

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة 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 : Science Agronomique

Spécialité/Option : Production et transformation laitier

Département : Ecologie

Thème

Impact de l'incorporation de spiruline sur la qualité physicochimique
et microbiologique d'un yaourt à base de lait de vache

Présenté par :

- BORDJIBA Zakarya

Devant le jury composé de :

Président :	Dr. A. Slimani	M.C.B	Université de Guelma
Examineur :	Dr. L. Mazroua	M.C.B	Université de Guelma
Encadreur :	Dr. N. Laouabdia Sellami	M.C.B	Université de Guelma
Invité :	Mlle. N. Dendani	M.C.B	Université de Guelma

Juin 2024

Remerciements

En tout premier lieu, nous remercions le bon Dieu tout puissant de nous avoir donné le courage, la volonté et la patience pour accomplir ce modeste travail.

*Nous adressons nos profondes reconnaissances et nos chaleureux remerciements à notre promotrice **Madame dendani nihade et madame Rayan** pour son encouragement, pour l'aide précieux qu'elle nous a donné, pour ses remarques et ses conseils et pour nous avoir accompagnés tout au long de notre travail.*

Je remercie Les membres de jury

Président : Dr. A. Slimani

Examineur : Dr. L. Mazroua

L'encadreur : Mme Laouabdia Sellami

Nous voudrions exprimer nos remerciements à tous les enseignants qui ont contribué à notre formation. Tous ce qui ont contribué de pré ou de loin à la réalisation de ce travail.

Notre profonde gratitude à nos familles et tous nos enseignants qui nous ont formés.

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à :

Mes très chers parents qui m'ont soutenu depuis toujours. C'est grâce à eux que je suis aujourd'hui au stade final de ma formation.

À mes très chers frères : Abdou (nv) et Raouf (bo3ayda)

Je souhaite une très bonne continuité et réussite dans la vie.

À toute ma famille et mes amis

Table des matières

Introduction.....	1
CHAITRE I : lait	
1. Définition du Lait.....	2
2. Composition du lait.....	2
3. Les types de lait.....	4
3.1 Lait entier.....	4
3.2 Lait écrémé.....	4
3.3 Lait demi-écrémé.....	4
3.4 Lait cru.....	5
3.5 Lait pasteurisé.....	5
3.6 Lait UHT (Ultra-High Température)	5
4. Technologies de transformation.....	5
4.1 Pasteurisation du lait.....	5
4.2 Homogénéisation du lait.....	5
4.3 Évaporation et séchage du lait.....	5
5. Caractéristiques du lait cru de vache.....	6
5.1 Caractéristiques physico-chimiques.....	6
5.2 Caractéristiques organoleptiques.....	7
6. La Microbiologie du Lait.....	7
6.1 Flore indigène.....	7
6.2 Flore altération.....	8
6.3 Flore pathogènes.....	8

CHAPITRE II : YAOURT

1. Historique du yaourt	9
2. Définition du yaourt	9
3. Composition du yaourt	10
4. Bactéries spécifiques du yaourt	11
5. Flore d'Altération et Pathogène du Yaourt	13
5.1 Flore d'altération.....	13
5.2 Flore pathogèn.....	14
6. Processus de fabrication du yaourt	14
7. Différents types de yaourt	16
7.1. Yaourt nature.....	16
7.2. Yaourt aromatisé	16
7.3. Yaourt grec	16
7.4. Yaourt à boire (Lassi)	16
7.5. Yaourt probiotique.....	16

CHAPITRE III : SPIRULINE

1. Généralités sur les microalgues.....	17
2. Classification de spiruline.....	18
3. La composition nutritionnelle.....	19
3.1. Protéines.....	19
3.2. Les glucides.....	19
3.3. Lipides.....	20
3.4. Vitamines.....	20
3.5. Minéraux et oligo-éléments	20
3.6. Acides gras essentiels.....	21

3.7. Pigments.....	21
4. Utilisation de spiruline.....	22
5. Activités biologiques de spiruline.....	24
ETUDE EXPERIMENTALE	
Matériels et méthodes.....	28
Résultat et discussion	50
Conclusion.....	58
Liste des références.....	69
Résumé.....	64

Liste des tableaux

Tableau 1 : Caractéristiques physico-chimiques de lait cru de la vache. **Page 07**

Tableau 2 : la composition typique d'un yaourt nature de 150 grammes. **Page 12**

Tableau 3 : Classification Scientifique de la Spiruline. **Page 22**

Tableau 4 : les Minéraux et Oligo-éléments de la spiruline. **Page 23**

Tableau 5 : Valeurs Nutritionnelles pour 100g de poudre de spiruline. **Page 25**

Tableau 6 : Les résultats d'analyses physico-chimiques du lait. **Page 52**

Tableau 7 : Les résultats d'analyses microbiologiques de la spiruline. **Page 53**

Tableau 8 : mesure de ph et l'acidité du yaourt. **Page 54**

Tableau 9 : Les résultats d'analyses microbiologiques du yaourt. **Page 56**

Liste des figures

Figure 1 : Composition nutritionnelle du lait de vache page.....	Page 04
Figure 2 : Streptococcus thermophiles sp4.....	Page 11
Figure 3 : Lactobacillus bulgaricus.....	Page 12
Figure 4 : de la fabrication du yaourt	Page 15
Figure 5 : la spiruline.....	Page 18
Figure 6 : Détermination du pH avec pH-mètre.....	Page 32
Figure 7 : Détermination de la densité.....	Page 33
Figure 8 : Détermination de l'acidité.....	Page 35
Figure 9 : Centrifugeuse.....	Page 37
Figure 10 : l'échantillon sur le butyromètre.....	Page 37
Figure 11 : Mesure du poids des ferment lactique.....	Page 41
Figure 12 : Mesure les doses de la spiruline.....	Page 42
Figure 13 : Fermentation dans l'étuve (42-45°C pendant 4 heures).....	Page 42
Figure 14 : la fabrication du yaourt.....	page 43
Figure 15 : préparation des échantillons pour les analyses.....	Page 46
Figure 16 : Incuber les boîtes à 30°C pendant 48 heures.....	Page 46
Figure 17 : incubation à 37°C pendant 24 heures.....	Page 47
Figure 18 : Incuber à 37°C pendant 24 heures.....	Page 48
Figure 19 : Incuber à 25°C pendant 5 jours.....	Page 49
Figure 20 : les résultats d'analyses microbio.....	Page 57
Figure 21 : les résultats d'analyses microbio.....	Page 57

SYNTHESE BIBLIOGRAPHIE

Introduction

L'alimentation joue un rôle fondamental dans le maintien de la santé et du bien-être humain. Une alimentation équilibrée fournit les nutriments essentiels nécessaires au bon fonctionnement de l'organisme, incluant les macronutriments (protéines, glucides, lipides) et les micronutriments (vitamines, minéraux). Elle contribue non seulement à la prévention des maladies chroniques comme les maladies cardiovasculaires, le diabète et certains cancers, mais elle est aussi essentielle au développement physique et mental, particulièrement chez les enfants et les adolescents. En revanche, une alimentation déséquilibrée peut avoir des effets délétères sur la santé. Les régimes alimentaires riches en sucres, en graisses saturées et en sel, ainsi que pauvres en fibres et en nutriments essentiels, sont associés à une augmentation des risques de maladies métaboliques, d'obésité et de troubles digestifs. De plus, les carences en vitamines et minéraux peuvent entraîner des conditions comme l'anémie, l'ostéoporose et les troubles de la vision (OMS, 2021).

Dans ce contexte, les nouvelles recherches sur les microalgues suscitent un intérêt croissant en raison de leur profil nutritionnel exceptionnel et de leurs bienfaits potentiels pour la santé. Parmi ces microalgues, la spiruline se distingue particulièrement par sa richesse en protéines, vitamines et minéraux. La Spiruline contient environ 60 à 70 % de protéines de haute qualité, surpassant de nombreux aliments d'origine végétale et animale. En outre, elle est une source significative de vitamines, y compris la vitamine B12, rarement présente dans les végétaux, et de minéraux comme le fer, le calcium et le magnésium. Les antioxydants présents dans la spiruline, tels que la phycocyanine, possèdent des propriétés anti-inflammatoires et immunostimulantes reconnues (Smith et Doe, 2022).

L'objectif de ce mémoire est la fabrication du yaourt enrichi à la spiruline. Plus spécifiquement, ce travail vise à l'analyse microbiologique et physico-chimique du yaourt enrichi à la spiruline, devenue primordiale pour garantir non seulement la sécurité alimentaire, mais aussi pour préserver les qualités organoleptiques et nutritionnelles du produit. Cette recherche contribuera à comprendre les avantages potentiels de la spiruline dans l'enrichissement des produits laitiers fermentés, offrant ainsi des options alimentaires saines et innovantes répondant aux attentes des consommateurs.

CHAPITRE I : LE LAIT

1. Définition du lait

Les femelles mammifères ont la capacité de produire un liquide biologique nutritif appelé lait, généralement de couleur blanchâtre. Pour les petits de ces animaux, ce liquide constitue l'unique source d'alimentation durant les premiers stades de leur vie, avant qu'ils ne soient en mesure de digérer d'autres types de nourriture.

Le colostrum, sécrété au tout début de la lactation, se distingue du lait mature par sa couleur jaunâtre et sa composition unique. Riche en anticorps maternels, il joue un rôle crucial dans la protection du nourrisson contre diverses maladies. De plus, il contient tous les nutriments essentiels à sa croissance et à son développement harmonieux. C'est pourquoi il est primordial que le nouveau-né tète le colostrum dans les premières heures suivant sa naissance (**Mazoyer, 2002**).

2. Composition du lait

La matière première principale pour la fabrication des yaourts est le lait, et plus précisément le lait de vache. Son ingrédient de choix pour cette transformation alimentaire est sa composition unique (**Abouteyeb, 2024**).

Effectivement, il contient environ 88% d'eau et 12% de matière sèche (**Tamime et Robinson, 1985**). Cette matière sèche contient une grande quantité de nutriments essentiels pour la fabrication du yaourt.

- **L'eau** : L'eau est le constituant majoritaire du lait, représentant environ 81 à 87% de sa composition. Un demi-litre de lait apporte ainsi 450 ml d'eau, contribuant ainsi significativement à la couverture des besoins hydriques de l'organisme (**OMS, 2007**).
- **Calcium** : Le calcium, un minéral essentiel pour la santé des os et des dents, ainsi que pour la coagulation du sang et la contraction musculaire, est très bien présent dans le lait (**PasseportSanté, 2022**).

- **Protéines** : Deux types de protéines sont présents dans le lait : la caséine (80 %) et les protéines de lactosérum (20 %). Ces protéines offrent une qualité exceptionnelle, offrant tous les acides aminés indispensables à la croissance et à la réparation des tissus corporels (**Walstra et al., 2006**).
- **Lipides** : Les triglycérides sont les principaux lipides du lait, mais ils renferment également des phospholipides et des stérols. Les graisses saturées sont présentes dans le lait, mais il renferme également des acides gras monoinsaturés et polyinsaturés, tels que les acides gras oméga-3 (**Walstra et al., 2006**).
- **Vitamines** : Plusieurs vitamines sont riches dans le lait, telles que la vitamine B12, la riboflavine (B2), la vitamine D et la vitamine A. Ces vitamines ont un rôle essentiel dans le processus de production d'énergie, la santé des os et le maintien des tissus corporels (**McGill, 2013**).
- **Minéraux** : Le calcium est le minéral le plus abondant dans le lait, essentiel pour la formation et le maintien des os et des dents. Le lait fournit également d'autres minéraux importants tels que le phosphore, le potassium, et le magnésium (**Fox et McSweeney, 2006**).
- **Lactose** : Le lait contient principalement du lactose, qui constitue une source d'énergie rapide. Son constituant est le glucose et le galactose (**McSweeney et fox, 2009**).
- **Constituants mineurs** : Le lait, au-delà des nutriments essentiels, renferme un univers fascinant de constituants mineurs qui influencent sa qualité, sa saveur et ses propriétés :
 - **Enzymes** : Catalyseurs invisibles des réactions chimiques naturelles du lait.
 - **Pigments** : Carotènes, xanthophylles et riboflavine donnent la couleur jaune et protègent les cellules.
 - **Cellules diverses** : Épithéliales, leucocytes, bactéries lactiques, levures, moisissures influencent le goût, la texture et la conservation.
 - **Éléments divers** : Gaz dissous, minéraux et métaux complètent la composition (**McGill, 2013**).

La composition nutritionnelle du lait de vache est présentée ci-dessous. Il est important de noter que ces valeurs sont approximatives et peuvent varier en fonction de plusieurs facteurs, tels que

la race de l'animal, son alimentation, son état de santé, la période de lactation et même les conditions de traite. (Abouteyeb. 2024)

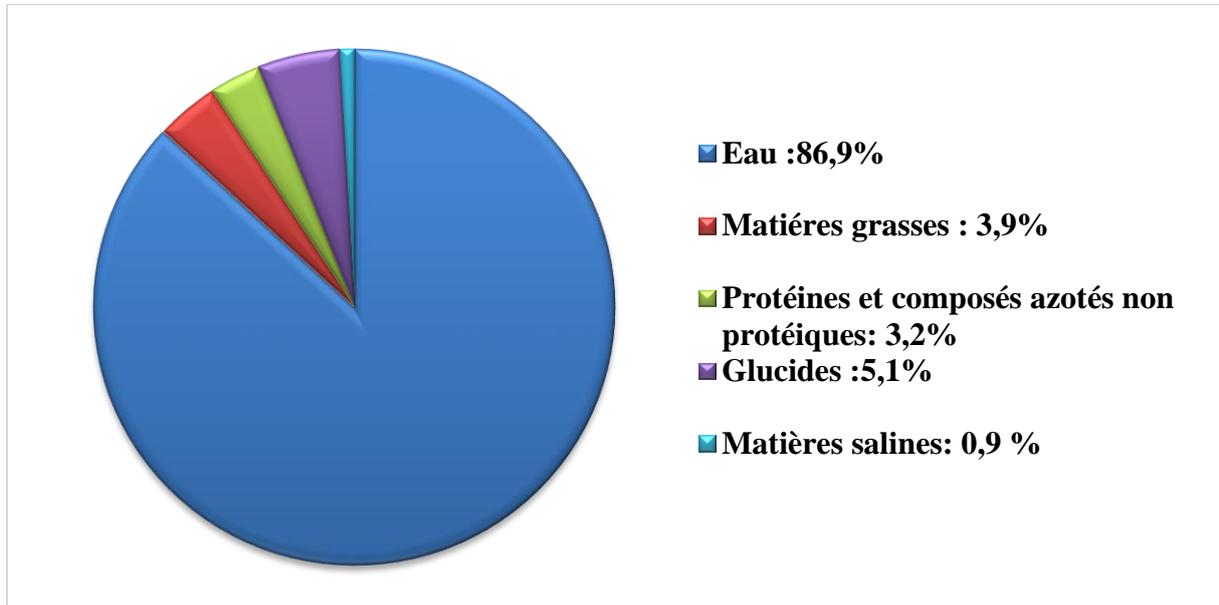


Figure 1 : Composition nutritionnelle du lait de vache (Abouteyeb 2024).

3. Les types de lait

3.1 Lait entier : Le lait entier, contenant environ 3,5 % de matière grasse. Se distingue par sa richesse et sa texture crémeuse. Sa saveur corsée en fait un choix apprécié pour la consommation directe ou pour agrémenter diverses préparations culinaires, des sauces aux pâtisseries (Walstra *et al.*, 2006).

3.2 Lait écrémé : Le lait écrémé, contenant moins de 0,5% de matières grasses, offre une alternative hypocalorique idéale pour ceux qui surveillent leur apport en gras. Obtenu en retirant la majeure partie de la crème du lait entier, il conserve néanmoins ses nutriments essentiels, le rendant ainsi un choix sain et savoureux (Fox et McSweeney, 2006).

3.3 Lait demi-écrémé : Le lait demi-écrémé, avec sa teneur en matières grasses oscillant entre 1,5% et 1,8%, constitue un compromis judicieux entre le lait entier et le lait écrémé. Il offre une texture légèrement onctueuse et une saveur agréable tout en réduisant l'apport calorique (Robinson, 2002).

3.4 Lait cru : Le lait cru désigne le lait non pasteurisé préserve toutes ses bactéries et enzymes naturelles, conférant ainsi une saveur et une texture uniques. Cependant, il est important de noter que sa consommation présente un risque accru de contamination bactérienne (**Robinson, 2002**).

3.5 Lait pasteurisé : Le lait pasteurisé, soumis à un traitement thermique précis, élimine les bactéries nuisibles tout en préservant la valeur nutritionnelle et le goût du lait. Ce procédé permet de garantir sa sécurité et d'en prolonger la durée de conservation (**Robinson, 2002**).

3.6 Lait UHT (Ultra-High Température) : Le lait UHT, ultra-chauffé à de température très élevées (135-150°C) pendant quelques secondes, offre une durée de conservation exceptionnelle sans réfrigération. Ce traitement n'altère ni sa saveur ni ses qualités nutritives, le rendant idéal pour les situations où la réfrigération n'est pas accessible (**Fellows et Worgan, 2004**).

4. Technologies de transformation

4.1 Pasteurisation du lait : La pasteurisation du lait est une méthode thermique qui a pour objectif de diminuer la présence de microorganismes pathogènes et altérants dans le lait, tout en préservant à la fois ses propriétés sensorielles et nutritionnelles. La pasteurisation classique est la méthode de pasteurisation la plus répandue, qui implique de chauffer le lait à une température d'environ 63-72°C pendant 15 à 30 secondes, puis de le refroidir rapidement à une température inférieure à 10°C (**Walstra *et al.*, 2006**).

4.2 Homogénéisation du lait : La mécanique de l'homogénéisation du lait consiste à diminuer la taille des globules gras du lait en les contraignant à traverser de petites ouvertures sous une pression élevée. Cela entraîne une dispersion plus homogène des globules gras dans le lait, ce qui entraîne une émulsion plus stable et empêche la séparation de la crème (**Walstra *et al.*, 2006**).

4.3 Évaporation et séchage du lait : Le processus d'évaporation du lait consiste à éliminer une partie de l'eau présente dans le lait, habituellement par chauffage sous vide. Grâce à cela, les autres éléments du lait tels que les protéines, les lipides et les minéraux se concentrent (**Fuquay et Fox, 2011**).

5. Caractéristiques du lait cru de vache

5.1. Caractéristiques physico-chimiques

Le lait cru de vache possède des caractéristiques physico-chimiques distinctives qui jouent un rôle crucial dans sa qualité, sa conservation et ses utilisations. Voici un aperçu détaillé de ces caractéristiques :

Tableau 1 : Caractéristiques physico-chimiques de lait cru de la vache (Fox et McSweeney, 2006).

Paramètre	Valeur typique	Description
PH	6,6 - 6,8	Indicateur d'acidité, important pour la stabilité et la fermentation.
Densité (g/cm ³)	1,028 - 1,034	Relatif à la concentration des composants du lait.
Point de congélation (°C)	-0,54 à -0,59	Utilisé pour détecter l'ajout d'eau au lait.
Conductivité électrique (ms/cm)	4,3 - 5,0	Dépend de la concentration en sels dissous, utilisée pour évaluer la qualité du lait.
Viscosité (mPa·s)	1,5 - 2,0	Influence la texture et les propriétés de traitement du lait.
Contenu en vitamine A (µg/L)	150 - 500	Vitamine liposoluble essentielle pour la vision et le système immunitaire.
Contenu en vitamine D (µg/L)	0,4 - 0,8	Importante pour l'absorption du calcium et la santé osseuse.
Comptage bactérien total (UFC/ml)	<1000 - 100000	Indicateur de la qualité microbiologique et de la fraîcheur.
Nombre de cellules somatiques (cellules/ml)	<200000 - 400000	Utilisé pour évaluer la santé de la vache et la qualité du lait. Un nombre élevé peut indiquer une infection.

5.2. Caractéristiques organoleptiques

Il est très difficile de juger de la qualité du lait en se basant sur son goût et son arôme. Il est possible de vérifier la consistance, la couleur, l'odeur et la saveur du lait cru en tant qu'indicateurs de la qualité du produit.

- **Goût** : La présence de lactose donne au lait cru de vache un goût un peu sucré. Il peut aussi avoir des arômes crémeux et une légère touche de noisette. Selon l'alimentation des vaches et la période de lactation, le goût peut différer.
- **Odeur** : En général, l'arôme du lait cru est frais et un peu sucré. Son parfum peut aussi être légèrement herbacé ou animal, selon l'alimentation des vaches et les conditions de stockage.
- **Couleur** : Le lait cru présente une teinte blanche à un peu jaunâtre. L'intensité de la couleur dépend de la quantité de matières grasses et de caroténoïdes dans l'alimentation des vaches.
- **Texture** : La texture du lait cru est lisse et légèrement crémeuse. Le lait pasteurisé peut être considéré comme plus épais en raison de la présence de globules gras non homogénéisés (**Drake, 2009**).

6. La Microbiologie du lait

6.1 Flore indigène

Les micro-organismes présents naturellement dans le lait forment la flore indigène du lait. La peau de la vache, les équipements de traite et l'environnement sont les sources de ces micro-organismes. La flore locale est essentielle pour la qualité du lait et ses caractéristiques fermentaires.

- **Bactéries lactiques** : Les fermentations du lactose en acide lactique sont elles-mêmes responsables de la saveur et de la texture des produits laitiers fermentés.
- **Levures et moisissures** : Elles sont plus rares et peuvent participer à la fermentation et à la maturation de certains produits laitiers.
- **Enzymes** : Ces catalyseurs naturels ont la capacité d'influencer les caractéristiques gustatives et la qualité du lait (**Varnam et Sutherland, 1994**).

6.2 Flore altération

La présence de nutriments dans le lait favorise la prolifération des micro-organismes, ce qui peut entraîner sa dégradation. Les bactéries psychrotropes, mésophiles et thermophiles sont les principales causes de la malnutrition du lait.

- **Bactéries psychrotropes** : Ils se développent à une température basse et génèrent des enzymes lipolytiques et protéolytiques qui dégradent les éléments du lait, ce qui entraîne une dégradation de saveur et de texture.
- **Bactéries mésophiles** : Elles peuvent être actives à des températures modérées et entraîner une acidification rapide du lait.
- **Bactéries thermophiles** : Les spores peuvent survivre à des températures élevées et être résistantes à la pasteurisation (**Robinson, 2005**).

6.3 Flore pathogènes

La sécurité alimentaire est grandement préoccupée par la présence de pathogènes dans le lait. Les maladies peuvent être causées par ces micro-organismes chez les consommateurs.

- **Salmonella spp.** : Peuvent causer des gastro-entérites sévères.
- **Escherichia coli O157** : Pathogène particulièrement virulent qui peut provoquer des colites hémorragiques.
- **Listeria monocytogenes** : Cause de la listériose, une infection sévère qui affecte principalement les femmes enceintes, les nourrissons, les personnes âgées et les individus immunodéprimés.
- **Staphylococcus aureus** : Peut générer des entérotoxines qui causent des intoxications alimentaires (**Adams et moss, 2008**).

CHAPITRE II : LE YAOURT

1. Historique du yaourt

Le terme "yaourt" est dérivé du terme turc "yoğurt". Il provient du verbe turc « yoğurmak » Ce verbe désigne la fermentation bactérienne qui transforme le lait en un produit plus épais (**Gün, 2012**).

La première mention du yaourt en Europe occidentale remonte à l'époque de Soliman le Magnifique (1494-1566). Le médecin de François Ier, souffrant d'une grave infection intestinale, a été traité avec du yaourt envoyé par le sultan ottoman. Le mot s'est alors progressivement intégré aux langues européennes (**Steele, 2000**).

Le yaourt présente des avantages pour la santé depuis 6000 avant J.-C. Les bactéries lactiques n'ont été mentionnées dans les textes ayurvédiques indiens qu'au XXe siècle par un étudiant en médecine bulgare, Stamen Grigorov. De nos jours, la plupart des yaourts sont fabriqués à partir de laits fermentés acidifiés par des bactéries bien identifiées telles que *Lactobacillus bulgaricus* et *Streptococcus*. En dépit de la grande variabilité des modes de consommation à travers le monde (**Admin, 2021**).

Le yaourt a joué un rôle crucial au fil des siècles dans diverses cultures, les Turcs l'ont introduit au Moyen-Orient et dans les Balkans. En Bulgarie, il est un symbole culturel lié à la tradition culinaire (**Eren, 1999**).

En 1902, Ris et Khoury, deux médecins français, isolent les bactéries présentes dans un lait fermenté égyptien. Par la suite, Elie Metchnikoff, un bactériologiste russe travaillant en France, isole la bactérie spécifique du yaourt, connue sous le nom de « bacille bulgare », et analyse l'action acidifiante du lait caillé ils proposent également une méthode de production sûre et régulière (**Rousseau, 2005**).

2. Définition du yaourt

D'après le Codex Alimentarius et la FAO (Food and Agriculture Organization, 1975),

Le yaourt est un produit laitier coagulé qui est obtenu après la fermentation du lait entier, demi-écrémé ou écrémé, par deux bactéries : *Streptococcus thermophilus* et *Lactobacillus bulgaricus*.

Elles métabolisent le sucre du lait, le lactose en acide lactique et doivent rester vivantes dans le produit final qui n'est donc pas stérilisé. (Tamime et Robinson, 2007)

3. Composition du yaourt

Le yaourt est généralement fabriqué à partir de lait, principalement de lait de vache, composé d'environ 88% d'eau et de 12% de matière sèche riche en glucides, protéines, lipides et minéraux. Par ailleurs, il est envisageable d'employer soit du lait entier, qu'il soit partiellement ou totalement écrémé, présentant des taux de matière grasse de 3,5%, 1% et 0% respectivement (Keilling et Dewilde, 1985).

Composition d'un yaourt de 150 grammes :

Tableau 2 : la composition typique d'un yaourt nature de 150 grammes (Tamime et Robinson, 2007)

Nutriment	Quantité pour 150 g
Calories	90-100 kcal
Protéines	5-8 g
Lipides	3-5 g
Glucides	12-15 g
Lactose	12-15 g
Calcium	150-200 mg
Vitamines	
Vitamine B2 (Riboflavine)	0,2-0,3 mg
Vitamine B12	0,3-0,4 µg
Probiotiques	
Lactobacillus bulgaricus	Variable
Streptococcus thermophilus	Variable
Eau	Environ 125 g

4. Bactéries spécifiques du yaourt

Les bactéries lactiques du yaourt se distinguent par leur capacité à fermenter les glucides en produisant de l'acide lactique et forment un groupe d'espèces hétérogènes dont le caractère commun est la production d'acide lactique (**Savado et Traore, 2011**).

Les bactéries *Lactobacillus delbrueckii* subsp *bulgaricus* et *Streptococcus thermophilus* sont indispensables pour qualifier un lait fermenté de yaourt. Leur rôle principal est d'abaisser le pH du lait au point isoélectrique de la caséine (pH=4,6) afin de créer un gel (**FaO, 1995**).

Streptococcus thermophiles

Streptococcus thermophilus SP4 est une bactérie Gram positive + appartenant au phylum des Firmicutes, qui fait partie du microbiote intestinal. C'est une bactérie en forme de chaînette qui se développe de manière optimale à une température chaude, entre 37 et 60°C.

Streptococcus thermophilus est un lactobacille, doté d'enzymes qui lui permettent de dégrader le lactose, sa source d'énergie principale. On le retrouve non seulement dans le yaourt, mais également dans d'autres laits fermentés (**Streptococcus Thermophilus SP4 : Bienfaits, Origine, Sources et Propriétés**).

- **Rôle dans la fermentation** : Son rôle principal dans la fermentation est de transformer le lactose du lait en acide lactique. En plus de son action acidifiante, elle contribue à réguler la texture du yaourt. (**Bergamaier, 2002**).



Figure 2 : Streptococcus thermophiles sp4 (Bergamaier, 2002)

Lactobacillus bulgaricus

Dans notre étude précédente, nous avons isolé *L. bulgaricus* LDB-C1 à partir de lait fermenté traditionnel. Cette souche présente des caractéristiques remarquables, telles qu'un taux élevé d'exopolysaccharides et une excellente capacité de fermentation.

Cette bactérie est un micro-organisme aérophile anaérobie, couramment utilisée dans la fabrication de yaourt, de fromage et d'autres produits laitiers fermentés. Pendant des milliers d'années, *L. bulgaricus* et son partenaire *Streptococcus thermophilus* ont été employés comme cultures de démarrage pour la fabrication du yaourt à travers le monde. Obtenu *L. bulgaricus* LDB-C1 à partir de lait fermenté traditionnel. Cette souche présente des caractéristiques remarquables, telles qu'un taux élevé d'exo-polysaccharides et une excellente capacité de fermentation. (Guan *et al.*, 2021).

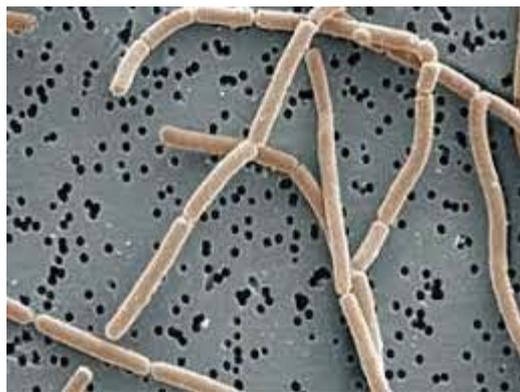


Figure 3 : *Lactobacillus bulgaricus*

Synergie des deux bactéries du yaourt

La définition de la synergie entre ces deux bactéries :

Deux bactéries lactiques, *Streptococcus thermophilus* et *Lactobacillus bulgaricus*, sont employées en collaboration dans la fabrication de yaourt. L'importance de cette synergie réside dans le fait que ces bactéries complètent leurs activités enzymatiques et métaboliques, ce qui contribue à la fermentation du lactose, à la production d'acide lactique et à la texture spécifique du yaourt. (Chandan et Kilara, 2013)

La synergie entre **Streptococcus thermophilus** et **Lactobacillus bulgaricus** dans la production de yaourt est un exemple classique de proto-coopération, où les deux bactéries travaillent ensemble pour fermenter le lait. Voici quelques points sur leur interaction :

- **Dégradation du lactose** : Le lactose est dégradé par *S. thermophilus* en acide lactique, ce qui diminue le pH du milieu. Cela encourage l'activité de *L. bulgaricus*, qui se révèle plus efficace dans un milieu acide (**Thevenard, 2011**).
- **Croissance mutuelle** : La croissance de *L. bulgaricus* est stimulée par les métabolites produits par *S. thermophilus*, tels que le formiate, le CO₂ et les acides aminés libres. *L. bulgaricus*, quant à lui, génère des peptides et des acides aminés qui stimulent la croissance de *S. thermophilus* (**Tamime et Robinson, 2007**).
- **Amélioration de la qualité du yaourt** : Grâce à la collaboration entre ces bactéries, la texture, le goût et l'arôme du yaourt sont améliorés. Elles jouent également un rôle dans la stabilité et la longévité du produit fini (**Thevenard, 2011**).
- **Bénéfices pour la santé** : Les probiotiques du yaourt favorisent l'équilibre de la flore intestinale (**Castro, 2022**) 8 bienfaits de la consommation de yaourt nature. Cette combinaison de bactéries bénéfiques améliore également la digestibilité du lactose et exerce des effets positifs sur la santé intestinale et les défenses immunitaires (**Castro, 2022**).

En plus d'être une source de calcium et de protéines essentiels pour la santé osseuse, le yaourt peut contribuer à prévenir l'obésité et le diabète de type 2. Certains types de yaourt s'avèrent également utiles pour maîtriser le cholestérol et préserver la santé cardiovasculaire. Grâce à sa teneur élevée en protéines, le yaourt favorise la satiété et peut donc aider à la gestion du poids.

5. Flore d'altération et pathogène du yaourt

5.1 Flore d'altération

La flore d'altération du yaourt comprend principalement les micro-organismes qui causent la dégradation du produit, affectant ainsi sa qualité, son goût, et sa texture. Ces micro-organismes incluent :

Levures :

- La fermentation secondaire du yaourt est souvent effectuée par des levures, ce qui génère du gaz et des composés organiques volatils susceptibles d'influencer le goût et la texture du yaourt (**Tamime et Robinson, 2007**).

Moisissures :

- Il est possible que des moisissures se forment à la surface du yaourt, en particulier si le produit est exposé à l'air. Elles ont la capacité de générer des mycotoxines potentiellement néfastes (**Fleet, 1990**).

5.2 Flore pathogène

Les micro-organismes pathogènes dans le yaourt sont ceux qui peuvent causer des maladies chez les consommateurs. Les principaux pathogènes comprennent :

Staphylococcus aureus :

- Même si l'acidité du yaourt ne favorise pas la croissance de *Staphylococcus aureus*, une contamination initiale élevée peut présenter des dangers (**Smith, 2020**).

Escherichia coli :

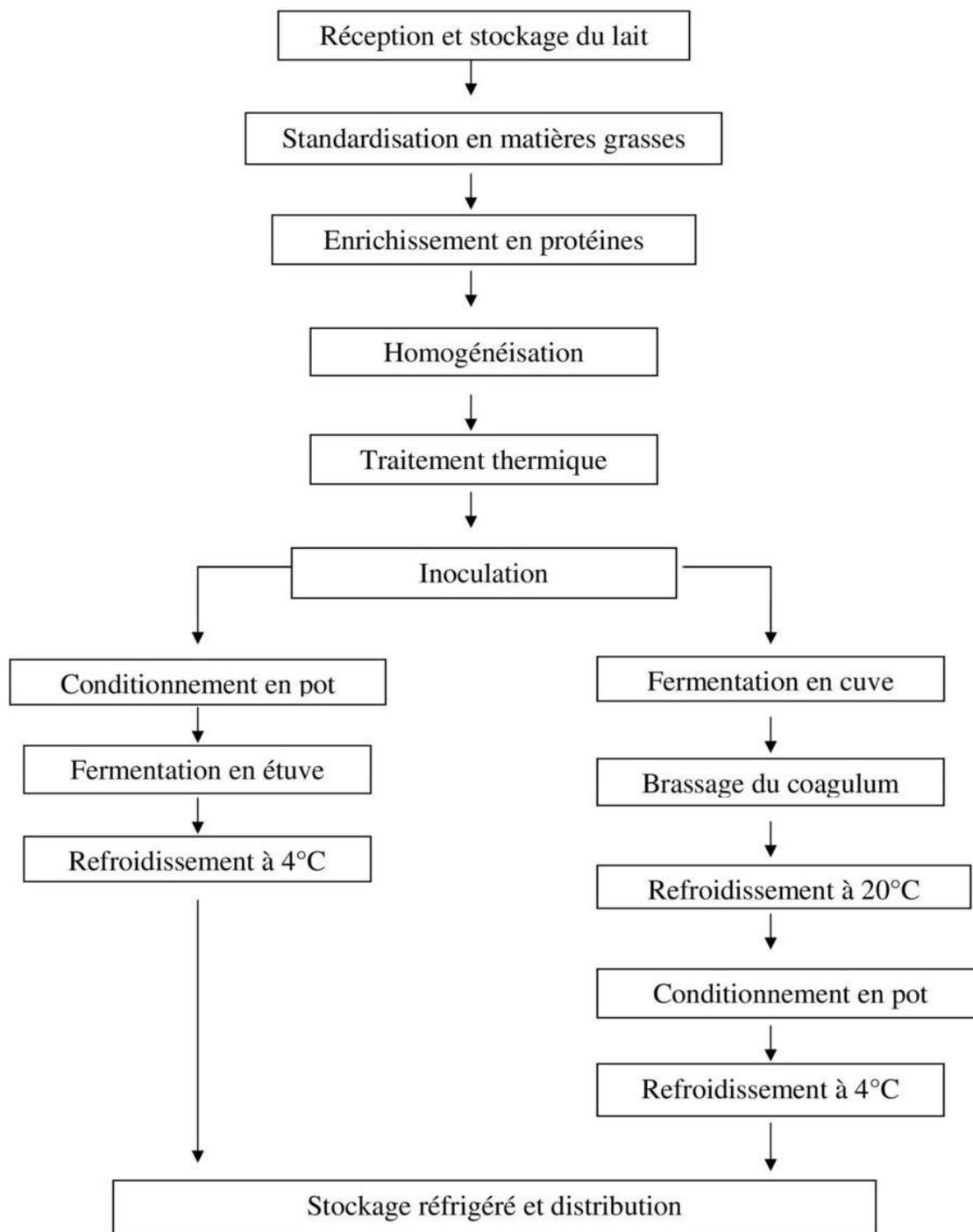
- Dans le yaourt, la présence d'*Escherichia coli*, en particulier les souches pathogènes, peut témoigner d'une contamination fécale et de problèmes d'hygiène pendant la production (**Jay et al., 2005**).

Salmonella spp :

- L'infection par *Salmonella* est rare mais envisageable, en particulier si les procédures de pasteurisation ne sont pas respectées de manière adéquate (**Doyle et al., 2001**).

6. Processus de fabrication du yaourt

Les étapes du processus de fabrication varient en fonction du type de yaourt, et sont représentées de manière détaillée dans le diagramme figurant ci-dessous



**Figure 04 : de la fabrication du yaourt
(De Franqueville, 2022)**

7. Différents types de yaourt

Il existe plusieurs types de yaourt, chacun avec ses propres caractéristiques et textures :

7.1. Yaourt nature

- **Définition** : Yaourt fermenté sans ajout de sucre ni d'arômes.
- **Texture** : Crémeuse, légèrement acidulée.
- **Caractéristiques** : Riche en protéines, calcium et probiotiques (**Chandan et Kilara, 2013**).

7.2. Yaourt aromatisé

- **Définition** : Yaourt nature auquel on ajoute des arômes artificiels ou naturels
- **Texture** : Crémeuse avec des morceaux de fruits ou des saveurs intégrées.
- **Caractéristiques** : Variété de saveurs, peut contenir du sucre ajouté (**Tamime et Robinson, 2007**).

7.3. Yaourt grec

- **Définition** : Yaourt égoutté pour éliminer le lactosérum, ce qui le rend plus épais et crémeux.
- **Texture** : Très épaisse, veloutée, moins acide que le yaourt classique.
- **Caractéristiques** : Haute teneur en protéines, texture onctueuse (**Chandan et Kilara, 2013**)

7.4. Yaourt à boire (Lassi)

- **Définition** : Yaourt liquide souvent mélangé avec de l'eau, des fruits ou des épices.
- **Texture** : Légère, liquide, parfois mousseuse.
- **Caractéristiques** : Rafraîchissant, peut être sucré ou salé (**Rasic et Kurmann, 1978**).

7.5. Yaourt probiotique

- **Définition** : Yaourt enrichi en cultures bactériennes bénéfiques pour la santé intestinale.
- **Caractéristiques** : Favorise la digestion, renforce le système immunitaire (**Tamime et Robinson, 2007**).

CHAPITRE III : LA SPIRULINE

1. Généralités sur les microalgues

- **Les microalgues :** Les microalgues sont des organismes aquatiques photosynthétiques présents dans les milieux d'eau douce et d'eau salée. Grâce à la photosynthèse, elles sont capables de transformer l'énergie solaire en biomasse et sont connues pour leur abondante concentration en nutriments tels que les protéines, les lipides, les vitamines et les minéraux. Les microalgues sont des producteurs primaires essentiels dans les écosystèmes aquatiques et sont également employées dans différents secteurs industriels, tels que la fabrication de biocarburants, les compléments alimentaires et les produits cosmétiques (**Richmond, 2004**).

Les microalgues proviennent d'une seule cellule ou d'un petit nombre de cellules réunies dans une structure très simple qui peut rapidement se développer et se multiplier en une biomasse riche en nutriments (**Richmond, 2004**).

- **Les cyanobactéries :** Les cyanobactéries sont des organismes photosynthétiques capables de survivre dans divers milieux, y compris des conditions extrêmes. Elles peuvent effectuer la photosynthèse oxygénique, c'est-à-dire qu'elles mettent l'eau en donneur d'électrons et libèrent de l'oxygène (**Whitton et Potts, 2000**).

Définition de la spiruline : La spiruline est une algue comestible qui pousse dans des eaux chaudes, alcalines et riches en nutriments. La paroi cellulaire et le noyau sont absents, ce qui la différencie des algues vertes eucaryotes. La spiruline est célèbre pour sa forme en spirale visible au microscope et pour sa photosynthèse, qui génère de l'oxygène à partir du dioxyde de carbone à l'aide de la lumière solaire (**Richmond, 2004**).

Description de la spiruline : La spiruline est une algue comestible qui pousse naturellement dans des eaux chaudes (de 25° à 40°C), alcalines (pH de 8,5 à 11) et saumâtres de nombreux lacs intertropicaux. Sa teinte bleu-vert est due au pigment phycocyanine et elle renferme également de la chlorophylle pigment photosynthétique essentiel à la vie végétale (Spiruline France, 2024a). Contrairement aux algues vertes eucaryotes, la spiruline ne possède ni paroi cellulaire ni noyau, ce qui la distingue de ce groupe. Célèbre pour sa forme spirale observable au microscope, la spiruline est également reconnue pour son aptitude à la photosynthèse. Grâce à ce processus, elle transforme le dioxyde de carbone en oxygène sous l'action de la lumière

solaire, contribuant ainsi à la production d'oxygène dans les écosystèmes aquatiques (Richmond, 2004).

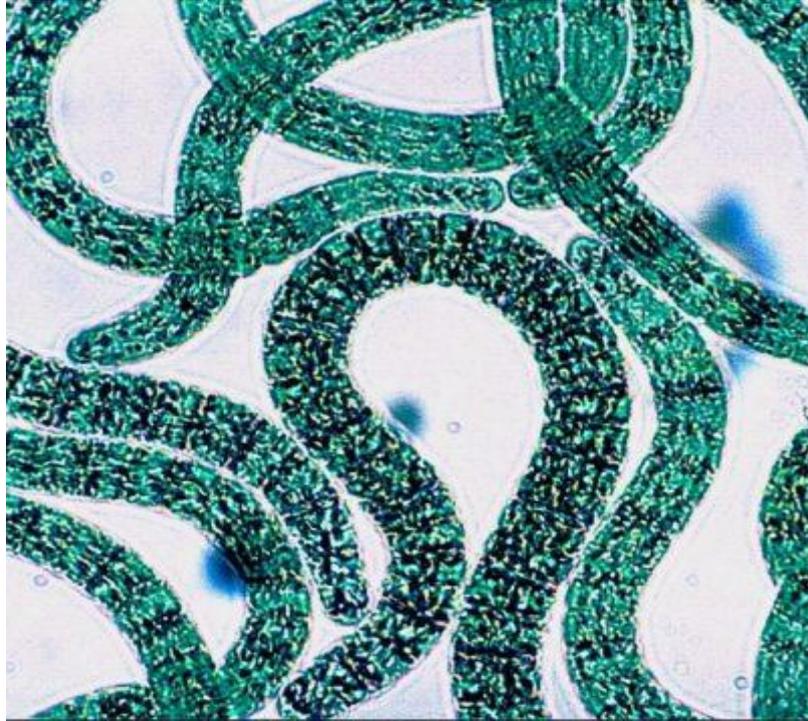


Figure 05 : la spiruline avec le microscope (Dufreneix, 2023)

2. Classification de la spiruline

Wittrock et Nordsted ont décrit la spiruline pour la première fois en 1844 sous le nom de ***Spirulina jeneri plantensis***.

En 1960, la distinction entre procaryotes et eucaryotes a été établie. Son fondement repose sur la distinction de l'organisation cellulaire. En 1962 Stanier et ses collègues observèrent en 1962 que cette « algue bleue verte » n'avait pas de compartiments cellulaires, et qu'elle appartenait donc aux procaryotes. Ce microorganisme fut suggéré d'être appelé « cyanobactérie », avec un préfixe d'origine grecque « cyano : cyan » en référence au pigment bleu phycocyanine qui la constitue. (Castenholz et Waterbury, 1989).

Classification scientifique de la spiruline :

Tableau 3 : Classification scientifique de la spiruline (Richmond, 2004).

Rang	Classification
Règne	Bactérie
Embranchement	Cyanobactérie
Classe	Cyanobactérie
Ordre	Oscillatoires
Famille	Microcoleaceae
Genre	Arthrospira
Espèce	Arthrospira platensis

3. La composition nutritionnelle

La spiruline est reconnue pour sa richesse en nutriments essentiels, ce qui en fait un complément alimentaire précieux. Selon l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS), voici une composition nutritionnelle typique de la spiruline :

3.1. Protéines

La spiruline est reconnue pour sa teneur élevée en protéines, qui représente généralement entre 60 % et 70 % de sa composition (OMS) ce qui est remarquable même parmi les micro-organismes. Elle fournit les 18 acides aminés, y compris les 8 essentiels. (Valine, isoleucine, leucine, lysine, méthionine, phénylalanine, thréonine, tryptophane) (Vonshak, 1997),

3.2. Les glucides

Les glucides constituent une partie importante de la composition de la spiruline, qui est une source alimentaire riche en nutriments. L'Organisation mondiale de la santé (OMS) estime que la spiruline renferme habituellement entre 15 % et 20 % de glucides sur sa composition. Ces glucides sont essentiellement des polysaccharides (rhamnose, glycogène) qui sont des sources d'énergie vitales pour l'organisme (World Health Organization, 2007).

3.3. Lipides

D'après les directives de l'Organisation mondiale de la santé (OMS), la spiruline contient généralement entre 6 % et 8 % de lipides. Il y a différents types d'acides gras dans ces lipides, dont des acides gras essentiels tels que l'acide gamma-linolénique (GLA), qui sont avantageux pour la santé globale. La spiruline a un profil nutritionnel équilibré grâce à ses lipides, ce qui en fait un complément alimentaire intéressant pour apporter des graisses saines à l'alimentation (OMS, 2017).

3.4. Vitamines

Selon les recommandations de l'Organisation mondiale de la santé, la spiruline est une source importante de vitamines essentielles. Elle est notamment célèbre pour sa présence de bêta-carotène, un antioxydant puissant qui a des avantages pour la santé de la peau, des yeux et du système immunitaire. En outre, la spiruline renferme des concentrations importantes de vitamines du groupe B, telles que la vitamine B1 (thiamine), B2 (riboflavine), B3 (niacine), B6 (pyridoxine) et B12. Le métabolisme énergétique, la santé nerveuse, la production de globules rouges et la réparation cellulaire sont des fonctions essentielles de ces vitamines. De plus, la spiruline est une véritable source de vitamine E (tocophérol) et de vitamine K, qui jouent un rôle essentiel dans notre organisme (OMS, 2007).

3.5. Minéraux et oligo-éléments

Tableau 4 : les Minéraux et oligo-éléments de la spiruline (Henrikson, 2010)

Composition de la spiruline en minéraux	Teneur en mg/100g de spiruline sèche
Fer	28 mg
Calcium	120 mg
Magnésium	195 mg
Zinc	2 mg

3.6. Acides gras essentiels

Les acides gras essentiels sont des composants nutritionnels importants pour la santé humaine, car le corps ne peut pas les produire et doit les obtenir à partir de l'alimentation. La spiruline, en tant que source alimentaire riche en acides gras, contient notamment de l'acide gamma-linolénique (GLA) et des acides gras oméga-3 et oméga-6. L'acide gamma-linolénique est un acide gras oméga-6 rare que l'on trouve principalement dans certains types d'huiles végétales. Les acides gras oméga-3 et oméga-6, quant à eux, sont reconnus pour leurs bienfaits sur la santé cardiovasculaire, le fonctionnement cérébral et la réduction de l'inflammation. La spiruline offre ainsi une source naturelle et équilibrée d'acides gras essentiels, contribuant à une alimentation saine et équilibrée (**World Health Organization, 2007**).

3.7. Pigments

- **Phycocyanine** : un pigment bleu aux propriétés exceptionnelles. Cette molécule présente des capacités antioxydantes 20 fois supérieures à la vitamine C et 16 fois supérieures à la vitamine E, faisant d'elle un puissant protecteur cellulaire. Présente uniquement dans les cyanobactéries comme la spiruline, la phycocyanine joue un rôle crucial dans la photosynthèse, permettant à ces microalgues de capturer l'énergie lumineuse.

Représentant entre 10 et 15% du poids sec de la spiruline, la phycocyanine fait partie intégrante de sa composition nutritionnelle et contribue à ses nombreux bienfaits pour la santé (**Dihé, 2021**).

- **Chlorophylle** : La spiruline, outre sa couleur bleue caractéristique, contient également de la chlorophylle, un pigment vert essentiel à la photosynthèse. Dans les plantes, la chlorophylle capte l'énergie solaire pour la transformer en énergie vitale. Dans la spiruline, la chlorophylle joue également un rôle important dans l'oxygénation de l'organisme. De plus, elle contribue au maintien de l'équilibre acido-basique. (**Dihé, 2021**) La spiruline contient entre 1 et 1,5% de chlorophylle en poids sec (**Richmond, 2004**).
- **Caroténoïdes** : La spiruline est riche en caroténoïdes, une famille de pigments naturels qui confèrent aux algues leur couleur vive. Parmi les caroténoïdes présents dans la spiruline, on trouve notamment le β -carotène, la cryptoxanthine, la lutéine et la zooxanthine.

Ces pigments aux propriétés antioxydantes puissantes combattent les radicaux libres, responsables du vieillissement cellulaire et de certaines maladies chroniques. Ils contribuent également à la santé des yeux en protégeant la rétine et en prévenant la dégénérescence maculaire, tout en offrant une protection à la peau contre les rayons UV et en favorisant son élasticité. Le β -carotène, notamment, constitue 56% des caroténoïdes total présents dans la spiruline et peut être métabolisé en vitamine A par le corps. (Dihé, 2021) La spiruline contient entre 0,3 et 0,4% de caroténoïdes en poids sec (Richmond, 2004).

Valeurs nutritionnelles (pour 100g de poudre de spiruline) :

Tableau 5 : Valeurs nutritionnelles pour 100g de poudre de spiruline (Mao *et al.*, 2002)

Nutriments	Quantité pour 100g
Calories	290 kcal
Protéines	60 g
Protéines	7 g
Glucides	24 g
Fibres alimentaires	3 g
Vitamine A	5000 UI
Vitamine B12	16 mcg
Fer	28 mg
Calcium	120 mg
Magnésium	195 mg
Potassium	1363 mg
Phosphore	118 mg

4.Utilisation de la spiruline

La spiruline est largement utilisée dans le domaine agroalimentaire pour ses propriétés nutritionnelles et sa facilité de culture.

4.1. Domaine agroalimentaire

Alimentation humaine

La spiruline est largement utilisée dans l'alimentation humaine en raison de sa composition nutritionnelle riche et équilibrée. Elle est souvent consommée sous forme de poudre ou de comprimés. Les applications de la spiruline dans l'alimentation humaine comprennent (**Laufer, 2000**).

Utilisation traditionnelle

La spiruline est utilisée depuis des siècles dans l'alimentation humaine, connue depuis des siècles chez certaines populations autochtones. Traditionnellement, on la consommait sous forme de poudre mélangée à de l'eau ou à d'autres aliments en raison de ses propriétés nutritionnelles et de son potentiel avantageux pour la santé (**Laufer, 2000**).

Supplément alimentaire

De nos jours, on considère la spiruline comme un complément alimentaire très apprécié en raison de sa composition nutritionnelle riche. On la trouve fréquemment en comprimés, en poudre ajoutée à des smoothies ou à d'autres préparations culinaires afin d'augmenter l'apport nutritionnel (**Gershwin et al., 2007**).

Utilisation dans les régimes végétariens

Les personnes qui suivent des régimes végétariens et végétaliens apprécient également la spiruline en raison de sa richesse en protéines de qualité supérieure, en vitamines et en minéraux, ce qui en fait une source nutritive alternative aux produits d'origine animale

(**Kulshreshtha et al., 2008**).

Fortification des aliments de base

- **Exemples :** Fortification des céréales, des yaourts et des jus
- **Avantages :** Améliore l'apport en micronutriments dans les régimes alimentaires (**Belay, 2008**).

4.2. Domaine cosmétique

L'utilisation de la spiruline dans le domaine cosmétique est bien documentée. Elle se présente sous forme de crèmes, lotions et produits capillaires enrichis en spiruline, appréciés pour ses propriétés antioxydantes et nourrissantes :

Produits de soins et de beauté :

- **Exemples :** Crèmes, lotions, produits capillaires enrichis en spiruline
- **Avantages :** Propriétés antioxydantes et régénératrices, améliore la santé de la peau et des cheveux (**Gershwin *et al.*, 2007**).

Propriétés antioxydantes :

La spiruline renferme des antioxydants comme la vitamine E, le bêta-carotène et la phycocyanine, qui contribuent à préserver la peau des effets néfastes des radicaux libres.

Nourrissant : La spiruline, qui est riche en vitamines et minéraux, est employée dans les produits de soin de la peau en raison de ses propriétés nourrissantes.

Anti-âge (régénératrice) : La spiruline a des propriétés anti-âges qui peuvent aider à diminuer les signes du vieillissement en améliorant l'élasticité et la fermeté de la peau (**Gershwin *et al.*, 2007**).

4.3. Application thérapeutique

La spiruline est utilisée dans diverses applications thérapeutiques en raison de sa richesse en nutriments et de ses propriétés bénéfiques pour la santé. Voici un aperçu des usages thérapeutiques de la spiruline :

Cellulaire : La spiruline peut contribuer à diminuer le taux de cholestérol et à réguler la pression artérielle, améliorant ainsi la santé cardiovasculaire.

Antidiabétique : La spiruline aide à contrôler la glycémie, ce qui peut être bénéfique pour les personnes atteintes de diabète.

Détoxifiante : La spiruline favorise l'élimination des toxines du corps, notamment les métaux lourds, contribuant ainsi à une meilleure santé globale.

Neuroprotectrice : La spiruline possède des propriétés potentiellement utiles pour prévenir les maladies neurodégénératives telles que la maladie d'Alzheimer et la maladie de Parkinson (**Khan *et al.*, 2005**).

5. Activités biologiques de la spiruline

5.1 Activité antioxydante

La spiruline est réputée pour son activité antioxydante, grâce à sa richesse en composés tels que la phycocyanine, le bêta-carotène, la vitamine E, le sélénium et le zinc. Ces antioxydants jouent un rôle crucial dans la protection des cellules contre les dommages oxydatifs causés par les radicaux libres, (**Estrada *et al.*, 2001**) ont démontré que la phycocyanine présente dans la spiruline possède des propriétés antioxydantes significatives, aidant à protéger les cellules contre les dommages oxydatifs. (**Estrada *et al.*, 2001**).

5.2 Activité anti bactérienne

La spiruline possède des propriétés antibactériennes significatives, attribuées à divers composés bioactifs qu'elle contient, comme les peptides, les polysaccharides et les pigments.

Il est possible que cette activité causée par la production de métabolites antibactériens extracellulaires par la spiruline, ce qui diminue la présence de certaines bactéries pathogènes (**Moulin, 2023**).

Ont examiné l'effet des extraits de spiruline sur différentes bactéries pathogènes, y compris des souches Gram-positives et Gram-négatives. Les extraits ont montré une activité inhibitrice contre des bactéries telles que *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, et *Pseudomonas aeruginosa* (**Ozdemir *et al.*, 2004**).

5.3 Activité antivirale

La spiruline, une algue microscopique aux propriétés remarquables, se distingue par son action bénéfique sur le système immunitaire et sa capacité à combattre les infections virales.

Des études scientifiques ont démontré que la spiruline possède la faculté d'inhiber la réplication de certains virus à enveloppe, tels que le virus de la grippe A. Ce pouvoir s'explique par la

présence du calcium spirulane, un composant unique de la spiruline, qui empêche la multiplication de ces virus et leur pénétration dans les cellules hôtes (**Belay, 2008**).

Parallèlement à son action antivirale directe, la spiruline stimule également l'activité des globules blancs, des macrophages et des cellules NK (Natural Killer), qui constituent les piliers de notre système immunitaire. Ce renforcement des défenses naturelles permet à l'organisme de mieux se prémunir contre les agressions virales.

L'efficacité de la spiruline est particulièrement notable lorsqu'elle est consommée avant ou juste après l'infection. En effet, elle renforce le système immunitaire dès les premiers stades de l'infection, inhibant la réplication virale et contribuant ainsi à prévenir des maladies telles que la grippe et le coronavirus (**Belay, 2008**).

5.4. Activité anticancéreuse

La concentration élevée de bêta-carotène dans la spiruline a été prouvée comme protectrice contre certains cancers, tels que ceux du poumon, de la gorge, de l'estomac, du côlon, du sein et de l'utérus.

Les études ont démontré des propriétés anticancéreuses importantes des composés issus de la spiruline, comme la phycocyanine, qui inhibent la prolifération des cellules tumorales et provoquent l'apoptose (**Mao et al., 2002**).

ETUDE EXPERIMENTALE

CHAPTER I : MATERIEL ET METHODES

Cette mémoire présente une étude détaillée sur le processus de fabrication du yaourt enrichi a la spiruline ainsi que les analyses physico-chimiques et microbiologiques réalisées dans une industrie laitière en Algérie. Le pratique a été effectué à **LAITERIE EDOUGH**, une entreprise reconnue dans la production de produits laitiers.

Le contrôle de qualité du yaourt a objectif de déterminer la qualité du yaourt par le suivie de ses paramètres physico-chimiques et microbiologiques au cours du procédé de fabrication pour avoir un produit fini conforme aux normes de qualité.

Les analyses microbiologiques des matières premières et du produit fini sont essentielles pour détecter la présence de micro-organismes nuisibles qui pourraient compromettre la qualité et la sécurité du produit. Ces analyses permettent de rechercher divers types de micro-organismes.

Le contrôle microbiologique a pour objectif de garantir la bonne qualité hygiénique qui caractérise le risque pour la santé du consommateur ainsi qu'une bonne qualité commerciale qui caractérise l'existence ou le risque d'altération (Brulé et al, 2006).

Le matériel utilisé dans notre étude est constitué par :

Matériel biologique :

Lait de vache ;
Spiruline ;
L'eau de procès ;
Ferments lactiques ;
Produit fini.

Matériel d'étude :

- pH-mètre
- Éprouvette
- Lactodensimètre
- Pipette
- Dessiccation infra-rouge
- Pipette graduée
- Bécher

- Phénolphtaléine
- NAOH
- L'acide sulfurique
- L'alcool iso-amylique
- Butyromètre - bouchon en caoutchouc
- Centrifugeuse
- La bande Beta Star 25
- Boîtes de Pétri stériles
- Pipettes stériles
- Incubateur
- Balance de Précision Pour peser les échantillons.
- Diluteurs stériles
- Gants, masque et autres équipements de protection individuelle (EPI)
- Solvant stérile pour la dilution (généralement de l'eau peptonée ou une solution saline stérile)
- Pipette Pasteur ou pipette automatique
- Incubateur
- Balance de Précision Pour peser les échantillons.
- Solvant stérile pour la dilution
- Ferments lactiques (YCX16)
- Spiruline en poudre
- Passoire (Pour filtrer le lait si nécessaire)
- Casserole (Pour chauffer le lait)
- Thermomètre (Pour surveiller la température du lait)
- Fouet ou Cuillère (Pour mélanger)
- L'étuve (Pour maintenir une température constante pendant la fermentation)
- Bocaux en plastique (Pour incuber et stocker le yaourt)
- Le milieu DESOXYCHOLATE AGAR
- Le milieu GIOLITTI-CONTONS.
- PCA (Plate Count Agar) ou autre milieu approprié pour les bactéries mésophiles.
- Gélose glucose a l'extrait de la pomme de terre

Les analyses physico-chimiques du lait

Les analyses physicochimiques ont été effectuées selon le guide des techniques d'analyses physicochimiques des produits laitiers des laiteries de EDOUGH et les méthodes officielles normalisées par la norme française. Les analyses physico-chimiques des matières premières et du produit fini sont essentielles pour garantir la qualité et la sécurité du produit final. Ces analyses permettent de mesurer divers paramètres qui influencent la qualité du produit, tels que :

1. Mesure du pH
2. L'acidité du lait
3. Détermination du taux de M.G du lait (méthode de GERBER)
4. L'extrait sec
5. Détection des résidus d'antibiotique
6. La densité
7. Détermination de l'extrait sec dégraisse

1.Mesure du pH

Définition du pH : Le pH d'une solution est le cologarithme décimal de l'activité de la solution en ions hydrogène ; il s'exprime en unités de pH (OIV-MA-BS-13 : R2009). Il est en relation étroite avec la concentration des ions hydrogène (H⁺) et hydroxyde (OH⁻) présents dans une solution. Ces ions confèrent au milieu son caractère acide ou basique (Amiot et Britten, 2002).

Principe : La différence de potentiel existant entre une électrode de verre et une électrode de référence plongeant dans une même solution, est une fonction linéaire du pH de celle-ci. En effet, d'après les lois de NERNST, le potentiel de l'électrode est lié à l'activité des ions H⁺ présents par la relation suivante :

$$H = k + \frac{RT}{F} \log a(H^+)$$

R : Constante des gaz (Joules/degrés)

T : Température absolue (°K) ;

F : Symbole du Faraday (96 500 coulombs) ;

(H⁺) : est l'activité des ions H⁺ ;

K : Constante dépendant de la nature du verre de l'électrode et du dispositif de mesure (OIV MA-BS-13 : R2009).

Mode opératoire :

La sonde du pH-mètre, préalablement étalonnée, est directement introduite dans l'échantillon.

La lecture des résultats se fait directement sur l'écran de l'appareil. (AFNOR,1986)



Figure 6 : Détermination du pH avec pH-mètre

2. Mesure de la densité :

Définition : La densité du lait de vache se situe généralement entre 1,028 et 1,035 g/cm³ à une température de 15°C. Cette plage peut légèrement varier en fonction de la race des vaches, de leur alimentation et de l'état de santé des animaux.

Principe : Le dosage de l'acide lactique à l'acide d'hydroxyde de sodium est utilisé pour mesurer l'acidité en présence d'un indicateur coloré : phénol phtaléine.

Mode opératoire :

Verser le lait dans l'éprouvette de 500 ml tenue inclinée afin d'éviter la formation de mousse ou de bulles d'air.

L'introduction de lactodensimètre dans l'éprouvette remplie de lait provoque un débordement de liquide ce débordement est nécessaire, il débarrasse la surface du lait des traces de mousse qui gêneraient la lecture.

Attendre 30 secondes à une minute avant d'effectuer la lecture de la graduation, cette lecture étant effectuée à la partie supérieure du ménisque, lire la température



Figure 7 : Détermination de la densité

3. Détermination de l'extrait Sec (méthode AFNOR)

Définition : L'extrait sec total (EST) représente l'ensemble des composants solides présents dans le lait après élimination de toute l'eau. Cela inclut les protéines, les matières grasses, les glucides (principalement le lactose), les minéraux et les vitamines. En d'autres termes, c'est la portion de la matière sèche qui reste une fois que toute l'eau a été évaporée du lait.

Principe : La méthode AFNOR (Association Française de Normalisation) pour déterminer l'extrait sec du lait repose sur la dessiccation, c'est-à-dire l'élimination complète de l'eau du lait par chauffage. La masse résiduelle, qui est la matière sèche, est ensuite pesée pour déterminer la quantité d'extrait sec.

- L'extrait sec total est calculé en utilisant la formule suivante :

$$\text{EST (\%)} = \frac{\text{Masse de la matière sèche}}{\text{Masse de l'échantillon initial}} \times 100$$

Où :

- Masse de la matière sèche = Masse de la capsule avec la matière sèche - Masse de la capsule vide
- Masse de l'échantillon initial = Masse de l'échantillon de lait prélevé

Mode opératoire :

Sur une capsule en platine et à l'aide d'une pipette on dispose 5 ml du lait sous formes des gouttes dispersées. Puis on place la capsule dans un dessiccateur infrarouge, réglés à 120°C. une lecture directe sur le dessiccateur et faite après 6 à 8 min.

4. Détermination de l'acidité

Définition :

L'acidité titrable est exprimée en gramme d'acide lactique (AFNOR,1985).

Principe :

L'acidité est une mesure de la concentration des ions hydrogène (H⁺) présents, généralement exprimée en degrés Dornic (°D) ou en pH. L'acidité du lait peut être due à la présence d'acides

naturels comme l'acide lactique, ou à la décomposition de la matière organique par les bactéries lactiques.

- L'acidité titrable est calculée en degrés Dornic (°D) en utilisant la formule suivante :

$$\text{Acidité (°D)} = \text{Volume de NaOH (ml)} \times 10$$

Mode opératoire :

Titration de l'acidité par l'hydroxyde de sodium en présence de phénolphtaléine comme Indicateur.

- A l'aide d'une pipette graduée introduire 10ml du lait dans un bécher
- Ajouter 2 à 3 gouttes de phénolphtaléine
- Titrer par une solution de NaOH (0.1N) jusqu'à apparition de la coloration rose Le calcul de l'acidité Dornic se fait de la formule suivante :

$$1^{\circ}\text{D} = 0.1 \text{ g d'acide lactique dans 1L}$$



Figure 8 : Détermination de l'acidité

5.Détermination de matière grasse (MG) par méthode GERBER

Définition :

La matière grasse est l'ensemble des composants lipidiques présents dans le lait. Elle est principalement constituée de triglycérides, mais inclut également des phospholipides, des stérols (comme le cholestérol), des acides gras libres, et des vitamines liposolubles (comme les vitamines A, D, E, et K). La matière grasse est responsable de nombreuses propriétés sensorielles du lait et des produits laitiers, telles que la saveur, la texture et la couleur.

Principe :

Les protéines sont dégradées par l'acide sulfurique ($d=1.82$), et la chaleur produite fait fondre la matière grasse. L'alcool iso-amylique ($d=0.81$) aide à la séparation de la matière grasse. La centrifugation permet la séparation des phases grasse et aqueuses.

- La lecture sur le butyromètre indique directement le pourcentage de matière grasse dans l'échantillon.

Mode opératoire :

À l'aide d'une pipette, mesurer 10 ml d'acide sulfurique concentré et le verser doucement dans un butyromètre.

Avec une autre pipette, ajouter 11 ml de lait dans la Butyromètre contenant l'acide sulfurique. Verser le lait doucement pour éviter toute éclaboussure et pour assurer une bonne réaction entre le lait et l'acide.

Ajouter 1 ml d'alcool iso-amylique au butyromètre. Boucher le butyromètre avec un bouchon en caoutchouc. Placer les bouteilles Gerber dans la centrifugeuse.

Centrifuger à environ 1200 tr/min pendant 5 minutes. La matière grasse se sépare et forme une couche distincte.



Figure 9 : Centrifugeuse



Figure 10 : l'échantillon sur le butyromètre

6. Détection des résidus d'antibiotique

Définition :

La détection des résidus d'antibiotiques est essentielle pour garantir la sécurité alimentaire, la qualité du lait, et pour se conformer aux réglementations. Les résidus d'antibiotiques peuvent provoquer des réactions allergiques chez les consommateurs et contribuer à l'émergence de bactéries résistantes aux antibiotiques.

Principe :

La méthode Beta Star 25 utilise une réaction immuno-chromatographique pour détecter les résidus d'antibiotiques dans le lait. Les bandes de test contiennent des anticorps spécifiques aux antibiotiques couramment utilisés dans l'industrie laitière. Lorsqu'un échantillon contenant des résidus d'antibiotiques est appliqué, ces résidus se lient aux anticorps, produisant une réaction visible sur la bande de test.

Mode opératoire :

À l'aide d'une pipette, déposer un volume précis d'échantillon de lait (généralement 100 µl) sur la zone de test de la bande Beta Star 25.

Placer la bande de test avec l'échantillon dans l'incubateur

Incuber pendant une durée spécifique (généralement 3 à 5 minutes). Après incubation, retirer la bande de test et laisser refroidir si nécessaire.

Lire les résultats en comparant les bandes de contrôle et de test. Une bande de contrôle distincte indiquera que le test a fonctionné correctement.

La présence ou l'absence de résidus d'antibiotiques sera indiquée par la formation de bandes colorées à des positions spécifiques sur la bande de test.

Les analyses microbiologiques de la spiruline.

Les analyses microbiologiques de la spiruline désignent un ensemble de tests et de mesures réalisés afin de repérer et mesurer les microorganismes présents dans la spiruline. Ces études jouent un rôle essentiel dans la garantie de la sécurité sanitaire, de la qualité et du respect des normes réglementaires 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

1. La détection de levures et moisissures

La spiruline, une cyanobactérie souvent utilisée comme complément alimentaire en raison de sa richesse en nutriments, doit être soumise à des analyses microbiologiques pour garantir sa sécurité et sa qualité. Les analyses pour la détection de levures et moisissures sont essentielles pour assurer qu'il n'y a pas de contamination qui pourrait affecter la santé des consommateurs. Voici les étapes typiques pour effectuer ces analyses.

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

Préparation de l'Échantillon :

Prendre une quantité représentative de spiruline en poudre.

Préparer une solution mère en dissolvant une quantité connue de spiruline dans un volume de solvant stérile (par exemple, 10 g de spiruline dans 90 ml de solution saline stérile).

Dilution de l'Échantillon :

Préparer des dilutions en série de l'échantillon pour obtenir des concentrations appropriées pour le comptage microbiologique (par exemple, 10^{-1} , 10^{-2} , 10^{-3}).

Ensemencement :

Placer une quantité mesurée (généralement 1 ml) de chaque dilution sur le milieu Gélose glucose a l'extrait de pomme de terre.

Utiliser la méthode de la double couche ou de l'étalement en surface pour répartir l'échantillon sur le milieu de culture.

Incubation :

Incuber les boîtes de Pétri à une température appropriée (généralement 20°C à 25°C) pendant une période spécifiée (habituellement 5 jours).

Lecture chaque 24h.

Lecture des Résultats :

Après l'incubation, examiner les boîtes de Pétri pour la croissance de levures et moisissures.

Compter les colonies présentes sur les boîtes de Pétri et exprimer les résultats en UFC/g (Unités Formant Colonie par gramme) de spiruline.

2. la détection des bactéries mésophiles

Les analyses microbiologiques de la spiruline, y compris la détection des bactéries mésophiles, sont essentielles pour garantir la qualité et la sécurité de ce complément alimentaire populaire. Les bactéries mésophiles sont des microorganismes qui se développent à des températures modérées, généralement entre 20°C et 45°C, et leur présence en nombre élevé peut indiquer une mauvaise qualité ou une contamination du produit.

Méthodologie pour l'Analyse des Bactéries Mésophiles dans la Spiruline

Préparation de l'Échantillon :

Peser 10 g de spiruline et les placer dans un flacon contenant 90 ml d'eau peptonée tamponnée stérile (ou autre diluant approprié), pour obtenir une dilution de 1 :10.

Préparation des Dilutions :

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

Ensemencement :

Ensemencer 1 ml de chaque dilution choisie sur des boîtes de Pétri contenant le milieu de culture PCA. Utiliser la méthode de l'inclusion dans la gélose (verser environ 15-20 ml de PCA tempéré à 45°C dans chaque boîte après l'ensemencement de l'échantillon).

Bien mélanger en faisant des mouvements circulaires pour distribuer uniformément l'échantillon dans le milieu.

Incubation :

Incuber les boîtes de Pétri à 30°C à 37°C pendant 48 à 72 heures, à l'envers pour éviter la condensation sur les colonies.

Préparation du Yaourt enrichi a la spiruline

La préparation de yaourt enrichi à la spiruline combine les bienfaits probiotiques du yaourt avec les nutriments riches de la spiruline. Voici une méthode détaillée pour préparer ce produit.

Procédure

Filtration : filtrer le lait si nécessaire et c'est fait avec une passoire.

Chauffage du lait : Verser le lait dans une casserole et chauffer à feu moyen jusqu'à atteindre 85°C. Maintenir cette température pendant environ 5 minutes pour éliminer les germes pathogènes.

Refroidissement du lait : Laisser refroidir le lait à environ 45°C. Utiliser un thermomètre alimentaire pour vérifier la température.

Ensemencement avec ferments lactiques : ajouter 0.035g de ferment pour 1l du lait.

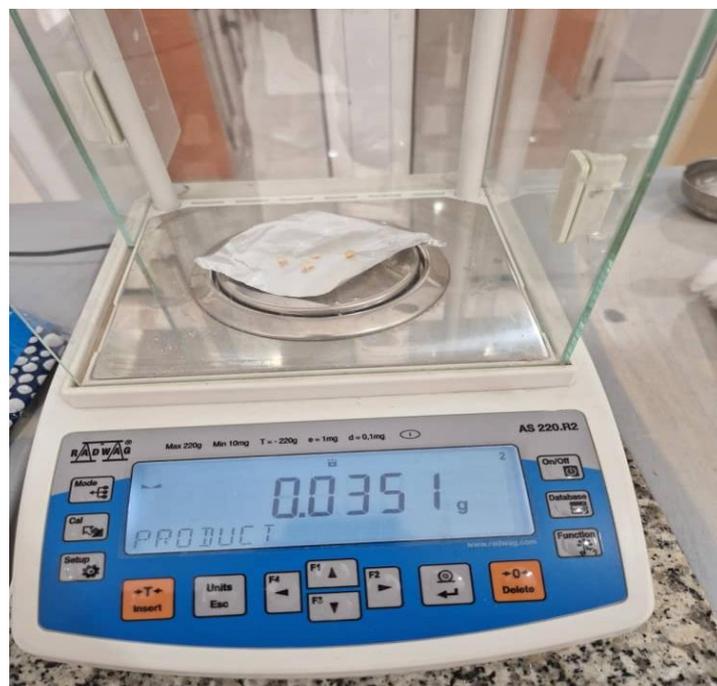


Figure 11 : Mesure du poids des ferment lactique

Répartition du mélange : Verser le mélange dans les pots en plastique et nous ajoutons de la spiruline avec les quantités suivantes (0,25g -0,5g -0,75g -1g) et le témoin.



Figure 12 : Mesure les doses de la spiruline

Fermentation : Placer les pots dans l'étuve, et maintenir à une température constante de 42-45°C pendant 4 heures.



Figure 13 : Fermentation dans l'étuve (42-45°C pendant 4 heures)

Refroidissement : Une fois la fermentation terminée, fermer les pots et placer immédiatement au réfrigérateur 4°C pour arrêter la fermentation.

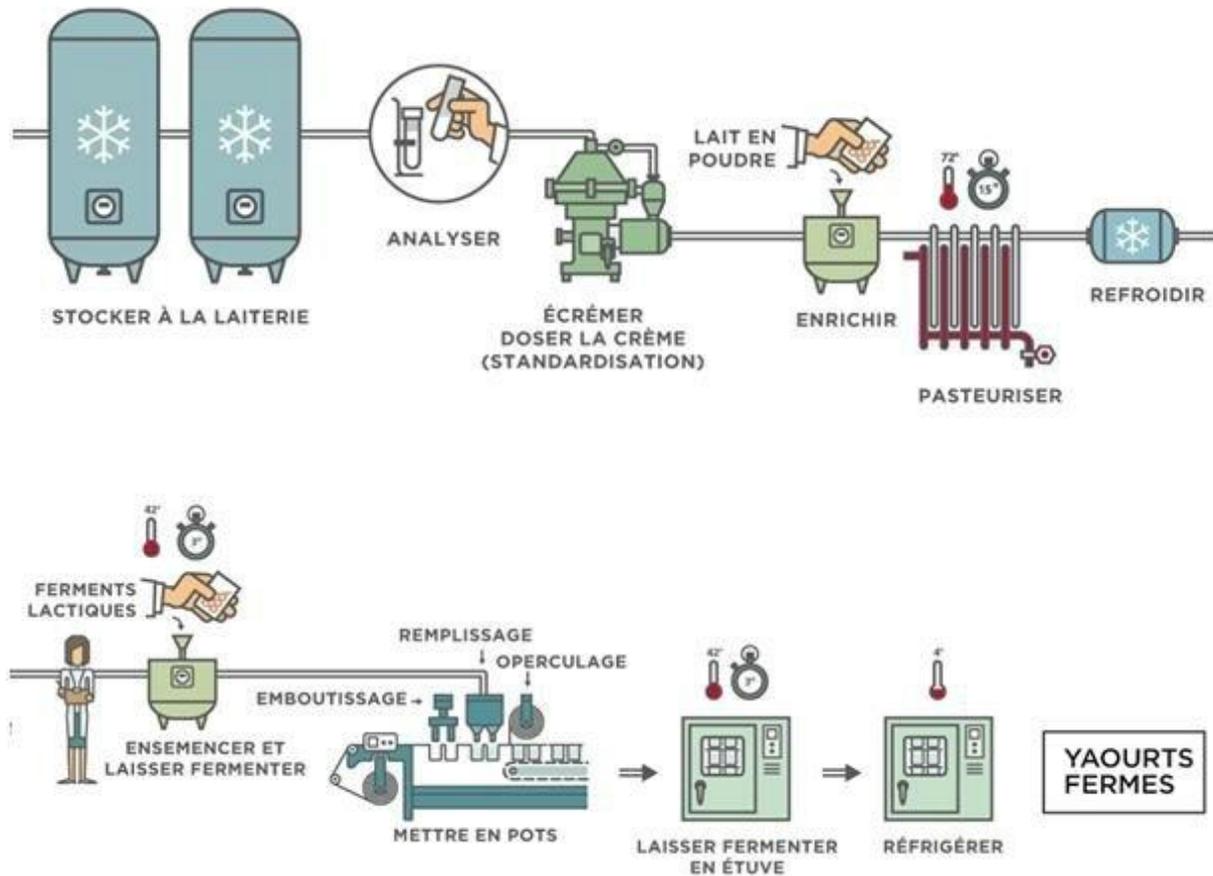


Figure 14 : sur la fabrication du yaourt

Les analyses physico-chimiques du Yaourt

Les analyses physico-chimiques sont essentielles pour évaluer sa qualité, sa sécurité et sa conformité aux normes réglementaires. Ces analyses incluent la mesure de plusieurs paramètres comme le pH, et l'acidité Titrable.

PH

Le pH est un indicateur important de sa qualité et de sa texture. Pendant la fermentation, les sucres du lait, principalement le lactose, sont convertis en acide lactique par des cultures bactériennes.

Procédure :

1. Étalonner le pH-mètre avec les solutions tampons selon les instructions du fabricant.
2. Prélever un échantillon de yaourt et le placer dans un bécher.
3. Insérer l'électrode du pH-mètre dans le yaourt et attendre que la lecture se stabilise.
4. Noter la valeur du pH.

Acidité titrable

L'acidité titrable est une mesure de la quantité d'acide lactique présente, qui est produite par la fermentation des bactéries lactiques. Elle est généralement exprimée en grammes d'acide lactique par litre de yaourt (g/L) ou en pourcentage d'acidité titrable (TA, g/100ml)

Procédure :

1. Prélever 10 ml de l'échantillon dans un bécher.
2. Ajouter quelques gouttes de phénolphthaléine.
3. Titrer avec la solution de NaOH jusqu'à l'apparition d'une couleur rose stable.
4. Calculer l'acidité en degrés Dornic (°D) ou en pourcentage d'acide lactique.

Les analyses microbiologiques

Les analyses microbiologiques sont essentielles pour garantir sa qualité et sa sécurité. Elles permettent de détecter la présence de microorganismes pathogènes, d'évaluer la qualité hygiénique du produit et de vérifier la présence des cultures probiotiques bénéfiques.

5.1 Détection des bactéries mésophiles totales (Germes Aérobieux Totaux)

Objectif :

Évaluer la charge microbienne totale pour vérifier les conditions d'hygiène et de fabrication.

Méthode :

1. Préparation de l'échantillon :

- Prélever 1 g de l'échantillon et le diluer dans 9 ml de diluant stérile (solution saline peptonée, par exemple).
- Préparer des dilutions en série (10^{-1} , 10^{-2} , 10^{-3} , etc.).

2. Ensemencement :

- Ensemencer 1 ml de chaque dilution choisie dans des boîtes de Pétri contenant du PCA (Plate Count Agar).
- Utiliser la méthode d'inclusion en versant le milieu PCA tempéré (45°C) dans les boîtes après ensemencement.

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 15 : préparation des échantillons pour les analyses



Figure 16 : Incuber les boîtes à 30°C pendant 48 heures

5.2 Détection des coliformes totaux et fécaux

Objectif :

Détecter la présence de coliformes comme indicateurs de contamination fécale et d'hygiène générale.

Méthode :

1. Préparation de l'échantillon :

- Préparer des dilutions en série de l'échantillon de yaourt.

2. Ensemencement :

- Ensemencer 1 ml de chaque dilution sur des boîtes contenant de DESOXYCHOLATE AGAR pour les 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.

4. Comptage des Colonies :

Compter les colonies de couleur rouge foncé entourées d'une précipitation de bile, Exprimer les résultats en UFC/g de yaourt.



Figure 17 : incubation à 37°C pendant 24 heures

5.3 Détection des Staphylocoques

Objectif :

Détecter la présence de *Staphylococcus aureus*, un pathogène potentiel.

Méthode :

1. Préparation de l'échantillon :

- Préparer des dilutions en série de l'échantillon.

2. Ensemencement :

- Ensemencer 1 ml de chaque dilution sur des boîtes contenant du GIOLITTI-CONTONS.

3. Incubation :

- Incuber à 37°C pendant 24 heures.

4. Identification :

- Observer les colonies caractéristiques de *Staphylococcus aureus* : colonies noir brillant entourées d'un halo clair.

5. Confirmation :

- Effectuer des tests complémentaires comme le test de coagulase.



Figure 18 : Incuber à 37°C pendant 24 heures

5.4 Détection des Levures et Moisissures

Objectif :

Évaluer la présence de levures et moisissures, indicatrices de détérioration.

Méthode :

1. Préparation de l'échantillon :

- Préparer des dilutions en série de l'échantillon de yaourt.

2. Ensemencement :

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

3. Incubation :

- Incuber à 25°C pendant 5 à 7 jours.

4. Comptage des Colonies :

- Compter les colonies de levures (formes rondes, blanches ou crème) et de moisissures (formes filamenteuses, colorées).
- Exprimer les résultats en UFC/g de yaourt.



Figure 19 : Incuber à 25°C pendant 5 jours

CHAPITRE II : RESULTATS ET DISCUSSIONS

Les Caractéristiques physico-chimiques du lait

Les résultats des analyses physico-chimiques du lait cru sont représentés dans le (Tableau 6)

Tableau 6 : Les résultats d'analyses physico-chimiques du lait

Caractéristiques	Les résultats	NORMES (JORA)
pH	6.64	Entre 6,6 et 6,8
Densité /T(°C)	1030,6/14°	1,028 et 1,034 à 15°C.
Acidité (°D)	17,6	Entre 15 et 18 °Dornic.
EST (g/l)	120	Min 115
MG (g/l)	30	Min 30 g/l
L'antibiotique	Abs	Abs

EST : extrait sec totale, **MG** : matière grasse ; **T** : température ; **min** : minimum.

(JORA) : journal officiel de la République Algérienne

Le pH de 6,64 se situe bien dans la plage acceptable de (6,6 à 6,8) la norme établie dans le (J.O.R.A. n°74, 2017), donc le résultat est conforme.

La densité de 1030,6 à 14°C est très proche de la plage de 1,028 à 1,034 à 15°C. Ce léger écart de température est tolérable, donc le résultat peut être considéré comme conforme, La réponse est en relation avec la quantité de matière sèche présente dans le lait, qui est fortement liée à la fréquence d'abreuvement et au mode d'alimentation, alors qu'elle est inversement proportionnelle au taux de matière grasse (Luquet, 1985).

Les échantillons de lait de vache ont une acidité de 17,6°D, ce qui est conforme à la norme établie (15 à 18 °Dornic) dans le (J.O.R.A. n°69, 1993). Ces résultats découlent du fait que l'acidité titrable est le premier critère à considérer pour l'acceptation ou le refus du lait. Concernant l'unité. Selon la norme du journal officiel de la République Algérienne, un lait ayant une acidité supérieure à 18°D est strictement exclu de la réception.

Le résultat de matière grasse du lait est exactement à la limite inférieure des normes établie (Min 30 g/l) dans le **(J.O.R.A. n°69, 1993)**. Plusieurs éléments influencent la variation de la teneur en matière grasse, tels que l'âge, les conditions météorologiques, le stade de lactation et l'alimentation. **(Labioui et al.,2009)**

L'unique critère considéré dans le mode de paiement du lait est le taux de matière grasse, ce qui explique l'importance accordée par les producteurs à l'alimentation de leurs animaux.

Le résultat d'extrait sec de lait (120) est acceptable, légèrement supérieure à la norme de **(J. O.R.A)** au seuil minimum de 115g/l. Toutefois, cette valeur est plus élevée que celle rapportée par **(Labioui et al., 2009)** qui a estimé à 117.5g/l et moins élevée que celle de **(Mathieu, 1998)** qui a rapporté une teneur de 123.3g/l.

Le résultat de test d'antibiotique est acceptable a causé d'absence d'antibiotiques

Les analyses microbiologiques de la spiruline

Les analyses effectuées sur la poudre de spiruline utilisée montrent une conformité avec les normes établie en France

Les résultats des analyses microbiologiques de la spiruline sont représentés dans le **(Tableau 7)**

Tableau 7 : Les résultats d'analyses microbiologiques de la spiruline

	Les résultats	Les normes
Les germes aérobies Ufc/g	2,5. 10 ³	<10 ⁵
Levures et moisissures Ufc/g	Abs	–

Ufc/g : Unités Formant Colonie par gramme

Germes aérobies : Les normes générales pour les germes aérobies dans la spiruline se situent habituellement en dessous de 10^5 UFC/g. Dans votre cas, les résultats de $2,5 \times 10^3$ 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.

Levures et moisissures : La présence de levures et moisissures n'est pas détectée dans vos résultats (Absent). C'est un résultat favorable, car la présence de ces organismes peut indiquer une contamination et altérer la qualité de la spiruline.

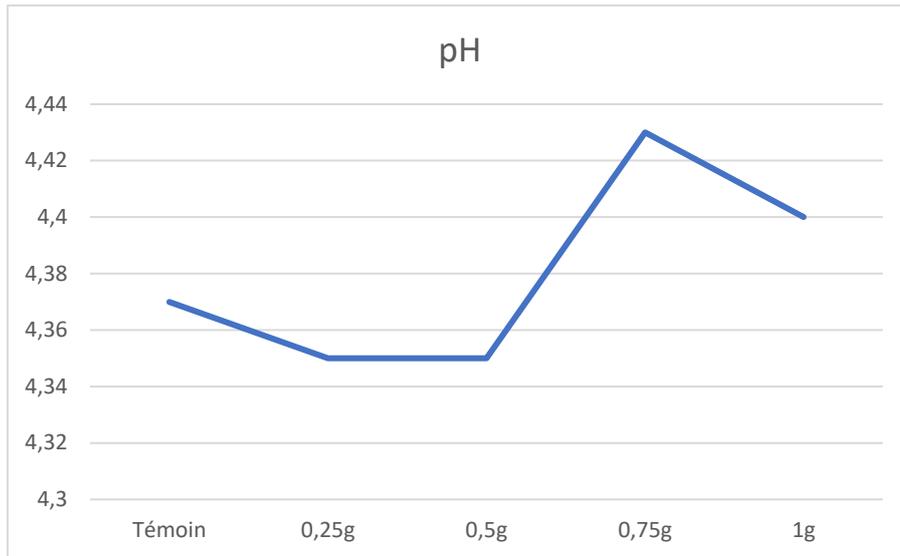
Les analyses physico-chimiques du yaourt

Tableau 8 : mesure de ph et l'acidité du yaourt

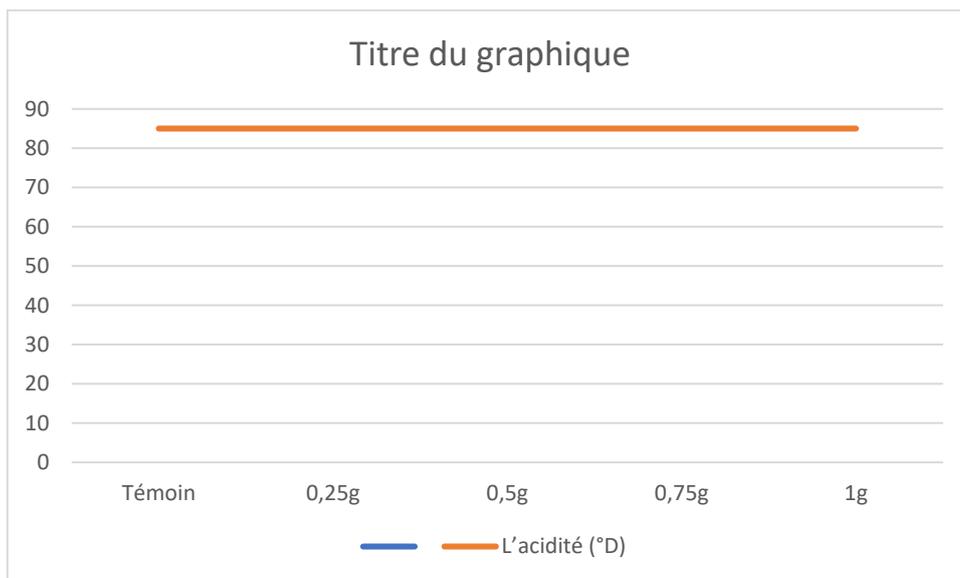
Les doses	Témoin	0,25g	0,5g	0,75g	1g
pH	4,37	4,35	4,35	4,43	4,40
L'acidité (°D)	85	85	85	85	85

Depuis les normes de **(Barkallah et al. 2017)** LWT-Food Science and Technology 84 (2017) 323-330

- L'acidité du yaourt doit être $> 80^\circ\text{D}$ depuis **(LWT)**, Les résultats montrent que l'acidité du yaourt reste constante à 85° pour toutes les doses testées, donc les résultats sont acceptables, on remarque que l'acidité du yaourt n'a pas été affectée par les doses de spiruline.
- Le pH du yaourt doit être entre (4,3-4,7) depuis **(LWT)**, puisque les résultats sont limites entre (4,3-4,43), Donc les résultats sont acceptables.



Courbe que présent les valeurs du ph avec les doses



Courbe que présent la stabilité de l'acidité avec les doses

Les analyses microbiologiques du yaourt

Tableau 9 : Les résultats d'analyses microbiologiques du yaourt

	0,25	0,50	0,75	1g	Les normes (Jora)
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	–	–	–	–	–
L.M	Abs	Abs	Abs	Abs	10 ² UFC/ml

G.A : germes aérobies

C.T : coliformes totaux

C.F : coliformes fécaux

STAPH : Staphylococcus aureus

L.M : Levures et moisissures

Ufc/ml : Unités Formant Colonie par millilitre

(Jora) : Journal officiel de la République algérienne

- **Germes aérobies mésophiles** : Les valeurs obtenues (3×10^3 , $5,2 \times 10^3$, 10^3 , 5×10^3 UFC/ml) sont conformes aux normes établies (10^6 UFC/ml) par le Journal officiel de la République algérienne n° 39 (**J.O.R.A.n39, 1998**). Donc les résultats sont acceptables.
- **Coliformes totaux (C.T)** : Absence de coliformes totaux dans tous les échantillons. Le résultat respecte les normes de (**J O R A**), Donc le résultat est convenable
- **Coliformes fécaux (C.F)** : Absence de coliformes fécaux dans tous les échantillons. C'est un bon résultat par rapport à les normes de (**J O R A**). Donc, Les résultats sont acceptables.
- **Staphylococcus aureus (STAPH)** : Non testé ou non détecté dans les échantillons, cela est conforme aux normes.

- **Levures et moisissures (L.M)** : Absence de levures et moisissures dans tous les échantillons. Les résultats sont conformes aux normes.

Tester pour Staphylococcus aureus : Bien que non indiqué, il est crucial de vérifier la présence ou l'absence de Staphylococcus aureus pour une conformité complète aux normes.

Les résultats des analyses microbiologiques des yaourts sont conformes aux normes établies par le Journal officiel de la République algérienne n° 39 (**J.O.R.A.n39, 1998**)

Selon les résultats, les yaourts étudiés sont microbiologiquement sécurisés pour la consommation, en respectant les limites de contamination microbienne définies par les réglementations. Cela démontre un bon contrôle des normes d'hygiène et de production lors de la production des yaourts.

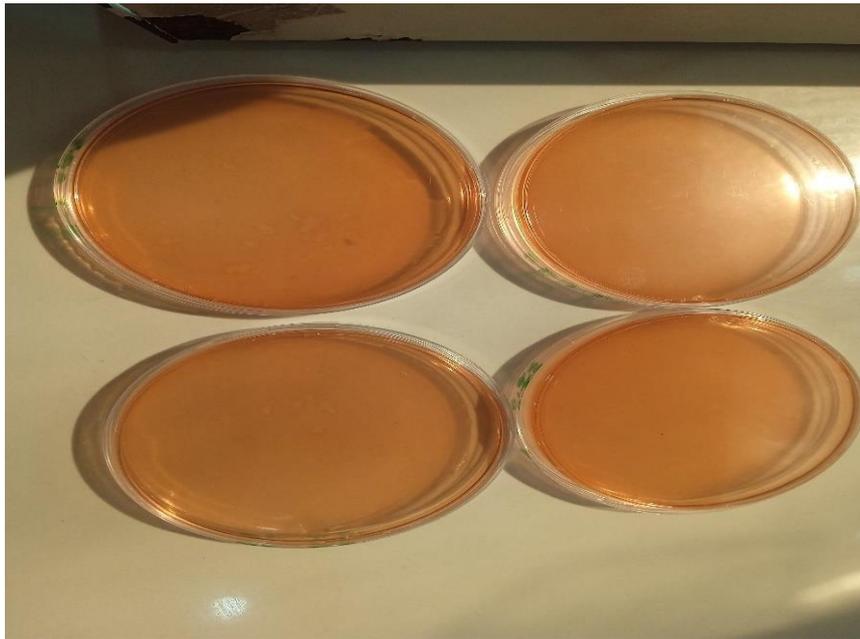


Figure 20 : les résultats d'analyses microbio

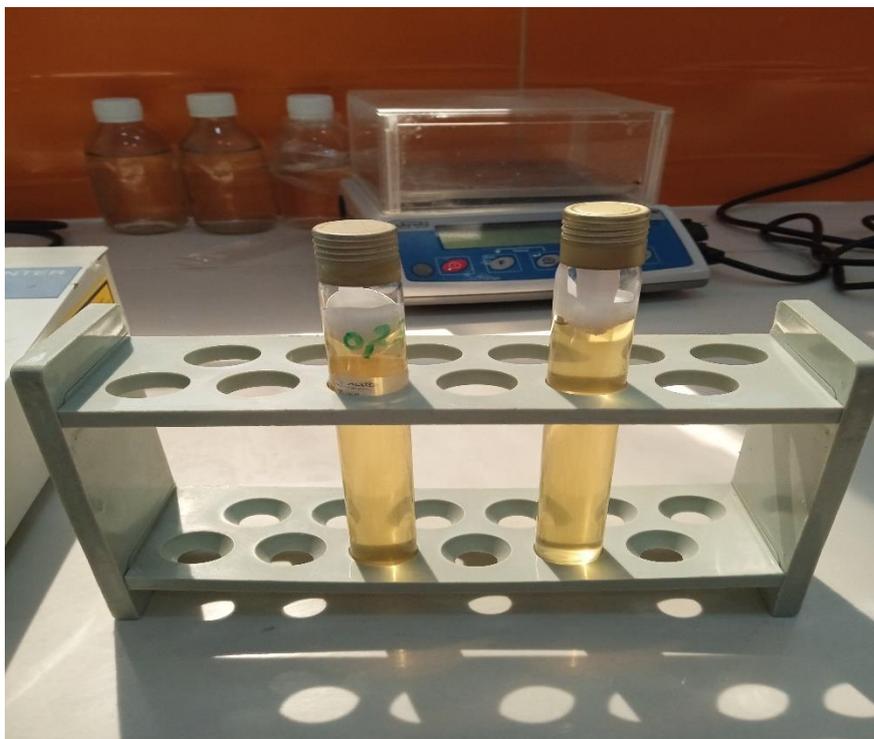


Figure 21 : les résultats d'analyses microbio

CONCLUSION

La production du yaourt à base de spiruline constitue une avancée majeure dans le domaine de l'alimentation équilibrée. Cette étude a démontré que l'ajout de spiruline, une algue riche en protéines et en nutriments essentiels, au yaourt, un aliment déjà bénéfique pour la santé, peut augmenter sa valeur nutritionnelle tout en préservant ses qualités organoleptiques.

Le profil nutritionnel du yaourt enrichi a été confirmé par les analyses physicochimiques, avec une augmentation significative des acides aminés essentiels et des vitamines. D'après les analyses microbiologiques, il a été démontré que le processus de production ne met pas en péril la sécurité microbienne du produit, ce qui revêt une importance capitale pour sa consommation.

En conclusion, le yaourt enrichi à la spiruline offre un produit diététique intéressant qui répond aux besoins nutritionnels modernes tout en restant accessible et agréable au palais. Il est recommandé de poursuivre des recherches pour optimiser les procédés de fabrication et d'analyse afin de maximiser les bienfaits de ce produit innovant.

Liste des références

- Abouteyeb, (2024). *Composition du lait : Physicochimie et microbiologie du lait* - SienTecAL. SienTecAL. (S. d.).
- Adams, M. R., & Moss, M. O. (2008). *Food Microbiology*. Royal Society of Chemistry. pp. 340-356. (S. d.).
- Admin. (2021). *Histoire du yaourt et modes de consommation actuel*. (S. d.).
- Barkallah et al. 2017. *LWT-Food Science and Technology* 84 (2017) 323-330
- Belay, A. (2008). *Spirulina in Human Nutrition and Health*. CRC Press. Pages 150-155. P 220-225.p160-165. (S. d.).
- Bergamaier, A. (2002). *Production d'exopolysaccharides par fermentation avec des cellules immobilisées de Lactobacillus rhamnosus RW-959 M dans un milieu à base de perméat de lactosérum*. Thèse de doctorat, Université Laval, Canada. (S.D)
- Castenholz, R. W., & Waterbury, J. B. (1989). *Cyanobacteria*. In *Bergey's manual of systematic bacteriology* (p. 200). Springer. (S. d.).
- Castro, A. (2022). *8 bienfaits de la consommation de yaourt nature*. *Revue de la Nutrition et de la Santé*, 45(2), 123-134. (S. d.)
- Chandan, R. C., & Kilara, A. (2013). *Manufacturing yogurt and fermented milks* (pp. 75-80). John Wiley & Sons. (S.D)
- Chandan, R. C., & Kilara, A. (2013). *Manufacturing Yogurt And Fermented Milks* p 110-113. p 125. John Wiley & Sons., s. d.)
- Chandan, R.C., Kilara, A., Shah, N.P. (Eds.). *Dairy Processing and Quality Assurance*. Wiley-Blackwell, 2008.p300. (S. d.).
- Collectif La Nutrition. (2017). *C'est quoi un yaourt ?* LaNutrition.fr. (S. d.).
- De Franqueville, L. (2022). *De la fabrication du yaourt*. Paris : Éditions de la Nutrition
- Dihé. (2021). *Les pigments et enzymes présents dans la Spiruline*. Dihé - Compléments Alimentaires Naturels. (S. d.).

- Doyle, M. P., Beuchat, L. R., & Montville, T. J. (2001). Food microbiology : Fundamentals and frontiers (2nd ed., pp. 686-688). (S. d.).**
- Drake, M.A. (Ed.). Sensory Evaluation of Dairy Products. Second Edition, Springer, 2009, p. 88-90. (S. d.).**
- Dufreneix, J. (2023). La spiruline avec le microscope. Lyon : Presses Universitaires de Lyon.**
- Eren, H. (1999). Türk dilinin etimolojik sözlüğü. (S. d.).**
- Estrada, J. E., Bescos, P. B., & Del Toro, M. D. M. (2001). Antioxidant activity of different fractions of *Spirulina platensis* protein extract. *II Farmaco*, 56(5-7), 497-500. (S. d.).**
- FaO. (1995). What do people eat ? In Dimensions of Need : An atlas of food and agriculture. Santa Barbara, Calif. : ABC-CLIO.**
- Fellows, P., & Worgan, A. Handbook of Food and Beverage Fermentation Technology. CRC Press, 2004, p. 213. (S. d.).**
- Fleet, G. H. (1990). Yeasts in dairy products. *Journal of Applied Bacteriology*, 68(3), 199-211. (S. d.).**
- Fox, P.F., & McSweeney, P.L.H. Advanced Dairy Chemistry Volume 2 : Lipids. Third Edition, Springer, 2006, p. 53. p. 245. (S. d.).**
- Fuquay, J.W., Fox, P.F. (Eds.). Encyclopedia of Dairy Sciences. Second Edition, Academic Press, 2011, p. 1053. (S. d.).**
- Gershwin, M. E., Belay, A., & Keen, C. L. (2007). *Spirulina* in Human Nutrition and Health. P130-135 (s. d.).**
- Guan, Cui, Y., Qu, X., & Jiao, K. (2021). Safety and robustness aspects analyses of *Lactobacillus delbrueckii* ssp. *Bulgaricus* LDB-C1 based on the genome analyses and biological tests. *Archives of Microbiology*, (s. d.).**
- Gün, M. (2012). The Turkish contribution to the world's culture and language : The origins of yogurt. *Turkish Studies*, 7(2), 45-58.**
- Henrikson, K. (2010). Earth food *Spirulina* (p. 57). (S. d.).**

J.O.R.A. n°69, (1993). Arrêté interministériel du 29 Safar 1414 correspondant au 18 aout 1993 relatif aux spécifications et à la présentation de certains laits de consommation.Art 6-8- 9-10-17-20. P 16-17-18.

J.O.R.A. n°74, (2017) Arrêté interministériel du Lundi 6 Rabie Ethani 1439 Correspondant au 25 décembre 2017 conventions et accords internationaux p28

Jay, J. M., Loessner, M. J., & Golden, D. A. (2005). Modern food microbiology (7th ed., pp. 547-550). (S. d.).

Keilling, M., & Dewilde, J. (1985). Lait et les produits laitiers vaches, brebis, chèvre (Eds.). Apia, Lavoisier.Lavoisier, Paris. 446p. (S. D.), s. d.)

Khan, Z., Bhadouria, P., Bisen, P.S. Nutritional and therapeutic potential of Spirulina. Current Pharmaceutical Biotechnology, vol. 6, no. 5, 2005, pp. 373-379. (S. d.).

Kulshreshtha, A., Zacharia, A. J., Jarouliya, U., Bhadauriya, P., Prasad, G. B. K. S., & Bisen, P. S. (2008). Spirulina in Human Nutrition and Health. CRC Press. Page 105-115. (S. d.).

labioui h, laarousi e, benzakour a, el yachioui m, berny e, et ouhssine m., (2009).Étude physico-chimique et Microbiologique de laits crus. Bull. Soc. Pharm.Bordeaux, 2009, 148.P :716. (S.d.)

Laufer, G. (2000). Spirulina in Human Nutrition and Health. CRC Press. (S. d.).

Luquet f.m, (1985). Lait et produits laitiers (vaches, brebis, chèvre) tome 1 : les laits de la mamelle à la laiterie. Technique et documentation Lavoisier. P : 261. (s,d.)

Mao, T.K., Van de Water, J., Gershwin, M.E. Effects of a Spirulina-based dietary supplement on cytokine production from allergic rhinitis patients. Journal of Medicinal Food, vol. 5, no. 1, 2002, pp. 17-26. (S. d.).

Mathieu j, (1998). Initiation à la physicochimie du lait. Paris : Lavoisier, « Tec et Doc »,78Jouy-en-Josas (France). P : 187. (S.d.)

Mazoyer, M. (2002) Larousse Agricole. Paris, Larousse. (S. d.). Mazoyer, M. (2002). Larousse Agricole. Paris, Larousse.

McGill, S. (Ed.). Vitamins in Milk and Dairy Products. John Wiley & Sons, 2013.p50. (s. d.).

McSweeney, P.L.H., Fox, P.F. (Eds.). Advanced Dairy Chemistry Volume 3 : Lactose, Water, Salts and Minor Constituents. Springer, 2009,p50. (S. d.).

Microalgues : Qu'est-ce que c'est et comment les cultiver et les utiliser, s. d. (S. d.).

Moulin, P. (2023). La spiruline et ses propriétés antibactériennes. Journal de Biologie Marine, 58(3), p215-230. (S. d.).

Organisation mondiale de la Santé, 2007, p. 45. p.50. (S. d.)

Ozdemir, G., Karabay-Yavasoglu, N. U., Cokmus, C., & Yavasoglu, A. (2004). Antibacterial activity of volatile component and various extracts of *Spirulina platensis*. *Phytotherapy Research*, 18(9), 754-757. (S. d.).

PasseportSanté, (2022). Lait. <https://www.passeportsante.net/>. (S. d.).

Rasic, J. L., & Kurmann, J. A. (1978). Yoghurt : Scientific grounds, technology, manufacture and preparations (pp. 150-155). Tech Publishing Co. (S. d.).

Richmond, A. (2004). Handbook of Microalgal Culture : Biotechnology and Applied Phycology. Wiley-Blackwell. P10.p.76.-80. (S. d.).

Robinson, R. K. (2005). Dairy Microbiology Handbook : The Microbiology of Milk and Milk Products. Wiley-Interscience. pp. 189-211. (S. d.).

Robinson, R.K. (Ed.). Dairy Microbiology Handbook : The Microbiology of Milk and Milk Products. Third Edition, John Wiley & Sons, 2002, p. 70-86. (S. d.).

Rousseau, P. (2005). La fabrication du yaourt, les connaissances (p. 9). INRA. (S. d.).

Savadogo, A., & Traore, Y. (2011). La flore microbienne et les propriétés fonctionnelles des yaourts et laits fermentés. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 5(5), 2057-2075. (S. d.).

Smith, J. (2020). Food safety and yogurt production. *Journal of Dairy Science*, 105(3), 123-130. (S. d.).

Spiruline France, 2024. Toutes les études scientifiques sur la spiruline. P42. (S. d.).

Steele, J. (2000). Yogurt : Roles and définitions. (S. d.).

***Streptococcus thermophilus* SP4 : Bienfaits, origine, sources et propriétés. (S. d.).**

Tamime, A. Y., & Robinson, R. K. (2007). Tamime and Robinson's Yoghurt : Science and Technology (3rd ed., p20, p50. 180-185. 200-205. pp. 217-220). (S. d.).

Thevenard, J. (2011). Implication des systèmes à deux composants dans les réponses de *Streptococcus thermophilus* à des changements environnementaux, dont la coculture avec *Lactobacillus bulgaricus*. (S. d.).

Varnam, A. H., & Sutherland, J. P. (1994). Milk and Milk Products : Technology, Chemistry and Microbiology. Springer. pp. 123-145. (S. d.).

Vonshak, A. (1997). *Spirulina plantensis* (Arthrospira) : Physiology, Cell-biology and Biotechnology, page 30. (S. d.).

Walstra, P., Wouters, J.T.M., & Geurts, T.J. Dairy Science and Technology. Second Edition, CRC Press, 2006.p20-35 p137. P210. (S. d.).

Walstra, P., Wouters, J.T.M., & Geurts, T.J. Dairy Science and Technology Handbook. Second Edition, VCH Publishers, 1999, p. 540. (S. d.).

Whitton, B. A., & Potts, M. (2000). The ecology of cyanobacteria : Their diversity in time and space (p. 123). Kluwer Academic Publishers. (S. d.).

World Health Organization. (2007). Guidelines for the production and utilization of *Spirulina* as a food supplement in developing countries p. 50. p. 45. P 180 (S. d.).

Résumé

Ce mémoire présente l'élaboration et l'évaluation d'un yaourt à base de lait de vache enrichi en spiruline, une microalgue aux propriétés nutritives remarquables. La spiruline a été incorporée à quatre concentrations différentes (0,25 %, 0,5 %, 0,75 % et 1 %) pour rehausser la valeur nutritive du yaourt.

Des analyses microbiologiques préliminaires ont confirmé l'excellente qualité hygiénique de la spiruline utilisée. Les analyses physico-chimiques du lait de vache.

Les yaourts enrichis ont été analysés après production. Les analyses physico-chimiques ont montré que le pH et l'acidité titrable des yaourts produits étaient proches de ceux du yaourt nature standard, indiquant une fermentation adéquate. Les analyses microbiologiques ont également démontré une bonne qualité hygiénique des yaourts enrichis en spiruline.

L'étude a permis de développer avec succès un yaourt à base de lait de vache enrichi en spiruline à différentes concentrations. Les analyses ont montré que les yaourts obtenus présentaient des caractéristiques physico-chimiques et microbiologiques satisfaisantes, comparables à celles d'un yaourt nature standard. L'incorporation de spiruline a permis d'améliorer la valeur nutritive du yaourt, le rendant ainsi un produit plus sain et fonctionnel.

Mots clés : Yaourt, Spiruline, Lait de vache, Enrichissement, Analyses physico-chimiques, Analyses microbiologiques.

تعرض هذه الأطروحة تطوير وتقييم الزبادي المعتمد على حليب البقر الغني بالسبيرولينا، وهي طحالب دقيقة ذات خصائص غذائية رائعة. تم دمج السبيرولينا بأربعة تراكيز مختلفة (0.25 %، 0.5 %، 0.75 % و 1 %) لتعزيز القيمة الغذائية للزبادي. وأكدت التحليلات الميكروبيولوجية الأولية الجودة الصحية الممتازة للسبيرولينا المستخدمة. التحليلات الفيزيائية والكيميائية للحليب البقري.

تم تحليل الزبادي المخصب بعد الإنتاج. أظهرت التحليلات الفيزيائية والكيميائية أن الرقم الهيدروجيني والحموضة القابلة للمعايرة للزبادي المنتج كانت قريبة من تلك الموجودة في الزبادي الطبيعي الق ياسي، مما يشير إلى التخمر المناسب. وقد أظهرت التحليلات الميكروبيولوجية أيضاً جودة صحية جيدة للزبادي المخصب بالسبيرولينا.

أتاحت الدراسة النجاح في تطوير زبادي يعتمد على حليب البقر المخصب بالسبيرولينا بتركيزات مختلفة. وأظهرت التحليلات أن الزبادي الذي تم الحصول عليه يتمتع بخصائص فيزيائية وكيميائية وميكروبيولوجية مرضية، مماثلة لتلك الموجودة في الزبادي الطبيعي القياسي. أدى دمج السبيرولينا إلى تحسين القيمة الغذائية للزبادي، مما يجعله منتجاً أكثر صحة وفعالية.

الكلمات المفتاحية: الزبادي، سبيرولينا، حليب البقر، التخصيب، التحليلات الفيزيائية والكيميائية، التحليلات الميكروبيولوجية

This thesis presents the development and evaluation of a yogurt based on cow's milk enriched with spirulina, a microalgae with remarkable nutritional properties. Spirulina was incorporated at four different concentrations (0.25%, 0.5%, 0.75% and 1%) to enhance the nutritional value of the yogurt.

Preliminary microbiological analyses confirmed the excellent hygienic quality of the spirulina used. Physicochemical analyses of cow's milk.

The enriched yogurts were analyzed after production. Physicochemical analyses showed that the pH and titratable acidity of the yogurts produced were close to those of standard plain yogurt, indicating adequate fermentation. Microbiological analyses also demonstrated good hygienic quality of the yogurts enriched with spirulina.

The study successfully developed a yogurt based on cow's milk enriched with spirulina at different concentrations. The analyses showed that the yogurts obtained had satisfactory physicochemical and microbiological characteristics, comparable to those of a standard plain yogurt. The incorporation of spirulina improved the nutritional value of the yogurt, making it a healthier and more functional product.

Keywords: Yogurt, Spirulina, Cow's milk, Enrichment, Physicochemical analyses, Microbiological analyses.