

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة 8 ماي 1945 قالمة

Université 8 Mai 1945 Guelma

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, Sciences de la Terre et de l'Univers



Mémoire En Vue de l'Obtention du Diplôme de Master

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Sciences Alimentaires

Spécialité/Option : Qualité des Produits et Sécurité Alimentaire

Département : Biologie

Thème

Effet de l'Incorporation de la spiruline sur la Qualité Nutritionnelle d'un Yaourt

Présenté par :

- Bouzeboucha Rania
- Fecih Yousra
- Foughali Amel

Devant le jury composé de :

Présidente : Dr.SANSRI S (M.C.A)

Université de Guelma

Examinatrice : Dr. Torche A (M.C.A)

Université de Guelma

Encadreur : Pr.LAOUABDIA SELLAMI Nadjette (Pr)

Université de Guelma

Invitée : Caïd Rachida

JUIN 2024

Remerciements

Au terme de cette étude nous remercions avant tout **Dieu** le tous puissant, de nous avoir guidés durant les années d'études et qui a éclairé le chemin du savoir pour réaliser cet œuvre modeste travail

Nous remercions particulièrement notre encadreur **Pr.Laouabdia.N.S**, et nous tenons à remercier membres de jury pour l'honneur qu'ils nous ont fait en acceptant de juger le travail **Mdm.Torche.A** et **Mdm.Sansri.S**.

Nous exprimons notre profonde gratitude et nos chaleureux remerciements à notre promotrice, **Madame Caïd Rachida** ainsi qu'à **Madame Dendani Nihad**.

Nous remercions également tout le personnel de la laiterie Edough et du laboratoire de nous avoir bien accueillis et guidés tout au long de notre stage.

Sans oublier tout le personnel du département de biologie, de la faculté des sciences de la nature et de la vie, Université 08mai 1945 Guelma.

Enfin, Nous remercions tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la préparation de ce mémoire.

Merci



Dédicace

Grâce à dieu tout miséricordieux, qui ma tracé la route, et la donné le pouvoir et la patience et de continuer jusqu'à la fin.

A l'aide de bon dieu, tout puissant, j'ai pu achever ce modeste travail que je dédie à :

Ma mère (Nassima), la personne que j'aime plus au monde. Celle qui m'a donné la vie, me prends par la main, et me montre toujours le chemin, elle m'apporte leur soutien, et console mes chagrins, aujourd'hui je voulais dire que je t'aime Maman.

Mon père, mon professeur d'enfance, qui a été mon ombre tout au long de mes années d'école, et celui qui m'a observé toute ma vie m'encourage et me protège.

Ma seule **chère sœur Amina** pour tu me fais toujours sentir que tu es derrière moi et que tu crois en moi et ton support fait une grande différence dans ma vie. Je vous souhaite beaucoup de bonheur et un sourire constant sur votre visage.

Mes petits frères **Doudou & Islam**, je t'aime beaucoup, Sans oublier mon chère **ami Wail**

Mes amis Widad, Rania, Amel et Selma pour notre amitiés et tous les bons moments passés et à venir, pour votre présence.



Youssra



Dédicace

Je dédie ce travail mon très cher père 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**, pour sa gentillesse sa Douceur, pour son affection, son amour ses sacrifices et ses Encouragements

Mes très chères sœurs qui m'ont entouré de leur amour et en lesquels j'ai toujours Trouvé une source d'encouragement et de réconfort " **Sonia, Ikram Souad , Nawal , Firouz "**

Aux deux prunelles de mes yeux, **mon très cher frères : Houssein, Fouzi**

Quant à mes meilleures **amies Hanane Rania, Youssra, Randa , Aya** , merci d'être mes sœurs, ma joie de vivre et mon espoir Dans la tristesse.

Enfin **A mon fiancé Amine** Merci d'avoir donné un sens à ma vie. Merci pour ton amour, Ton soutien et tes encouragements qui ont toujours été pour moi D'un grand réconfort. Merci pour ta gentillesse et ton sens du Sacrifice. Je te dédie ce travail qui est aussi le tien, en implorant DIEU le tout puissant de nous accorder une longue vie de Bonheur, de prospérité et de réussite, en te souhaitant le brillant Avenir que tu mérites. Je t'aime tout simplement.



AmeL



Dédicace

*Grâce à dieu tout miséricordieux, qui ma tracé la route, et la donné le pouvoir et la patience et de continuer jusqu'à la fin. A l'aide de bon dieu, tout puissant, j'ai pu achever ce modeste travail que je **dédie** à :*

***À ma mère** et à la prunelle de mes yeux **faiza**, la personne que j'aime plus au monde. Celle qui m'a donné la vie, me prends par la main, et me montre toujours le chemin, elle m'apporte leur soutien, et consoles mes chagrins, aujourd'hui je voulais dis que je t'aime Maman, je te souhaite que le bonheur dans toute la vie.*

***Mon père Mohamed**, mon professeur d'enfance, qui a été mon ombre tout au long de mes années d'école, et celui qui m'a observé toute ma vie m'encourage et me protège, rabi ykhalik taj fog rasnna o rabi ychafik o y3afik ya rabi.*
***Mon seule chère frères Achref**, pour tu me fais toujours sentir que tu es derrière moi et que tu crois en moi et ton support fait une grande différence dans ma vie. Je vous souhaite beaucoup de bonheur et un sourire constant sur votre visage.*

***Ma petite sœur Amel**, ma bien-aimée et ma joie de vivre, je demande à Dieu de te protéger et de te rendre heureuse tout au long de ta vie et de rester mon soutien aussi longtemps que je vis. Au fils de **mon ami Nouh**, mon unique enfant, je t'aime comme si tu étais un morceau de mon âme.*

***Mes amis Yasmine, Djihen, Yousra, Ikram**, pour notre amitiés et tous les bons moments passés et à venir, pour votre présence.*



Rania

Table des matières :

Remerciements

Liste des tableaux

Liste des figures

Liste des abréviations

Résumé

Introduction 1

Synthèse bibliographie

Chapitre 01 : le lait

1. Généralités sur le lait.....	3
1.1. Définition	3
1.2. Composition du lait.	3
1.2.1. L'eau.....	4
1.2.2. Les glucides	4
1.2.3. Les lipides.....	5
1.2.4. Les protéines.....	5
1.2.5. Les enzymes	6
1.2.6. Les minéraux	7
1.2.7. Les vitamines	7
1.3. Propriétés physico-chimiques du lait.....	8
1.3.1. Densité.....	8
1.3.2. PH du lait.....	8
1.3.3. L'acidité du lait	8
1.3.4. Point de la congélation.....	8
1.3.5. Point d'ébullition	8
1.4. La qualité organoleptique du lait.....	8
1.4.1. La couleur	8
1.4.2. L'odeur.....	9
1.4.3. La saveur.....	9
1.4.4. La viscosité.....	9
1.5. La qualité du lait.....	9
1.5.1. Qualité nutritionnelle du lait	9
a. Taux de la matière grasse.....	9

b. Le taux protéique	10
1.5.2. Qualité microbiologique du lait	10

Chapitre 02 : Yaourt

1. Historique	11
2. Définition	11
3. Composition biochimique	12
4. Clasification du yaourt	13
5. Aptitudes technologiques des bactéries du yaourt	14
5.1. Les bactéries spécifiques du yaourt	14
5.1.1. L'espèce <i>Lactobacillus bulgaricus</i>	14
5.1.2. L'espèce <i>Streptococcus thermophilus</i>	15
5.1.3. La proto-coopération entre <i>St. thermophilus</i> et <i>Lb. Bulgaricus</i>	16
5.2. Aptitudes technologiques des bactéries lactiques du yaourt	18
5.2.1. Aptitude acidifiante	18
5.2.2. Aptitude protéolytique	18
5.2.3. Aptitude texturante	19
5.2.4. Aptitude aromatisante	19
5.2.5. Aptitude antagonistique	20
5.2.6. Aptitude lipolytique	20
6. Technologie de fabrication du yaourt	21
6.1. Préparation du lait	21
6.2. Standardisation du mélange	21
6.3. Homogénéisation	22
6.4. Traitement thermique	22
6.5. Fermentation lactique	23
6.6. Conditionnement et stockage	24
6.6.1. Yaourt ferme (en pot ou étuvé)	24
6.6.2. Yaourt brassé	24
6.6.3. Conservation des yaourts	25
6.6.3.1. Conditions et durée légale de conservation	25
7. Qualité du yaourt au cours de la conservation	27
7.1. Qualité physico-chimique	27
a. Post-acidification	27
b. Synérèse	27

c. Synérèse.....	27
7.2. Qualité microbologique.....	27
7.3. Qualités organoleptiques.....	28
a. Fermeté.....	28
b. Arôme	28
c. Texture.....	28
d. Goût.....	28
8. Le yaourt et ses biens faits	29
9. Valeur Nutritionnelle du yaourt.....	29
9.1. Glucides	30
9.2. Protéines.....	30
9.3. Lipides	31
9.4. Vitamines.....	31
9.5. Minéraux	31

Chapitre 03 : La spiruline

1. Historique	32
2. Définition	32
3. Morphologie	32
4. Taxonomique.....	33
5. Cycle biologique de reproduction.....	34
6. La culture de la spiruline	35
6.1 Conditions physico-chimiques de croissance.....	35
6.2 Les étapes de la culture	35
6.2.1 Les bassins de culture	35
6.2.2 L'agitation	35
6.2.3 Essorage et presse	36
6.2.4 Séchage et conditionnement.	36
7. Aspect nutritionnel.....	37
7.1 Sels minéraux et oligo-éléments.....	38
8. Intérêt et utilisation.....	39

Partie Expérimentale

Matériel et Méthodes.....	41
1. Présentation du lieu d'étude : (laiterie Edough).	41

2. Matériels et méthodes.....	42
2.1 Matériels	42
2.1.1 Matières premières	42
2.1.2 Matériels.....	43
2.2 Méthodes.....	44
2.2.1 Analyse physico-chimiques effectuées sur le lait.....	44
2.2.1.1 Mesure de pH.....	44
2.2.1.2 Mesure de l'acidité titrable.....	45
2.2.1.3 Mesure de la densité	45
2.2.1.4 Mesure de la matière grasse (Méthode de GERBER).....	45
2.2.1.5 Mesure de l'extrait sec total (EST).....	46
2.2. Analyses microbiologie de lait	47
2.2.2.1 Préparation de la solution mère et de la dilution décimale.....	47
2.2.2.2 Recherche et dénombrement de la FMAT (flore aérobie mésophile totale)...	48
2.2.2.3 Recherche et dénombrement des coliformes	49
2.2.2.4 Recherche et dénombrement des Staphylocoques.	51
2.2.2.5 Les analyses microbiologiques de la spiruline.....	52
2.2.2.6 La détection de levures et moisissures	52
2.2.2.7 La détection des bactéries mésophiles.....	53
2.2.2.8 Les analyses physico-chimiques du Yaourt.....	58
A. PH.....	58
B. Acidité Titrable	59
2.2.2.9 Les analyses microbiologiques.....	59
2.2.2.10 Détection des Bactéries Mésophiles Totales (Germes Aérobies Totaux) 59	
2.2.2.11 Détection des Coliformes Totaux et Fécaux	60
2.2.2.12 Détection des Staphylocoques.	61
2.2.2.13 Détection des Levures et Moisissures.	62
2.2.2.14 L'étude de la qualité nutritionnelle du yaourt.	63
Résultats et Discussion	65
1. Les analyses physico-chimiques du lait.....	65
1.1 Le potentiel hydrogène (pH)	65
1.2 L'acidité titrable	65
1.3 La densité.....	66

1.4 La matière grasse.	66
1.5 L'extrait sec total (EST).	66
2. Les analyses microbiologiques du lait	67
2.1 Flore aérobie mésophile totale.	67
2.2 Coliformes totaux (C.T)	68
2.3 Coliformes fécaux (C.F)	68
2.4 Staphylocoque	68
3. Les analyses microbiologiques de spiruline	68
3.1 Les germes aérobies.....	69
3.2 Levures et moisissures.....	69
4. Les analyses physico-chimiques du yaourt enrichi à la spiruline.....	70
5. Les analyses microbiologiques du yaourt enrichi a la spiruline.....	71
5.1 G.A (Germes Aérobies)	71
5.2 C.T (coliformes Totaux).....	72
5.3 5.3 C.F (coliformes Fécaux.....	72
5.4 STAPH (Staphylocoques).....	73
5.5 Levures et moisissures.....	73
6. Effet de la spiruline sur la qualité nutritionnelle.....	74
Conclusion et Perspectives	75
Références bibliographiques	77
Annexe	

Liste des figures :

N° :	Titres :	Pages :
01	Structure d'un globule de matière grasse	05
02	Aspect des cellules de <i>Lb.bulgaricus</i> sous le microscope électronique.	15
03	Aspect des cellules de <i>St. Thermophilus</i> sous le microscope électronique	16
04	Proto-coopération entre <i>st. thermophilus</i> et <i>Lb. bulgaricus</i>	17
05	Diagramme de fabrication du yaourt	13
06	Les différents aspects de la spiruline. (A) spiralés, (B) ondulée, (C) droite.	33
07	Cycle de vie de la spiruline	34
08	Photo extérieure de la laiterie	41
09	Photo de laboratoire qualité des produits laitiers	42
10	La poudre de la spiruline	42
11	Mesure de PH du lait de vache laiterie	44
12	la matière grasse de lait cru.	46
13	dilution décimale	48
14	Matériel des analyses microbiologique	48
15	Dénombrement de la FMAT	49
16	Ensemencement	51
17	Dénombrement des coliformes	51
18	Pasteurisation du lait	55
19	refroidissement du lait	55
20	Le ferment lactique	56
21	Mesure 0.0352 g de spiruline	56

22	Mesure 0.25 g de spiruline	56
23	Mesure 0.5 g de spiruline	56
24	Mesure 0.75 g de spiruline	57
25	Mesure 0.75 g de spiruline	57
26	Yaourt à différentes concentrations de spiruline	57
27	Fermentation dans l'étuve (42°C -45°C pendant 4 heures	57
28	Produit fini de yaourt	58
29	Préparation des échantillons pour les Analyses	60
30	Incubation pendant 48 heures	61
31	Incuber à 37°C pendant 24 heures	62
32	Incuber à 23°C pendant 5 jours	63
33	Le poids Avant l'incubation	67
34	Le poids après l'incubation	67
35	les germes aérobies sur la gélose PCA	69
36	Germes aérobies	72
37	Coliformes fécaux (C.F)	73
38	Staphylocoque	73
39	Composition des yaourts enrichis de la spiruline	74

Liste des tableaux :

N° :	Titre :	Page :
01	Comparaison moyenne du lait vache	03
02	Propriétés et rôles de quelques enzymes essentielles du lait	06
03	Représente la teneur pour 100g et la valeur énergétique de quelque type de yaourt	12
04	Différents types du yaourt et leurs caractéristiques	13
05	Composition nutritionnelle du yaourt nature	30
06	Le rôle et la tenure de composition nutritionnel dans la spiruline	37
07	le rôle et la tenure de composition minéraux dans la spiruline	38
08	les résultats d'analyses physicochimiques du lait	65
10	les résultats d'analyses microbiologiques du lait	67
11	les résultats d'analyses microbiologiques de la spiruline	69
12	Mesure de Ph et l'acidité du yaourt enrichi a la spiruline	70
13	Résultats des analyses microbiologiques du yaourt enrichi a la spiruline	71

Liste des abréviations

Abs : absence

% : Pourcentage

°C : Degré Celsius

°D : Degré dornic

Mm : Micromètre

CF : Coliformes Fécaux

CT : Colifomes totaux

EST : Extrait Sec Total

FAMT : Flore Aérobie Mésophile Totale

G : gramme

g/l : gramme par litre

JORA : Journal Officiel République Algérienne

MG : Matière Grasse

ml : Mililitre

OMS : Organisation mondiale de la santé

pH : potentiel hydrogène

PCA : Plate Count Agar

Staph : staphylocoque aureus

Résumé

Le processus d'enrichissement du yaourt avec d'autres sources alimentaires est une méthode très pratique utilisée dans la recherche scientifique. L'objectif de ce travail était d'évaluer l'effet de l'incorporation de poudre de spiruline sur la qualité nutritionnelle et physicochimique et microbiologique et du yaourt, et pour ce faire, nous avons mené l'étude sur la base de l'incorporation de 4 doses de spiruline à 0,25%. 0.5%. 0.75%. 1%. Les résultats des analyses physico-chimiques du yaourt montrent que l'acidité augmente avec la dose de spiruline. Parallèlement, les résultats microbiologiques évaluent la présence de micro-organismes dans le yaourt enrichi, garantissant ainsi son hygiène et sa durée de conservation.

Mots-clés : Spiruline, yaourt, incorporation, qualité

Abstract

The process of enriching yoghurt with other food sources is a very practical method used in scientific research. The aim of this work was to evaluate the effect of incorporating spirulina powder on the nutritional and physicochemical microbiological quality of yoghurt, and to do this, we conducted the study on the basis of incorporating 4 doses of spirulina at 0.25%. 0.5%. 0.75%. 1%. The results of the physico-chemical analyses of the yoghurt show that acidity increases with the spirulina dose. At the same time, microbiological results assess the presence of micro-organisms in the enriched yoghurt, guaranteeing its hygiene and shelf life.

Key words: Spirulina, yoghurt, incorporation, quality.

ملخص

تعد عملية إثراء اللين الزبادي بمصادر غذائية أخرى طريقة عملية للغاية تستخدم في البحث العلمي. كان الهدف من هذا العمل هو تقييم تأثير دمج مسحوق السبيرولينا على الجودة الغذائية والفيزيائية الكيميائية الميكروبيولوجية للزبادي وللقيام بذلك أجرينا الدراسة على أساس دمج 4 جرعات من السبيرولينا بنسبة 0.25%, 0.5%, 0.75%, 1%. أظهرت نتائج التحاليل الفيزيائية والكيميائية للزبادي أن الحموضة زادت مع زيادة جرعة السبيرولينا. وفي الوقت نفسه، قُيِّمت النتائج الميكروبيولوجية وجود كائنات دقيقة في اللين الزبادي المخصب بما يضمن نظافته وصالح

الكلمات المفتاحية: سبيرولينا زبادي دمج الجودة

Introduction

Selon les directives de la FAO/OMS, le terme « lait » est spécifiquement utilisé pour décrire le liquide provenant de la sécrétion normale des mamelles, sans aucun ajout ou retrait, par une ou plusieurs traitees. **(Boudiers et luquet,1981).**

Le lait et ses produits dérivés sont riches en protéines, lipides, glucides, et surtout en calcium, ce qui les rend très nutritifs. Ils sont largement consommés dans de nombreux pays, indépendamment du niveau de vie. **(Melmoune et Ferhoul,2015).**

Le yaourt suscite un intérêt particulier dans l'industrie laitière. Il est devenu l'un des aliments les plus populaires car il est considéré comme un aliment sain, de haute valeur nutritionnelle, et convient à toutes les catégories d'âges. Cela rend les fabricants et les scientifiques en quête permanente pour étudier les différents ingrédients de valeurs à ajouter tels que les probiotiques, les prébiotiques, et les extraits de certaines plantes médicinales. **(Donovan et Shamir,2014).**

Les yaourts aux propriétés fonctionnels fournissent non seulement une nutrition de base classique, mais peuvent également apporter un gain supplémentaire à la santé des consommateurs. **(Fazilah et al.,2018)**

Les bactéries lactiques, classées parmi les micro-organismes alimentaires, occupent diverses niches écologiques et sont essentielles dans la fermentation des matières premières animales et végétales. Leur capacité à fermenter les glucides, et dans une moindre mesure à dégrader les protéines et les lipides, conduit à la synthèse d'une large gamme de composés, notamment des acides organiques, des peptides, des composés antimicrobiens et aromatiques, ainsi que des exopolysaccharides. Ces métabolites influent sur les caractéristiques sensorielles, technologiques et nutritionnelles des aliments fermentés. **(Mozzi et al.,2010)**

La spiruline est consommée depuis des siècles par certains peuples primitifs en Afrique et en Amérique. Les scientifiques la reconnaissent depuis plusieurs décennies pour sa richesse nutritionnelle, et elle connaît actuellement une redécouverte **(Trabelsi et al.,2010)**

Cette micro algue est considérée comme une ressource alimentaire non conventionnelle pouvant contenir jusqu'à 70% de protéines, elle riche en sels minéraux, en oligo-éléments et en nombreuses vitamine (B1 B2 B12 E) **(Sall et al.,1999).**

Dans ce contexte, les micro algues sont perçues comme une source prometteuse et novatrice de compléments nutritionnels. Elles sont cultivées commercialement pour produire une variété de composés précieux, comprenant notamment des protéines, des pigments, des lipides, des acides aminés essentiels, des acides gras, monoinsaturés et polyinsaturés, des caroténoïdes, des stéroïdes, des vitamines. **(Ovando,2018).**

Ce mémoire a pour objectif l' Etude de l'effet de l'incorporation de spiruline sur la qualité nutritionnelle du yaourt.

Plus précisément, ce travail se concentre sur l'analyse microbiologique et physico-chimique et la valeur nutritionnelle de ce yaourt enrichi, essentielle pour assurer la sécurité alimentaire et préserver les qualités nutritionnelles du produit.

Cette recherche vise à comprendre les avantages potentiels de la spiruline dans l'enrichissement des produits laitiers fermentés, offrant ainsi des options alimentaires innovantes et saines répondant aux attentes des consommateurs.

Synthèse Bibliographique

Chapitre 01 : le lait

1. Généralités sur le lait :

1.1. Définition

Le lait est défini comme « le produit intégral de la traite totale et ininterrompue d'une femelle laitière bien portante, bien nourrie et non surmenée ». Il doit être en outre collecté dans de bonnes conditions hygiéniques et présenter toutes les garanties sanitaires. Il peut être commercialisé en l'état mais le plus souvent après avoir subi des traitements de standardisation lipidique et d'épuration microbienne pour limiter les risques hygiéniques et assurer une plus longue conservation. **(Romain et al.,2008)**

Le lait de vache a été considéré comme un aliment de base dans de nombreux régimes alimentaires. C'est une boisson saine puisque sa consommation est associée à une alimentation de qualité. Il fournit une matrice facilement accessible, riche en une grande variété de nutriments essentiels : des minéraux, des vitamines et des protéines faciles à digérer. Il est par conséquent essentiel à l'ensemble des fonctions du corps. **(Steijns.,2008)**

1.2. Composition du lait :

La composition chimique du lait diffère selon la race, l'âge et l'alimentation de la vache. Voici les principaux constituants répertoriés dans le tableau ci-dessous :

Tableau1. Comparaison moyenne du lait vache **(Beal et Sodini,2003)**

Composant	Teneur exprimées en g pour 100
Eau	87,8
Lactose	4,8
Matière grasse	3,9
Matières azotées	3,8
Caséines	2,6
Protéines sériques	0,5
Azote non sérique	0,1

Minéraux	0,7
Calcium	0,12
Phosphore	0,09

1.2.1. L'eau :

L'eau constitue la majeure partie du lait et contient en solution des éléments tels que le lactose, les sels minéraux et des protéines solubles. De plus, elle joue un rôle essentiel en dispersant les micelles de caséines et les globules de matière grasse, ce qui est fondamental pour la stabilité du produit. **(Banon et Hardy.,2002).**

1.2.2. Les glucides :

Les glucides représentent le deuxième constituant après l'eau dans le lait avec une teneur de 38% de la matière sèche **(Perreau, 2014)**. Le lactose est le glucide prédominant du lait (47 à 52 g/l), il est le constituant le plus stable du lait **(Roca-Fernandez, 2014)**, il intervient dans la fermentation du lait et est éliminé en grande partie dans le lactosérum.

Les glucides du lait sont 2 types : **(Walstra, 1978)**

- Des glucides libres (les oligoholosides)
- Des glucides combinés en glycoprotéines.

Selon la polarité électrique, on peut distinguer :

- Les glucides neutres : lactose, glucose, galactose
- Les glucides azotés : glucosamine N-acétylée et galactosamine N-acétylée ;
- Les glucides acides liés aux glucides neutres ou azotés : acide sialique. **(Sandra, 2001)**

La concentration du lactose dans le lait varie en fonction de l'espèce ; le lait vache contient 49g/l de lactose, tandis que le lait de femme contient en moyenne 56 à 68g/l de lactose. **(Fusch et al.,2011).**

1.2.3. Les lipides :

La matière grasse proprement dite, ou lipides neutres, constituée de glycérides ou acylglycérols, est très prédominant : 98%. Elle est solide à température ambiante (c'est une graisse) ; elle est presque entièrement libre, et se trouve en fine dispersion dans les globules gras.

Les lipides polaires sont surtout des phospholipides ; ils ne forment que 1% du total ; ils sont principalement sous forme liée dans la membrane globulaire.

Les lipides insaponifiables, insolubles dans l'eau, mais de nature très différente, constituent le reste. Ils rassemblent principalement les carotènes et les stérols qui comprennent les vitamines A et D. (Alais et al,2004)

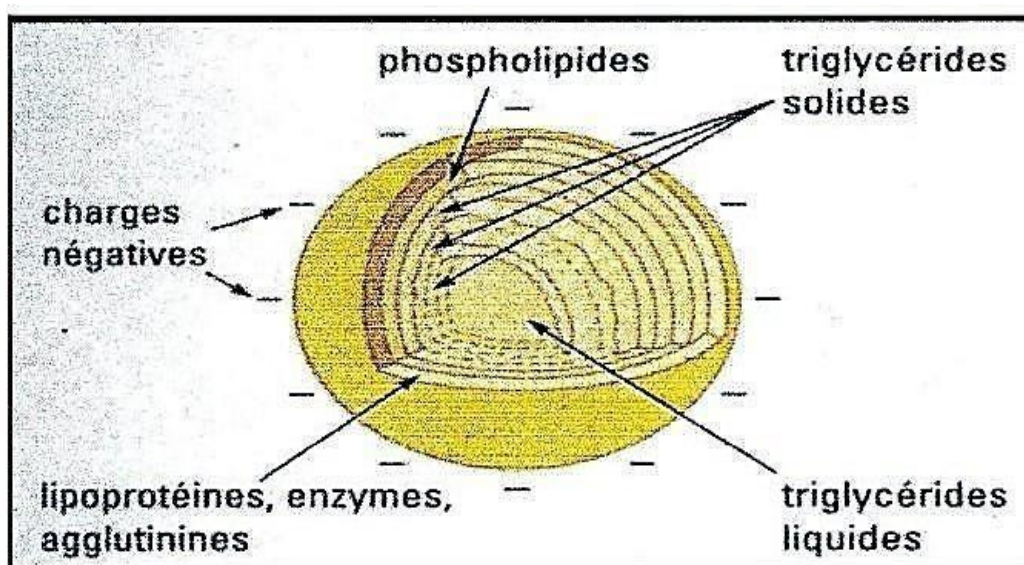


Figure 1. Structure d'un globule de matière grasse (kabir, 2015)

1.2.4. Les protéines :

Les acides aminés présents dans le lait sont des protéines spécifiques. Une partie de cette substance est produite dans la glande mammaire à partir d'autres acides aminés courants (comme l'arginine, l'ornithine), d'acides gras ou de sucre.

Les protéines insensibles du lait sont extraites du sang par filtration simple (immunoglobulines, sérumalbumines).

Les protéines du lait sont produites en utilisant des acides aminés du sang qui sont rassemblés en micelles avant d'être libérés dans la cavité alvéolaire (wattiaux,2006).

1.2.5. Les enzymes :

Selon **Poughon et Goursaud (2001)**, environ 60 enzymes principales ont été identifiées dans le lait, qui peuvent jouer un rôle crucial soit en éliminant les composants originaux du lait, soit en ayant un effet antibactérien (protégeant le lait) soit étant des indicateurs de qualité hygiénique, de traitement thermique et d'espèce.

Tableau 2 . Propriétés et rôles de quelques enzymes essentielles du lait

Propriétés et rôles	Enzymes	Caractéristiques et effets
Biodégradation	Lipases : rancissement Protéases ; hydrolyse de la caséine. Oxydase : modification de saveur. Protéase native du lait ou protéase des psychrotrophes agissant sur la caséine en libérant de petits peptides.	Ces enzymes posent des problèmes technologiques lors de la conservation des produits laitiers. Les protéases peuvent jouer un rôle dans l'affinage des fromages. Epaississement et gélification des laits stérilisés.
Thermosensibilité	Phosphatase alcaline (de résistance légèrement supérieure à celle des bactéries pathogènes) détruite à 72°C pendant 20s. Lactoperoxydase (détruite à 82°C pendant 20s ou 62°C pendant 30min). Xanthine oxydase : enzyme de schardinger	La présence ou non de ces enzymes permet le contrôle du chauffage du lait. Le lait pasteurisé doit être : -phosphatase- -peroxydase+ La xanthine oxydase les bases puriques en acide urique avec formation d'H₂O₂ inhibant certains micro-organismes.

	(détruite à 80°C pendant 10s).	
Teneur représentative du nombre de leucocytes et de bactéries présents dans le lait	Réductase microbienne Catalase (décompose le peroxyde d'hydrogène en oxygène qui assure la conservation du lait). L'ion thiocyanate du lait est oxydé en hypothiocyanate antibactérien	C'est une indication de la qualité hygiénique du lait. Les laits pathologiques, anormaux, contaminés, en sont riches.
Activité bactéricide	Lysozyme détruit à 90°C mais le chauffage doit être long.	La protection du lait reste limitée du fait de la faible quantité de lysozyme présent dans le lait de vache.

1.2.6. Les minéraux :

La présence de matière minérale dans le lait (7 g à 7,5 g/l) revêt une importance nutritionnelle et technologique.

Les matières minérales ou les cendres du lait peuvent être dosées par calcination à 550°C (**luquet. 1985**)

D'après **Gaucheron (2004)**, le lait renferme des concentrations significatives de divers minéraux. Les minéraux clés sont le calcium, le magnésium, le sodium et le potassium, tandis que les minéraux anions sont le phosphate, le chlorure et le citrate.

1.2.7. Les vitamines :

Dans le lait, on trouve deux types de vitamines : les liposolubles, comme les vitamines A, D, E et K, qui sont liées aux graisses, et les hydrosolubles, comme celles du groupe B et la vitamine C, qui sont présentes dans la partie aqueuse du lait. (**Perreau, 2014**). Les vitamines liposolubles proviennent uniquement des aliments. (**Sandra, 2010**). La quantité de vitamine C dans le lait est assez faible. Les niveaux de vitamines varient selon l'alimentation. Les vitamines du groupe B produites par les bactéries du rumen sont plus stables que d'autres vitamines. (**Fayolle, 2015**)

1.3. Propriétés physico-chimiques du lait :

1.3.1. Densité :

Elle oscille entre 1,032 et 1,034, elle doit être supérieure ou égale à 1,028 à 20°C. La densité des laits de grand mélange des laiteries est de 1,032 à 20°C.

Elle est mesurée avec un appareil spécial « le thermolactodensimètre » (vierling,2008)

1.3.2. PH du lait :

Le Ph donne une idée sur l'état de fraîcheur du lait. Un lait de vache frais a un ph de l'ordre de 6.7 (kouamé-Sina.2010).

1.3.3. L'acidité du lait :

L'acidité titrable, exprimée en degrés Dornic (°D) (nombre de dl de soude N/9 par litre de lait) est de l'ordre est de 15 à 18°D. (Mahaut., et al 2000)

1.3.4. Point de la congélation :

Le point de congélation du lait est légèrement abaissé par la présence de solides solubles, ce qui permet de vérifier s'il y a eu ajout d'eau au lait en mesurant cette caractéristique physique. (Neville et Jensen,1995). La moyenne se situe entre -0,51°C et -0,55°C. (Croguennec et al., 2008). Toute modification de la composition du lait influe sur son point de congélation. (Mathieu, 1998).

1.3.5. Point d'ébullition :

Le point d'ébullition est la température à laquelle la pression d'une substance ou d'une solution égale la pression extérieure. Pour l'eau, son point d'ébullition est légèrement supérieur, à environ 100,5°C. (Vignola,2002).

1.4. La qualité organoleptique du lait :

1.4.1. La couleur :

Le lait devient opaque à cause des particules de matières grasses, de protéines et de minéraux en suspension. Sa couleur va du blanc au jaune selon la quantité de carotène dans la matière grasse. (Gosta, 1995).

1.4.2. L'odeur :

Est caractéristique. Le lait du fait de la matière grasse qu'il contient, fixe des odeurs animales. Elles sont liées à l'ambiance de la traite, à l'alimentation (les fourrages à base d'ensilage favorisent la flore butyrique, le lait prend alors une forte odeur), à la conservation (l'acidification du lait par l'acide lactique lui donne une odeur aigrelette). **(Vierling,2008)**

1.4.3. La saveur :

Définir cette caractéristique du lait ordinaire est complexe car elle résulte de la combinaison d'éléments perçus différemment par chaque observateur. On peut distinguer la douceur du lactose, la salinité du NaCl et la saveur distinctive des lécithines, dont l'équilibre est modulé par la présence des protéines. **(Martin,2000)**

1.4.4. La viscosité :

Des analyses ont démontré que la viscosité du lait est une caractéristique complexe, fortement influencée par les particules colloïdales émulsifiées et dissoutes. La teneur en matières grasses et en caséine est cruciale pour cette viscosité, qui est également soumise à l'impact de divers paramètres technologiques. **(Rheotest, 2010).**

La viscosité est une caractéristique importante de la qualité du lait, étant donné qu'une relation intime existe entre les propriétés rhéologiques et la perception de la qualité par le consommateur.

1.5. La qualité du lait :

La qualité se définit comme l'ensemble des propriétés recherchées par le consommateur. Elle implique tout à la fois la sécurité sanitaire (bactériologique et chimique). La valeur gastronomique (ou hédonique) et l'équilibre alimentaire (ou valeur nutritionnelle). **(Roux,1994).**

1.5.1. Qualité nutritionnelle du lait :

L'aliment le plus équilibré pour l'homme est le lait, qui est presque le seul à fournir la plupart des nutriments essentiels. **(Hamama,1996).**

a. Taux de la matière grasse :

Les études indiquent que la matière grasse dans le lait est composée de globules gras d'un diamètre de 0,1 à 10µm, principalement de triglycérides (98%). Dans le lait de vache, la matière grasse constitue la moitié de l'apport énergétique, composée de 65% d'acides gras saturés et de 35% d'acides gras insaturés. **(Jeantet et al.2008).**

b. Le taux protéique :

La méthode **Kjeldahl**, qui analyse le lait par minéralisation, a révélé que 95% de l'azote se trouve dans les protéines, dont la concentration moyenne est de 3,2%. Les composés azotés non protéiques comprennent principalement des protéases, des peptones et de l'urée. Les protéines du lait se distinguent par différentes structures et propriétés physico-chimiques. **(Cayot et Lorient,1998).**

1.5.2. Qualité microbiologique du lait :

Cette qualité revêt une importance primordiale pour la santé du consommateur, le respect des réglementations et les contraintes technologiques spécifiques à chaque produit. Par exemple, un fabricant de lait de consommation vise la stabilité biologique, tandis qu'un fromager nécessite des enzymes pour l'affinage. **(Gillis,1996).**

Les bactéries sont les principaux microorganismes présents dans le lait. Il est possible de rencontrer également des levures et des moisissures, voire des virus. De nombreuses espèces bactériennes peuvent proliférer dans le lait où elles trouvent un substrat nutritif très riche. **(Billon et al.,2009).**

Chapitre 02 : Yaourt

1. Historique

Originaire d'Asie, le terme yaourt (yoghourt ou yogourt) dérive de « yoghurmark », un mot turc signifiant « épaissir » (**Tamime & Deeth, 1980**). À la suite des travaux de Louis Pasteur sur la fermentation lactique, de nombreux chercheurs ont dirigé leur attention vers les micro-organismes présents dans le lait. En 1902, Ris & Khoury, deux médecins français, ont isolé les bactéries présentes dans un lait fermenté égyptien. Par la suite, Metchnikoff (1845-1916) a identifié la bactérie spécifique du yaourt, le Bacille bulgare, et a étudié l'action acidifiante du lait caillé, suggérant une méthode de production sûre et régulière (**Rousseau, 2005**). D'autres produits ont ensuite fait leur apparition sur le marché, notamment les laits fermentés probiotiques, les laits fermentés de longue conservation (pasteurisés, UHT, lyophilisés ou séchés) et les produits « plaisir » (à boire, pétillants ou glacés). Traditionnellement, le yaourt nature et ferme représentait la majeure partie des productions de laits fermentés. Dans les années 1960-1970, les produits sucrés, puis aromatisés et aux fruits, ont fait leur entrée et sont actuellement majoritaires sur le marché. L'introduction du yaourt brassé a marqué une autre étape importante dans la commercialisation des laits fermentés. Par ailleurs, le développement commercial des produits probiotiques répond à une demande croissante des consommateurs (**Brule, 2003**).

2. Définition :

La réglementation française précise : «la dénomination yaourt ou yoghurt est réservée au lait fermenté obtenu, selon les usages loyaux et constants, par le développement des seules bactéries lactiques, *Lactobacillus bulgaricus* et *Streptococcus thermophilus*, qui doivent êtreensemencées simultanément et se trouvent vivant dans le produit à raison d'au moins 10^7 bactéries. g^{-1} . La quantité d'acide lactique libre ne doit pas être inférieure à $0,7\text{ g} \cdot 100g^{-1}$ lors de la vente au consommateur» (**article 8 du décret 63-695**).

Les produits contenant des ferments autres que ceux cités ci-dessus ne peuvent se voir attribuer le nom de yaourt mais celui de lait fermenté, ce qui est le cas de la plupart des nouveaux produits dits « produits santé »

Il existe deux types de yaourt :

-Yaourt fermes, dont la fermentation a lieu en pots : ce sont généralement les yaourt nature et aromatisés ;

-Yaourt brassés, dont la fermentation a lieu en cuve avant brassage et conditionnement : c'est le cas des yaourt veloutés naturels ou aux fruits.

La fabrication de ces deux types de yaourts peut être réalisée soit à partir de lait entier, soit à partir de lait partiellement ou totalement écrémé (3,5% ; 1,0% ; 0,0% de matière grasse). (Romain et al ; 2008).

3. Composition biochimique :

Le yaourt se distingue par sa réduction de la teneur en lactose de 20 à 30 %. À partir d'un lait enrichi de poudre de lait écrémé à 2 %, le yaourt contient environ 4,5 g de lactose pour 100 g. La dégradation du lactose entraîne la production de galactose, de glucose et d'acide lactique, passant de niveaux quasiment nuls à environ 0,8 à 1 %. Les quantités finales de galactose se situent généralement entre 1 et 1,5 %. Les concentrations de glucose et d'oligosaccharides sont très faibles, comme mentionné dans une étude de (Syndifrais datant de 1997).

Le tableau 3. représente la teneur pour 100g et la valeur énergétique de quelque type de yaourt :

	Teneur moyenne pour 100 grammes de produit							Valeur énergétique
	Protéines (g)	Lipides (g)	Glucides (g)	Calcium (mg)	Sodium (mg)	Potassium (mg)	Phosphore (mg)	KJ
Yaourt nature	4,15	1,2	5,2	174	57	210	114	201
Yaourt au lait entier	3,8	3,5	5,3	171	56	206	112	284
Yaourt nature 0%	4,2	Traces	5,4	164	55	180	100	163
Yaourt nature sucré	3,8	1,1	14,5	160	52	195	105	347

Yaourt aromatisé au lait entier	3,2	3,2	12	140	50	190	106	372
Yaourt brassé nature	4,3	1,8	5,2	165	40	205	115	230
Yaourt brassé aux fruits	3,75	1,65	14,5	140	50	190	110	368
Yaourt au lait entier aux fruits	3,1	2,7	16,5	140	45	180	100	431
Yaourt maigre aux fruits	3,6	Traces	17,2	140	45	180	100	351

4. Clasification du yaourt :

Il y a plusieurs types de yaourts qui se distinguent par leur composition, leur méthode de fabrication et leur goût. Le tableau 2 présent les différentes catégories de yaourts.

Tableau 4. Différents types du yaourt et leurs caractéristiques (Vignola, 2002).

Les différents types :	Caractéristique :
Selon la teneur en matières grasses : - Yaourt maigre - Yaourt nature - Yaourt entier	- Teneur en matière grasse inférieurs à 1%. - Teneur en matières grasses 1% minimum - Teneur en matière grasse 3.5% (en pratique de 3 à 4.5%).
Selon la technologie de fabrication : - Yaourt ferme - Yaourt brassé - Yaourt à boire	- Ce sont les yaourts en pots, généralement des yaourts nature ou aromatisés. La fermentation se fait après la mise en pot à une T° de 42°C et 44°C.

	- L'incubation du type brassé se fait en cuve et le refroidissement est réalisé avant le conditionnement - Le coagulum est réduit à l'état liquide avant le conditionnement
Selon les additifs alimentaires - Yaourt aromatisé - Yaourt fruité - Yaourt light	- Addition d'arôme. - Addition de fruits. - Addition d'édulcorants sans sucre

5. Aptitudes technologiques des bactéries du yaourt

5.1. Les bactéries spécifiques du yaourt

Les deux bactéries utilisées dans la fabrication du yaourt ont pour rôle principal d'abaisser le pH du lait jusqu'au point isoélectrique de la caséine (pH 4,6), permettant ainsi la formation d'un gel (ou coagulum).

En plus de conférer au gel son goût acidulé, ces bactéries lui procurent une saveur caractéristique grâce à la production de composés aromatiques, (principalement l'acétaldéhyde, ainsi que des cétones, de l'acétoïne et du diacétyl). De plus, certaines souches produisent des polysaccharides (glucanes), ce qui influence la consistance du gel (FAO, 1995).

5.1.1. L'espèce *Lactobacillus bulgaricus*

Lactobacillus delbrueckii ssp bulgaricus est un bacille gram positif, immobile, non sporulé et micro aérophile. Il se présente sous forme de bâtonnets ou de chaînettes, et possède un métabolisme strictement homofermentaire, produisant de l'acide D-lactique à partir des hexoses via la voie d'Embden Meyerhof-Parnas (EMP). Il est incapable de fermenter les pentoses (Axelsson, 1998).

Cette bactérie se développe bien à des températures comprises entre 45 et 50°C, acidifiant fortement le lait jusqu'à 1,8% (pH proche de 4,5), voire jusqu'à 2,7% d'acide lactique (pH entre 3,8 et 3,6) (FAO, 1995).

Lactobacillus bulgaricus est une bactérie thermophile, très exigeante en calcium et en magnésium, avec une température optimale de croissance d'environ 42°C. Elle est responsable de la production d'acétaldéhyde (Marty-Teyesset et al. 2000).

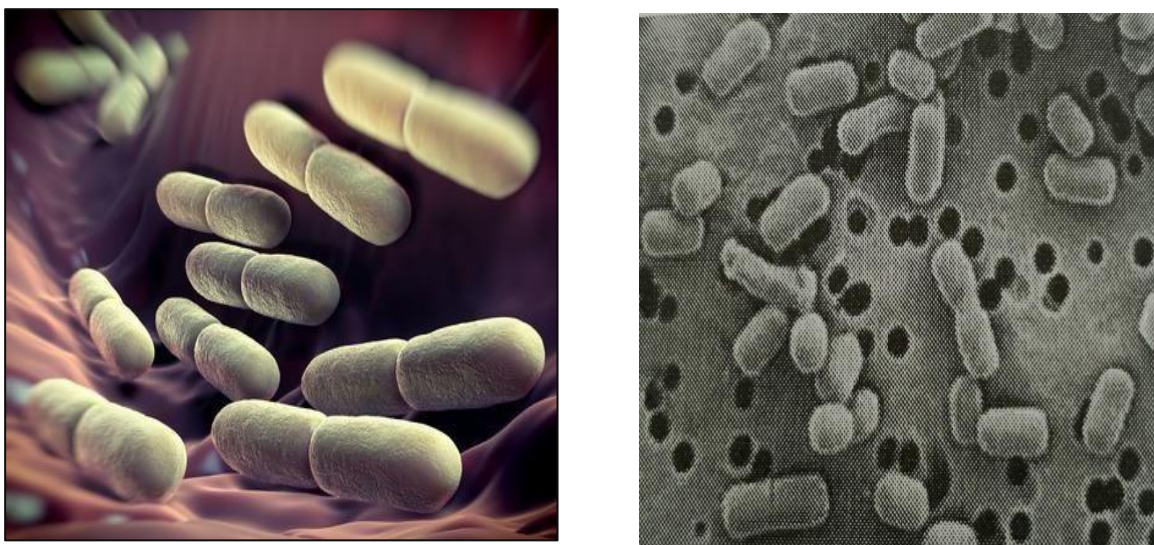


Figure 02. Aspect des cellules de *Lb.bulgaricus* sous le microscope électronique.

(www.raw-milk-facts.com)

5.1.2. L'espèce *Streptococcus thermophilus*

Streptococcus salivarius, ssp. *thermophilus* est un cocci Gram positif, pouvant se disposer en chaînes de longueurs variables ou par paires. Anaérobie facultatif et immobile, on le trouve principalement dans les laits fermentés et les fromages (Roussel et al, 1994).

Cette bactérie, dépourvue de l'antigène D, est sensible au bleu de méthylène (0,1 %) et aux antibiotiques. Incapable de métaboliser le galactose, elle se développe efficacement entre 37 et 40 °C, mais peut également croître à 50 °C. Sa thermorésistance lui permet de survivre à un chauffage de 65 °C pendant 30 minutes ou de 74 °C pendant 15 secondes. Son métabolisme est de type homofermentaire (Vaillancourt et al, 2008).

St. thermophilus se distingue des autres espèces du même genre par son habitat spécifique (lait et produits laitiers), son caractère non pathogène, ainsi que ses propriétés probiotiques et technologiques (Iyer et al, 2010).

Dans l'industrie agroalimentaire, *St. Thermophilus* occupe la deuxième place après *Lactococcus lactis* parmi les bactéries lactiques utilisées.

C'est la seule espèce du genre *Streptococcus* employée dans la fabrication des produits laitiers fermentés. On l'utilise dans la production de nombreux fromages à pâtes pressées cuites comme l'Emmental, le Gruyère, le Parmesan et des types similaires, ainsi que pour la Mozzarella, le Cheddar et certains laits fermentés (Parente et Cogan, 2004; De Vuyst et Tsakalidou, 2008).

Le rôle principal de cette bactérie dans la fabrication du yaourt est la fermentation du lactose du lait en acide lactique. Cependant, elle est moins acidifiante que le lactobacille, produisant généralement de 0,5 à 0,6 % d'acide lactique (pH proche de 5,2), exclusivement sous la forme L, l'isomère préféré dans les produits alimentaires en raison de la présence de lactate déshydrogénase chez l'humain (Narayanan et al, 2004; Panesar et al, 2007).

Certaines souches peuvent tolérer un pH allant de 4,3 à 3,8. En plus de son pouvoir acidifiant, elle joue un rôle crucial dans la texture des laits fermentés en augmentant la viscosité du lait grâce à la production de polysaccharides (FAO, 1995).

La figure 03 illustre l'aspect microscopique des cellules de *St. Thermophilus*.

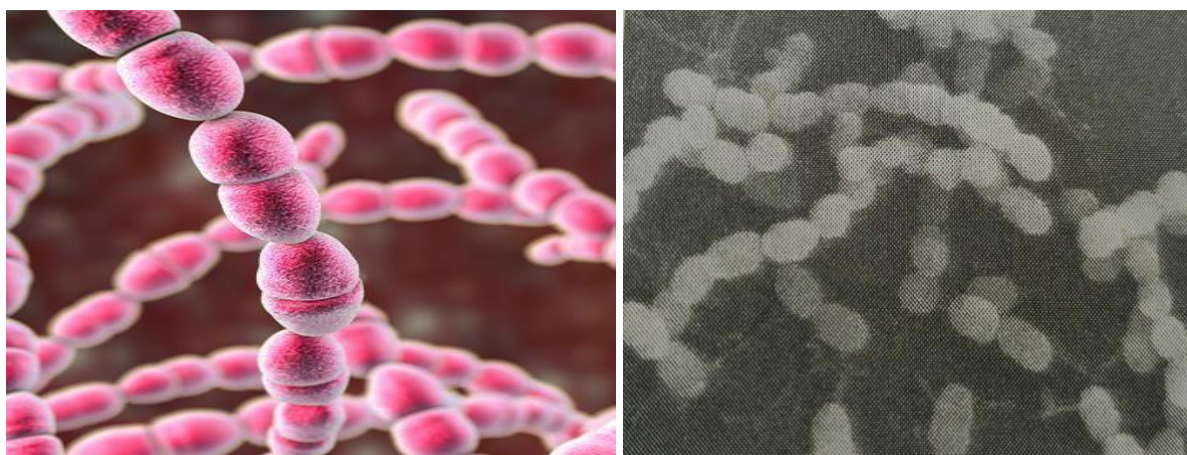


Figure 03 .Aspect des cellules de *St. Thermophilus* sous le microscope électronique.

(www.musee-afrappier.qc.ca)

1.5.3. La proto-coopération entre *St. thermophilus* et *Lb. Bulgaricus* :

Les interactions entre deux espèces de bactéries lactiques, *St. thermophilus* et *Lb. bulgaricus*, sont à l'origine du yaourt. La proto-coopération est souvent désignée comme l'association entre ces deux espèces, car elle est utile mais pas nécessaire à la croissance de chaque espèce dans le lait (Thevenard, 2011).

La recherche de cette proto-coopération conduit à une stimulation mutuelle qui se manifeste par (Mihail et al, 2009).

- Une augmentation de la rapidité d'acidification.
- Une augmentation des quantités de bactéries finales.
- Une baisse du pH ultime du produit ;
- Favoriser la synthèse de composés aromatiques, en particulier de l'acétaldéhyde.
- Une stabilité accrue du produit fini.
- La production de certains composés tels que les polysaccharides extracellulaires (EPS) est accrue.

Afin de se développer, les bactéries requièrent des acides aminés et des peptides qui peuvent être utilisés directement. Cependant, le lait ne renferme que de petites quantités qui ne permettent que de commencer leur croissance (**Thevenard, 2011**).

Le pH du lait est plus élevé pour *St. thermophilus*, ce qui rend le lait anoxique et légèrement acide. En revanche, *Lb. bulgaricus* acidifie davantage le lait jusqu'à un pH d'environ 4,3 à 4,2 en attaquant la caséine, ce qui libère des peptides permettant au streptocoque de continuer sa croissance.

De son côté le streptocoque stimule le lactobacille en produisant de l'acide formique, du dioxyde de carbone et de l'acide pyruvique. (**Jeantet et al. (2008)**)

Le streptocoque produit principalement de l'acide lactique sous la forme L(+), tandis que le lactobacille produit principalement la forme D(-). Environ un tiers du lactose est converti en acide lactique à la fin de la fermentation dans la fabrication du yaourt. Dans ce processus, le lactose est d'abord hydrolysé en galactose et en glucose par une lactase. Le glucose est ensuite métabolisé en acide pyruvique, puis en acide lactique, tandis que le galactose s'accumule dans le lait sans être utilisé.

Ainsi, après 2 jours de conservation, dans un yaourt obtenu à partir d'un lait contenant 6,5% de lactose en poids, environ 100 g de yaourt contiennent environ 4 g de lactose, 0,05 g de glucose, 0,05 g d'oligosaccharides et 1,5 g de galactose (**FAO, 1995**).

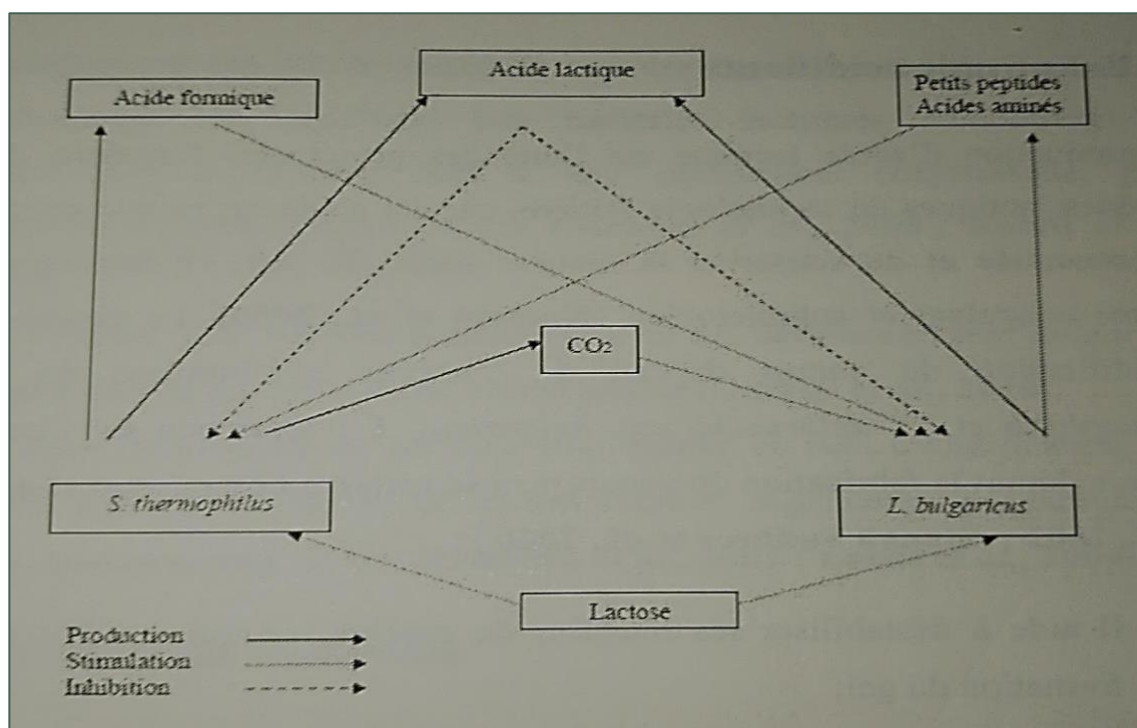


Figure 04 .proto-coopération entre *st. thermophilus* et *Lb. bulgaricus*.
(**Mahaut et al., 2000**).

5.2. Aptitudes technologiques des bactéries lactiques du yaourt.

Les bactéries lactiques sont des micro-organismes de catégorie alimentaire qui jouent un rôle essentiel dans la fermentation des matières premières animales et végétales. Leur capacité à fermenter les hydrates de carbone et, à un moindre degré, de dégrader les protéines et les lipides mène à la synthèse d'une large gamme de composés, tels que les acides organiques, les peptides, les composés antimicrobiens et aromatiques et les exo polysaccharides. Ces métabolites peuvent contribuer aux caractéristiques organoleptiques, technologiques et nutritionnelles des aliments fermentés (**Mozzi et al, 2010**).

5.2.1. Aptitude acidifiante :

La production d'acide lactique est l'une des principales fonctions des bactéries lactiques en technologie laitière, car cet acide organique permet de concentrer et de conserver la matière sèche du lait, en intervenant comme coagulant et antimicrobien (**Kuipers et al, 2000**). Le processus d'acidification du yaourt dépend de l'activité symbiotique de *St. thermophilus* et *Lb. delbrueckii ssp. Bulgaricus*. L'importance de l'acide lactique durant la fabrication du yaourt peut se résumer comme suit (**Leory et al, 2002; Sinng Sudeer et al, 2006**)

Il aide à déstabiliser les micelles de caséine, ce qui conduit à la formation du gel;

- ✓ Il donne au yaourt son goût distinct, comme il contribue à la saveur et l'aromatisation du yaourt;
- ✓ Il intervient comme inhibiteur vis-à-vis des micro-organismes indésirables.

L'acidité du yaourt est communément exprimée en degré Dornic ($1^{\circ}\text{D} = 0.1\text{g}$ d'acide lactique /L de lait). Elle se situe entre 100 et 130 $^{\circ}\text{D}$ (**Loones, 1994**).

Le développement de l'acidité est important non seulement pour la fermentation du lait, mais également nécessaire pour un arôme, une texture et une saveur bien-équilibrés de yaourt (**Özer et Atasoy, 2002**).

5.2.2. Aptitude protéolytique :

La croissance jusqu'à des densités cellulaires permettant aux bactéries lactiques d'assurer les fonctions de fermentation repose sur un système protéolytique capable de satisfaire tous les besoins en acides aminés en hydrolysant les protéines. Les bactéries lactiques démontrent des potentialités différentes, liées à leur équipement enzymatique, pour l'utilisation de la fraction azotée (**Monnet et al, 2008; Roudj et al, 2009**).

Il est connu que l'activité protéolytique de *Lb. delbrueckii ssp. Bulgaricus* est plus élevée que celle du *St. thermophilus* (**Gürsoy et al, 2010**).

Quelques hydrolysats de protéine augmentent le taux d'acidification de yaourt, réduisent le temps de fermentation et augmentent la viabilité des deux bactéries dans le lait (**Oliveira et al, 2001; Lucas et al, 2004**).

5.2.3. Aptitude texturante :

La texture et l'onctuosité constituent, pour le consommateur, des importants éléments d'appréciation de la qualité du yaourt. Certaines souches bactériennes produisent, à partir du glucose, des polysaccharides qui sont constitués de longues chaînes d'unités répétitives de sucres simples et/ou de dérivés de glucides plus ou moins ramifiées (**Ruas-Madiedo et al, 2001**).

Il est couramment admis que la production des exo polysaccharides est le résultat de l'action exercée par *St. thermophilus*, mais, *Lb. bulgaricus* possède une aptitude à produire des EPS composés de galactose, glucose, rhamnose, à des rapports 1/1/4 (**Tamime et Robinson, 1999**). L'utilisation de ces bactéries produisant les EPS augmente la résistance du coagulat de yaourt aux chocs physiques et thermiques, et joue un rôle important en réalisant la fermeté satisfaisante et la viscosité apparente du yaourt (**Ngoufack et al, 2004; Vaningelgem et al, 2004**). Ils ont l'avantage d'être « naturels », requis en faible concentration (de l'ordre de mg/L) et de pouvoir remplacer les agents stabilisants par leurs propriétés de modifier positivement la texture, la viscosité et la sensation des laits fermentés (**Marshall et Rawson, 1999**).

Plusieurs études portant sur l'effet des EPS sur les propriétés rhéologiques/physiques de produits laitiers fermentés de type yaourt tendent à démontrer que la concentration en EPS ne serait pas le facteur déterminant pour moduler ces propriétés (**De vuyst et al., 2003; Doleyres et al., 2005**). La fonctionnalité des EPS serait plutôt reliée à leurs caractéristiques structurales ainsi qu'à leurs interactions avec les autres constituants du milieu comme les protéines. Le poids moléculaire, la conformation (flexibilité et ramification) de la chaîne et la charge des EPS influenceraient les propriétés rhéologiques et physiques des produits laitiers fermentés de type yaourt (**Petry et al, 2003; Turgeon et Plesces, 2009**).

5.2.4. Aptitude aromatisante :

Divers composés volatiles et aromatiques interviennent dans la saveur et l'appétence du yaourt. C'est principalement le lactose qui joue un rôle dans la formation de ces composés. Parmi ceux-ci, outre l'acide lactique qui confère au yaourt son goût acidulé, c'est l'acétaldéhyde qui a été identifié comme le plus important des composés carbonyliques qui contribuent à l'arôme typique du yaourt (**Enel et al., 2011**). Il provient en grande partie de la transformation de la thréonine. En outre, les deux bactéries du yaourt *Lb. bulgaricus* et *St. thermophilus* sont

capable de produire l'acétaldéhyde mais à des proportions différentes, sa concentration optimale est estimée entre 17 et 41mg/L durant la fermentation du yaourt (**Chaves et al., 2002; Bongers et al., 2004**).

Le diacétyl contribue à donner un goût délicat dû à la transformation de l'acide citrique et, secondairement, du lactose par certaines souches de streptocoques. D'autres composés (acétone, acétoïne, butane-2-one, etc.) contribuent à l'équilibre et à la finesse de la saveur. Celle-ci résulte d'un choix avisé des souches, de leur capacité à produire dans un juste rapport les composés aromatiques et du maintien de ce rapport au cours de la conservation des levains et de la fabrication (**FAO, 1995**)

5.2.5. Aptitude antagonistique :

Les composés antimicrobiens produits par les bactéries lactiques peuvent empêcher la croissance des bactéries pathogènes dans les produits fermentés. Ces composés incluent le peroxyde d'hydrogène, CO₂, le diacétyl, l'acétaldéhyde, les D-isomères des acides aminés et les bactériocines (**Cintas et al., 2001; Akpinar et al., 2011**).

La production d'acide lactique diminue le pH en créant un milieu défavorable au développement des microorganismes pathogènes (**Aslim et al., 2004**). Cet acide se trouve à l'équilibre entre ses formes dissociées et non dissociées, et l'ampleur de la dissociation dépend du pH. Au bas pH, la grande quantité d'acide lactique est sous la forme non dissociée qui est toxique pour beaucoup de bactéries, mycètes et levures. A pH 5.0 l'acide lactique est un inhibiteur des bactéries sporulées mais il est inefficace contre des levures et les moisissures (**Woolford, 1975**).

D'autre part, à une concentration de 10-100 ppm, l'acétaldéhyde produit par *Lb. delbrueckii ssp. Bulgaricus* s'accumule dans le produit laitier, empêche la croissance de *Staphylococcus aureus*, *Salmonella typhimurium* et *E. coli* (**Piard et Desmazeaud, 1991**).

Certaines souches de *Lb. bulgaricus* isolées de yaourt ont un potentiel antibactérien contre un certain nombre de micro-organismes pathogènes responsables de la détérioration des aliments particulièrement *Vibrio cholera* et *E. coli*, en raison de la production de bactériocine (**Tufail et al., 2011**).

5.2.6. Aptitude lipolytique :

Les ferments lactiques possèdent des lipases et des estérases qui peuvent hydrolyser les triglycérides en acides gras. Ils peuvent produire certains acides gras volatils, (C, C6), et contribue à la saveur des produits laitiers fermentés, cependant la lipolyse est généralement faible dans le yaourt et elle est donc non significative au terme du flaveur (**Béal et al., 2008**).

6. Technologie de fabrication du yaourt

Le schéma de la figure 04 résume les étapes de la fabrication du yaourt. Celle-ci peut subir des variantes de sorte que les étapes indiquées peuvent faire l'objet de modifications dans leur ordre comme dans leur nombre Cette figure montre qu'il existe deux types de yaourts (**Lee et Lucey, 2010**)

- ✓ Le yaourt ferme ou étuvé, dont la fermentation se fait après conditionnement en pots.
- ✓ Le yaourt brassé, dont la fermentation se fait en cuve.
- ✓ le coagulum obtenu est alors dilacéré et brassé pour être rendu plus ou moins visqueux, puis conditionné en pots.

La technologie donnée ci-après concerne le yaourt au lait de vache, elle peut s'appliquer sans difficultés aux yaourts aux laits d'autres espèces utilisés seul ou en mélanges.

6.1. Préparation du lait

La matière première peut être soit du lait frais, soit du lait recombinaé (à partir de lait en poudre maigre et de matière grasse laitière anhydre), soit du lait reconstitué (à partir de lait en poudre maigre), ou encore un mélange. Dans tous les cas, elle doit être de bonne qualité microbiologique, exempte d'antibiotiques ou d'autres inhibiteurs et parfaitement homogénéisée (**FAO, 1995**).

6.2. Standardisation du mélange

La consistance et la viscosité du yaourt sont pour une grande partie sous la dépendance de la matière sèche du lait. En effet, tous les nutriments jouent un rôle sur la qualité finale du yaourt (**FAO, 1995; Lucey, 2004**). Les protéines, de par leur coagulation et leur capacité de liaison avec l'eau, agissent sur la texture, particulièrement sur la viscosité, la consistance, l'élasticité et la fermeté. La graisse confère de l'onctuosité et la sensation de douceur à la bouche, masque l'acidité et améliore la saveur (**Lamontagne, 2002**). Le lactose est le composé utilisé pour l'acidification et a un faible pouvoir sucrant, soit quatre fois plus faible que celui du sucre de table. Les minéraux, comme des bouillons, travaillent à la stabilisation du gel et les vitamines sont requises pour la croissance bactérienne (**Altan et al., 2008**).

La standardisation du mélange laitier permet non seulement de pallier aux variations de composition du lait mais aussi, à obtenir la composition désirée. Cette standardisation peut s'obtenir par l'ajout de concentrés et d'isolats de protéines sériques, de poudre de lait écrémé ou entier, de lactose et de la crème en fonction de la teneur désirée en protéines, solides totaux et matières grasses (**Tamime et Robinson, 1999**).

Selon le Code des principes FAO/ OMS, la teneur minimale en matière sèche laitière non grasse est de 8,2% (en poids) quelle que soit la teneur en matière grasse (**norme n°A-11 (a), 1975**) (FAO, 1995)

6.3. Homogénéisation

Ce traitement est pratiqué dans le cas des laits gras (10 à 25.10° Pa à 60- 90°C), soit en phase montante de la pasteurisation, soit en phase descendante mais avec des risques de recontamination dans ce cas (**Jeantet, 2008**).

L'homogénéisation du lait à plusieurs objectifs: elle améliore la fermeté des gels obtenues après fermentation, augmente leur capacité de rétention d'eau et réduit la synérèse, par ailleurs elle prévient le crémage au cours des opérations << statiques de la fabrication du yaourt, en particulier lors de la période d'incubation en pots ou dans les cuves de fermentation, cela est due au fractionnement de la taille des globules gras de 4-5 µm à 1 µm par cisaillement (**Schorsch, 2001; Amiot, 2002**). En plus de conférer une couleur plus blanchâtre au mélange laitier, cette diminution de diamètre facilite l'insertion des globules gras dans les pores du réseau caséique du yaourt. Cette étape permet également de mélanger de façon homogène les divers ingrédients laitiers ajoutés lors de l'étape de la standardisation. Une autre des conséquences de l'homogénéisation est la formation de nouvelles gouttelettes de globules de gras entourées par des caséines et des protéines sériques. La résultante est une augmentation du caractère hydrophile des globules de gras (**Schorsch, 2001**).

6.4. Traitement thermique

Le lait enrichi, éventuellement sucré, subi un traitement thermique. Le barème de traitement thermique le plus couramment utilisé est de 90-95°C pendant 3 à 5 minutes (**Mahaut, 2000**). Cependant, une température élevée pendant un brève temps (100°C à 130°C pour 4 à 16 S) ou bien une ultra haute température (UHT) (140°C pour 4 à 16 s) sont parfois utilisés (**Sodini et al., 2004**). Ce traitement a de multiple effet sur la flore microbienne ainsi que sur les propriétés physico-chimiques et fonctionnelles du lait. Tout d'abord, il assure l'innocuité du produit suite à la destruction des microorganismes pathogènes et indésirables (**Walstra, 2006**). Il crée des conditions favorables au développement des bactéries lactiques, et inactive des inhibiteurs de croissance telle que les lactopéroxydases et des enzymes telles que la lipase responsable de l'oxydation des lipides (**Walstra, 2006**). De même, il réduit les sulfures toxiques et entraine la production d'acide formique qui est un facteur de croissance pour *Lb. bulgaricus* (**Loones, 1994**). Le traitement thermique a également un effet sur la conformation tridimensionnelle des protéines, induisant la modification de leurs propriétés fonctionnelles.

Il dénature la majorité des protéines du lactosérum (85%), la résultante est l'association de la caséine α et de la β -lactoglobuline via un pont disulfure. Des liaisons entre les caséines et l' α -lactalbumine sont également engendrés (**Mahaut, 2000; Sava et al., 2005**).

Au niveau rhéologique, ces modifications se traduisent par une amélioration après fermentation de la fermeté des gels (**Jeanet et al., 2007**). De plus le traitement thermique entraîne une production plus importante de l'acétaldéhyde, le composé responsable de l'arôme <<< yaourt >>> (**Ozer et Atasoy, 2002**).

Lorsque les laits ont été stockés au froid ou/et contiennent des substances à odeurs désagréables, il est recommandé de compléter le traitement thermique par leur désaération (**FAO, 1995**).

6.5. Fermentation lactique

Le lait enrichi et traité thermiquement, est refroidi à la température de fermentation, 40 - 45°C. Cette température correspond à l'optimum de développement symbiotique des bactéries lactiques (**Lee et Lucey, 2010**).

L'incubation se fait à l'aide d'un levain comprenant exclusivement une ou plusieurs souches de chacune des bactéries spécifiques du yaourt: *St. salivarius ssp. thermophilus*, et *Lb. delbrueckii ssp. bulgaricus* qui sont inoculés entre 2 et 5% dans le mélange laitier afin d'atteindre une population initiale de l'ordre de 10 UFC/ ml avec un ratio de 1:1 (**Clark et Plotka, 2004**). Ces deux espèces bactériennes vivent en symbiose et en synergie, elles dégradent le lactose en acide lactique, entraînant une baisse du pH et la gélification du milieu avec des modifications structurelles irréversibles. En outre, ces bactéries produisent des composés carbonylés volatiles (l'acétaldéhyde, le diacétyl, l'acétoïne, l'acétate d'éthyle) et des exopolysaccharides qui participent, respectivement, à l'élaboration de l'arôme et de la texture des yaourts (**Ott et al., 2000**).

Une bonne agitation est nécessaire pour rendre parfaitement homogène le mélange lait-ferment (**FAO, 1995**). La vitesse d'acidification et le pH final influencent la formation du gel acide. Une vitesse d'acidification lente engendre la formation d'un gel lisse et homogène et donc plus faible (**Haque et al., 2001**). Le respect du pH final est primordial puisque les propriétés sensorielles (acidité, flaveur, texture) du produit fini en dépendent, c'est pourquoi, lorsque le pH atteint une valeur comprise entre 4,7 et 4,3, un refroidissement en deux temps (rapide jusqu'à 25°C, puis plus lent jusqu'à 5°C) est appliqué afin de stopper la fermentation. En effet, l'activité des bactéries lactiques est limitée pour des températures inférieure à 10°C (**Sondi et al., 2004**).

Le temps de fermentation se situe entre 3 et 7 h jusqu'à l'obtention d'une acidité finale de 0,9 à 1,2% en équivalent d'acide lactique (**Clark et Plotka, 2004**).

6.6. Conditionnement et stockage

6.6.1. Yaourt ferme (en pot ou étuvé)

Le laitensemencé est rapidement réparti en pots (en verre, en carton paraffiné, en matière plastique) d'une contenance habituelle de 12,5 cl. Dans le cas des yaourts sucrés, aromatisés, aux fruits, à la confiture, etc., l'apport des additifs se fait avant ou après le remplissage des pots (**FAO, 1995**).

Après le capsulage (aluminium, carton paraffiné), les pots sont placés dans une étuve (à air chaud) ou parfois au bain-marie pour permettre la fermentation. L'acidification dépend de la température et de la durée d'incubation. L'incubation dure environ de 2 à 3 heures. Les pots sont maintenus dans l'étuve jusqu'à l'obtention d'une acidité de 0,75 (au minimum) à 1% environ d'acide lactique, soit 75 à 100° Dornic. A ce moment, le caillé doit être ferme, lisse et sans exsudation de sérum (**FAO, 1995**).

Les pots sont alors immédiatement sortis de l'étuve, refroidis le plus rapidement possible à la température de +4 à +5 °C. Ce refroidissement a pour but d'arrêter l'acidification par inhibition des bactéries lactiques. Les pots sont ensuite stockés à +2/+4 °C pendant 12 à 24 heures de façon à augmenter la consistance sous l'action du froid et de l'hydratation des protéines (**FAO, 1995**).

6.6.2. Yaourt brassé

Le laitensemencé est maintenu en cuve ou en tank à la même température que dans le cas des pots (entre 42 et 46 °C) jusqu'à obtention de l'acidité voulue. Celle-ci est souvent un peu plus élevée que pour le yaourt ferme: de 1 à 1,2% d'acide lactique, soit 100 à 120 °Dornic. On procède alors au découpage et au brassage du caillé par l'un des procédés ci-après: agitation mécanique à l'aide d'un brasseur à turbine ou à hélice; passage du gel à travers un tamis, homogénéisation à basse pression (**FAO, 1995**).

Le brassage terminé, le caillé est immédiatement et rapidement refroidi à une température inférieure à 10 °C. Le brassage du caillé au cours de la réfrigération améliore l'onctuosité du produit. Le yaourt est ensuite conditionné en pots et conservé à +2/+4 °C. L'addition éventuelle d'arômes, de pulpes de fruits, etc., se fait au moment du remplissage des pots. L'addition du sucre peut se faire avant incubation, à condition de ne pas dépasser 6% afin de ne pas ralentir la fermentation. Pour conserver au yaourt brassé sa consistance semi-liquide, le mélange d'additifs (fruits + sucre) ne doit pas dépasser 15%. (**FAO, 1995**).

6.6.3. Conservation des yaourts**6.6.3.1. Conditions et durée légale de conservation**

Basé sur le niveau d'hygiène, la qualité microbienne des ingrédients et des matériaux d'emballage, la durée de conservation du yaourt est autour de trois semaines aux conditions de réfrigération. Le yaourt est toujours en danger de dégradation protéolytique par la protéolyse du lait qui peut se produire pendant l'entreposage au froid due à la croissance des bactéries psychrotrophes **(FAO, 1995)**.

Plusieurs techniques sont utilisées pour garder et améliorer la qualité du yaourt à savoir la congélation, l'utilisation du gaz, l'addition des préservateurs et la stérilisation par la chaleur mais la réfrigération reste toujours la méthode la plus connue pour contrôler l'activité métabolique des ferments et leurs enzymes dans le yaourt au cours du stockage **(Adam et Mass, 1999)**.

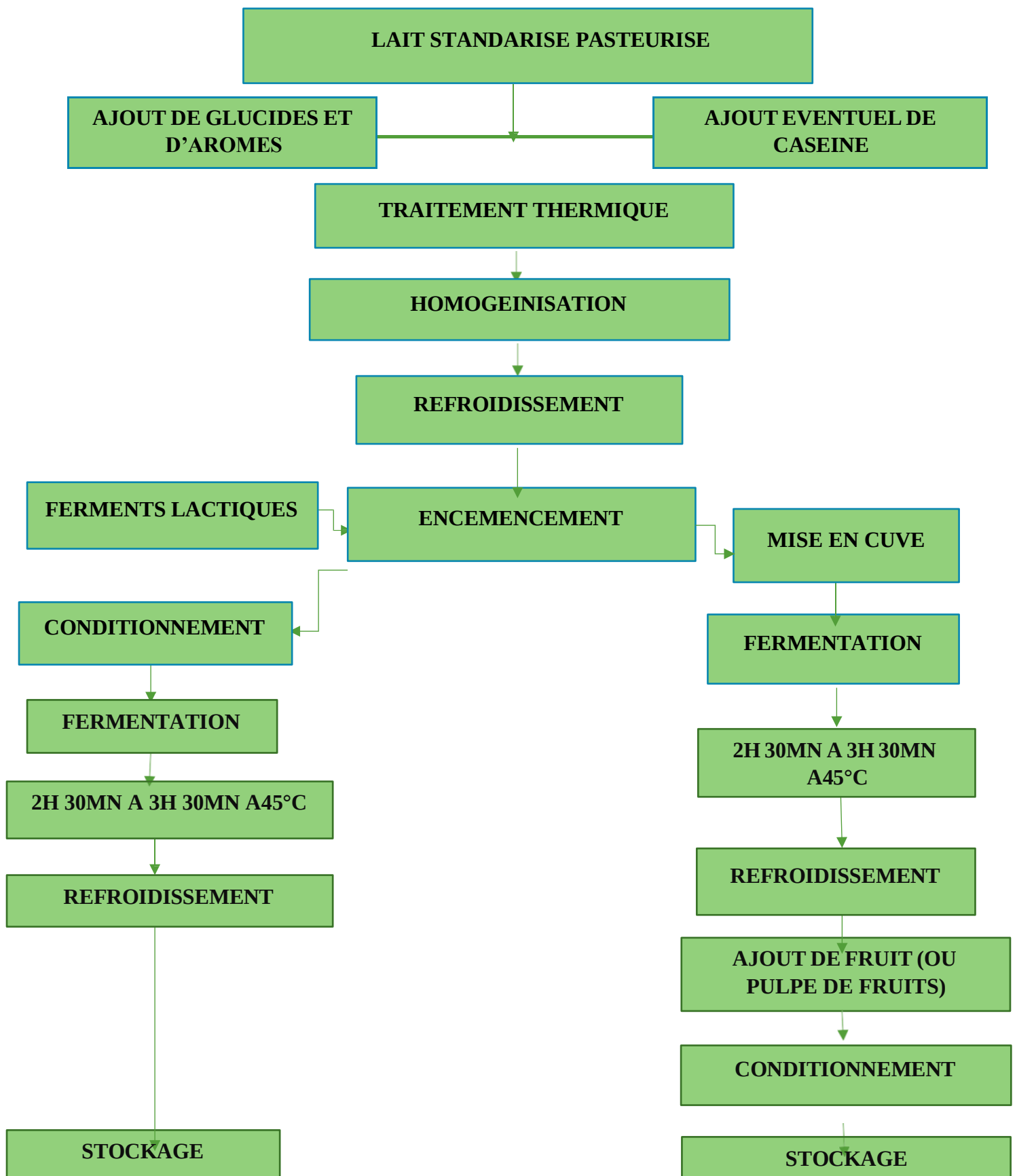


Figure 5 .Diagramme de fabrication du yaourt (Luquet, 1990)

7. Qualité du yaourt au cours de la conservation

Si le maintien de yaourt au froid empêche la multiplication bactérienne, il n'arrête pas complètement son activité métabolique. Le yaourt montre des modifications durant toute la durée de conservation, ce qui altère sa qualité (**Dave et Shah, 1998**).

7.1. Qualité physico-chimique

a. Post-acidification

La post-acidification a un effet négatif sur la qualité du yaourt et diminue la durée de conservation. Elle est étroitement associée à l'activité métabolique persistante des lactobacilles pendant le stockage à 4° C (**Béal et al., 1999**).

Le pH influe la flaveur et la texture finale du produit et reflète donc la qualité du produit final. Si la valeur de post-acidification est très basse, nous aurons un yaourt très acide avec des problèmes de séparation d'eau (synérèse), et si elle est haute, la flaveur sera affectée en raison d'un manque d'acidité (**Tamime et Robinson, 1999**). *Lb. delbrueckii ssp. bulgaricus* et *St. thermophilus* sont responsables de la post-acidification du yaourt pendant le stockage au froid (**Donkor et al., 2006**).

b. Synérèse

La synérèse ou la séparation spontanée du petit lait sur la surface du yaourt est considérée comme un défaut. Ce problème peut être réduit ou éliminé par l'augmentation du niveau des solides du lait à 15% (**Shah, 2003**).

c. Viscosité

La viscosité du yaourt diminue progressivement pendant le stockage. Cette diminution est due à l'augmentation du temps de stockage (**Shakeel Hanif et al., 2012**). Elle se change en fonction de ferment utilisé grâce à leurs protéases ce qui implique le rôle des micro-organismes en affectant la viscosité de yaourt (**Olivera et al., 1996**).

7.2. Qualité microbiologique

La qualité microbiologique du lait et les produits laitiers est influencée par la flore initiale du lait cru, les conditions de la transformation, et la contamination après le traitement thermique. Les microorganismes les plus souvent évoqués sont les psychrotrophes Gram négatives, les coliformes, les levures et les moisissures. En outre, diverses bactéries telle que *Salmonella sp.*, *Listeria monocytogenes*, *Campylobacter jejuni*, *Yersinia enterocolitica*, les souches pathogènes d' *E. coli* et les souches entéro- toxinogènes de *Staphylococcus aureus* peuvent également être trouvées en lait et produits laitiers Actuellement, la maîtrise de ces

bactéries pathogènes nécessite la mise en place d'un système de contrôle et de surveillance rigoureux **(Roginski et al., 2003)**.

La viabilité des bactéries lactiques constitue le plus important obstacle rencontré au cours de la fabrication, et particulièrement pendant le stockage à cause de leur courte durée de vie dans les produits laitiers fermentés **(Analie et Viljoen, 2001)**. Les principaux facteurs responsables de la perte de viabilité des bactéries lactiques ont été attribués à la diminution du pH du milieu et de l'accumulation des acides organiques en raison de la croissance et de la fermentation **(Sun et Griffiths, 2000)**

7.3. Qualités organoleptiques

a. Fermeté

Le maintien d'une texture et d'une dureté uniformes au cours de la fabrication et pendant toute la période de conservation est le principal objectif dans la production du yaourt. La fermeté du yaourt n'est probablement pas affectée au cours de la conservation **(Shakeel Hanif et al., 2012)**.

b. Arôme

Les composants aromatiques qui contribuent à l'arome finale du yaourt peuvent être divisés en quatre catégories à savoir les acides non volatiles (lactique et pyruvique), les acides volatiles (butyrique et acétique), les composés carbonyliques (l'acétaldéhyde et le diacétyl) et divers autres composés (acides aminés et les produits formés par la dégradation thermique) **(Serra et al., 2009)**.

Le yaourt doit être consommé à environ 10°C, au dessous de cette température, le profil de la flaveur n'est plus apprécié à cause du froid, il est rapporté que tous les composants volatils présent dans le yaourt diminuent au cours du stockage à moins 8°C, au dessus de 10°C le produit perd sa fraîcheur **(Gafaar, 1992)**.

c. Texture

Les différences de texture entre les yaourts sont attribuées au type du lait utilisé et leurs différences compositionnelles **(Shakeel Hanif et al., 2012)**.

En effet, un taux élevé de matière sèche totale augmente la fermeté de gel et réduit le degré de la synérèse **(Mohammeed et al., 2004)**

d. Goût

La perte du goût du yaourt est le résultat du développement de l'acidité, l'oxydation de graisse ou la protéolyse des protéines **(Shakeel Hanif et al., 2012)**. Les activités protéolytiques des bactéries lactiques peuvent avoir quelques effets nuisibles sur le lait fermenté. La

production des peptides amers est en grande partie attribuée à la protéolyse par *Lb. delbrueckii ssp bulgaricus* pendant le stockage (**Gürsoy et al., 2010**).

8. Le yaourt et ses biens faits

Lors de la transformation du lait en yaourt, certains avantages apparaissent (**Bronner et Pansu, 1999; Roudant et Lefrancq, 2005; Vierling, 2008**)

- ✓ La caséine est partiellement hydrolysée, ce qui améliore la digestibilité.
- ✓ La production de certaines vitamines du groupe B par les bactéries lactiques, l'apport vitaminique complémentaire pouvant être de 1 à 20%.
- ✓ L'acidité du yaourt favorise l'absorption intestinale du calcium et du fer.
- ✓ Par son pH, l'acide lactique inhibe le développement de germes pathogènes et constitue une protection du yaourt lui-même mais aussi du tube digestif du consommateur.
- ✓ Les bactéries du genre *Lactobacillus* sécrètent du peroxyde d'hydrogène antiseptique pouvant être efficace in vivo.
- ✓ La flore du yaourt exerce un effet bénéfique sur certains mécanismes immunitaires de tube digestive .
- ✓ *Streptococcus thermophilus* peut empêcher l'implantation de certaines bactéries pathogènes dans l'intestin, telles que les salmonelles et les colibacilles.

Certaines vitamines, tel l'acide folique, sont consommés partiellement par les ferments, d'autres sont synthétisées, ces effets étant fonction des souches bactériennes. La teneur en vitamines les plus fragiles, C et B1, est diminuée par le chauffage et la présence d'oxygène, mais le pH acide favorise leur conservation. Toutefois la composition minérale et vitaminique globale des yaourts est légèrement plus élevée que celle du lait du fait de l'enrichissement par le lait sec et de la concentration du lait subie lors du chauffage (**Vierling, 2008**).

9. Valeur Nutritionnelle du yaourt :

La composition nutritionnelle du yaourt est intrinsèquement liée à celle du lait à partir duquel il est produit, laquelle est soumise à l'influence de divers paramètres, notamment les variations génétiques et individuelles des mammifères, leur régime alimentaire, leur stade de lactation, leur âge et des facteurs environnementaux tels que la saison de l'année (**Adolfsson et al., 2004**). Durant le processus de fermentation, le profil nutritionnel du lait subit une série de transformations. Certaines de ces modifications augmentent la qualité nutritionnelle du produit final par rapport au lait initial (**Jeantet et al., 2008**).

La composition nutritionnelle définitive du yaourt est également influencée par les variétés et les souches de bactéries employées lors de la fermentation, par la provenance et la nature des solides laitiers qui peuvent être incorporés avant le processus de fermentation, et par les conditions de température et de durée de ce processus (Adolfsson *et al.*, 2004).

Tableau 5.Composition nutritionnelle du yaourt nature (Lecerf, 2016).

Nature pour 100g				Sucrés aux fruits
	Ecrémé	½ Ecrémé	Entier	
Energie (Kcal)	44	55	76	15 à + 30
Protéines (g)	4,3	3,5	3,9	
Lipides (g)	0,09	1,27	3,31	
Acides gras saturés (g)	0,05	0,82	2,12	
Glucides (g)	5,5	6,7	7,2	+5 à + 6
Calcium (mg)	136	129	136	

9.1. Glucides :

La principale transformation subie par le lait au cours du processus de fermentation est la réduction de sa teneur en lactose, passant de 30 à 20%. En commençant par un lait enrichi à 2% de poudre de lait écrémé, la teneur en lactose résiduel dans le yaourt est d'environ 4,5 g pour 100 g. La dégradation du lactose entraîne la formation de galactose, de glucose et d'acide lactique, passant d'un niveau pratiquement nul à un niveau de 0,8 à 1%, dont 50 à 100% est de l'acide lactique selon les cultures bactériennes utilisées. Les quantités finales de galactose se situent autour de 1 à 1,5%. Les concentrations en glucose et en oligosaccharides sont très faibles (Syndifrais, 1997).

9.2. Protéines :

La teneur en protéines des yaourts commerciaux dépasse généralement celle du lait en raison de l'incorporation de lait sec écrémé pendant les étapes de traitement et de concentration, ce qui accroît la concentration en protéines du produit final. Les caséines et les protéines de

lactosérum présentes dans le yaourt constituent des sources abondantes de tous les acides aminés essentiels, avec une disponibilité intestinale élevée de l'azote signalée à hauteur de 93%. Les protéines du yaourt présentent une qualité biologique excellente, comparable à celle du lait, car la valeur nutritionnelle des protéines laitières est préservée de manière satisfaisante lors du processus de fermentation (**Adolfsson et al., 2004**).

9.3. Lipides :

Les lipides présents dans le lait subissent des transformations biochimiques durant le processus de fermentation, avec libération de faibles quantités d'acides gras libres sous l'action de la lipase. Cependant, il a été observé que le yaourt présente une concentration accrue d'acide linoléique conjugué, un acide gras à longue chaîne (**Adolfsson et al., 2004**). Une hydrolyse des triglycérides est également constatée, mais à un niveau très modéré et sans incidence nutritionnelle observable (**Syndifrais, 1997**).

9.4. Vitamines :

La composition vitaminique du yaourt est principalement déterminée par celle du lait utilisé comme matière première. De plus, cette composition est influencée par les processus de fermentation, qui dépendent également des souches bactériennes employées. Les teneurs en vitamines liposolubles A et D varient en fonction de la teneur de ces vitamines dans le lait de départ, qu'il soit entier ou partiellement écrémé (**Syndifrais, 1997**).

9.5. Minéraux :

Outre son apport significatif en protéines, le yaourt constitue une source remarquable de calcium et de phosphore. En effet, les produits laitiers comme le lait, le yaourt et le fromage fournissent la majeure partie du calcium hautement bio disponible dans l'alimentation. Du fait d'un pH plus bas dans le yaourt par rapport au lait, le calcium et le magnésium sont principalement présents sous forme ionique dans le yaourt (**Adolfsson et al., 2004**).

Chapitre 03 :

La spiruline

1. Historique :

Les biologistes estiment que la spiruline fait son apparition il y a environ 3,5 milliards d'années, en tant que l'un des premiers « végétaux » sur terre. **(Panigua et al.,2007).**

En 1492, Christophe Colomb découvre au Mexique ce qu'il croit être une algue, notant dans son carnet de bord la découverte de petites galettes vertes séchées, qu'il nomme "potion magique". **(Fox.1986)**, La spiruline était la principale source de nourriture des Aztèques au Mexique jusqu'à l'arrivée des espagnols au XVI^e siècle. Ils la récoltaient sous le nom de 'tecuitalt' autour du lac texcoco. **(Fox, 1996).**

Après sa découverte au Tchad en 1940, la spiruline a suscité un regain d'intérêt chez les scientifiques à partir de 1946, notamment en raison de ses pratiques anciennes et de ses propriétés nutritionnelles économiques. **(Jourdan, 1999).**

Depuis les années 80, de nombreux chercheurs du monde entier ont mené plusieurs dizaines d'études scientifiques sur la spiruline, mais nous sommes encore loin de comprendre tous les avantages potentiels d'une consommation quotidienne de ce superaliment. **(Girardin-Andéréani,2011).**

2. Définition :

La spiruline, également connue sous nom d'Arthrospira, est une forme de cyanobactérie considérée comme une nourriture, elle est classée parmi les microalgues en raison de ses cellules en filaments enroulés en spirale. **(Karleskind,2018).**

La plupart des spirulines se développent dans des eaux chaudes, alcalines, riches en minéraux, carbonates et bicarbonates typiques des régions tropicales et subtropicales, avec des niveaux relativement élevés de pH et de salinité. **(Scheldeman et al.,1999).**

Pour les raisons suivantes, la spiruline à long temps a été comptée parmi les « cyanobactéries » :

- Sa forme algale,
- Sa couleur est liée à la teneur en pigments bleu (phycocyanine) et vert (chlorophylle) **(Roger,2006).**

3. Morphologie :

D'après **CHARPY et al., (2008)**, la spiruline est une cyanobactérie microscopique d'une longueur moyenne d'environ 250µm, ses filaments mobiles, d'un diamètre de 10 à 12µm, ne sont pas ramifiés et sont enroulés en spirale, généralement en 6 ou 7 spires. Cette structure hélicoïdale lui confère l'apparence d'un minuscule ressort, d'où son nom de spiruline. **(GEILTER, 1932)**. Cependant les spirulines présentent différentes formes. On trouve des formes droites, ondulées et parfois spiralée classiques. Cette particularité est en relation directe avec les conditions écologique rencontrées dans leur habitat.

En d'autres termes, la spiruline se compose de cellules transparentes alignées pour former des filaments ou des trichomes. Ces trichomes s'enroulent dans le sens des aiguilles d'une montre lorsqu'on observe la spirale de dessus, bien que des facteurs environnementaux comme la température puissent affecter cette orientation. **(Muhling et al.,2003)**.

Cette morphologie lui permet de naviguer dans l'eau en imitant le mouvement d'une vis. La spiruline tire ses couleurs hydrosolubles a ainsi que de pigments hydrosolubles tels que les phycobilines rouge (phycoérythrine) et bleu (phycocyanine), ainsi que des caroténoïdes (bêta-carotène, cryptoxanthine). **(Pierlovisi,2007)**.

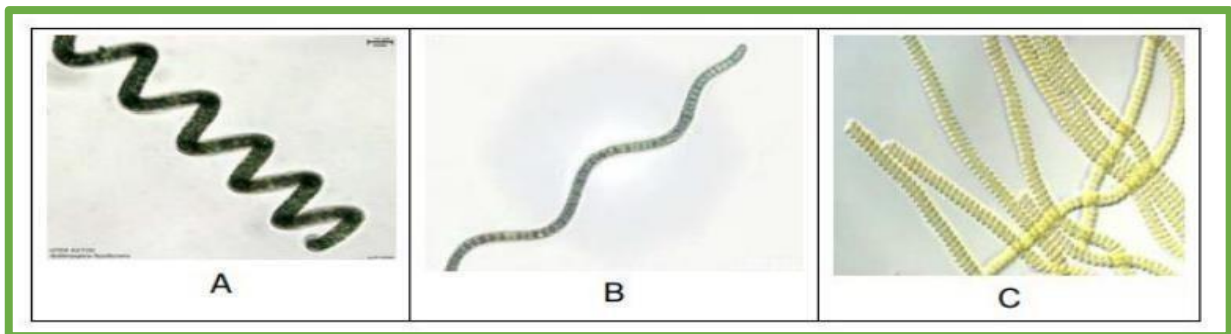


Figure 6.(Goulamabasse, 2018)

4. Taxonomique :

Plusieurs auteurs ont étudié la classification systématique de la spiruline, la considérant initialement comme une algue, mais finalement acceptant et adoptant son statut de cyanobactérie, comme mentionné dans « Bergey's Manual et Déterminative Bactériologie » **(Goulambasse,2018)**

IL existe à jour 200 genres et environ 1500 espèces de cyanobactéries connues, étant très difficiles à détecter. IL en reste sans doute encore beaucoup à découvrir **(Cruchot,2008)**.

On la classe selon Ripley Fox (1999) dans :

- Règne** : Monera
- sous règne** : Prokaryota phylum Cyanobactéria
- classe** : Cyanophyceae
- ordre** : Nostacales
- Famille** : Oscillatoriceae
- Genre** : *Arthrospira*
- Espèce** : *Arthrospira platenis*

5. Cycle biologique de reproduction :

A maturité, la spiruline se reproduit de manière asexuée par un processus de fragmentation. Les trichomes, qui sont les unités cellulaires de la spiruline, forment des structures spéciales appelées nécridies. Ces nécridies agissent comme des disques de séparation, permettant la division des trichomes en plusieurs parties, formant ainsi de nouveaux filaments appelés *Hormogonies*, composés de 2 à 4 cellules chacun, les cellules d'hormogonie subissent des processus d'agrandissement et de maturation, chaque individu va donner deux par scissiparité, qui lui sont identiques génétiquement et plus ou moins morphologiquement. (Théodore, 2017).

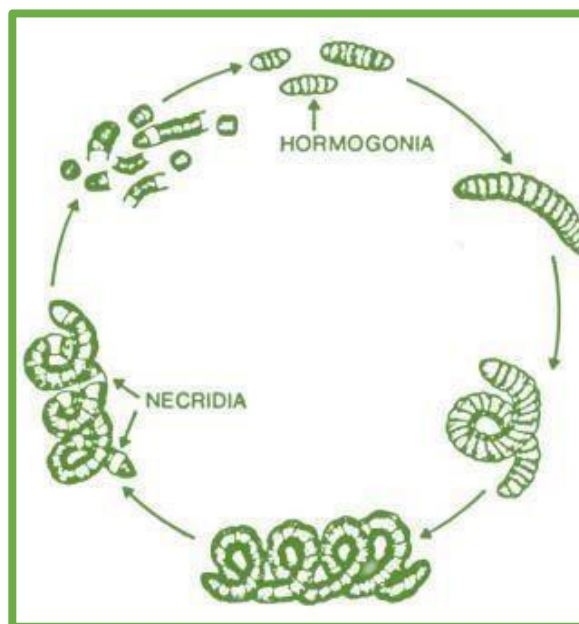


Figure 7. Cycle de vie de la spiruline (Ciferri, 1983).

6. La culture de la spiruline :

La culture de la spiruline se déroule à diverses échelles, allant de l'artisanat à l'industrie. Les différences entre ces modes résident dans la taille des bassins, les équipements utilisés, le niveau de technologie et les objectives. Les étapes de production de la spiruline, décrites ci-dessous selon les méthodes artisanales, suivent un processus obligatoire.

6.1 Conditions physico-chimiques de croissance :

Selon **CARPY (2008)**, la spiruline se développe de manière optimale dans des conditions comprenant une température 38°C et 40°C, une forte densité de population, une exposition généreuse au soleil, un PH compris entre 8.5 et 11.5, un apport adéquat en éléments nutritifs essentiels (dont la carence de l'un d'eux entrave la croissance), et un brassage adéquat de l'eau.

Selon fox (1999) :

- Une intensité lumineuse élevée sans agitation conduit à la photolyse des micro-organismes.
- Une forte intensité lumineuse conjuguée avec une forte agitation donne la croissance optimale, tous les filaments reçoivent des charges de lumière
- fréquentes et sont ensuite rapidement protégés d'une exposition trop longue par les autres filaments.
- En lumière et agitation faibles, la croissance est lente, mais la pigmentation plus marquée ; c'est-à-dire que la couleur est d'un vert plus foncé et le bleu de la phycocyanine apparait.

6.2 Les étapes de la culture :

6.2.1 Les bassins de culture :

Selon **CHARY (2008)**, les bassins peuvent être construits en dur, en argile, en bâche plastique ; actuellement la taille minimum recommandée pour un bassin est de 60m². Les bassins sont remplis d'eau à un niveau atteignant 15 à 20 cm.

6.2.2 L'agitation :

Il est nécessaire d'agiter suffisamment la culture pour que les filaments individuels ne restent pas plus de trente secondes à la surface exposée au soleil, tout en plongeant et remontant fréquemment.

Les roues à aubes sont les systèmes d'agitation les plus couramment utilisées, leur objectif est de remuer l'eau, et non de créer un dénivellement contrairement à ce que l'on croit généralement. **(Fox,1999)**

La filtration du milieu de culture concentré (Secchi < 3 cm) est réalisée à l'aide de deux filtres de maillages différents. Dans un premier temps, un filet de 200 µm de maillage est utilisé pour éliminer les impuretés telles que les insectes et les grumeaux. Ensuite, un second filet de 30 µm est employé pour récolter la spiruline. Ce dispositif de récolte est monté sur un cadre en bois équipé d'un tamis moustiquaire. **(Vololonaivalona,2008).**

6.2.3 Essorage et presse :

Selon **Vololonaivalona (2008)**, l'essorage consiste à éliminer une partie de l'eau de la spiruline récoltée en suivant les étapes suivantes :

- Tout d'abord, la pâte, plus ou moins molle, est transférée dans une toile au maillage de 50µm.
- Le technicien, portant des gants stériles, presse la pâte à travers la toile pour éliminer l'eau.
- La pâte est ensuite à nouveau transférée dans une toile similaire, qui sera enveloppée d'un tissu écru.
- Le paquet ainsi formé est mis sous presse, le temps de pressage est compris entre 15 et 20mn.
- En finale biomasse pressée est ensuite pesée à l'aide d'une balance électronique pour évaluer par la suite le taux de dessiccation du produit.

6.2.4 Séchage et conditionnement :

Le séchage demeure le procédé de conservation le plus couramment employé pour la spiruline. En termes de qualité nutritionnelle et de préservation, il paraît préférable d'opter pour des méthodes de séchage en couche mince avec un flux d'air à température modérée. **(Flaquet et Hurni,2008)**. Ces méthodes, initialement développées par de petits producteurs artisanaux, sont désormais adoptées par certains producteurs industriels. Elles consistent à extruder une pâte de spiruline en filaments d'environ 2 mm de diamètre, lesquels sont déposés sur les grilles d'un séchoir.

Une fois secs, ces filaments sont grossièrement broyés pour obtenir un produit en semoule de finesse variable. Réhydratée, cette spiruline révèle sous le microscope des filaments

multicellulaires presque intacts. On a observé une forte différence dans la conservation du bêta-carotène de la spiruline en fonction du type de séchage utilisé. (Seshadri,1991)

7. Aspect nutritionnel :

Sans paroi cellulosique, la spiruline est entièrement digeste, qu'elle soit crue ou simplement séchée. Ce sont principalement sa teneur impressionnante en protéines et sa rapidité de croissance dans des environnements exclusivement minéraux qui ont captivé l'intérêt des chercheurs. (Flaquet, 1996).

Tableau 6. Le rôle et la tenue de composition nutritionnel dans la spiruline

Composition nutritionnelle		Composition pour 100g	Rôle
Protéine (végétale)		55 à 70%	Construction des corps
Glucide		15 à 25%	Apporte de l'énergie à l'organisme
Lipide		4 à 7%	Réserver énergétique fabrication hormones, bon fonctionnement de l'organisme
Vitamine	B1	30%	Participe à l'équilibre du système nerveux, des muscles et du cerveau
	B2	30%	Lutte contre le vieillissement de la peau, rides, lésions oculaires
	B6	4%	Facilite la digestion et l'assimilation des aliments, stimule le système immunitaire

	B12	1000%	Fatigue, circulation, croissance.
--	------------	-------	-----------------------------------

7.1 Sels minéraux et oligo-éléments :

Tableau 7.le rôle et la tenure de composition minéraux dans la spiruline

Composition minérale	Composition pour 100g	%	Rôle
Calcium	100mg	10%	Nécessaire à la formation des os et des dents, à la croissance et à la coagulation du sang, aux transmissions nerveuses, à la croissance et aux contractions musculaires
Fer	18mg	100%	Essentiel à la formation de l'hémoglobine et au Transport de l'oxygène dans le sang. Il accroît la Résistance à la fatigue, aux infections et au Stress
Magnésium	40mg	20%	Très important dans le

			fonctionnement des Cellules, de l'influx nerveux, à la contraction et Au développement des muscles, à la formation Des anticorps
Phosphore	80mg	8%	Stimule la croissance et la mémoire
Potassium	140mg	5%	Rôle essentiel dans la perméabilité des Membranes Des cellules. Il régularise le rythme cardiaque et La tension artérielle, améliore les facultés Mentales et oxygène le cerveau

8. Intérêt et utilisation :

La spiruline est considérée comme un superaliment. En effet, cette microalgue est extrêmement riche en protéines, en fer, en bêta-carotène (30 fois plus que la carotte), ainsi qu'en vitamines, minéraux et oligoéléments. De plus en plus de gouvernements s'intéressent à cette algue pour lutter contre la malnutrition dans le monde, et les chercheurs sont de plus en plus actifs dans les recherches sur les propriétés anticancer de la spiruline. Quoi qu'il en soit, la

spiruline est une algue extrêmement riche et complète, idéale pour les sportifs de haut niveau et les convalescents. **(MR. GINSENG,2012).**

La spiruline est intéressante en tant que source riche en substances antioxydantes et anti-radicaux libres telles que les caroténoïdes, les polyphénols, les vitamines, les acides gras et les acides aminés. Elle est recommandée comme complément alimentaire pour lutter contre la malnutrition et les carences en acides gras essentiels, vitamines, fer et iode. **(Unicef,1996).**

- La spiruline peut être consommé mélanger avec la farine, le miel le sucre....
- Utiliser en cosmétique dans les peau-yeux-cheveux
- Action protectrice sur la peau
- Action protectrice sur les yeux
- Fortifie les angles
- Elle stimule la production de globules rouges et blancs
- Inhibe le virus du sida in-vitro
- Régule les fonctions intestinales et digestives, etc....Elle est recommandée dans les cas de malnutrition, anémies, empoisonnements, xérophtalmie, allergie, hypertensions, ainsi qu'en usages externes pour les maladies.

Partie Expérimentale

Matériel et méthodes

1. Présentation du lieu d'étude : (laiterie Edough)

La production et les analyses physico-chimiques et microbiologiques du yaourt ont été effectuées au niveau du laboratoire de contrôle qualité de la laiterie Edough qui se situe à El-Bouni, wilaya d'Annaba.

La laiterie a été fondée sous le slogan de (L'ONALAIT). C'est une entreprise agroalimentaire qui dispose d'un laboratoire d'analyses physico-chimiques et microbiologiques dans le but d'assurer le contrôle de leurs produits depuis la collecte du lait jusqu'au produit fini.



Figure 8. Photo extérieure de la laiterie (photographie originale)

La fabrication du « yaourt » est réalisée au niveau de laboratoire de la laiterie en adoptant un procédé traditionnel, et cela pour deux raisons :

La première, vu que la quantité fabriquée est très petite par rapport à la chaîne de fabrication industrielle, et la deuxième raison, à cause de l'incorporation de la spiruline dans le yaourt.



Figure 9. Photo de laboratoire qualité des produits laitiers (photographie originale)

2. Matériels et méthodes :

2.1 Matériels

2.1.1 Matières premières :

- La spiruline :

La spiruline utilisée, dans ce travail a été sous forme de poudre. Elle a été conditionnée en sachets de 100g.



Figure 10. La poudre de la spiruline (photographie originale)

- Le lait :

Dans cette étude utilisée le lait de vache de la laiterie Edough.

Le lait des vaches qui nous reçoivent dans la laiterie Edough sont de différentes régions de wilaya Annaba et autres wilayas comme Tébessa et Sétif.

2.1.2 Matériels :

Appareillages :

- pH mètre électronique
- Balance de précision
- Bain marie
- Butyromètres de Gerber
- Centrifugeuse de Gerber
- Etuve d'incubation
- Thermo lactodensimètre
- Colonie Counter
- Hôte chimique
- Boîtes pétri stériles
- Thermomètre
- la verrerie : éprouvette, pipettes,
- Spatules, béchers, une coupelle,

Produits chimiques et réactifs :

Pour réaliser les analyses physico-chimiques, nous nous sommes servis de :

- Solution alcoolique de phénol phtaléine comme indicateur de couleur.
- NaOH (soude Dornic)
- Acide sulfurique (H_2SO_4)
- Alcool isoamylique ($C_5H_{12}O$)

Milieux de culture :

Pour réaliser les analyses microbiologiques, nous avons utilisés :

- Gélose nutritive (PCA) : pour le dénombrement de la flore aérobie mésophile totale (FMAT)
- Gélose desoxycholate : pour le dénombrement des coliformes totaux (CT) et coliformes fécaux (CF).
- Gélose pomme de terre : pour le dénombrement des levures et moisissures.
- Giolitti et Cantoni : pour le dénombrement des staphylocoques.

2.2 Méthodes :

2.2.1 Analyse physico-chimiques effectuées sur le lait :

2.2.1.1 Mesure de pH :

Le pH, une mesure courante, évalue la concentration en ions H^+ dans un échantillon, indiquant ainsi son niveau d'acidité ou de basicité, et fournissant des informations sur sa fraîcheur ou sa stabilité. Mesurée par un pH-mètre, cette valeur est déterminée par la différence de potentiel entre une électrode en verre et une électrode de référence immergée dans l'échantillon. (Bénisse et *al*, 2016).

Mode opératoire :

- Remplir un bécher de lait cru.
- Etalonner le PH-mètre à l'aide des deux tampons (pH=7, pH=4).
- Rincer l'eau distillée et sécher puis plonger l'électrode dans le bécher.
- Remuer avec soin et légèrement la sonde et attendre que la lecture se stabilise.
- La valeur du pH et de température s'affiche sur l'écran du ph mètre.



Figure 11. Mesure de PH du lait de vache laiterie (photographie originale)

2.2.1.2 Mesure de l'acidité titrable :

Elle nous renseigne sur l'acidité du lait cru, elle peut être titrée avec la soude (NaOH) dans la présence d'un indicateur coloré (phénolphthaléine).

Mode opératoire :

- Prélever avec une pipette 10ml du lait cru.
- Mettre le lait prélever dans un bécher.
- Ajouter quelque goutte de l'indicateur phénolphthaléine au lait.
- Titrer avec le NaOH jusqu'au virage de couleur (avoir une couleur rose clair).
- L'acidité est exprimée en degré Dornic (°D) et donnée par lecteur direct du volume (ml) de soude versée.

$$\text{Acidité Dornic (°D)} = \text{volume de soude en ml} \times 10$$

2.2.1.3 Mesure de la densité :

La densité du lait est obtenue à l'aide d'un thermo lactodensimètre, elle se fait par une simple lecture sur le trait correspondant au point d'affleurement.

Mode opératoire :

- Remplir l'éprouvette avec l'échantillon du lait.
- Introduire le thermolactodensimètre dans l'éprouvette.
- Après la stabilisation de l'appareil, on lit directement la valeur de la densité sur les graduations de thermolactodensimètre.

2.2.1.4 Mesure de la matière grasse (Méthode de GERBER) :

La technique implique de dissoudre les composants du lait, sauf la matière grasse, en utilisant de l'acide sulfurique et la force centrifuge, et en ajoutant une petite quantité d'alcool isoamyle (1ml). Cela conduit à la séparation de la matière grasse en une couche claire et transparente. **(Norme AFNOR, 1980).**

Mode opératoire :

- Dans un butyromètre, introduire 10ml d'acide sulfurique.

- A l'aide de la pipette, ajouter 11ml de lait sans mouiller et en évitant un mélange prématuré entre 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 retournement successif.
- Centrifuger pendant 5min.

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



Figure 12.la matière grasse de lait cru.(photographie originale)

2.2.1.5 Mesure de l'extrait sec total (EST) :

L'extrait sec du lait est la masse exprimée en pourcentage. Elle est exprimée par la masse sèche du lait.

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

Mode opératoire :

- A ce stade, on pèse la coupelle vide, puis on mesure 10ml du lait et on le met dans la coupelle qui été pesée en premier lieu, puis on le met dans l'étuve à une température de 103°C et on laisse pendant 5 heures.

- Une fois le temps écoulé, on le fait sortir de l'étuve jusqu'à ce qu'il refroidisse et nous répétons la pesée.

2.2.2 Analyses microbiologie de lait :

Les analyses sont effectuées, selon les techniques décrites par le journal officiel de la république algérienne (normes algériennes du ministère de commerce). (**Journal officiel, 2017**)

Le but de ces analyses est la détection et le dénombrement des microorganismes d'altération (flores mésophiles, coliformes, levures, moisissures) et les microorganismes pathogènes (*staphylocoques*).

Les analyses effectuées ont porté sur les flores microbiennes suivantes :

- La flore aérobie mésophile totale (FMAT).
- Les coliformes fécaux (CF) et totaux (CT).

2.2.2.1 Préparation de la solution mère et de la dilution décimale :

➤ Suspension mère (première dilution) :

En mélangeant une quantité du produit à analyser (ou de l'échantillon pour essai préparé à partir de ce produit) avec une quantité de diluant égale à neuf (9) fois cette quantité de produit, on obtient une suspension, une solution ou une émulsion. Les particules grossières, si elles existent, sont laissées se déposer. (**Journal officielle, 2017**).

➤ Dilutions décimales :

Le mélange d'un volume mesuré de la suspension mère avec un volume de diluant égal à neuf (9) fois le volume prélevé de la suspension mère est utilisé pour obtenir des suspensions ou des solutions. Cette opération est répétée sur chaque dilution préparée jusqu'à ce que l'on obtienne une série de dilutions décimales appropriées pour l'ensemencement des milieux de culture. (**Journal officielle, 2017**).

Mode d'opérateurs :

Toutes les manipulations sont effectuées dans une zone stérile à proximité du bec Bunsen. On utilise une pipette Pasteur stérile pour diluer l'échantillon et on prélève 1 ml de la solution mère (échantillon de lait) à analyser. Ensuite, le mettre dans un tube contenant 9 ml d'eau peptonée tamponnée (EPT), et agiter la suspension

microbienne obtenue (dilution), Prélever ensuite 1ml de ce dernier et effectuer une (dilution). On Répète ces étapes jusqu'à une dilution Tapez une équation ici.

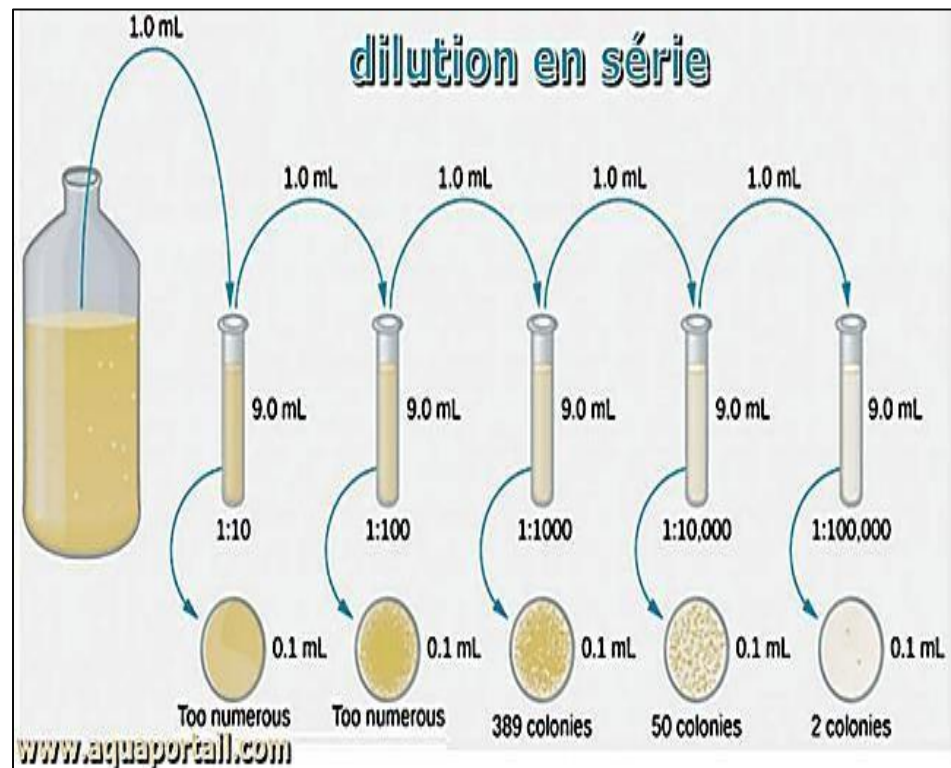


Figure 13 .dilution décimale



Figure 14. Matériel des analyses microbiologique (photographie originale)

2.2.2.2 Recherche et dénombrement de la FMAT (flore aérobie mésophile totale) :

La flore totale aérobie mésophile est un bon indicateur de la qualité générale et de la stabilité des produits ainsi que l'état de propreté des installations.

La flore aérobie mésophile totale se présente sous forme de colonies blanchâtres de tailles et de formes différentes.

Le milieu utilisé : La gélose PCA

Mode opératoire :

Ensemencement de 2 boîtes par dilution. Pour chaque dilution :

Un ensemencement par incorporation dans la masse et en double couche est réalisé soit :

- 1 ml est prélevé et introduit dans une boîte de pétri vide avant l'ajout de 12 ml de gélose PCA.
- L'homogénéisation du contenu de la boîte est réalisée par des mouvements en forme de 8 avant l'ajout final de 8 ml de milieu de culture.
- **Incubation :** Une fois solidifiées, les boîtes sont ensuite incubées entre 24 et 72h à 30°C.
- **Lecture des résultats :**



Figure 15. Dénombrement de la FMAT (photographie originale)

2.2.2.3 Recherche et dénombrement des coliformes :

Les coliformes sont des germes de contamination fécale. Ils vivent normalement dans l'intestin de l'homme et des animaux. Les coliformes se caractérisent par leur aptitude

de fermenter le lactose avec production de gaz d'où l'utilisation pour leur recherche des milieux contenant du lactose notre travail est basée uniquement sur milieu solide

Le milieu utilisé : La gélose DCL

 Technique :

- Introduire 1 ml du lait de chaque dilution de lait sur le fond des boîtes de pétri
- Couler environ de 12 ml de gélose de Désoxycholate DCL dans chaque boîte de pétri
- Homogénéiser le contenu des boîtes
- Incuber les boîtes à 37 °C pendant 24 heures pour la recherche des coliformes totaux.
- Incuber les boîtes à 44°C pendant 24 heures pour la recherche des coliformes fécaux.



Figure 16. Ensemencement (photographie originale)

- **Lecture :**
 - Les colonies apparaissent rouge foncé de 0.5 mm de diamètre
 - On compte le nombre de colonies et on ramène au nombre de germes par ml en tenant compte de la dilution



Figure 17. Dénombrement des coliformes (photographie originale)

2.2.2.4 Recherche et dénombrement des Staphylocoques :

- **Domaine d'application :**

Ce mode opératoire s'applique pour les produits fabriqués par l'entreprise :

- Lait pasteurisé conditionné
- Lait acidifié
- Camembert
- Crème pasteurisée

- **Technique D'analyse :**

-On utilise le milieu de Giolitti /Contons, ce milieu est utilisé plus particulièrement pour l'analyse des laits et des produits laitiers

-Introduire 19ml de Giolitti/Contons puis ajouter 10 gouttes de solution stérile de tellurite de Potassium à 1%

-Inoculer 1ml du produit à analyser

-Après ensemencement et homogénéisation, verser soigneusement dans chaque tube sur une hauteur de 2 à 3 cm de paraffine

-Mettre les tubes en incubation à 37°C pendant 24 heures

- **Lecture :**

La culture de staphylocoques est indiquée par la formation d'un précipité noir ou le noircissement total du tube

Il est toutefois nécessaire de confirmer la présence de staphylocoques par culture sur milieu gélose (milieu de Chapman)

Les lectures de la réaction doivent être effectuées toutes les heures, au pendant les 5 premières heures ; les staphylocoques pathogènes entraînent la coagulation du plasma en un temps variant d'une demi-heure à 24 heures ;

2.2.2.5 Les analyses microbiologiques de la spiruline :

Les investigations microbiologiques de la spiruline englobent une série de procédures et d'observations effectuées pour détecter et quantifier les micro-organismes présents dans cette micro-algue. Ces analyses revêtent une importance cruciale dans l'assurance de la salubrité, de la qualité et de la conformité aux réglementations des produits contenant de la spiruline.

Les principales études microbiologiques réalisées sur la spiruline incluent :

- Dénombrement des levures et des moisissures
- La détection des bactéries mésophiles

2.2.2.6 La détection de levures et moisissures :

La spiruline, un micro-organisme photosynthétique appartenant à la classe des cyanobactéries, fréquemment exploitée comme complément alimentaire en raison de sa haute teneur en éléments nutritifs, requiert des investigations microbiologiques pour assurer son intégrité et sa qualité. Parmi ces analyses, celles visant à détecter la présence de levures et de moisissures revêtent une importance capitale afin de prévenir toute contamination susceptible de compromettre la santé des consommateurs.

Les étapes typiques pour mener à bien ces analyses sont les suivantes :

- **Méthodologie pour l'Analyse de levures et moisissures dans la Spiruline**

Préparation de l'Échantillon :

Prélever un échantillon représentatif de spiruline sous forme de poudre.

Confectionner une solution mère en solubilisant une masse précise de spiruline dans un volume déterminé de solvant stérile (par exemple, dissoudre 10 g de spiruline dans 90 ml de solution saline stérile).

Dilution de l'Échantillon :

Confectionner des dilutions successives de l'échantillon afin d'obtenir des concentrations adéquates pour les procédures de comptage microbiologique, telles que des dilutions de (10^{-1} , 10^{-2} et 10^{-3}).

Ensemencement :

Déposer une quantité précise (habituellement 1 ml) de chaque dilution sur le milieu de culture composé de gélose glucose et d'extrait de pomme de terre. Appliquer la méthode de double couche ou d'étalement en surface pour distribuer uniformément l'échantillon sur le milieu de culture.

Incubation :

Placer les boîtes de Pétri dans une enceinte d'incubation à une température adéquate (généralement entre 20°C et 25°C) pour une durée déterminée, habituellement de 5 jours.

Lecture chaque 24h.

Lecture des Résultats :

À l'issue de l'incubation, procéder à l'observation des boîtes de Pétri afin de déceler la croissance éventuelle de levures et de moisissures. Effectuer le décompte des colonies présentes sur les boîtes de Pétri et rapporter les résultats en termes d'UFC/g (Unités Formant Colonie par gramme) de spiruline.

2.2.2.7 La détection des bactéries mésophiles :

Les investigations microbiologiques de la spiruline, incluant la détection des bactéries mésophiles, revêtent une importance primordiale pour assurer l'excellence et la sûreté de ce supplément alimentaire prisé. Les bactéries mésophiles, organismes microscopiques prospérant à des températures modérées, habituellement entre 20°C et 45°C, peuvent signaler un défaut de qualité ou une contamination substantielle du produit lorsqu'elles sont présentes en concentration élevée.

- **Méthodologie pour l'Analyse des Bactéries Mésophiles dans la Spiruline**

- ✚ **Préparation de l'Échantillon :**

Mesurer avec précision 10 g de spiruline et les introduire dans un récipient contenant 90 ml d'eau peptonée tamponnée stérile (ou un autre diluant approprié) afin de réaliser une dilution décimale

- ✚ **Préparation des Dilutions :**

Confectionner des dilutions en série décimale (par exemple, 10^{-2} , 10^{-3} , etc.) en transvasant 1 ml de la dilution initiale dans 9 ml de diluant stérile.

- ✚ **Ensemencement :**

Inoculer 1 ml de chaque dilution sélectionnée sur des boîtes de Pétri préalablement préparées avec le milieu de culture PCA. Employer la méthode d'inclusion dans la gélose en versant environ 15-20 ml de PCA maintenu à 45°C dans chaque boîte après l'incorporation de l'échantillon. Assurer une homogénéisation adéquate en effectuant des mouvements circulaires afin de répartir de manière uniforme l'échantillon dans le milieu de culture.

- ✚ **Incubation :**

Placer les boîtes de Pétri dans une enceinte d'incubation réglée à une température comprise entre 30°C et 37°C, pendant une durée de 48 à 72 heures, en les disposant à l'envers afin de prévenir la formation de condensation sur les colonies.

- ✚ **Préparation du Yaourt enrichi à la spiruline :**

La création de yaourt enrichi en spiruline conjugue les propriétés probiotiques inhérentes au yaourt avec les nutriments abondants de la spiruline. Ci-dessous est exposée une procédure détaillée pour élaborer ce produit.

- ✚ **Méthodologie :**

- **Filtration :** Le lait est filtré si requis, utilisant une passoire.
- **Traitement thermique du lait:** Le lait est transféré dans une casserole et chauffé à une température de 85°C sur feu moyen. Cette température est

maintenue pendant environ 20 minutes afin d'éliminer les agents pathogènes potentiels.



Figure 18. Traitement thermique du lait (photographie originale)

- **Refroidissement du lait :**

L'objectif du refroidissement du lait à une température d'environ 45°C c'est pour ne pas détruire les ferments lactiques. On utilise un thermomètre alimentaire pour surveiller et garantir la précision de la température.



Figure 19. Refroidissement du lait (photographie originale)

- **Ensemencement avec Ferments Lactiques :** On ajoute 3.5mg de ferments lactiques pour 1L du lait

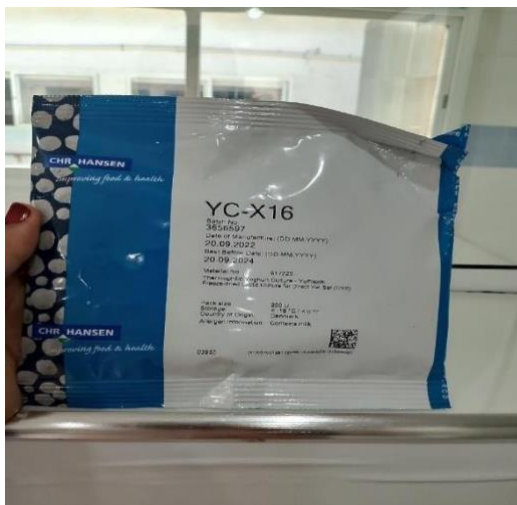


Figure 20. Les ferments lactiques

(Photographie originale)



Figure 21. Mesure 0.0352 g des ferments

(Photographie originale)

Répartition du mélange :

Transférer la préparation dans des contenants en plastique, en y incorporant la spiruline selon les proportions suivantes (0,25 g, 0,5 g, 0,75 g, 1 g), ainsi qu'un échantillon témoin.



Figure 22 .Mesure 0.25 g de spiruline



Figure 23 .Mesure 0.5 g de spiruline



Figure 24 .Mesure 0.75 g de spiruline



Figure 25 .Mesure 0.75 g de spiruline

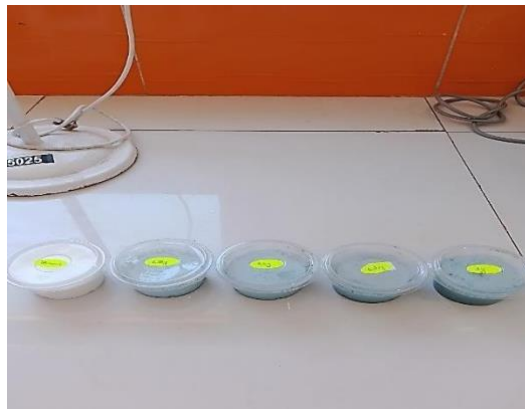


Figure 26. Yaourt à différents concertations de spiruline (photographie originale)

- **Fermentation :**

Les contenants sont disposés dans une étuve et maintenus à une température stable comprise 45°C pendant une durée de 4 heures.



Figure 27 .Fermentation des yaourts enrichis + témoin (photographie originale)

- **Refroidissement :**

Après l'achèvement de la fermentation, les pots sont hermétiquement scellés et transférés immédiatement au réfrigérateur, réglé à une température de 4°C, afin d'interrompre le processus fermentaire



Figure 28. Yaourt obtenu (photographie originale)

2.2.2.8 Les analyses physico-chimiques du Yaourt :

Les analyses physico-chimiques sont indispensables pour évaluer la qualité, la sûreté et la conformité aux normes réglementaires du produit. Ces analyses comprennent la détermination de plusieurs paramètres, tels que le pH et l'acidité titrable.

A. PH :

Le pH joue un rôle Important en tant qu'indicateur de la qualité et de la consistance du produit. Au cours de la fermentation, les sucres du lait, en particulier le lactose, subissent une conversion en acide lactique sous l'action des cultures bactériennes.

Procédure :

- Calibrer le pH-mètre en utilisant les solutions tampons conformément aux instructions du fabricant.
- Prélever un échantillon de yaourt et le placer dans un bécher.
- Insérer l'électrode du pH-mètre dans le yaourt et attendre la stabilisation de la lecture.
- Enregistrer la valeur du pH obtenue.

B. Acidité Titrable :

L'acidité titrable désigne la quantité d'acide lactique générée par la fermentation des bactéries lactiques. Cette mesure est habituellement exprimée en grammes d'acide lactique par litre de yaourt (g/L) ou en pourcentage d'acidité titrable (TA, g/100 ml).

 Procédure :

- Décanter 10 ml de l'échantillon dans un bécher.
- Introduire quelques gouttes de phénolphthaléine.
- Titrer avec la solution de NaOH jusqu'à l'obtention d'une teinte rose permanente.
- Déterminer l'acidité en degrés Dornic (°D) ou en pourcentage d'acide lactique.

2.2.2.9 Les analyses microbiologiques :

Les évaluations microbiologiques sont cruciales pour assurer la qualité et la sécurité du produit. Elles servent à détecter la présence de micro-organismes pathogènes, à évaluer l'hygiène du produit et à confirmer la présence des cultures probiotiques bénéfiques.

2.2.2.10 Détection des Bactéries Mésophiles Totales (Germes Aérobieux Totaux) **Objectif :**

Mesurer la charge microbienne globale afin d'analyser les normes d'hygiène et de production.

 Méthode :**1. Préparation de l'échantillon :**

- Collecter 1 g de l'échantillon et le dissoudre dans 9 ml de diluant stérile (tel que la solution saline peptonée).
- Procéder à des dilutions en série (10^{-1} , 10^{-2} , 10^{-3} , etc.).

2. Ensemencement :

- Inoculer 1 ml de chaque dilution sélectionnée dans des boîtes de Pétri contenant de l'Agar de Numération Standard (PCA).
- Employer la méthode d'incorporation en versant le milieu PCA tempéré (à 45°C) dans les boîtes après l'inoculation.

3. Incubation :

- Incuber les boîtes à 30°C pendant 48 heures.

4. Comptage des Colonies :

- Compter les colonies et exprimer les résultats en UFC/g de yaourt.

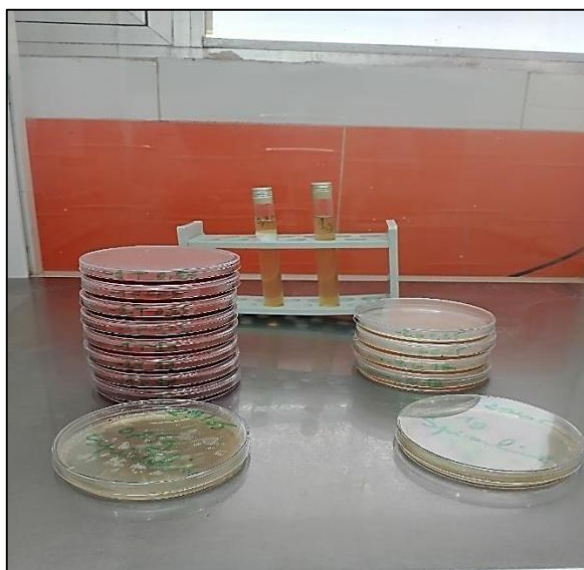


Figure 29. Culture des Germes Aérobie Totaux (photographie originale)

2.2.2.11 Détection des Coliformes Totaux et Fécaux**🔧 Objectif :**

Identifier la présence de coliformes en tant qu'indicateurs de contamination fécale et d'hygiène globale.

🔧 Méthode :**1. Préparation de l'échantillon :**

- Procéder à la préparation de dilutions en série de l'échantillon de yaourt

2. Ensemencement :

- Inoculer 1 ml de chaque dilution sur des boîtes de Petri contenant de l'agar désoxycholate pour la détection des coliformes totaux.

3. Incubation :

- Pour les coliformes totaux : incuber à 37°C pendant 24 heures.
- Pour les coliformes fécaux : incuber à 44°C pendant 48 heures.



Figure 30. Culture des coliformes Totaux et fécaux (photographie originale)

4. Comptage des Colonies :

Quantification des colonies présentant une teinte rouge foncé et encerclées par une précipitation de bile, suivie de la conversion des données en unités formant colonies (UFC) par gramme de yaourt.

2.2.2.12 Détection des Staphylocoques

🔧 Objectif :

Identifier la présence de *Staphylococcus aureus*, un agent pathogène potentiel.

🔧 Méthode :

1. Préparation de l'échantillon :

- Procéder à la préparation de dilutions successives de l'échantillon.

2. Ensemencement :

- Inoculer 1 ml de chaque dilution sur des boîtes de culture contenant du milieu Giolitti-Cantoni.

3. Incubation :

- Procéder à l'incubation à 37°C pendant une période de 24 heures.

4. Identification :

- Examiner les colonies distinctives de *Staphylococcus aureus* : celles présentant une couleur noire brillante entourée d'un halo clair.

5. Confirmation :

- Procéder à des analyses additionnelles telles que le test de coagulase.



Figure 31 . Culture des staphylocoques (photographie originale)

2.2.13 Détection des Levures et Moisissures

Objectif :

Évaluer la présence de levures et de moisissures, des indicateurs de dégradation.

Méthode :

1. Préparation de l'échantillon :

- Effectuer une série de dilutions progressives de l'échantillon de yaourt.

2. Ensemencement :

- Inoculer 0,1 ml de chaque dilution sur des boîtes contenant du PDA (gélose glucose à l'extrait de pomme de terre) acidifié.

3. Incubation :

- Incuber à 25°C pendant 5 à 7 jours.

4. Comptage des Colonies :

- Effectuer le décompte des colonies de levures (de forme ronde, blanches ou crème) et de moisissures (de forme filamenteuse et colorée).
- Les résultats seront exprimés en unités formant colonies par gramme de yaourt (UFC/g).

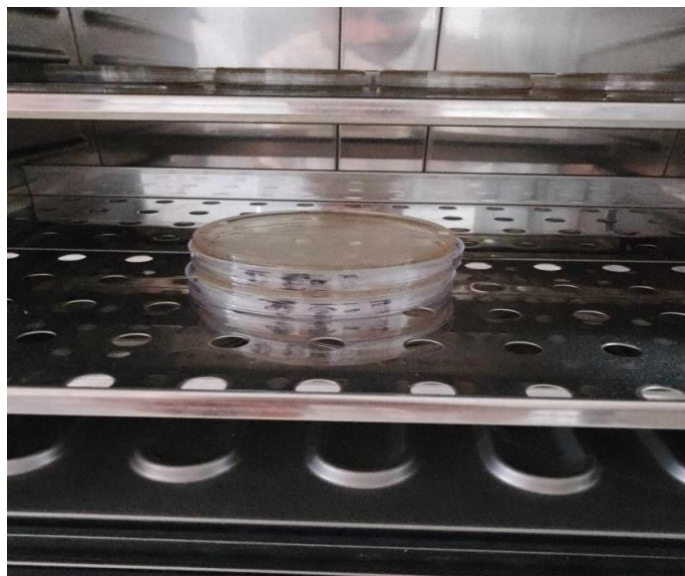


Figure 32. Culture des Levures et Moisissures (photographie originale)

2.2.14 L'étude de la qualité nutritionnelle du yaourt :

- **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**).

- **Dosage des lipides :**

Deux méthodes :

La méthode de **RÖSE GOTTLIEB** Les lipides sont libérés par l'ammoniaque et l'alcool, puis on fait des extractions successives à l'éther sulfurique et ensuite à l'éther de pétrole. On réunit les liqueurs d'extraction, on évapore, on sèche et on pèse. Cette méthode est précise à ± 0.1 mg de matières grasses par litre, mais ne convient que pour le lait liquide normal en bon état de conservation. Si le lait contient des acides gras libres, ceux-ci formant des savons avec l'ammoniaque restent dans la phase aqueuse et échappent aux dosages.

La méthode de **GERBER** consiste, après dissolution des protéines par de l'acide sulfurique et addition d'alcool amylique pour faciliter le rassemblement des matières grasses et centrifugation du mélange, à évaluer le volume de graisse directement dans le tube de centrifuge. Cette méthode qui comporte des causes d'erreur par défaut (perte de matières grasses dans la phase acide) ou par excès (impuretés amyliques et sulfuriques) ainsi que des erreurs dues à la graduation des

butyromètres, semble cependant donner satisfaction dans la pratique si l'on ne veut pas une précision supérieure à $\pm 0,5$ g de M. G. par litre.

- **Dosage du taux de cendres :**

- ❖ **Mode opératoire**

- Peser la capsule séchée et refroidie.
- Introduire 4g du yaourt 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 :

$$\text{Taux de cendres} = (M1 - M0 / M) \times 100$$

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

Résultats

1. Les analyses physico-chimiques du lait :

Les résultats des analyses physico-chimiques du lait sont indiqués dans le tableau ci-dessous :

Tableau 8. Les résultats d'analyses physicochimiques du lait

Caractéristiques	Valeurs :	Normes JORA (1998)
PH (%)	6,64	6,6-6,8
Acidité (°D)	17°D	14 à 18°D
Densité/T (°C)	1030/14°	1028-1034
MG (g/l)	18	30-38g/l
EST (g/l)	---	---

1.1 Le potentiel hydrogène (pH) :

Selon la norme **JORA (1998)**, la valeur de pH enregistrée du lait (6.64) se situe idéalement dans l'intervalle accepté (6.6-6.8).

Selon Alais (1984) dans le cas où le pH est inférieur à 6.5 cela indique une acidification du lait.

D'après Mathieu (1998), le pH évolue avec la composition du lait, une teneur élevée en substances acides : protéines, anions phosphates, citrate ou acides lactiques s'accompagne d'un pH faible.

Le pH et l'acidité dépendent de la teneur en caséine, en sels minéraux, en ions et de la flore microbienne totale et son activité métabolique (**Alais, 1984 ; Mathieu, 1998**).

1.2 L'acidité titrable :

La mesure de l'acidité de lait analysé montre une valeur estimée à 17°D, cette

valeur entre dans la fourchette de tolérance de l'entreprise (14 à 18°C) selon les normes **J.O.R.A (1998)**.

On rappelle que l'acidité titrable est la somme de l'acidité naturelle et de l'acidité développée. Les composants du lait qui contribuent à l'acidité naturelle incluent les phosphates (0,09 %), les caséines (0,05-0,08 %), les autres protéines (0,01 %), les citrates (0,01 %) et le dioxyde de carbone (0,01 %). En plus de cette acidité naturelle, il y a l'acidité développée, qui résulte de la croissance des bactéries lactiques produisant de l'acide lactique par fermentation du lactose. Selon **Kim et al. (1982)**, la poudre de lait écrémé et de lait entier présente une acidité titrable égale à 0,1 %.

1.3 La densité :

La densité de 1030 à 14°C est très proche de la plage de 1028 à 1034 à 15°C. Ce léger écart de température est tolérable, donc le résultat peut être considéré comme conforme.

La densité du lait varie naturellement en fonction de sa teneur en matière sèche et est inversement proportionnelle à son taux de matière grasse. Par conséquent, l'écémage du lait en traîne une augmentation de sa densité (**Luquet, 1985**).

1.4 La matière grasse :

Le résultat de matière grasse du lait est exactement à limite inférieure des normes établie (30-38g/l) dans le **J.O.R.A (1998)**.

Selon **WATTIAUX (2000)**, la matière grasse constitue le composant du lait rapidement modifiable par l'alimentation, une ration riche en concentré qui ne stimulent pas la rumination chez la vache conduit à la production d'un lait pauvre en matière grasse (2 à 2,5%).

1.5 L'extrait sec total (EST) :

Le résultat d'extrait sec de lait (63.75) est inférieur à la norme de **J.O.R.A** au seuil minimum de 115g/l.

Les lipides, les protides, les glucides et les sels minéraux constituent l'extrait sec total. La matière sèche du lait est le produit résultant de la dessiccation du lait par évaporation d'une certaine quantité de lait et pesée du résidu. Elle est exprimée en grammes/litre de lait (**AFNOR, 1980**). L'extrait sec total du lait de vache est de l'ordre de 128 g/l (**Alais, 1984**).

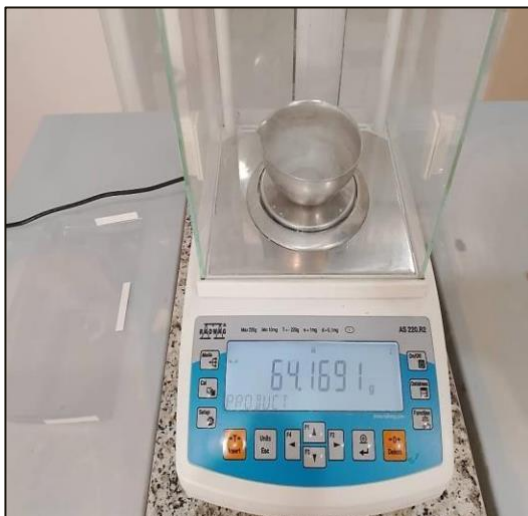


Figure 33. Le poids Avant l'incubation



Figure 34. Le poids après l'incubation

2. Les analyses microbiologiques du lait :

Le tableau montre les résultats des analyses microbiologiques du lait :

Tableau 10. les résultats d'analyses microbiologiques du lait

Les germes	Valeurs (UFC/ml)	Normes J.O.R.A(1998)
Germes aérobies	$2.5.10^3$	$\leq 3.10^4$
Coliformes totaux	00	≤ 01 UFC/ml
Coliformes fécaux	00	Abs
Staphylocoque	Abs	Abs

2.1 Flore aérobie mésophile totale :

Le dénombrement de la **FTAM** reflète la qualité microbiologique générale d'un Produit naturel et permet d'en suivre l'évaluation. Le nombre des germes totaux pourra donner une indication de l'état de fraîcheur ou de décomposition (altération) du produit (**Guiraud et Rosec, 2004**).

Les germes aérobies sont présents avec une valeur ($2.5.10^3$), ce qui n'est pas légèrement au-dessus de la norme J.O.R.A (**1998**).

L'amélioration de l'hygiène de la traite, de la collecte et la conservation rapide au Froid permettraient de réduire la charge microbienne (**FAO, 2004**).

2.2 Coliformes totaux (C.T) :

Les résultats obtenus (l'absence totale des coliformes) sont conformes à la norme indiquée par **JORA (1998)**, cela explique la thermosensibilité des coliformes

D'après **Guiraud (2003)** et **Leray (2004)**, l'absence totale de coliformes indique l'action primordiale exercée par les traitements thermiques subits par les produits analysés d'une part et l'efficacité des opérations de nettoyage appliquées par le NEP (Nettoyage En Place) d'autre part.

2.3 Coliformes fécaux (C.F) :

D'après les résultats obtenus, aucun coliforme n'a été dénombré, ce qui indique que le lait a été préparé dans des conditions hygiéniques satisfaisantes.

Le dénombrement des coliformes dans le lait permet d'évaluer les conditions d'hygiène qui prévalaient lors de la production ou de la transformation de lait. Le dénombrement d'une forte population de coliformes fécaux est synonyme d'une contamination fécale (**Vignola, 2002**).

2.4 Staphylocoque :

La recherche des staphylocoques dans le lait a révélé leur Absence totale (résultat conforme aux normes de **JORA (1998)**).

La recherche des staphylocoques s'effectue pour l'évaluation de la qualité sanitaire des produits alimentaires, plus particulièrement les produits laitiers, la présence de cette espèce peut provoquer des intoxications alimentaires (**Vignola, 2002**).

3. Les analyses microbiologiques de spiruline :

Les analyses réalisées sur la poudre de spiruline utilisée confirment sa conformité aux normes établies en France.

Les résultats des analyses microbiologiques de la spiruline sont représentés dans le tableau :

Tableau 11.les résultats d'analyses microbiologiques de la spiruline

Les germes	Les résultats	Les normes
Les germes aérobies UFC/g	2.4. 10 ²	< 10 ⁷
Levures et moisissures UFC/g	Abs	---

3.1 Les germes aérobies :

Les normes générales pour les germes aérobies dans la spiruline se situent habituellement en dessous de 100 000 UFC/g (unités formant colonies par gramme). Dans votre cas, les résultats de 2 400 UFC/g sont bien en dessous de cette limite, ce qui indique une faible contamination microbienne et donc une bonne qualité microbiologique de votre échantillon de spiruline.

En résumé, les résultats montrent que la qualité microbiologique de votre échantillon de spiruline est satisfaisante, la teneur en germes aérobies étant largement inférieure à la limite réglementaire standard.



Figure 35 . les germes aérobies sur la gélose PCA

3.2 Levures et moisissures :

La détection de levures et moisissures s'est avérée négative dans vos résultats (Absence). C'est un résultat positif, car la présence de ces organismes peut signaler une contamination et compromettre la qualité de la spiruline.

4. Les analyses physico-chimiques du yaourt enrichi à la spiruline :

Tableau 12 .Mesure de Ph et l'acidité du yaourt enrichi a la spiruline

Les doses	Témoin	0.25g	0.5g	0.75g	1g
Ph	4.71	4.41	4.38	4.35	4.32
L'acidité (°D)	71°D	69°D	70°D	72°D	71°D

Le tableau ci-dessus présente les mesures de pH et d'acidité (exprimées en degrés Dornic, °D) de yaourts enrichis à la spiruline à différentes doses : 0.25g, 0.5g, 0.75g, et 1g. Voici une analyse détaillée de ces données :

Le pH est une mesure de l'acidité ou de l'alcalinité d'une solution. Dans le contexte du yaourt, un pH plus bas indique une plus grande acidité.

- Témoin : 4.71
- 0.25g : 4.41
- 0.5g : 4.38
- 0.75g : 4.35
- 1g : 4.32

On observe que l'ajout de spiruline entraîne une légère diminution du pH du yaourt, indiquant une augmentation de l'acidité. Plus la dose de spiruline est élevée, plus le pH diminue. Cela pourrait être dû aux composés acides présents dans la spiruline ou à une interaction entre la spiruline et les composants du yaourt qui favorise la production de substances acides.

L'acidité Dornic est une mesure spécifique de l'acidité dans les produits laitiers, exprimée en degrés Dornic (°D). Une valeur plus élevée indique une plus grande acidité :

- Témoin : 71°D
- 0.25g : 69°D
- 0.5g : 70°D

- 0.75g : 72°D
- 1g : 71°D

Contrairement au pH, l'acidité Dornic ne montre pas une tendance claire en fonction de la dose de spiruline. Les valeurs varient légèrement autour de celle du témoin, sans changement significatif. Cela pourrait indiquer que la spiruline n'a pas un effet majeur sur l'acidité totale mesurée par cette méthode ou que les variations observées sont dans la marge d'erreur de la mesure.

Ces résultats suggèrent que la spiruline influence le pH du yaourt en le rendant plus acide, mais n'a pas un effet significatif sur l'acidité Dornic. Cela pourrait être utile pour ajuster les propriétés organoleptiques et de conservation du yaourt en fonction des besoins.

5. Les analyses microbiologiques du yaourt enrichi à la spiruline :

Tableau 13. Résultats des analyses microbiologiques du yaourt enrichi à la spiruline

	0.25g	0.5g	0.75g	1g	Les normes J.O.R.A
G.A	3. 10 ³	5.2. 10 ³	10 ³	5. 10 ³	≤10 ⁶ UFC/ml
C.T	00	00	00	00	≤ 10 UFC/ml
C.F	00	00	00	00	--
STAPH	—	--	--	--	--
Levures et moisissures	Abs	Abs	Abs	Abs	10 ² UFC/ml

Un tableau des analyses microbiologiques pour différents échantillons du yaourt enrichi à la spiruline. Les quantités de spiruline ajoutées sont de **0,25g, 0,5g, 0,75g** et **1g**. Les résultats sont comparés aux normes de la **J.O.R.A.**

5.1 G.A (Germes Aérobie) :

Les résultats montrent que la charge en germes aérobies est bien en dessous de la norme maximale admise par la **J.O.R.A**, indiquant une bonne qualité microbiologique des yaourts enrichis à la spiruline pour ce paramètre.

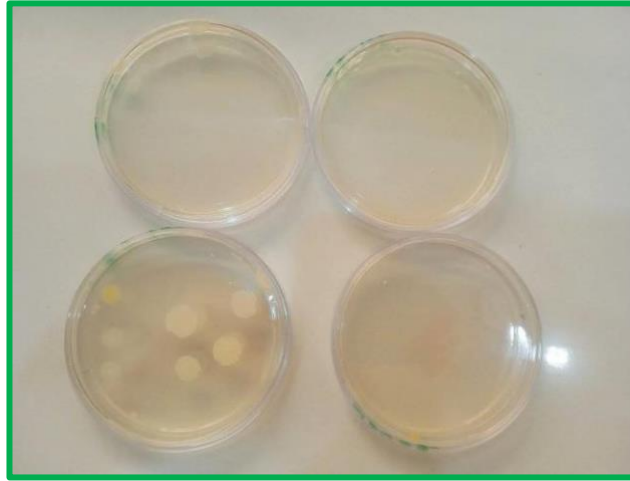


Figure 36 .Germes aérobies

5.2 C.T (coliformes Totaux) :

- Pour toutes les quantités de spiruline ajoutées : 00 (absence de coliformes)
- Norme **J.O.R.A** : ≤ 10 UFC/ml

L'absence de coliformes totaux dans tous les échantillons est un indicateur positif de la qualité sanitaire des yaourts enrichis à la spiruline. Cela montre que les conditions de production et l'ajout de spiruline n'ont pas introduit de contamination par ces bactéries.

5.3 C.F (coliformes Fécaux) :

- Pour toutes les quantités de spiruline ajoutées : 00 (absence de coliformes)
- Norme **J.O.R.A** : Non spécifiée

L'absence de coliformes fécaux renforce encore la sécurité sanitaire des yaourts, indiquant qu'il n'y a pas de contamination fécale.



Figure 37. Coliformes fécaux (C.F)

5.4 STAPH (Staphylocoques) :

- Pour toutes les quantités de spiruline ajoutées : Non détecté
- Norme J.O.R.A : Non spécifiée

L'absence de staphylocoques est un bon signe, car ces bactéries peuvent être pathogènes.



Figure 38. Staphylocoque

5.5 Levures et moisissures :

Aucun échantillon ne présente de Levures et moisissures, ce qui est excellent, car cette bactérie est particulièrement dangereuse pour la santé humaine.

6. Effet de la spiruline sur la qualitee nutritionnelle :

Dose of Spirulina ¹	Titration acidity (°D)	pH	Total solids (%)	Proteins (%)	Lipids (%)	Carbo-hydrates (%)	Ash (%)	Calorie value (Kcal/100g)
0%	79.0	4.61	21.0	3.63	2.56	14.19	0.65	54
0.12%	80.0	4.63	22.1	4.23	2.53	14.64	0.70	80
0.24%	95	4.57	22.9	5.30	2.63	14.17	0.80	99
p _t =0.05 ²	0.042	0.31	<0.01	<0.001	0.18	ND ³	<0.001	ND ³

Figure 39 : Composition des yaourts enrichis de la spiruline

(H. Debbabi et al, 2019)

Selon **H. Debbabi et al, 2019**, les teneurs en protéines et en cendres des yaourts contenant de la spiruline étaient significativement plus élevées que celles des témoins, en raison des caractéristiques biochimiques de la spiruline (riche en protéines 58%). Il n'y avait pas une différence significative dans les teneurs en glucides et en matières grasses car la spiruline n'est pas riche en termes de ces 2 composants (1,5% et 20% respectivement). L'ajout de spiruline a également entraîné une augmentation dans la valeur calorique du yaourt.

Des résultats similaires ont été observés par **Shin et al. (2008)** et **Malik et coll. (2013)** sur les yaourts contenant jusqu'à 0,5% de spiruline.

Conclusion & Perspectives

Les résultats montrent que la plupart des caractéristiques physico-chimiques du lait sont conformes aux normes JORA, à l'exception notable de la teneur en matières grasses qui est inférieure aux standards. Cela pourrait suggérer la nécessité d'une vérification plus approfondie pour comprendre la raison de cette déviation. Dans l'ensemble, le lait semble de bonne qualité d'après les autres paramètres mesurés.

Les analyses microbiologiques de la spiruline montrent que l'échantillon étudié respecte les normes de sécurité microbiologique en vigueur en France. Avec une faible quantité de germes aérobies et l'absence de levures et moisissures, la spiruline analysée présente une bonne qualité microbiologique. Ces résultats soulignent l'importance de réaliser des analyses régulières pour garantir la sécurité et la qualité des produits de spiruline destinés à la consommation.

L'ajout de spiruline au yaourt entraîne une diminution progressive du pH, indiquant une augmentation de l'acidité. Cependant, les variations de l'acidité (°D) sont moins prononcées et ne montrent pas de tendance claire. Cela suggère que la spiruline influence principalement le pH du yaourt plutôt que son acidité totale mesurée en degrés Dornic..

Les yaourts enrichis à la spiruline, à toutes les concentrations testées (0,25g, 0,5g, 0,75g, et 1g), respectent les normes microbiologiques établies par les J.O.R.A. pour les germes aérobies, les coliformes totaux, les coliformes fécaux, les staphylocoques, et les levures et moisissures. Les résultats montrent que ces produits sont sûrs d'un point de vue microbiologique.

Les résultats de l'étude de la qualité nutritionnelle ont montré que l'ajout de la spiruline dans le yaourt a amélioré cette valeur. Dans l'ensemble, *S. platensis* a un effet positif sur les paramètres de qualité des yaourts.

L'incorporation de différentes concentrations de poudre de la spiruline dans les yaourts peut également être considérée comme une "alternative saine" pour produire des produits laitiers fonctionnels.

A noter que le test de toxicité aigüe de la spiruline achetée est nécessaire pour la détermination de la DL50 qui est supérieure à 15000 mg/Kg de P.C

Compte tenu de ça, notre travail reste préliminaire, donc nous proposons comme.
Recommandations et perspectives :

- Elaborer de nouveaux produits avec l'introduction de la spiruline dans des produits Alimentaires comme les yaourts, les fromages, les compotes, les biscuits et les pâtes.
- Faire une étude économique sur le cout de ces produits.
- Encourager la culture de la spiruline.

Références Bibliographiques

- Adam M.R. et Mass M.O., 1999.** Food microbiology. 2nd Edition, Royal Society of Chemistry.
- Adolfsson, O., Meydani, S. N., & Russell, R. M. (2004).** Yogurt and gut function. *The American journal of clinical nutrition*, 80(2), 245-256.
- Akpınar A., Yerlikaya O. et Kiliç S., 2011.** Antimicrobial activity and antibiotic resistance of *Lactobacillus delbrueckii* ssp. *bulgaricus* and *Streptococcus thermophilus* strains isolated from Turkish homemade yoghurts. *African Journal of Microbiology Research*, 5, 675-682.
- Alais.C, Lider.G. Miclo.I 2000 .** biochimie alimentaire, dunnod 5em édition, paris Algérie :5-40-131.
- Amiot J., Fournier S., Lebeuf Y., Paquin P. et Simpson R., 2002.** Composition, propriétés physicochimiques, valeur nutritive, qualité technologique et techniques d'analyse. In: Science et technologie du lait, transformation du lait (Vignola C. L), 2eme Edition, Lavoisier, Paris, France.
- Analie L.H. et Viljoen B.C., 2001.** Review: Yogurt as probiotic carrier food. *International Dairy Journal*, 11, 1-17.
- Antenna Technologies.
- Aslim B., Yuksekdog Z.N., Sarikaya E. et Beyatli Y., 2004.** Determination of the bacteriocin-like substances produced by some lactic acid bacteria isolated from Turkish dairy products. *LWT- Food Science and Technology*, 1, 1-4.
- Atlan D., Béal C., Champonier-Vergès M.C., Chapot-Chartier M.P., Chouayekh H., Coccagn- Bousquet M., Deghorain M.,C et al., 2008.** Métabolisme et ingénierie métabolique. In: Bactéries lactiques de la génétique aux ferments (Corrieu G. et Luquet F.M.). Tec et Doc, Lavoisier, Paris, France.
- Axelsson L., 1998.** "Lactic acid bacteria: classification and physiology" *Lactic Acid Bacteria: Microbiology and Functional Aspects*. 2nd Edition, Marcel Dekker, New York, USA.
- Banon.S, Hardy.J,** chapitre 10 : l'eau dans les produits laitiers dans : l'eau dans les aliments.
- Béal C., Marin M., Fontaine E., Fonseca F. et Obert J.P., 2008.** Production et conservation des ferments lactiques et probiotiques. Tec et Doc, Lavoisier, Paris, France.
- Béal C., Skokanova J., Latrille E., Martin N. et Corrieu G., 1999.** Combined effects of culture conditions and storage time on acidification and viscosity of stirred yogurt. *Journal of Dairy Science*. 82, 673-681.
- Beal.C, Sodini.L ,2003.** Fabrication des yaourts et des laits fermentés.In techniques de l'ingénieur, traité agroalimentaire F6315.p.2-16.

Bongers R.S., Hoefnagel M.H.N. et Kleerebezem M., 2004. High-level acetaldehyde production in *Lactococcus lactis* by metabolic engineering. *Applied and Environmental Microbiology*, 71, 1109-1113.

botanique (en ligne). c 2007.[consulté le : 24/01/2007]. Disponible sur :

Bronner F. et Pansu D., 1999. Nutritional aspects of calcium absorption. *Journal of Nutrition*, 192, 9-12.

CFR.131.3, 200a,b,c,d, 203, 206., 2009, Yogurt, Code of Federal Regulations, Title 21, volume 2, Section 131. US Govt. Print, Office, Washington D.C.

CHARPY L., LANGLADE M- J.et ALLIOD R. (2008) .La Spiruline peut-elle être

CHARPY L., LANGLADE M- J.et ALLIOD R. (2008) .La Spiruline peut-elle être Un atout pour la santé et le développement en Afrique ?.Institut de Recherche pour le Développement UR 167 (CYROCO), p.43.

Chaves A.C.S.D., Fernandez M., Lerayer A.L.S., Mierau I., Kleerebezem M. et Hugenholtz J., 2002. Metabolic engineering of acetaldehyde production by *Streptococcus thermophilus*. *Applied and Environmental Microbiology*, 68, 5656-5662.

Cintas L.M., Casaus M.P., Herranz C., Nes I.F. et Hernández P.E., (2001). Review: Bacteriocins of lactic acid bacteria. *Food Science and Technology*, 7,281-305.

Clark S. et Plotka V.C., 2004. Yoghurt and sour cream: operational procedures and processing equipment. In: *Handbook of food and beverage fermentation technology* (Taylor C.R.C. et Francis G.,) New York, USA.

Composition chimique, intérêts alimentaires et activités biologiques. Pub. Faculté des

Croguennec T., Jeantet R., et Brule G., 2008. Fondements Physicochimiques de la

Dave R. I. et Shah N.P., 1998. Ingredient supplementation effects on viability of probiotic bacteria in yogurt. *Journal of Dairy Science*, 81, 2804-2816.

De composts et des digestats provenant du traitement des déchets organiques. Document Elaboré par Association Suisse des installations de compostage (ASIC) en collaboration avec Le Forum Biogaz Suisse. CH-3322, Schönbühl, pp : 11.

De la qualité du lait dans l'industrie laitière (constats et perspectives). Thèse

De Vuyst L. et Degeest B., 1999. Heteropolysaccharides from lactic acid bacteria. *FEMS Microbiology Review*, 23, 153-177.

De Vuyst L. et Tsakalidou E., 2008. *Streptococcus macedonicus*, a multi- functional and promising species for dairy fermentations. *International Dairy Journal*, 18, 476-485.

- De vuyst L., Zamfir M., Mozzi F., Adariany T., Marshall V., Degeest B. et Veningelgem F., 2003.** Exopolysaccharide producing *Streptococcus thermophilus* strains as functional starter cultures in the production of fermented milks. *International Dairy Journal*, 13, 707-717.
- Développement UR 167 (CYROCO), p.43.
- Doctorat : Microbiologie alimentaire. Université d'Oran 1 (Ahmed Ben Bella).
- Doleyres Y., Schaub L. et Lacroix C., 2005.** Comparaison of the fonctionnality of exopolysaccharides produced in situ or added as bioingredients on yogurt properties, *Journal of Dairy Science*, 88, 4146-4156
- Donkor O.N., Henriksson A., Vasiljevic T. et Shah N.P., 2006.**Effect of acidification on the activity of probiotics in yoghurt during cold storage. *International Dairy Journal*, 16, 1181-1189.
- éclairage et estimation de la biomasse (Doctoral dissertation, Toulouse 3).
- Enel E. S., Atamer M., Gursoy A. et Oztekin F.S., 2011.**Changes in some properties of strained (Suzme) goat's yoghurt during storage. *Small Ruminant Research*, 99, 171-177.
- FALQUET,1996-** spirulina :Aspects nutritionnels,document Antenna technologie Genève
- FAO; 1995.** Le lait et les produits laitiers dans la nutrition humaine. Amazon, Rome, Italie.
- Fox R.D (1986) :** algoculture : la spiruline , un espoir pour le monde de la faim
Edisud.270pages
- Fox R.D, (1996):** Spirulina, production & potential . Aix en Provence : Edisud.
- Fredot E., 2005.** Connaissance des aliments, base alimentaire et nutritionnelles de la diététique. Tec et Doc, Lavoisier, Paris, France.
- FUCHS, J., U. GALLI, K. SCHLEISS, AND A. WELLINGER. 2001 :** Caractéristiques
G., Lait, nutrition et santé, Tec et Doc,
- Gafaar A.M., 1992.** Volatile flavor compounds of yoghurt. *International Journal of Food Science and Technology*, 27, 87-91.
- Gaucheron.F , Legreat.Y, Drang.G 2004** chapitre 1 : quelques définitions et principes de bases de la chimie des ions en solution dans : Minéraux et produits laitiers Édition tec et doc.paris
- 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.

- Gürsoy A., Durlu-Özkaya F., Yildiz F. et Aslim B., 2010.** Set Type Yoghurt Production by Exopolysaccharide Producing Turkish Origin Domestic Strains of *Streptococcus thermophilus* (W22) and *Lactobacillus delbrueckii* ssp. *bulgaricus* (B3). *Kafkas Universitesi Veteriner Fakültesi Dergisi*, 16, 81-86.
- Gürsoy A., Durlu-Özkaya F., Yildiz F. et Aslim B., 2010.** Set Type Yoghurt Production by Exopolysaccharide Producing Turkish Origin Domestic Strains of *Streptococcus thermophilus* (W22) and *Lactobacillus delbrueckii* ssp. *bulgaricus* (B3). *Kafkas Universitesi Veteriner Fakültesi Dergisi*, 16, 81-86.
- Haque A., Richarson R.K. et Morris E.R., 2001.** Effect of fermentation temperature on the rheology of set and stirred yogurt. *Food Hydrocolloids*, 15, 593-602.
- helix orientation in the cyanobacterium *Arthrospira*. *Journal of Phycology*, n°39, pp.
- Iyer R., Tomar S.K., Maheswaria T.U. et Singha R., 2010.** *Streptococcus thermophilus* strains: Multifunctional lactic acid bacteria. *International Dairy Journal*, 20, 133-141.
- J.O.R.A, 1998.** Spécifications microbiologiques de certaines denrées alimentaires. N°35.
- Jeantet R., Croguennec T., Mahaut M., Schuck P. et Brulé G., 2008.** Les produits laitiers. 2^{ème} Edition, Tec et Doc, Lavoisier, Paris, France.
- Jeantet R., Croguennec T., Schuck P. et Brulé G., 2007.** Science des aliments, Technologie des produits alimentaires Vol 2, Tec et Doc, Lavoisier, Paris, France.
- Jeantet, R., Croguennec, T., Mahaut, M., Schuck, P., & Brule, G. (2008).** *Les produits laitiers*.
- Jordan J P, (1999):** Cultivez votre spiruline : manuel de culture artisanal. Publication
- KABIR.A(2015).** Contraintes de la production laitière en Algérie et évaluation
- Karleskind, Brigitte (2018).** Le guide complet de la spiruline. Vergèze : Thierry
- Kuipers O.P., Buist G. et Kok J., 2000.** Current strategies for improving food bacteria. *Research Microbiology*, 151, 815-822.
- Lamontagne M., 2002.** Produits laitiers fermentés: In Science et technologie du lait, transformation du lait (Vignola C. L.). 2^{ème} Edition, Lavoisier, Paris, France.
- Lee W.J. et Lucey J.A., 2010.** Formation and Physical Properties of Yogurt. *Asian-Australasian Journal of Animals Sciences*, 23, 1127-1136.

Leory F., Degeest B. et De Vuyst L., 2002. A novel area of predictive modeling: describing the functionality of beneficial micro-organisms in foods. *International Journal of Food Microbiology*, 73, 251-259.

Ligne].disponible sur : http://oatao.univ-toulouse.fr/181/1/picco_181.PDF

Loones A., 1994. Laits fermentés par les bactéries lactiques. In: *Bactéries lactiques*. Vol 2. (De Roissart, H. et Luquet, F. M.), Loriga, Paris, France.

Lucas A., Sodini I., Monnet C., Jolivet P. et Corrieu G., 2004. Probiotic cell counts and acidification in fermented milks supplemented with milk protein hydrolysates. *International Dairy Journal*, 14, 47-53.

Lucey J.A., 2004. Cultured dairy products: an overview of their gelation and texture properties. *International Journal of Dairy Technology*, 57, 77- 84.

Luquet.F.M 1985. Laits et produits laitiers vache , brebis, chèvre. 2em édition tec et doc Lavoisier.p 3-6

Mahaut M, Jeantet R, Brule G. (2000). Initiation à la technologie fromagère. Paris : Edition

Mahaut M., Jeantet R., Brulé G., Schuck P., 2000. Les produits industriels laitiers. Tec et Doc, Lavoisier, Paris. France.

Marshall V.M. et Rawson H.L., 1999. Effect of exopolysaccharides producing strains of thermophilic lactic acid bacteria on the texture yoghurt. *International Journal of Food Science and Technology*, 34, 137- 143

Martin.M 2000, direction développement technique

Marty-Teyesset C., De la Torre F. et Garel J-R., 2000. Increased production of hydrogen peroxide by *Lactobacillus delbrueckii* spp *bugaricus* upon aeration: involvement. *Applied and Environmental Microbiology*, 66, 262-267.

Mihail A., Georgi K., Emilina S., DoraB. et Petia K.H., 2009. Proto- cooperation factors in yogurt starter cultures. *Revue de Génie Industriel*, 3,4-11.

Mohammeed H.A., Abu-Jdayil B. et Al- Shawabkeh A., 2004. Effect of solid concentration on the rheological properties of Labneh (concentrated yoghurt) produced from sheep milk. *Journal of Food Engineering*, 61, 347- 352

Monnet V., Latrille E., Béal C. et Corrieu G., 2008. Croissance et propriétés fonctionnelles des bactéries lactiques. In: Corrieu G. et Luquet F.M. *Bactéries lactiques de la génétique aux ferments*. Tec et Doc, Lavoisier, Paris, France.

Mozzi F., Raya R.R. et Vignolo G.M., 2010. Biotechnology of lactic acid bacteria: Novel applications. Blackwell. Publishing. Iowa, USA.

- MUHLING M., HARRIS N., BELAY A. et WHITTON B.A. (2003).** Reversal of -Narayanan N., Roychoudhury P. et Srivastava A., 2004. L (+) lactic acid fermentation and its product polymerisation. *Electronic Journal of Biotechnology*, 2, 167-179.
- Ngoufack Z.F., El-Noda A.N., Tchouanguép F.M. et El-Soda M., 2004.** Effect of ropy and capsular exopolysaccharides producing strain of *Lactobacillus plantarum* 162RM on characteristics and functionally of fermented milk and soft Kareish type cheese. *African Journal of Biotechnology*, 3, 512-518.
- Oliveira M.N., Sodini I., Remeuf F. et Corrieu G., 2001.** Effect of milk supplementation and culture composition on acidification, textural properties, and microbiological stability of fermented milks containing probiotic bacteria. *International Dairy Journal*, 11, 939-946.
- Olivera M., Caric M., Bozanic R. et Tratnik L., 1996.** The influence of whey protein concentrates on the viscosity of yogurt, acidophilus and acidophilus yogurt. *Mljekarstvo*, 46, 91-100.
- only two clusters, based on amplified ribosomal DNA restriction analysis of the internally orange.fr/cyanobacteries/pages/Introduction/definition.htm 2006 consulter le 11/04 a 11 :36
- oropeza MA. 1997. Effects of dietary *Spirulina maxima* on endothelium dependent vasomotor responses of rat aortic rings. *Life Sci*: 211-9.
- Ott A., Germond J.E et Chaintreau A., 2000.** Origin of acetaldehyde during milk fermentation using ¹³C-labeled precursors. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 48, 1512-1517.
- Özer B. et Atasoy F., 2002.** Effects of addition of amino acids, treatment with β -galactosidase and use of heat-shocked cultures on the acetaldehyde level in yoghurt. *International Journal Dairy Technology*, 55, 166-170.
- Özer B. et Atasoy F., 2002.** Effects of addition of amino acids, treatment with β -galactosidase and use of heat-shocked cultures on the acetaldehyde level in yoghurt. *International Journal Dairy Technology*, 55, 166-170.
- Panesar P.S., Kennedy J.F., Gandhi D.N. et Bunko K., 2007.** Bioutilization of whey for lactic acid production. *Food chemistry*, 105, 1-14.
- Panigua-Michel J, Dujardin E, Sironval C.** Histoire de spiruline, communication Paredes-Carbajal MC, Torres-Durán PV, Díaz-Zagoya JC, Mascher D and Juárez-
- Parente E. et Cogan T. M., 2004.** Starter cultures: general aspects: In *Cheese: Chemistry, physics and microbiology* (Fox P. F., Sweeney P. L. H., Cogan T. M. et Guinee T. P.), Elsevier Academic Press, San Diego, USA.

- Pelaez, F., 2006. The historical delivery of antibiotics from microbial natural
- Perreau J.m. 2014.** Conduire son troupeau de vaches laitières. Editions France agricole, paris,403p.
- Petry S., Furlana S., Waghornec E., Sanlnierd L., Cerning J. et Maguin E., 2003.** Comparaison of the thickening properties of four *Lactobacillus delbrueckii* subsp *bulgaricus* strains and physicochemical characterization of their exopolysaccharides, *FEMS Microbiology Letter*, 221, 285-291.
- Piard J.C. et Desmazeaud M., 1991.** Inhibiting factors produced by lactic acid bacteria: 1.Oxygen metabolites and catabolism end-products. *Lait*, 71, 525-541.
- PIERLOVISI C. (2007).** L'Homme et la Spiruline: Un avenir commun?
- Pougheon S .et Goursaud J., (2001).**Le lait caractéristiques physicochimiques In DEBRY products. Can history repeat?, *Biochem. Pharmacol*: 977-981.
- Roca-Fernandez A .I.** Animal factors condition milk performance and quality Of grazing dairy cows. *IranianJournal of Applied Animal Science*, 2014.4(1) :1-20.
- Roger, P.A., (2006).** Les cyanobactéries : définition. Disponible sur : <http://pagesperso->
- Romain J, Thomas C, Michel M, Pierre S, Gérard B; 2008.** Les produits laitiers. 2ème édition, TEC&DOC, Lavoisier, Paris,France, p24.
- Romain.J, Thomas.C, Méchel.M, Pierre.S, Gérard.B.,2008.**les produits laitiers.édition Tec et doc, Lavoisier, 2ém édition paris 1-185.
- Roudant H. et Lefrancq E., 2005.** Alimentation théorique. Doin, Paris, France.
- Roudj S., Belkheir K., Zadi-Karam H. et Karam N.E., 2009.** Protéolyse et autolyse chez deux lactobacilles isolés de lait camelin du Sud Ouest Algérien. *European Journal of Science Research*, 34, 218-227.
- Rousseau M., 2005.** La fabrication du yaourt, les connaissances. INRA. 9 pages
- Roussel Y., Pebay M., Guedon G., Simonet J.P. et Decarism B., 1994.**Physical and genetic map of *Streptococcus thermophilus* A054. *Journal of Bacteriology*, 176, 7413-7422.
- Ruas-Madiedo P., Hugenholtz J. et Zoon P., 2001.**An overview of the functionality of exopolysaccharides produced by lactic acid bacteria. *International Dairy Journal*, 12, 163-171.
- Salazar N., Gueimonde M., Hernández-Barranco A. M., Ruas- Madiedo P. et de los Sava N., Plancken I.V.D., Claeys W. et Hendriekx M., 2005.** The kinetics of heat- induce structural changes of B- lactoglobulin. *Journal of Dairy Science*, 88, 1646-1653.

- Sandra, Isabelle, Andrée, Simone, Pougheon, 2001** : contribution a l'étude des Variations de la composition du lait et ses conséquences en technologie laitière [en
- Scheldeman, P., Baurain, D., Bouhy, R., Scott, M., Mühling, M., Whitton, B. A., et Schorsch C., Wilkins D.K., Jones M.J. et Norton I.T., 2001.** Gelation of casein whey mixtures: effect of heating whey proteins alone or in the presence of casein micelles. *Journal of Dairy Research*, 68, 471-481.
- Sciences Pharmaceutiques et Biologiques, Paris V- René Descartes, p.162
- Serra M., Trujillo A. J., Guamis B. et Ferragut V., 2009a.** Evaluation of physical properties during storage of set and stirred yogurts made from ultra-high pressure homogenization treated milk. *Food Hydrocolloids*, 23, 82-91.
- SESSHADRI C.V., UMESH B.V. et MANOHARAN R. (1991).** Beta-carotenestudies in *Spirulina* Society of Applied Algology. International Conference, vol. 38, n°5, pp. 111-113.
- Shah N. P., 2003.** Yogurt: The product and its manufacture. In: *Encyclopedia of Food Science and Nutrition*, Vol. 10, 2nd Edition (Caballero B, Trugo L. C. et Finglas P. M.), Academic Press, London, England
- Shakeel Hanif M., Zahoor T., Iqbal Z., Ihsan-ul-Haq. et Arif A.M., 2012.** Effect of storage on rheological and sensory characteristics of cow and buffalo milk yogurt. *Pakistan Journal of Food Sciences*, 22, 61-70.
- Sinngh Sudheer K., Ahmed Syed U. et Ashok P., 2006.** Yogurt science and technology. 2nd Edition, Cambridge Woodhead Publishing, England.
- Sodini I., Remeuf F., Haddad S. et Corrieu G., 2004.** The relative effect of milk base, starter, and process on yogurt texture: a review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 44, 113-137.
- Sondi I., Remeuf F., Haddad S. et Corrieu G., 2004.** The relative effect of milk base, starter and process on yogurt texture. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 44, 113-137. Soucar éditions, 153 p.
- Soukoulis C., Pangiotidis P., Koureli R. et Tzia C., 2007.** Industrial yogurt manufacture: monitoring fermentation process and final product quality. *Journal of Dairy Science*, 90, 2641-2654.
- Steins, J.N 2008.** dairy products and health : focus on their constituents or on the matrix ? *Int.Dairy.J* 18=425-435

Sun W. et Griffiths M.W., 2000.Survival of bifidobacteria in yogurt and simulated gastric juice following immobilization in gellan-xanthan beads. *International Journal of Food Microbiology*, 61, 17-25.

Syndifrais, M. (1997)- Yaourts, laits fermentes. *Le Lait*, 77(3), 321-358.

Tamime A. Y. and Deeth H. C., 1980. Yogurt: technology and biochemistry. *Journal of Food Protection*, 43, 12, 939-977.

Tamime A. Y. et Robinson R. K., 1999. Yogurt science and technology, 2eme Edition, Cambridge, Woodhead Publishing, England.

TEC & DOC.

Technologie Laitière. Ed. Tec. Et Doc.paris

Teles G.D. et Flores S.H., 2007.The influence of additives on the rheological and sensory properties of nonfat yogurt, *International Journal of Dairy Technology*, 60, 270-277.

Theodore, Z. G. H. C., (2017). Optimisation de la culture de la spiruline en milieu contrôlé:

Thevenard B., 2011. Implication des systèmes à deux composants dans les réponses de *Streptococcus thermophilus* à des changements environnementaux, dont la coculture avec *Lactobacillus bulgaricus*. Thèse de doctorat, 132p.

transcribed spacer. *FEMS microbiology letters*, 172(2), 213-222.

Tufail M., Hussain Sh., Malik F., Mirza T., Parveen Gh., Shafaat Sh., Wajid A., Mahmood R., Channa R.A. et Sadiq A., 2011.Isolation and evaluation of antibacterial activity of bacteriocine produced by *Lactobacillus bulgaricus* from yogurt. *African Journal of Microbiology Research*, 5, 3842-3847.

Turgeon S.L. et Plesces V., 2009. Study of interactions between exopolysaccharides produced by strain *Lactobacillus rhamnosus* RW-9595 M and milk proteins, in 5th international symposium on food rheology and structure; proceeding ISFRS 2009, Zurich, Suisse, 416-419.

un atout pour la santé et le développement en Afrique ?.Institut de Recherche pour le

UNICEF,(1996)- Spiruline contre la mal nutrition Ann, Rep. PP. 49-51

Vaillancourt K., Bedard N., Bart C., Robitaille M. T. G., Turgeon N. et Frenette M., 2008. Role of galk and galM in galactose metabolism by *Streptococcus thermophilus*. *Applied and Environmental Microbiology*, 74, 1264-1267.

- Vaningelgem F., Van der Meulen R., Zamfir M., Adrian T., Laws A.P. et De Vuyst L., 2004a.** Streptococcus thermophilus ST 111 produces a stable high-molecular-mass exopolysaccharide in milk-based medium. International Dairy Journal, 14, 857-864.
- Vierling E., 2008.** Aliments et boissons: filières et produits, 3eme Edition, Doin, Welters Kluwer, France.
- Vierling Elisabeth.,2008** aliments et boissons filiers et produits.Edition Scérén CRDP aquitaine., 3em édition France .25-277
- Vignola C. (2002).** Science et Technologie du Lait Transformation du Lait. Edition Presses Internationales Polytechnique, Canada. Pp. 3-75
- Vignola C.I., 2002.** Science et technologie du lait: transformation du lait. Lavoisier, Paris, France.
- VOLOLONAVALONA B. (2008).** Production artisanale de spiruline (Cas de Spirusud). Colloque international « spiruline et développement ». Pub. Institut Halieutique et des Sciences Marines, Toliara, Madagascar, pp. 87-96.
- Walstra P., Woulters J.T.M. et Geurts T.J., 2006.** Milk components. In: Dairy science and Technology (Taylor C.R.C. et Francis G.), Florida, USA.
- Wattiaux M A 2006** Reproduction et sélection génétique : Détection des chaleurs, saillie naturelle et insémination artificielle. Institut Babcock pour la Recherche et le Développement International du Secteur Laitier Essentiels laitiers (Université du Wisconsin à Madison Institut Babcock), Publication : DE-RG-2-011996-F, 1 – 4 p.
- Wilmotte, A., (1999).** Arthrospira ('Spirulina') strains from four continents are resolved into
- Woolford M.K., 1975.** Microbiological screening of food preservatives, cold sterilants and specific antimicrobial agents as potential silage additives. Journal of Science Food and Agriculture, 26, 229-237.

Annexes



Centrifugeuse



Étuve



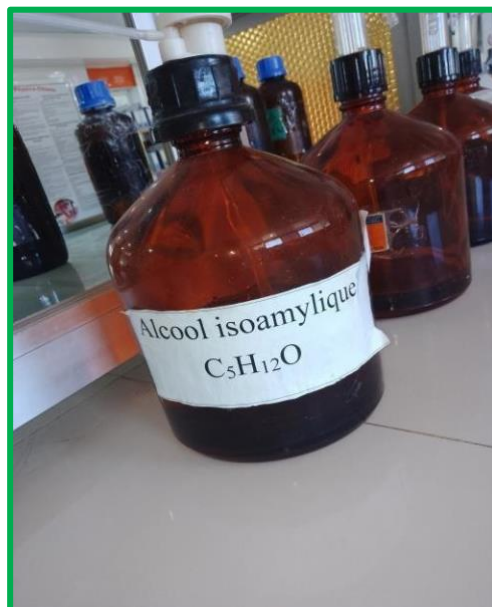
Counter de colonies



Balance des précisions



PH-Mètre



Alcool isoamlique