo C., (2003)**. Guide d'évaluation olfacto-gustative des fromages à pâte dure et semidure. /11/05 miguidef.doc. Version abrégée, 26p.
- **Boajiang G (1994)** Study on effects et mechanism of polysaccharids of *Spirulina platensis* on body immunfunctions improvement. Second Asia-Pacific Conference on Alga Biotechnology
- **Borowitzka MA, Borowitzka LJ.(1988)**. Micro-Algal biotechnology. New York: Cambridge University Press 477 pp.
- **Boudène C., Collas E. et Jenkins C. (1975)** Recherche et dosage de divers toxiques minéraux dans les algues spirulines de différentes Origines, et évaluation de la toxicité à long terme chez le rat d'un lot d'algues spirulines de Provenance mexicaine Ann. Nutr. Aliment. 29, 577-587.
- **Bujard-E., U. Braco-U., Mauron-J., Mottu-F., Nabholz-A., Wuhrmann-JJ 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 1970

- C -

- **Carol.L et Vignola.(2002)**: Science et technologie du lait, transformation du lait ,Paris ,Ecole poly technique de Montréal, Canada.600p
- **Castenholz R.W., Rippka R., Herdman M. and Wilmotte A.** *Form-genus I. Arthrospira Stizenberger 1852*. D. R. Boone & R.W. Castenholz, eds. *Bergey's Manual of Systematic Bacteriology*. New York, USA: Springer; 2001. **1**. p. 542-543.

- **Chen J, Wang Y, Benemann JR, Zhang X, Hu H, Qin S. (2016).** Microalgal industry in China: challenges and prospects. *Journal of Applied Phycology* 28(2):715-725.
- **Charpy, L., Langlade, M et Alliod, J. (2008).** La Spiruline peut-elle être un atout pour la santé et le développement en Afrique ? Marseille. Page ; 6 ; 7 ; 12 ; 28 ; 19 ; 20.
- **Charpy, L., Langlade, M.J., Alliod, R. (2008).** La Spiruline peut-elle être un atout pour la santé et le développement en Afrique. *Rapport d'expertise pour le Ministère de l'Agriculture et de la Pêche.*
- **Cherifi, O., Sabri, H., Gharmali, A., Maarouf, A., Hasni, M., Cherifi, K et Sbihi, K. (2018).** Variation spatio-temporelle des métaux traces (Cr, Cu, Pb, Zn) chez la minariale *Saccorhiza polyschides* au niveau du littoral de la région d'Essaouira. *SMETox Journal*, 1(1), 53-58.
- **Clément G (1975a)** Production and characteristic constituents of the *algae Spirulina platensis* and *maxima*. *Ann. Nutr. Alim.* 29 : 477-488
- **Clément G (1975b) :** *Spirulina*, a protein-rich food alga, conférence du Caire avril 1975. Institut français du Pétrole, division Applications: 1-18
- **Cruchot Hélène., (2008).** La spiruline bilan et perspectives ; faculté de médecine et de pharmacie de besancon ; P13 ; 16 ; 24 ; 59 ; 60.

- D -

- **Delpeuch F., Joseph A., et Cavalier C.,(1975).** Consommation alimentaire et apport nutritionnel des algues bleues (*Oscillatorisplatensis*) chez quelques populations du Kanem (Tchad) *Ann. Nutr. Aliment.* 29, 497-515
- **Derracheh ;(1997).** « Physiologie et biochimie de la nutrition » .edition Doin, paris, p20.
- **Djouhri K et Madani S.,(2015) -** Etude microbiologique d'un produit laitier fermenté traditionnel (Jben) : isolement et identification des bactéries lactiques. Mémoire de Master, Univ. Ouargla, Algérie, 05 p.
- **Doyle, M.P. Beuchat, L.R. and Montville, T.J. (2001).** *Food Microbiology fundamentals and Frontiers.* 2nd Ed. Michael P. Doyle, Larry R. Beuchat, Thomas J. Montville, eds. Washington, DC: ASM Press .
- **Drewnowski, A. (2005).** Concept of a nutritious food: towards a nutrient density score. *Am.J. Clin.NutrJ.* 18 :721-732

- E -

- **Eck A et Gillis J-C., (1997) :** le fromage de la science à l'assurance –qualité. 3ème Edition, Tec et Doc Lavoisier. Paris. 891p.entre la qualité du lait livré et les caractéristiques des exploitations. INRA Prod.
- **Essalhi M., (2002) -** Relation entre les systèmes de production bovine et les caractéristiques du lait. Mémoire d'ingénieurs, Institut Agronomique et vétérinaire. Hasan II, Rabat ,104p.
- **Evoli Conseil,** « Culture et vente de Spiruline : Etude de faisabilité économique », 2015.
- **Evoli conseil, Dupont D., Souchon I., (2014) :** Structure des Aliments et Effets Nutritionnels, Edition Quae, RD 10, 78026 Versailles Cedex. P 451.

- F -

- **F. Ripley,** Spiruline Technique pratique et promesse. Edisud, 1999.
- **Falquet J, Hurni JP (2006)** Spiruline, Aspects Nutritionnels. Antenna Technologies: 41 p.
- **Falquet J., (2000).** Spiruline: Aspects nutritionnels, document Antenna Technology, 1996Schaeffer D. et al., Anti-HIV Activity of Extracts and Compounds from Algae and Cyanobacteria, Ecotoxicology and Environmental Safety, 2000, Volume 45, Issue 3, 208-227.
- **FAO, (1995).** Le lait et les produits laitiers dans la nutrition humaine. Collection FAO alimentation et nutrition n°28.
- **Farrar, W.V., 23-juillet, (1966) :** “Tecuitlatl, A Glimpse of Aztec Food Technology. Nature”, n° 5047.
- **Fondation de technologie laitière du que bec. :** «beurre et fraction de matière grasse laitière » auteur : Paul Angers 323).
- **Fox, D.,** “Spiruline : technique pratique et promesse”, Aix en Provence: Edi. sud, (1999), 246 p.
- **Fredot, (2005).** Connaissance des aliments - bases alimentaires et nutritionnelles de la diététique, Edition Tec & Doc, Lavoisier, pp 38,43/424.

- G -

- **García JL, de Vicente M, Galán B. (2017)** .Microalgae, old sustainable food and fashion nutraceuticals. *Microbial biotechnology* 10(5):1017-1024.
- **Gastaldi-Bouabide, (1994)**.Etude de l'évolution des micelles de caséine au cours de l'acidification : mise en évidence d'un état de transition entre pH 5.5 et pH 5.0Thèse Doctorat Académie de Montpellier. Université de Montpellier II.
- **Girardin-Andréani (2005)**. Spiruline: système sanguin, système immunitaire et cancer*. , 3(4), 158–161. doi : 10.1007/s10298-005-0095-9
- **Goulambasse T. R., 2018** : La Spiruline : Activités Thérapeutiques et son Intérêt dans la Lutte contre la Malnutrition à Madagascar, Thèse pour le diplôme d'état de Docteur en Pharmacie, université de Lille, p9-16,46.
- **Grappin et Pochet., (1999)**. Le lait, P3 – 22.
- **Gret, (2010)** : Transformation des produits laitiers frais à la ferme. 2^{ème} Ed. Educagri éditions. 232p.
- **Guillou H., Pelissier J.P., Grappin R. (1976)**. Méthodes de dosage des protéines du lait de vache. *Le Lait*, 66, 143-175.

- H -

- **Hanzen., (1999)**. Pathologie de la glande mammaire de la vache laitière : Aspects individuels et d'élevage. 4^{ème} Edition Université de Liège, 235 p.
- **Hayashi T, Hayashi K, Maeda M, Kojima I.** Calcium spirulan, an inhibitor of enveloped virus replication, from a blue-green alga *Spirulina platensis*. *J Nat Prod.* Janv 1996;59(1):83-7.
- **Hermier J, Lenoir F et Weber F., (1992)** : les groupes microbiens d'intérêt Laitier, Ed: CEPIL, Paris : p 559.
- **Hudson B J F, Karis I G (1974)** the lipids of the alga *Spirulina*. *J. Sci. Food Agric* 25: 759-763
Jacquet J (1974) Utilisations biologiques des Spirulines. *Bull. Acad. Vét.* XLVII.

- I -

- **Int. J. Biol. Chem. Sci.** 8(6): 2740-2749, December 2014
- **Isabelle TABUTIN., Pierre-Yves GOUESIN et Pierre MOLLO, 2002.** La spiruline contre la malnutrition». (Madurai-Inde) Avril 2002. Page ; 11 ; 14 ; 12 ; 13 ; 19 ; 20.

- J -

- **Jeantet R, Croguennec T, Schuck P. et Brule G., (2008).** Les produits laitiers
- **Jourdan, J.P.,** Présentation Microsoft PowerPoint : Qualité [en ligne]. c12/2006. [Consultée : 20/03/2022].Disponiblesur: <http://pagesperso-orange.fr/petitesnouvelles/presentation-powerpoint-qualite.ppt>.
- **Jourdan, JP.,**"Cultivez votre spiruline, Manuel deculture artisanale pour la production de spiruline", (2006), 143 p.
- **Juillard, V., Richard, J., (1996).** Le lait, P 24 – 26.

- K -

- **Karleskind, Brigitte** (2018). Le guide complet de la spiruline. Vergèze : Thierry Soucar éditions, 153 p.
- **Khater I et Ghefar M., (2017)** - Dénombrement et caractérisation de la flore lactique et la flore de contamination du « jben » traditionnel fabriqué par des coagulants de nature végétale. Mémoire de MASTER, UNIV. Abou Beker Belkaid, Tlemcen, 15p.

- L -

- **L'acide gamma linoléique (AGL) de l'algue spiralée [Internet]. [Cité 15 mars 2022].** Disponible sur: <https://www.spirulinefrance.fr/bienfaits-spiruline/acide-gammalinolenique-spiruline> 20. Mazokopakis.
- **La spiruline et le cholestérol [Internet]. [cité 15 mars 2022] :** Disponible sur: <https://www.spirulinefrance.fr/bienfaits-spiruline/la-spiruline-et-le-cholesterol>
- **Liang S, Liu X, Chen F, Chen Z. (2004)** .*Current microalgal health food R & D activities in China. Asian pacific phycology in the 21st century: prospects and challenges.* Springer, Dordrecht 45-48.
- **Loïc Charpy, Marie José Langlade et Romain Alliod:** ‘ la spiruline peut-elle être un atout pour la santé et le développement en Afrique ?’2008.
- **Luquet(1986) :** lait et produits laitiers, vache, brebis, chèvre, V3. ED. Abrégé de biochimie alimentaire.
- **Luquet F. M. (1985).** Lait et produits laitiers - Vache, brebis, chèvre. Tome 1 : Les laits De la mamelle à la laiterie. Tech. & Doc., Coll. STAA, Lavoisier, Paris.

- M -

- **Mahaut, M., Jeantet, M., Brule, G et Schuck, P. (2000).** Les produits industriels laitiers. Ed. Paris : Technique et documentation Lavoisier. P 34-45-178.
- **Mahaut, M., Jeantet, R et Brule, G. (2000).** Initiation à la technologie fromagère. Ed. Paris : Technique et documentation Lavoisier. P 185.
- **Majdi A., (2009)** - les fromages AOP et IGP, in Séminaire sur les fromages AOP et IGP. Ingénieur agronomie, 88p.
- **Mathieu J., (1998).** Ecole nationale des industries du lait et des viandes de la Roche-
- **Mechai A., (2009)** - Isolement, caractérisation et purification de bactériocines produites par des bactéries lactiques autochtones : études physiologiques et biochimiques. Thèse de doctorat, Univ. Badji Mokhtar, Annaba, 63-66p.
- **Mezhlumyan, ET M. K. Malikova,** « Chemical composition of *Spirulina platensis* cultivated in Uzbekistan », Chem. Nat. Compd., vol. 40, no 3, p. 276–279, 2004.
- **Mobin SM, Chowdhury H, Alam F.(2019)** . Commercially important bioproducts from microalgae and their current applications–A review. *Energy Procedia*160:752-760.
- **Molino A, Iovine A, Casella P, Mehariya S, Chianese S, Cerbone A, Rimauro J, Musmarra D. 2018.** Microalgae characterization for consolidated and new application in human food, animal feed and nutraceuticals. *International journal of environmental research and public health*15(11):2436

- O -

- **Organisation mondiale de la sante, Organisation des nations unie Pour Alimentation Et L’agriculture. (2001)** : Codex alimentaire, lait et produits laitiers. Ed : FAO/OMS, 2^{ème} édition. 136p.
- **Ovando, C.A.; Carvalho, J.C.D.; Vinícius de Melo Pereira, G.; Jacques, P.; Socol, V.T.; Socol, C.R.** Functional properties and health benefits of bioactive peptides derived from *Spirulina*: A review. *Food Rev. Int.* 2018, 34, 34 51, doi:10.1080/87559129.2016.1210632.

- P -

- **Pascaud M, Doumenge F, Durand-Chastel H, Toulemont A (1993)**The essential Polyunsaturated fatty acids of *Spirulina* and our immune response. Bull. Inst. océanogr. NS12: 49-5.

- **Pierre-André Loizeau et Michelle J. Price**, traduction française de Pierre-André Loizeau & Michelle J. Price Conservatoire et Jardin botaniques de la Ville de Genève 13 mars 2017. Code International De Nomenclature Pour Les Algues, Les Champignons Et Les Plantes (Code de Melbourne) adopté par le dix-huitième Congrès International de Botanique Melbourne, Australie, Juillet 2011. Polytechnique de Montréal, ISBN: 29-34 (600 pages).
- **Pougheon, S.I.A.S. (2001)**. Contribution à l'étude des variations de la composition du lait et ses conséquences en technologie laitière. Thèse pour obtenir le grade de docteur vétérinaire. Ecole national vétérinaires de Toulouse
- **Prescott L., Harley J., Donald A., (2003)** - Microbiologie, De Boeck université, 2eme édition française, 41-73p.
- **Priyanka S. et Prakash A. (2009)**. Screening of Lactic Acid Bacteria for Antimicrobial Properties Against *Listeria monocytogenes* Isolated from Milk Products at Agra Region. Internet Journal of Food Safety, 11:81-87pp.products. Third edition. Edition John Wiley and sons, INC. New York.780p.

- Q -

- **Qureshi MA (1995)** *Spirulina platensis* extract enhances chicken macrophages functions after in vitro exposure. J Nutritional Immunology

- R -

- **Ramamoorthy A, Premakumari S (1996)** Effect of supplementation of *Spirulina* on hypercholesterolemic patients. Journal of Food Science and Technology 33: 124-128.
- **Ramet J.P. (1997)**. L'égouttage du coagulum. Dans Le fromage (Coord. ECK A. et GILLISJ.C.). 3ème édition, Ed. TecetDoc.Lavoisier. p. 43.
- **Reuters Finbarr O'reilly**, l'Afrique mise sur l'algue verte pour mieux se nourrir, Le monde du 05.03.06 (2006)
- **Ribadeau-Dumas B (1988)** Structure et variabilité des protéines du lait. In : Milk Proteins (CA Barth, E Schlimme, eds) Springer-Verlag, New York.
- **Robinson, 2002**. Dairy microbiology handbook. The microbiology of milk and milk
- **Roudaut H et Lefranq E. (2005)**, «Alimentation théorique ». Doin éditeur, centre régional de documentation pédagogique d'Aquitaine, p 120.

- S -

- **S. Babadzhanov, N. Abdusamatova, F. M. Yusupova, N. Faizullaeva, L. G.Saini MK, Sanyal SN.** Piroxicam and c-phycocyanin prevent colon carcinogenesis by inhibition of membrane fluidity and canonical Wnt-catenin signaling while upregulating ligand dependent transcription factor PPAR. Httpwwwem-Premium comdoc - Distantuniv Lille2frdatarevues07533322v68i5S0753332214000316 [Internet]. 31juill 2014
- **Sall M.G, Dankoko B., Badiane M., Ehua E. et Kuakuwin N.** Résultats d'un essai de Réhabilitation nutritionnelle avec la Spiruline à Dakar (à propos de 59 cas). 1999 ; 46 (3): p.143-146. Nuclear Chemistry. 2000; 244 (1): p. 247-252.
- **Samuels R, Mani UV, Iyer UM, Nayak US (2002)** Hypo cholesterol mic effect of Spirulina in patients with hyper lipidemic nephrotic syndrome. Journal of Medicinal Food 5: 91-96.
- **Santillan C, (1982)** Mass Production of Spirulina *Experientia*, 38, 40
- **Santillan C. (1974)** Cultivation of the Spirulina for Human Consumption and for Animal Feed *International Congress of Food Science and Technology*, Madrid (Spain) September 1974
- **Spolaore P, Joannis-Cassan C, Duran E, Isambert A (2006)** *Commercial Applications of Microalgae. Journal of Bioscience and Bioengineering 101: 87-96* Sur-Foron. Initiation à la physico-chimie du lait. Ed. Tec & Doc : Lavoisier, Paris. P :

- V -

- **Veisseyre R., (1979).** Technologie du lait constitution, récolte, traitement et Transformation du lait. 3^{ème} édition. Edition la maison rustique, Paris.
- **Vidalo J.L., (2015) :** Spiruline, l'algue bleue de santé et de prévention, Livre, Chapitre 3 / Cancer et Spiruline, p 101, Chapitre 16 / Universelle spiruline. A chacun son profil p.240
- **Vignola C L. (2002).** Science et technologie du lait : Transformation du lait – Montréal : presse internationale polytechnique 600p.
- **Vignola C. (2002).** Science et Technologie du Lait Transformation du Lait. Edition Presses Internationales Polytechnique, Canada. pp. 3-75.
- **Vignola C.L., (2002) .** Science et technologie du lait –Transformation du lait, École

- W -

- **Wittrock et Nordstedt. (1844)** : "Algae aquae du cia ex sicc, fascicule XIV",
Descriptiones systematice dispositae, n° 679,59p.

- X -

- **Xue CH, Hu YQ, Saito H, Zhang ZH, Li ZJ, Cai YP, Ou CR, Lin H, Imbs AB**
(2002) Molecular Species composition of glycolipids from *Spirulina platensis*. Food
Chemistry 77: 9-13.



Les annexes

Les annexes

Annexe N° 1 : les matériels et produits chimiques

1. Les Appareils



Dessiccateur



Balance



Bain marré



Etuve



Four à moufle



Centrifugeuse

2. Matériels :

- Butter métré.
- PSM (Poste de Sucérète Microbiologique)
- Pipette graduée
- Bec benzen
- Spatule
- Tube à essai
- Biote vide en verre
- Boite pétré
- Pipette pasteur
- Bécher.
- Bouchons à butyromètre en caoutchouc.
- Dessiccateur Pipettes de 10 ml pour d'acide sulfurique.

3. Produits :

- Acide sulfurique (H₂SO₄) : dilué à 95-97%, d = 0,81, M = 88,15 g/mol.
- Alcool.
- Petit suisse.
- Poudre de spiruline.
- Phénol phtaléine.
- Milieu de culture.
- Solution tampon PH=07 pour l'étalonnage du pH-mètre.
- Solution tampon à pH= 4,01 pour l'étalonnage du pH-mètre.

❖ Milieux de culture

➤ Bouillon de culture

- Bouillon SFB : Pour la recherche de *salmonella*.
- Bouillon Giolitti Cantonii : Pour les *staphylocoques*.
- Bouillon T.S.E : Pour le pré enrichissement de la *salmonella*.
- Bouillon VBL.
- Eau peptone exempte d'indole : pour enrichissement d'*Escherichia coli*.

➤ Milieu de culture solide (gélose)

Les milieux de culture hydratés prêts à l'emploi conditionnés en flacon de 250ml utilisés sont :

- Gélose Chapman : Pour l'isolement des *Staphylocoques*.
- Gélose Hektöen : Pour l'identification des *salmonella*.
- Gélose PCA : Pour la recherche et le dénombrement des germes aérobies mésophiles totaux.
- Gélose VRBG Pour la recherche et le dénombrement des Entorobacteriaceae.

Annexe N° 2 : les tableaux

Tableau 22 : Analyses physicochimique de lait cru (J.O.R.A. N°69 Du 27-10-1993)

Paramètre recherche	Norme : JORÅ et la convention laiterie / Eleveur
Température	10
Densité	1028-1034
Taux de mouillage	Absence
Acidité	14 à 18 D
Stabilité de mouillage	Stable
Taux de matière grasse	30 -38 g /L
Ph	6.6 à 6.8
Analyse sensorielle	Sans défaut
Antibiotique	Absence

Tableau 23 : analyses microbiologiques de lait cru (J.O.R.A. N°39 Du 2 Juillet 2017)

Micro - organisme / Métabolites	Plan d'échantillonnage		Limites microbiologiques (ufc/g ou ufc/ml)	
	N	C	m	M
Germes aerobies à 30 C°	5		3.10 ⁵	10 ⁶
Staphylocoques à coagulas +	5	2	10 ²	10 ³
Coliformes thermo- tolérants	5	2	5.10 ²	5.10 ³
Salmonella	5	2	Absence dans 25 ml	Absence dans 25 ml
Antibiotiques	1	–	Absence dans 1ml	Absence dans 1ml
<i>Listeria monocytogenes</i>	5	0	100	100

Tableau 24 : analyses microbiologiques de fromage frais (J.O.R.A, 1998)

Micro - organisme / Métabolites	Plan d'échantillonnage		Limites microbiologiques (ufc/g ou ufc/ml)	
	n	C	M	M
<i>Escherichia coli</i>	5	2	10 ²	10 ³
<i>Staphylococcus à coagulase+</i>	5	2	10	10 ²
Salmonella	5	0	Absence dans 25g	Absence dans 25g
<i>Listeria monocytogenes</i>	5	0	100	100

Tableau 25 : Quantité de protéines contenue dans différents aliments

(Karleskind, 2018)

Aliments	Protéines (g)	% de protéines dans l'aliment
10 g de spiruline	6.5 g	65 %
100 g de bœuf	20 g	20 %
1 blanc d'œuf (50g)	6.3 g	12.6 %
150 g de lentilles cuites	12.3 g	8.2 %

Annexe N°03 : Les figures



Figure 29 : Détermination de matière sèche petit-suisse incorporé

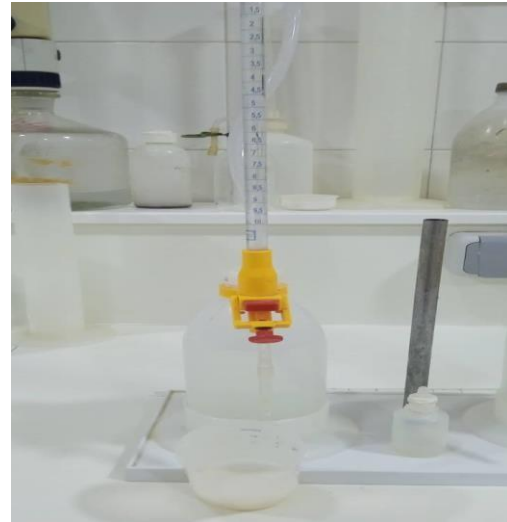


Figure 30 : détermination de l'acidité de lait cru



Figure 31 : matière grasse de petit suisse incorporé



Figure 32 : matière grasse de crème fraîche

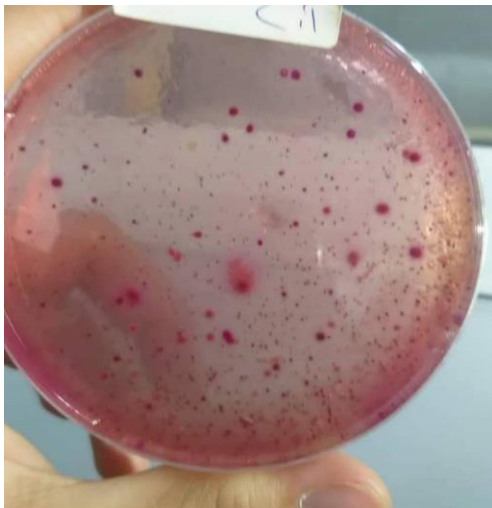


Figure 33 : résultat de coliformes totaux 10^{-2}

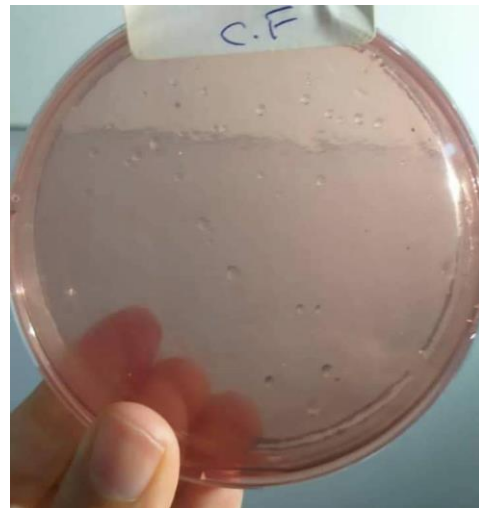


Figure 34 : Résultat de coliformes fécaux 10^{-2}

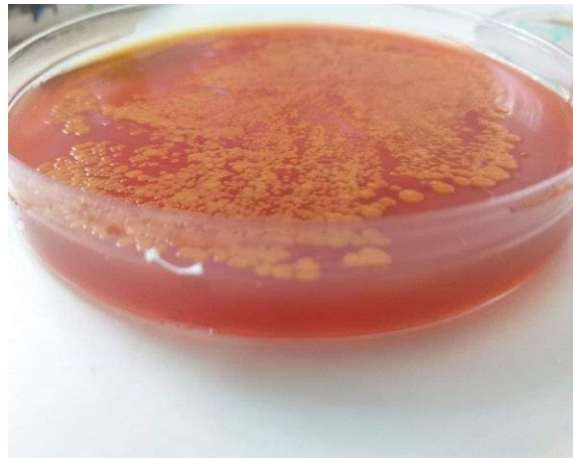


Figure 35 : résultat de salmonella