

Université Abdelhamid
Ibn Badis-Mostaganem
Faculté des Sciences de la
Nature et de la Vie



جامعة عبد الحميد ابن باديس
مستغانم
كلية علوم الطبيعة والحياة

DEPARTEMENT DES SCIENCES ALIMENTAIRES

MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDES

Pour l'obtention du diplôme de

Master en Sciences alimentaires

Spécialité : Production et Transformation Laitière

Présenté par

KHERIEF Kahla Niamet

MANSSOURI Wafaa

Thème

**Formulation d'un yaourt à boire à base
des éléments**

Fonctionnels d'un lactosérum doux

Devant le jury :

Président	Dr ZABOURI Younes	MCA	Université de Mostaganem
Encadreur	Dr TAHLAITI Hafida	MCA	Université de Mostaganem
Examineur	Dr DAHOU Abdelkader El Amine	MCA	Université de Mostaganem

Thème réalisé au Laboratoire de recherche des Sciences et Techniques de Production Animale
« LSTPA » de l'université Abdelhamid Ibn Badis de Mostaganem, Route de Hassi Mamèche

Année universitaire 2023/ 2024

Remerciements

*Nous sommes reconnaissantes envers Allah le tout-puissant qui a donné
le courage, la volonté et la force.*

*Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude et notre profond respect envers « Dr. TAHLAITI Hafida »,
pour son accompagnement, sa patience, sa
Disponibilité et surtout ses conseils avisés, qui ont contribué à enrichir notre
Réflexion, à approfondir nos connaissances et à enrichir nos connaissances.*

*Nous tenons à remercier Monsieur Zabouri Younes. Pour nous avoir fait l'honneur de présider le jury mon
travail.*

*Nos remerciements s'adressent aussi à Monsieur DAHOU Abdelkader El Amine, d'avoir accepté
d'examiner le contenu de ce présent travail. Veuillez trouver ici l'expression de notre profond respect.*

*Nous tenons également à exprimer notre reconnaissance au Dr. DAHOU
Abdelkader El Amine, directeur du laboratoire des Sciences et Techniques
de Production Animale « STPA », pour nous avoir donné toutes les informations nécessaires pendant mon
stage.*

*Nous remercions également l'ingénieur de laboratoire Monsieur Noureddine BENCHARRAT pour ses appuis
et ses recommandations.*

*Nous tenons également à exprimer notre gratitude envers tous les enseignants du
parcours de production et de transformation laitière, ainsi que le
département des sciences alimentaires, la faculté des sciences de la nature et
de la vie de l'université Abdelhamid Iben Babdis de Mostaganem.*

Dédicaces

Aujourd'hui, je suis remplie d'émotions en célébrant cette étape de ma vie. Ces années d'études ont été une aventure de croissance et d'apprentissage.

À mes parents, merci pour votre soutien inébranlable, votre amour inconditionnel et vos sacrifices. Chaque succès que je célèbre aujourd'hui vous appartient aussi.

Hanin et Chaima, mes sœurs adorées, vous avez été mes compagnes, mes confidentes et mes sources d'inspiration. Vos encouragements et votre soutien moral ont été essentiels pour moi.

Mohammed Yasser mon petit ange, Soufiane et Ferradj, mes frères bien-aimés, vos encouragements et votre présence ont illuminé mon parcours.

Djihan, ma meilleure amie, ta présence a rendu chaque moment précieux et plus léger ta fidélité en amitié a été un grand soutien.

Merci à tous pour votre soutien. Que cette journée marque le début de nouvelles réussites. Au souvenir de grand-mère Yamina, votre amour et vos bénédictions ont été mes phares. Allah yarhamha.

Je vous aime et vous remercie du fond du cœur.

Niamet

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail :

A dieu le tout puissant, à qui je dois tout, et surtout d'avoir honoré et éclairé mon chemin par le savoir.

A celui qui m'a fait une femme, ma source de vie, d'amour et d'affection à mon support qui était toujours à mes côtés pour me soutenir et m'encourager, à mon principe papa.

A mon paradis, à la prunelle de mes yeux, à la source de ma joie et mon bonheur, ma lune et le fil d'espoir qui allumer mon chemin, maman.

*Vous dis : vous avez été pour moi ma meilleure école et mon meilleur professeur
MERCİ MAMAN, MERCİ PAPA, pour toutes les valeurs que vous m'avez inculquées.*

A mes frères Ibrahim, islam.

A mes sœurs hanane, sirine.

Je vous aime et je vous exprime ma gratitude sincère.

Wafaa

Résumé

Le lactosérum représente un cas typique d'un rejet coûteux et nécessitant une grande énergie environnementale. La mise en valeur de sa valeur dans la production d'un yaourt à boire représente une approche prometteuse pour le domaine du lait. Ce projet vise à valoriser le lactosérum doux riche en protéines sériques pour améliorer l'extrait sec total, le rendement et la texture d'un lait fermenté de type yaourt et à un prix concurrentiel. En transformant ce sous-produit en un yaourt délicieux et économique, grâce à ses protéines, vitamines et minéraux valorisés. Le produit fini a été soumis à des analyses physico-chimiques et microbiologiques afin d'assurer sa qualité, sa stabilité, son goût et ses avantages nutritionnels. Le but de ce projet est d'améliorer les rendements en protéines, qui sont indispensables pour un apport nutritionnel élevé, et de réguler la viscosité, qui est cruciale pour une texture plaisante et agréable à boire. Cette approche offre une variété de produits laitiers sur le marché, tout en sensibilisant l'industrie à la durabilité et à la valorisation des sous-produits, ouvrant la voie à de nouvelles pratiques et collaborations.

Mots clés : Valorisation, lactosérum doux, yaourt à boire, rendement, viscosité.

Abstract

Whey is a typical case of a waste product that is costly and requires a great deal of environmental energy. Harnessing its value in the production of a drinkable yoghurt represents a promising approach for the dairy sector. This project aims to encourage sustainable development by transforming this by-product into a delicious and economical yoghurt, thanks to its enhanced proteins, vitamins and minerals. The finished product was subjected to physico-chemical and microbiological analyses to ensure its quality, stability, taste and nutritional benefits. The aim of this project is to improve protein yields, which are essential for a high nutritional intake, and to regulate viscosity, which is crucial for a pleasant, drinkable texture. This approach offers a variety of dairy products on the market, while raising the industry's awareness of sustainability and the value of by-products, paving the way for new practices and collaborations.

Keywords: Value-added, sweet whey, drinking yoghurt, yield, viscosity.

المخلص

يمثل مصل اللبن مستخرج من تحويل اللبان ومن النفايات الحيوية الملوثة والتي تتطلب وسائل باهظة الثمن لتتقنتها من المواد الحيوية الملوثة. يهدف هذا المشروع إلى تشجيع التنمية المستدامة من خلال تحويل هذا المنتج الثانوي إلى زبادي لذيذ واقتصادي بفضل البروتينات والفيتامينات والمعادن المحسنة. وقد خضع المنتج النهائي لتحليلات فيزيائية وكيميائية ومكروبيولوجية لضمان جودته وثباته ومذاقه وفوائده الغذائية. والهدف من هذا المشروع هو تحسين إنتاجية البروتين، وهو أمر ضروري للحصول على كمية غذائية عالية، وتنظيم اللزوجة، وهو أمر حاسم للحصول على قوام لطيف وقابل للشرب. ويوفر هذا النهج مجموعة متنوعة من منتجات اللبان في السوق، مع زيادة وعي الصناعة بالاستدامة وقيمة المنتجات الثانوية، مما يمهد الطريق لممارسات وتعاونات جديدة.

الكلمات المفتاحية: القيمة المضافة، مصل اللبن الحلو، زبادي الشرب، المحصول، اللزوجة

Liste des tableaux

Tableaux	Titres	Page
01	Exemples de produits laitiers fermentés et leurs pays d'origine	05
Ki02	Les différents types de yaourt et leurs caractéristiques	08
03	Composition de différents types de lactosérum	13
04	Activité biologique des protéines de lactosérum	13
05	Acides aminés essentiels (gr/100gr)	14
06	Teneur en vitamines du lactosérum	15
07	Matériel utilisé dans la partie pratique	26
08	Les résultats des analyses physico-chimiques du lait	26
09	Les résultats des analyses physico-chimiques du lactosérum	28
10	Le rendement de yaourt valorisé avec lactosérum	31
11	Les résultats de la viscosité	31

Liste des figures

Figures	Titre	Page
01	Diagramme général de la fabrication des yaourts étuvé et brassé	07
02	La flore bactérienne du yaourt <i>Streptococcus et Lactobacillus</i>	09
03	Schéma général de la fabrication de différents types de fromages (pâtes molles, pressées, fraîches)	12
04	Principe de la chromatographie gel filtration	17
05	Schéma de fabrication du yaourt à boire	22
06	Dessiccateur infra-rouge	27
07	Flore totale du lait	27
08	Flore totale du lactosérum	28
09	Résultats de la teneur en extrait sec total du yaourt valorisé avec lactosérum	29
10	Rendement de yaourt non valorisé avec le lactosérum(témoin)	30
11	Rendement de yaourt valorisé avec le lactosérum (dose 0.7)	30
12	Viscosimètre	31
13	Aspect microscopique du <i>Streptococcus thermophilus</i> (G x 1000)	32
14	Aspect microscopique du <i>Lactobacillus bulgaricus</i> (G x 1000)	32
15	Yaourt à boire préparer	40
16	La filtration	40

Liste des abréviations :

°D	Degrés Dornic
F.A.O	Food and Agriculture Organisation
J.O.R.A	Journal Officiel de la République Algérienne
MG	Matière grasse
EST	Extrait Sec Total
Ph	Potentiel hydrogène
N.S/m ²	L'unité de viscosité dynamique
Pa	L'unité de pression dans le SI. C'est la force d'un newton exercée sur une surface d'un mètre carré (Pa =N /m ²)
Sou centpoises (10 ⁻³ Pa.s)	La mesure de la viscosité dynamique

Tables des matières

Résumé

Abstract

ملخص

Liste des tableaux

Liste des figures

Liste des abréviations

Introduction 01

Partie 01: Étude bibliographique

Chapitre 01: Lait fermentés (Yaourt)

I. Lait fermentés 04

I.1. Généralités 04

 Définition 04

 Propriétés du lait fermenté 05

I.2. Les différents types de lait fermentés 05

 Le yaourt 06

 Définition 06

 Les différents types de yaourt 08

 La composition du yaourt 08

 Les bactéries caractéristiques du yaourt 09

 Processus de fabrication du yaourt 10

 Les intérêts nutritionnels et thérapeutiques du yaourt 11

CHAPITRE 2 : Le lactosérum.

II.1. Le lactosérum 13

 Définition du lactosérum 13

 Lactosérum doux 13

II.2. Les éléments fonctionnels 14

 Protéines 14

 Le lactose 16

 Les vitamines 16

 Les sels minéraux 17

 Les matières grasses 17

II.3. Valorisation du lactosérum 17

 a). Valorisation du lactosérum en industrie agroalimentaire 17

 Applications du lactosérum dans l'alimentation 17

b). Valorisation du lactosérum en industrie laitière	18
------------------------------------------------------------	----

2. PARTIE PRATIQUE

Matériel et méthodes

I. Objectif de l'étude	21
II. Lieu de l'étude	21
III. Méthode.....	21
1. Formulation et caractérisation physico-chimique des yaourts à boire.....	21
La stérilisation du matériel de prélèvement.	21
Préparation de lait reconstituée	21
Analyses physicochimiques du lait.....	21
Analyses microbiologiques du lait	22
Analyses physicochimiques du lactosérum.....	22
Analyses microbiologiques du lactosérum.	23
Préparation du yaourt à boire	23
2. Les analyses microbiologiques du yaourt préparé.....	24
3. Les analyses physico-chimiques de yaourt préparé.....	24
4. Détermination de la viscosité	24
5. Rendement en extrait sec	25

Résultats et discussion

Résultats.....	27
1.Résultats physico-chimiques du lait	27
2.Résultats physico-chimiques du lactosérum.	27
3.Résultats microbiologiques de lait.....	28
4.Résultats microbiologiques du lactosérum.	28
5.Résultats physico-chimiques du yaourt à boire.....	29
6.Résultats des rendements du yaourt à boire	31
7. la viscosité.....	32
8.Résultats des analyses microbiologiques du yaourt à boire.....	33

Conclusion.....

Annexe	38
Liste des références	40

Introduction

Introduction

À l'heure actuelle, le secteur industriel a connu une croissance considérable dans le monde, mais il reste encore des dangers et des impacts néfastes sur l'environnement et la santé publique. Depuis longtemps, les écologistes et les biologistes se sont penchés sur les méthodes et les techniques visant à réduire la pollution causée par les industries. Parmi celles-ci, l'industrie laitière est l'une des plus polluantes en raison de la libération de volumineux quantités de lactosérum (**Lachebi et Yelles, 2018**).

Lorsqu'on fabrique du fromage, 10 litres de lait produisent 1 kg de fromage et 9 litres de sous-produit appelé "lactosérum" (**Jolanta et al., 2016**) Le liquide obtenu lors de l'égouttage est riche en protéines contenant des acides aminés essentiels (lysine et tryptophane), du lactose, des vitamines et des minéraux, dont il reste encore quelques-uns. Un grand nombre à gagner en quantité et en qualité (**Apria, 1973**).

Le lactosérum est un produit secondaire obtenu lors de la production du fromage. Il est généralement défini comme la partie du liquide ou du sérum de lait résiduel qui subsiste après la coagulation du lait et la séparation du caillé.

Effectivement, le lactosérum occupe environ 85 à 95 % du volume du lait et préserve environ 55 % des nutriments présents dans le lait (**Lapointe-Vignola, 2002 ; Guimarães et al., 2010**). La production de fromage en Algérie s'élève à 1540 tonnes depuis 2013, soit environ 14 millions de litres de lactosérum (Fao-onu, 2017). Il pose une problématique importante en tant qu'un des rejets industriels les plus polluants en raison de la possibilité de fermentation organique. Selon **Poirier (1996)**, sa charge organique est extrêmement élevée et sa DBO (demande biologique en oxygène) varie autour de 40 000 mg.\l. Tandis que la norme de rejet pour une entreprise qui traite ses effluents de manière autonome est de 30 mg. La gestion du lactosérum est un défi à la fois économique et écologique en raison de ces quantités massives. La gestion de chaque kilogramme de produit (le terme produit) est économique (**Smithers, 2008**).

Autrefois considéré comme un "sous-produit" exclusivement utilisé dans l'alimentation animale (porcherie), le lactosérum est maintenant considéré comme un "ingrédient" laitier à part entière, également utilisé dans l'alimentation humaine en l'incorporant dans divers produits tels que le yaourt (**Skryplonek, 2018**).

De nos jours, les poudres de lactosérum et leurs dérivés sont largement employés en tant qu'ingrédients, non seulement en raison de leurs propriétés technologiques (industrie laitière, confiserie, charcuterie...) mais aussi nutritionnelles (fabrication d'aliments diététiques, pharmaceutiques ou infantiles) (**De Witt, 2001**).

Introduction

En Algérie, la question de la mise en valeur du lactosérum se pose avec urgence en raison de l'absence d'une réglementation pouvant interdire le rejet de ce produit dans la nature par les autorités publiques. La présence de lactosérum dans les égouts constitue un élément essentiel. La perte sèche de la substance nutritive. Depuis 2013, 1540 tonnes de fromage sont produites en Algérie, ce qui représente environ 14 millions de litres de lactosérum (FAO, 2017). Devant cette situation, il est indispensable de valoriser le lactosérum. Afin de réduire les risques polluants du lactosérum, différentes méthodes de valorisation ont été mises en place pour permettre son utilisation dans divers secteurs tels que l'alimentation animale, la biotechnologie et la biotechnologie (**Belhout et Belkaid, 2015**).

Dans ce contexte, l'objectif du présent travail consiste à la fois à valoriser un sous-produit disponible et très polluant pour l'environnement « le lactosérum », en l'incorporant dans la formulation d'un « yaourt à boire ».

Une première partie est consacrée à une synthèse bibliographique présentant des généralités sur le lait fermenté et le lactosérum.

Une deuxième partie expérimentale où on présente les méthodes d'analyses biochimique et microbiologique utilisées. Ensuite, on interprète les résultats obtenus et enfin on termine par une conclusion.

Chapitre 1 :
Laits fermentés
(Yaourt)

I. Laits fermentés

I.1. Généralités

La production de tous les laits fermentés implique l'action de bactéries spécifiques qui altèrent la composition originale du lait. Lorsque le lactose présent dans le lait est métabolisé, il génère de l'acide lactique, entraînant ainsi la coagulation du lait et conférant au produit final une saveur acidulée caractéristique. Les propriétés distinctives de chaque type de lait fermenté résultent de variations spécifiques dans des paramètres tels que la composition du lait de départ, les conditions de température pendant la fermentation, ainsi que la souche particulière de levain utilisée (**Boudier, 1990**).

Le lait fermenté a une histoire riche, étant consommé depuis des siècles dans de nombreuses cultures à travers le monde. Il existe une grande diversité de produits laitiers fermentés, chacun présentant ses propres caractéristiques distinctives qui résultent des techniques de fermentation employées, des ingrédients ajoutés et des conditions de production spécifiques. Parmi les exemples les plus populaires de produits laitiers fermentés, on retrouve le yaourt, le kéfir, le labneh, le koumiss et le skyr, qui sont appréciés dans différentes régions du globe (**John W. Fuquay, Patrick F. Fox, et Paul L. H. McSweeney, 2011**).

Les premiers produits laitiers fermentés ont été découverts de manière fortuite et non intentionnelle dans l'histoire. Ils sont nés de la coagulation du lait par des bactéries lactiques présentes de manière accidentelle et contaminante dans le lait (**Lamontagne, 2002**).

Plusieurs légendes circulent sur les origines du lait fermenté, parmi lesquelles l'une des plus célèbres est celle d'un voyageur nomade traversant le désert turc. Selon cette histoire, le voyageur aurait conservé du lait dans un sac en peau de chèvre, qu'il aurait ensuite suspendu à la selle de son chameau. Sous l'effet du soleil ardent et grâce à un brassage continu, le lait aurait évolué pour se transformer en une crème onctueuse. Ces conditions réunies auraient ainsi créé les premières circonstances favorables à la fabrication du lait fermenté (**Bourlioux, 2007**).

Définition

Le terme « lait fermenté » est utilisé pour désigner le produit laitier préparé à partir de laits écrémés ou non, ou de laits concentrés ou en poudre, écrémés ou non, enrichis ou non en composants du lait, ayant subi un traitement thermique au moins équivalent à la pasteurisation, etensemencés avec des micro-organismes de l'espèce ou des espèces spécifiques de chaque produit (**Pelletier et al., 2007**).

Le lait fermenté est le produit de la fermentation délibérée du lait, avec l'introduction d'un ou plusieurs ensembles de bactéries spécifiques, qui sont généralement maintenues jusqu'à la consommation. Cette pratique vise à garantir sa stabilité microbiologique tout en lui conférant des caractéristiques sensorielles et/ou nutritionnelles particulières, telles que sa texture distinctive (**Savado et Traore, 2011**).

Propriétés du lait fermenté

D'un point de vue nutritionnel, les yaourts et les laits fermentés, tout comme le lait, présentent des avantages (riches en calcium et en vitamines, équilibre entre les fractions glucidiques, protéiques et lipidiques). De plus, ils offrent plusieurs bénéfices par rapport au lait non transformé (Sodini et Béal, 2012).

I.2. Les différents types de laits fermentés :

Tableau 1 : Exemples de produits laitiers fermentés et leurs pays d'origine (Leksir, 2012).

Nom	Description	Pays présumé d'origine
Yoghourt/Yaourt	Produit ferme ou brassé, arôme caractéristique.	Asie, Balkans.
Kéfir	Boisson brassée, consistance crémeuse, arôme et goût caractéristiques (CO ₂)	Caucasse
Koumis	Boisson pétillante, acide, gout rafraîchissant et arôme caractéristique.	Mongolie
Lassi	Boisson laitière aigre diluée avec de l'eau, consommée salée, épicée ou sucrée.	Inde
Dahi	Produit ferme ou brassé, ou boisson liquide, flaveur agréable, acide ou faiblement acide.	Inde
Leben Produit ferme ou brassé, gout et arôme agréable. Moyen Orient	Produit ferme ou brassé, gout et arôme agréable.	Moyen Orient
Villi	Produit brassé visqueux, acidulé et gout agréable.	Finlande

Le yaourt

Définition

Le yaourt est un produit de fermentation lactique obtenu à partir de lait et de produits laitiers grâce à la croissance des bactéries lactiques thermophiles spécifiques appelées *Lactobacillus de lbrueckiisubsp Bulgaricus* et *Streptococcus salivariussubsp Thermophilus*. Il est nécessaire d'insérer les bactéries lactiques thermophiles spécifiques en même temps et de les maintenir vivantes dans le produit final, avec au moins 10 millions de bactéries par gramme rapportées à la partie lactée (Jora, 1998).

Les différents types de yaourt :

Le yaourt ferme

Les contenants sont remplis directement de lait, puis placés dans une étuve maintenue à une température de 42 à 44 °C pendant environ trois à cinq heures (Syndifrais, 2011).

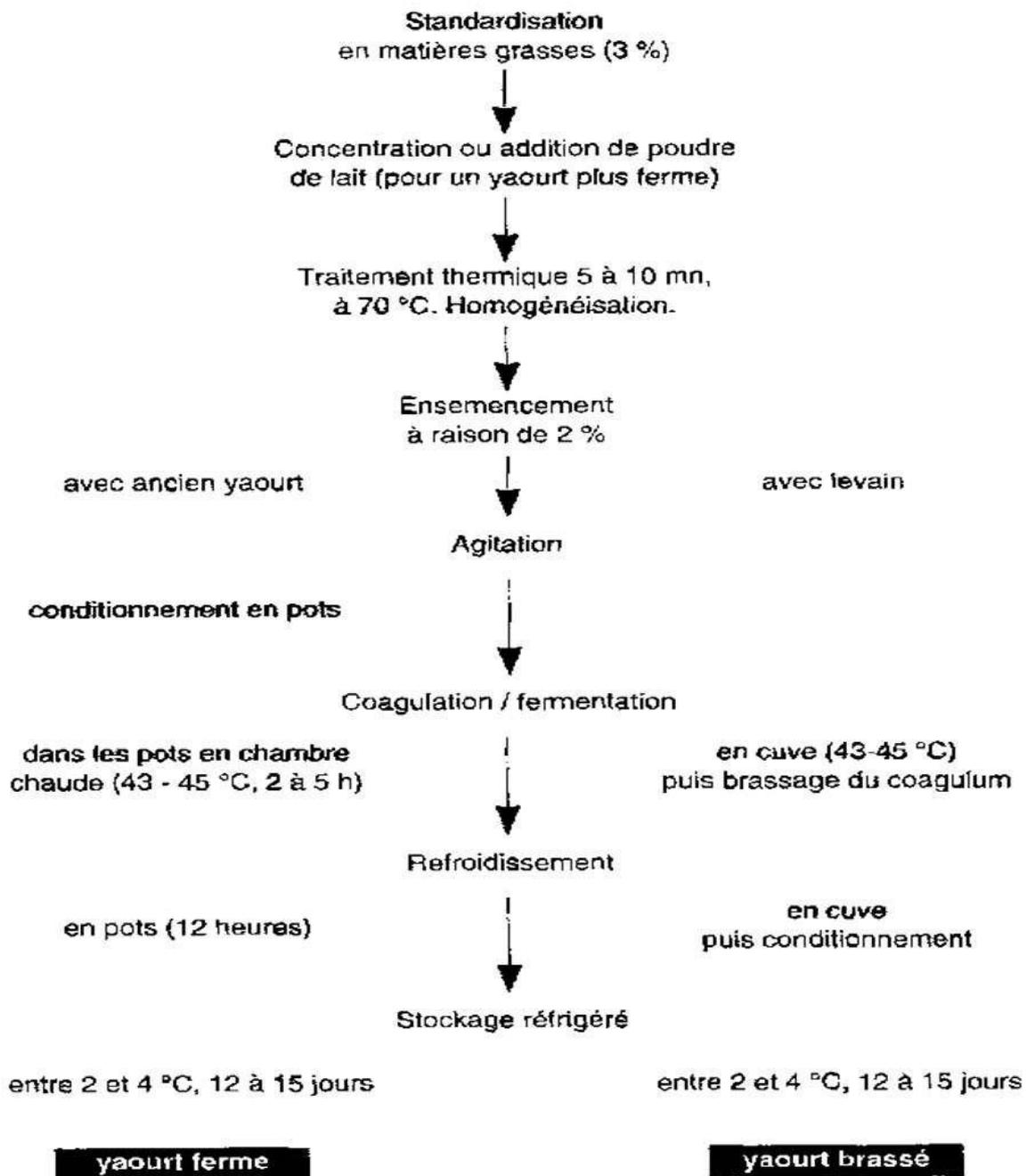
Son niveau d'acidité se situe généralement entre 70 à 80°D (Boudier, 1990).

Le yaourt brassé

Généralement plus fluide que le yaourt nature, le yaourt bulgare se distingue souvent par une acidité plus marquée. Sa texture est singulière. Son appellation "bulgare" est attribuée en référence aux supposées origines du yaourt et à la présence du *Lactobacillus bulgaricus*, l'un des deux ferments utilisés dans sa production. Après fabrication dans des cuves, il est ensuite conditionné dans des pots (Barrata et al., 2017).

Le yaourt à boire

Un yaourt brassé à la viscosité réduite peut être obtenu en utilisant un mélange avec une faible teneur en solides totaux, comme mentionné par Tamime et Deeth en 1980. Habituellement, la fermentation du yaourt se déroule à des températures comprises entre 40 et 45 °C, et peut durer jusqu'à 4 heures, selon les recherches de Tamime et Robinson en 1999. La fermentation est interrompue dès que le pH final souhaité, généralement entre 4,5 et 4,8 selon le type de yaourt, est atteint (Courrieu, 2016).



■ Le levain s'obtient à partir des ferments lactiques selon le processus suivant : ferments lactiques → entretien des souches → multiplication 1^{er} stade → multiplication 2^e stade → levain.

Figure. 1 : Diagramme général de la fabrication des yaourts étuvé et brassé (Luqetf-m, 1990).

Les différents types de yaourt :

Les différents types de yaourts sont classés selon la teneur en matière grasse ou la technologie de fabrication ou encore selon la texture, comme cela a été expliqué dans le tableau 2.

Tableau 2 : Les différents types de yaourt et leurs caractéristiques (Jora, 1998) (Fredot, 2006)

Les différents types	Caractéristiques
Selon la technologie de fabrication	
* Yaourt nature	Il ne subit aucune addition
* yaourt sucré	Il est additionné de sucre
* Yaourt aux fruits, au miel, à la confiture	Il subit une addition inférieure à 30% de ces différents produits
*Yaourt aromatisé	Il contient des arômes naturels renforcés par un produit de synthèse
Selon leur texture :	
* Yaourt ferme	Il s'agit du yaourt coagulé en pots
* Yaourt brassé	Il s'agit du yaourt coagulé en cuve et brassé avant la mise en pot
*Yaourt à boire	Il s'agit du yaourt à texture liquide

La composition du yaourt :**Les protéines**

D'après **Fredot (2005)**, la quantité de poudre, de lait sec et de protéines de lait ajoutées est supérieure à celle du lait. Elles possèdent une valeur biologique exceptionnelle.

En effet, lorsque le lait est acidifié, la caséine se précipite et les bactéries produisent des enzymes qui l'hydrolysent.

La matière grasse

Même si l'activité lipolytique des bactéries lactiques est faible, la quantité d'acides gras libres dans le yaourt a augmenté de manière significative. En outre, l'uniformisation améliore la capacité de digestibilité en augmentant la surface des globules (Jeantet et al., 2008).

Les vitamines

Le yaourt est peu riche en vitamines du groupe B et il ne renferme pas de vitamine C. Toutefois, les bactéries lactiques génèrent des vitamines B, ce qui accroît légèrement cette contribution de 10 à 15 %. Les yaourts à base de lait écrémé contiennent des quantités limitées ou totalement absentes de vitamines liposolubles (Fredot, 2005).

Les bactéries caractéristiques du yaourt

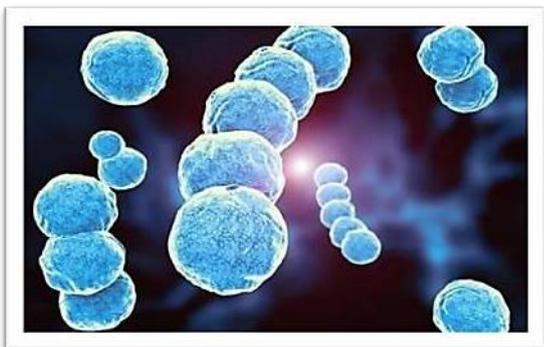
D'après Zourari et Desmazeaud(1991), les deux bactéries typiques du yaourt et d'autres laits fermentés similaires sont *Lactobacillus de lbrueckiisubsp Bulgaricus* et *Streptococcus salivariussubsp Thermophilus*.

Streptococcus themophilus

L'activité principale de St.Thermophilus consiste à convertir le lactose du lait en acide lactique, et en plus de son effet acidifiant, elle contribue à la texture des laits fermentés. La production de polysaccharides augmente la viscosité du lait (Bergamairer, 2002).

Lactobacillus bulgaricus

Il s'agit d'un bacille Gram+, qui reste immobile, asporulé, aérophile à micro-niveaux (Doleyres, 2003) et thermophile. Cette bactérie fonctionne exclusivement par fermentation, produisant uniquement de l'acide lactique à partir des hexoses. Sa température de croissance idéale est d'environ 42°C. Elle joue un rôle crucial dans l'amélioration des caractéristiques gustatives et sanitaires du yaourt (Marty-Teyssetet Garel, 2000).



Streptococcus



Lactobacillus

Figure 2 : La flore bactérienne du yaourt (Zourari et Desmazeaud ,1991).

Processus de fabrication du yaourt

Le yaourt peut être fabriqué à partir de lait frais, de lait recombinaé ou de lait reconstitué. Selon

La Fao (1995).

Les différentes étapes clés de la fabrication du yaourt sont les suivantes :

La standardisation

Dans la production du yaourt, il est crucial de normaliser la matière grasse du lait en raison des variations de la teneur en matière grasse du lait provenant de différentes races et saisons. Cela permettra de respecter les réglementations de certains pays (**Chandan et Kilara,2011**). Les graisses sont éliminées par centrifugation à une température d'environ 55°C, puis la crème est réintégrée pour atteindre l'objectif cible (**Courrieu, 2016**).

L'homogénéisation

L'homogénéisation est une étape essentielle dans la production du yaourt. En général, réalisé avant le processus de traitement thermique. Toutefois, dans certaines situations, elle peut survenir suite à un traitement thermique (**FAO, 1995**). Elle travaille à des pressions allant de 10 à 20 MPa et à des températures allant de 55 à 65 °C, avant d'être soumise à un traitement thermique du mélange (**Walstra et al., 1999**).

Le traitement thermique

Le lait utilisé pour produire le yaourt est soumis à une exposition thermique de 85°C à 98°C pendant une période de 7 à 30 secondes (**Tammie et Deeth, 1980**) Afin de supprimer les germes pathogènes et indésirables (bactéries, levures et moisissures), cela permettra le développement ultérieur des ferments et permettra la dénaturation des protéines du lactosérum et l'interaction avec la caséine, ce qui améliorera la texture du yaourt (**Courrieu, 2016**).

Le refroidissement

Le lait est réfrigéré jusqu'à atteindre la température de fermentation idéale (45°C) (**Bourlioux et al., 2011**).

L'ensemencement

Le yaourt est produit par fermentation grâce aux microorganismes *thermophiles Lactobacillus* de *lbrueckiisubsp.Bulgaricus* *Streptococcus salivariussubsp Thermophilus*(**Chandan et Kilara, 2011**). Une culture est utilisée par un laboratoire spécialisé et elle diffère en fonction du type de yaourt (Yaourt ferme, Yaourt brassé, Yaourt à boire).

Lorsque le pH final souhaité, qui varie de 4,5 à 4,8 est atteint, la fermentation est interrompue en fonction du type de yaourt (**Courrieu, 2016**).

Le refroidissement

Le processus de refroidissement joue un rôle crucial dans la fabrication du yaourt. Elle est réalisée une fois que le produit a atteint l'acidité souhaitée (**Robinson et Tamime, 1993**). L'objectif est de stopper les enzymes métaboliques et de réduire les problèmes de postacidification. Une fois tirés de l'étuve, les yaourts sont placés à refroidir dans des chambres froides à une température de 2/4°C (**Boudier, 1990**).

Le conditionnement

Avant et après la fermentation, le yaourt est mis en place dans des pots en verre ou en plastique. Le yaourt peut être sucré, coloré ou aromatisé à cette étape (**Meyer et Denis, 1999**).

En général, les produits laitiers tels que le yaourt et les produits laitiers fermentés ne peuvent être conservés que pendant une à trois semaines (**Salvador et Fiszman, 2004**).

Les intérêts nutritionnels et thérapeutiques du yaourt

Les laitages représentent environ 5 % de l'énergie totale (**Gill et Rowland, 2003**). Selon **Chandan et Nauth (2012)**, La fermentation des produits laitiers offre des bénéfices physiologiques tels qu'une action antibactérienne, une action contre les infections gastro-intestinales et une stimulation du système immunitaire.

En raison de sa valeur nutritionnelle considérable, le yaourt est considéré comme un produit essentiel dans l'alimentation. Il est plus riche en acides aminés essentiels, protéines, calcium, vitamine D, B6, B12, riboflavine et lactose que le lait (**Ayar et Gurlin, 2014**).

Selon Jeantet et al. (2008), le yaourt contient des bactéries lactiques qui favorisent l'assimilation du lactose. La β -galactosidase est produite par les ferments lactiques et peut hydrolyser le lactose.

La coagulation de la caséine et la libération des enzymes qui l'hydrolysent sont favorisées par l'acidification du lait, ce qui augmente la digestibilité du yaourt (**Frédot, 2006**).

Certains aliments contenant des substances procarcinogènes peuvent être responsables de l'apparition de tumeurs. Différentes bactéries présentes dans le lac peuvent réduire les niveaux d'enzymes qui interviennent dans l'activation de certains procarcinogènes (**Drouault et Corthier, 2001**).

Le yaourt fait partie des produits qui peuvent être utilisés pour combattre les diarrhées, en particulier chez les enfants. Les ferments lactiques peuvent aider à lutter contre la prolifération de certaines souches pathogènes en consommant des ferments (**Savado et Traore, 2011**).

Chapitre 2 :

Le lactosérum

II. Le lactosérum

II.1. Définition du lactosérum

Le lactosérum est le liquide de lait obtenu lors de la production de fromage, de caséine ou de produits similaires en séparant le caillé après la coagulation du lait et/ou des produits dérivés du lait. Les enzymes de type présure jouent un rôle essentiel dans l'obtention de la coagulation (**Codes alimentarius, 2018**). Selon **Smithers (2008)**, il est d'un jaune/vert ou parfois même d'un bleuâtre, mais la couleur varie en fonction de la qualité et du type de lait utilisé. L'industrielaitière produit de nombreuses variétés de fromage à partir de plusieurs variétés de lait. Toutefois, le fromage ne renferme pas tout ce que le lait apporte, et une partie de ces éléments se trouve dans un important produit de seconde transformation, le lactosérum, parfois aussi appelé « le petit lait ».

Lactosérum doux

La caséine est présorbée par présure sans acidification préalable, ce qui produit un sérum doux, pauvre en sels minéraux et riche en lactose et en protéines. En plus des protéines solubles du lait, ce lactosérum renferme une glycoprotéine provenant de l'hydrolyse de la caséine Kappa par la présure (**Sottiez, 1990 ; De la fuente et al., 2002**).

Lorsque le lactosérum de fromagerie n'est pas traité avec toutes les précautions nécessaires, la fermentation naturelle continue à l'acidifier. Selon **Morris et al. (1993)**, le fromage à pâte pressée, qu'il soit cuit ou non cuit (Emmenthal, Saint Paulin, Edam, etc.), est constitué de lactosérum doux avec un pH compris entre 5 et 6,3.

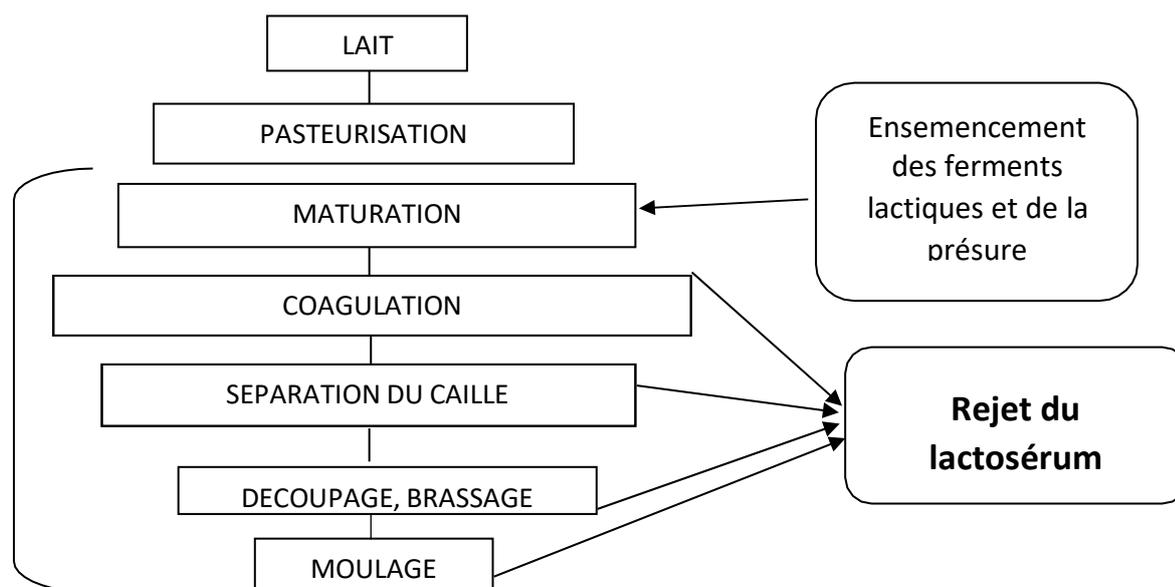


Figure. 3 : Schéma général de la fabrication de différents types de fromages (pâtes molles, pressées, fraîches) (**Madaoui, 1989**).

Tableau 3. : Composition de différents types de lactosérum (Luquet f-m.1989).

	Lactosérum acide		Lactosérum doux		
	Pâtes Fraîches	Caséines	Pâte pressée Cuite (Emmental)	Pâte pressée Non cuite (Edam)	Pâte molle (Camembert)
Liquide ES en %	6	6	6,5	5	6,5
pH	4,6	4,6	6,7	6,7	6,1
MS en %	65,5	74	76	75	75
Lactose					
Protéines	12	12	13,5	13,5	13
Cendres	12	12	8	8,5	9
Acide lactique	10	1,8	1,8	2	2,2
MG	0,5	0,5	1	1	1
Minéraux				0,65	
Ca en %	1,9	1,8	0,6	0,65	0,7
P en %	1,5	1,5	2,5		0,7

II.2. Les éléments fonctionnels du lactosérum Protéines

Les protéines du lactosérum constituent environ 20 % des protéines totales du lait, incluant β -lactoglobuline (β -Lg), α -lactalbumine (α -La), le (BSA), la lactoferrine (LF) et la lactoperoxydase (LP), glycomacropéptide (GMP), immunoglobuline (Ig). Les globulaires (α -La et β -Lg) sont plus solubles dans l'eau que les caséines, sensibles à la chaleur et précipitables par traitement thermique dans des conditions de pH et de force ionique adéquates (Zadow, 2003). Les GMPs, qui sont synthétisées à partir de la caséine lors de la première étape de la transformation enzymatique du fromage, sont présents naturellement dans le lactosérum (Walzem et al., 2002 ; Madureira et al., 2007 ; Sharma, 2018). Protéines indispensables.

Tableau 4 : Activité biologique des protéines de lactosérum (WOO, 2002).

Protéine	Activité biologique probable
β-lactoglobuline	Facilite la digestion
α-lactalbumine	Anti- cancérigène Antimicrobien (antibactérien/ antiviral) Contrôle le transport du fer Stimule le système immunitaire Anti-inflammatoire
Lactoferrine	Favorise la croissance des cellules Antioxydant

La fraction la plus importante du lactosérum n'est pas constituée de protéines, mais elle présente une importance économique et nutritionnelle supérieure aux protéines du blanc d'œuf, qui sont considérées comme des protéines de référence. Leurs teneurs en acides aminés sont extrêmement élevées (Sottiez, 1990). Le tableau 5 présente les acides aminés présents dans le lactosérum et les caséines.

Tableau 05 : Acides aminés essentiels (gr/100gr) (Moletta, 2002).

	Protéines du lactosérum	Caséines
Tryptophane	1,38	1,22
Lysine	10,9	8,81
Méthionine	1,95	3,07
Cystéine	1,35	0,57
Leucine	7,09	9,8
Isoleucine	4,06	4,8
Phénylalanine	3,47	5,18
Valine	5,54	3,55
Thréonine	5,03	4,7

Propriétés fonctionnelles des protéines du lactosérum

Selon Linden et Lorient (1994), les protéines du lactosérum sont plus nutritives que la caséine, car elles fournissent une source équilibrée d'acides aminés essentiels, tels que la lysine, les acides aminés soufrés et le tryptophane,

tandis que la caséine présente un léger déficit en ces acides aminés. Les propriétés physico-chimiques et structurelles des protéines du lactosérum leur confèrent des capacités hydratantes, de réseaux protéiques et d'adsorption aux interfaces d'une grande qualité. Ces caractéristiques sont utilisées dans de multiples domaines. En classant les propriétés fonctionnelles des protéines du lactosérum en fonction de la nature des liaisons entretenues, on peut établir trois catégories principales :

Capacités d'hydratation : solubilité, capacité à retenir de l'eau.

Interaction entre protéines : formation de gel, formation de textures

Selon Morgan (2001), les caractéristiques interfaciales (interaction avec une phase grasse ou gazeuse) permettent la formation et la stabilisation de mousses et d'émulsions.

Les bactéries possèdent des caractéristiques antimicrobiennes telles que l'activité enzymatique et la désorganisation des membranes biologiques (Spinnler, 1998).

Le lactose

Le lactose est la substance la plus présente dans le lait. Il est le composant principal de la matière sèche du sérum. Il s'agit d'un sucre réducteur, avec une composition C₁₂ H₂₂ O₁₁. Celui-ci est constitué d'une molécule de galactose et d'une molécule de glucose. Certains sérums présentent une hydrolyse partielle du lactose (0 à 6 %). Le lactose peut prendre deux formes différentes. Selon **Boudier (1989)**, lorsque le lactose ordinaire (alpha) est dissous dans l'eau, un équilibre se forme entre les formes alpha et bêta, ce qui explique les propriétés de solubilité du lactose.

Les vitamines

Les vitamines hydrosolubles comprennent des quantités significatives de riboflavine (vitamine B2), ce qui donne la couleur jaune verdâtre du lactosérum, de pyridoxine (vitamine B6), de thiamine (vitamine B1), et de cobalamine (vitamine B12) (**Michaelidou et Steijns, 2006**).

Tableaux 6 : Teneur en vitamine du lactosérum (Linden et Lorient, 1994).

Vitamines	Concentrations (mg/ml)
Thiamine (B1)	0.38
Riboflavine (B2)	1,2
Acide nicotinique (B3)	0,85
Acide pantothénique (B5)	3,4
Pyridoxine (B6)	0,42
Cobalamine (B12)	0,03
Acide ascorbique (C)	2,2

Les sels minéraux

Le sérum doit contenir un maximum de matières minérales, car lorsque le complexe phosphocasinique est totalement déminéralisé, le sérum contient toutes les matières minérales du lait (Pien, 1943). Le lactosérum contient 23 éléments minéraux tels que le calcium et le fer. D'autre part, leur teneur relativement élevée en matières salines est plutôt un inconvénient (FAO, 1995).

Les matières grasses

La quantité de matières grasses du lait présente dans le lactosérum brut est encore très faible. Il est principalement utilisé dans la transformation industrielle du lactosérum écrémé, où la graisse récupérée est utilisée pour produire du beurre de seconde qualité (Lenden, Lorient, 1994). Le lactosérum ne contient que 0,7 % de matière grasse, la majeure partie de la matière grasse du lait étant conservée dans le caillé. Selon Leghlimi (2004), la composition chimique du lactosérum varie considérablement en fonction de l'origine du lait, des différentes méthodes de traitement utilisées pour le transformer en produits consommables et des étapes de production.

II.3. Valorisation du lactosérum

Mise en valeur du lactosérum On valorise le lactosérum en le transformant en produits ayant une plus grande valeur économique. Cette valorisation est essentielle pour éviter d'avoir à payer des frais de traitement ou de disposition du lactosérum. Le lactosérum non modifié est utilisé dans l'alimentation animale et la production de boissons (Spreer, 1998). Étant donné que le lactose est la substance essentielle des solides, avec des protéines solubles, des vitamines et des minéraux, diverses techniques biotechnologiques et physico-chimiques ont été employées comme base pour la fabrication de produits industriels de grande valeur (Prazeres et al., 2012).

a). Valorisation du lactosérum en industrie agroalimentaire

Il est essentiel de mettre en valeur le lactosérum afin de préserver l'équilibre économique et environnemental des fromageries. Ce coproduit du fromage peut servir à l'alimentation animale, à la méthanisation, à la production de produits alimentaires, ainsi qu'à la production de protéines et de glucides. D'après des études, le lactosérum est une substance noble et riche en protéines contenant des acides aminés essentiels (lysine et tryptophane), en lactose et en vitamines du groupe B telles que la thiamine et la riboflavine, dont il reste encore beaucoup à exploiter en termes de quantité et de qualité (Apria, 1973). Pour trouver la façon la plus économique et la plus pratique de transformer et d'utiliser le lactosérum, on a d'abord prévu de le concentrer ou de le déshydrater en poudre. L'acquisition de ces articles.

Applications du lactosérum dans l'alimentation

D'après Zemmouchi et Saoud (2016), l'incorporation de lactosérum lyophilisé (20 %) dans les pâtes

alimentaires a eu un impact positif sur la faisabilité technologique et les propriétés culinaires du produit final.

Les boissons contenant du lactosérum renferment une grande quantité de nutriments, ce qui facilite la digestion et l'absorption rapide. Selon Nelson et ses collègues (1978) ces boissons sont légères, désaltérantes et très plaisantes à déguster.

Selon Spreer (1998), les solides du lactosérum renferment environ 0,8 % de protéines, ce qui représente 20 % de la protéine totale du lait. Le fractionnement des protéines est la partie la plus intéressante de l'exploitation du lactosérum (Vuilleumard, 2015).

Les protéines en poudre (whey) : En raison de sa capacité à se dissoudre facilement, de ses propriétés moussantes et émulsifiantes, la whey est largement utilisée dans les produits diététiques et thérapeutiques. Le changement de certains composants du lactosérum donne lieu à des co-précipités, ce qui accroît la teneur en protéines des produits laitiers (yaourts, produits de boulangerie, alimentation infantile). Le Whey Protein Concentrate (WPC), qui contient entre 35 et 85 % de protéines, est produit à une température basse pour préserver les protéines. En utilisant des enzymes, la whey est hydrolysée, ce qui produit des hydrolysats de protéines riches et facilement utilisables dans les préparations diététiques.

En outre, cette approche permet de supprimer les caractéristiques allergènes des protéines pour obtenir des produits hypoallergéniques. Une activité biologique intense est produite par une hydrolyse intense de petits peptides.

Selon **Fick (2016)**, les BCAA (acides aminés à chaîne ramifiée), aussi appelés acides aminés à chaîne ramifiée (leucine, valine et isoleucine), sont principalement utilisés comme substrat énergétique en raison de leur teneur élevée dans les muscles. Plusieurs produits à base de protéines et d'acides aminés ont pour objectif d'"améliorer les performances physiques" en optimisant le temps de repos.

La caséine est principalement présente dans le lait de vache. La caséine est responsable de près de 80 % des protéines du lait. Les 20 % restants sont des protéines sériques. Selon **Mokhtari (2018)**, les caséines sont des polypeptides phosphorés souvent associés à des minéraux tels que le calcium, mais également le phosphate, le magnésium et le citrate, formant ainsi des micelles de phospho-caséine de calcium.

b). Valorisation du lactosérum en industrie laitière

L'industrie laitière a longtemps considéré le lactosérum comme un résidu encombrant, car il est produit en grande quantité lors de la fabrication du fromage. En Algérie, l'industrie du fromage produit chaque jour 6 000 litres de lactosérum, soit 4 à 12 kg pour chaque kg de fromage produit (Gana et Touzi, 2001). Au total, l'Algérie a produit 1 540 tonnes de fromage depuis 2013, ce qui équivaut à environ 14 millions de litres de lactosérum (Fick, 2016).

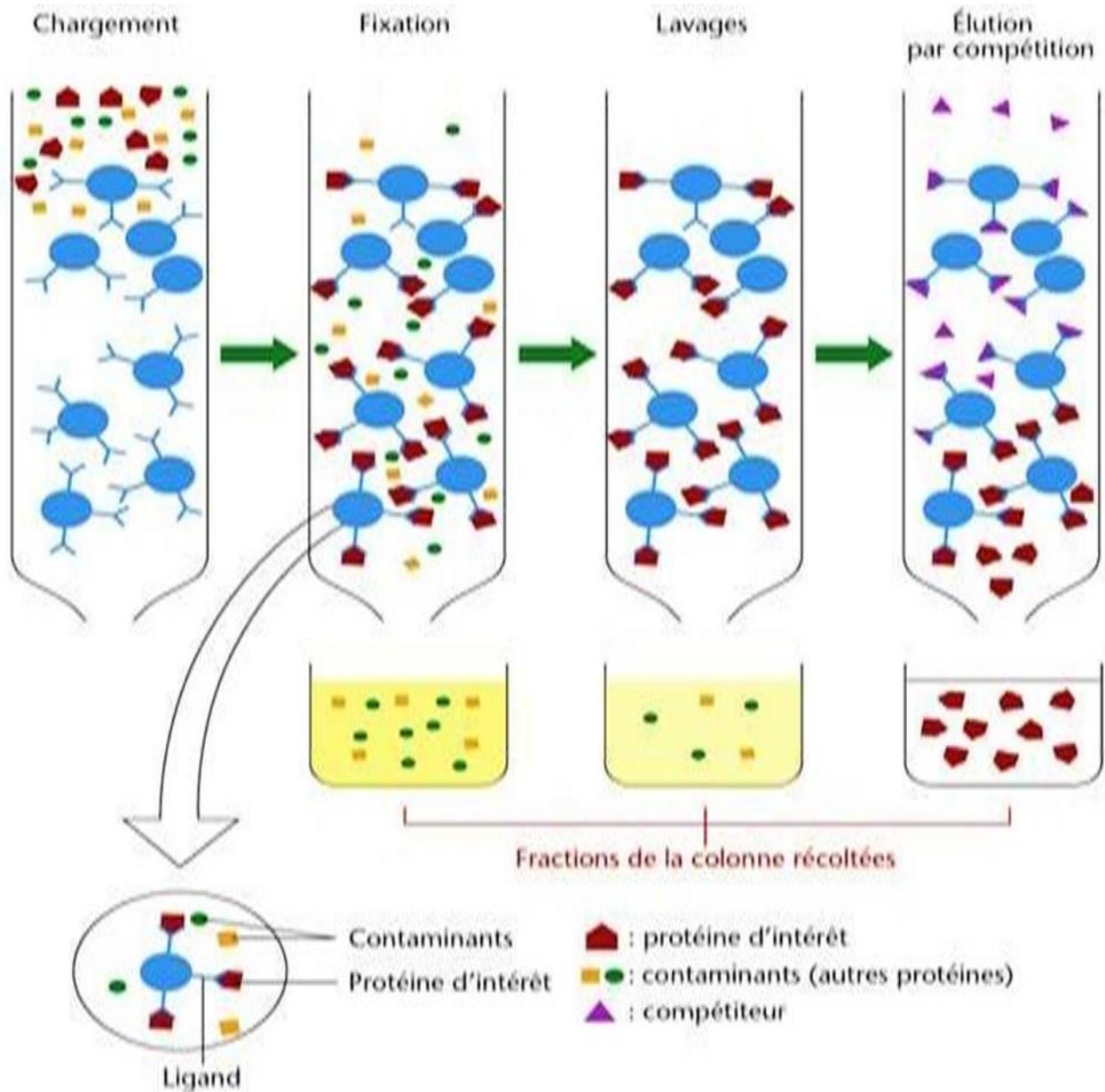


Figure 4 : Principe de la chromatographie gel filtration (Louis Tessier2018).

L'Analyse du Cycle de Vie (ACV) est une des méthodes d'analyse environnementale couramment employées dans le domaine industriel afin de développer des produits respectueux de l'environnement ou d'orienter les choix politiques à l'échelle locale, nationale et internationale (Jolie et al., 2010). Cet outil offre la possibilité de faire une comparaison des conséquences environnementales, de repérer les points faibles et de déplacer les charges polluantes d'un produit ou d'un système, ce qui permet de réaliser de nombreuses améliorations. Cette forte tendance est bien connue de l'industrie laitière, d'autant plus que ses activités ont un impact environnemental important, que ce soit dans le transport des ingrédients, l'utilisation d'équipements énergivores ou la production de coproduits. Selon Augustin (2013), l'industrie laitière joue un rôle crucial dans la préservation d'une sécurité durable.

Plusieurs techniques ont été développées pour traiter et transformer le lactosérum en différents composants utilisés dans diverses formes d'aliments. Les produits laitiers, les aliments pour nourrissons, les aliments diététiques, la boulangerie, la pâtisserie, la confiserie, les viandes et les produits carnés sont à base de lactosérum et de ses ingrédients. Notre objectif est de réévaluer toutes les possibilités de mise en valeur des différents éléments du lactosérum et de leurs applications dans le secteur de l'agroalimentaire.

On utilise le lactosérum pour fabriquer des crèmes glacées. On peut utiliser la poudre de lactosérum doux en remplacement de jusqu'à 25 % du lait écrémé. Selon APRIA (1973), le lactosérum acide peut remplacer une partie du sucre dans la fabrication de sorbets de luxe.

Partie Pratique

Matériel et méthode

I. Lieu de l'étude

L'étude a été effectuée du 08 mai au 19 mai 2024, au niveau du laboratoire des Sciences et Techniques de Production Animale « LSTPA », situé au niveau de l'atelier agricole de l'université Abdelhamid Ibn Badis de Mostaganem.

II. But du travail

Ce travail a été réalisé dans le but d'optimiser la qualité nutritionnelle d'un yaourt à boire en valorisant un co-produit de la transformation laitière « le lactosérum » de la dose d'incorporation du co-produit laitier.

III. Méthode

1. Formulation et caractérisation physico-chimique des yaourts à boire

Les taux d'incorporation de lactosérum ont été choisis comme suit : 0,5%, 0,7% et 0,9%. Le levain de bactéries lactiques a été préparé à partir du souchier du laboratoire de recherche Des sciences et Techniques de Production Animale issu des travaux de Dahou *et al.*, 2016.

La stérilisation du matériel de prélèvement

Il est essentiel que tout le matériel utilisé pour prélever les échantillons soit parfaitement propre et stérile. Afin d'éviter toute influence sur les caractéristiques physico-chimiques, microbiologiques et la composition du produit analysé. Il est nécessaire que le matériel soit :

Lavé à l'eau courante pour éliminer les traces des précédents prélèvements. Ensuite, il est brossé et lavé à l'eau avec une solution détergente, lavé avec de l'eau du robinet puis finalement avec de l'eau distillée, une fois le matériel séché, il sera stérilisé dans un autoclave à l'air humide à une température de 120°C.

Préparation de lait reconstitué :

Chauffez l'eau à une température de 40 à 42°C, puis mélangez la poudre de lait 160g avec l'eau. Contrôlez l'extrait sec à l'aide d'un appareil infra-rouge. Pasteurisez ensuite le lait à une température de 92°C pendant 2 minutes, puis laissez reposer. Enfin, mettez la préparation en flacons de 250 ml.

Analyses physico-chimiques du lait

La réalisation des analyses physico-chimiques du lait est réalisée par lactoscan. Ce dernier est un instrument qui permet de déterminer les paramètres de qualité les plus importants dans différents types de lait et de dérivés du lait en particulier :

- ✓ Le pH
- ✓ Le taux de protéines

- ✓ La matière grasse
- ✓ Le lactose

Détermination de l'acidité

- **Principe**

En utilisant une solution alcaline en présence d'un indicateur coloré, on effectue un titrage volumique. L'acidité est évaluée en utilisant l'hydrolyse de sodium en présence de phénophtaléine comme indicateur coloré de la limite de neutralisation (AFNOR, 1980).

- **Mode opératoire**

On peut identifier précisément l'acidité en utilisant la soude Dornic (N/9). Dans un bécher de 100 ml, on ajoute 10 ml de lait avec 0,1 ml de phénol phtaléine à 1 % dans de l'alcool à 95%. De la burette, on verse de la soude Dornic (N/9) jusqu'à un virage au rose pâle. Cette coloration doit être détectée pendant au moins 10 secondes.

Expression des résultats

Avec V : volume de Noah en ml.

$1^{\circ}\text{D} = 0,1\text{g d'acide lactique}$

$\text{AT} = \text{V} \times 10^{\circ}\text{D}$

Analyses microbiologiques du lait

Pour les analyses microbiologiques on s'intéresse à la flore totale.

Pour la préparation de la solution mère, on mélange dans un flacon stérile 25 ml de lait et 225 ml d'eau physiologique à partir de cette dernière, on réalise des dilutions décimales allant de 10^{-1} à 10^{-7} . Ensuite, on incube à une température 37°C pendant 24 h.

- ✓ **Procédé de préparation**

Dans un bécher, 100 g de lactosérum ajoutés 930 ml d'eau distillée. Après Chauffage à une température de 85°C pendant 30s, ensuite on procède à un refroidissement à 4°C .

Analyses physicochimiques du lactosérum

Détermination de l'extrait sec total (EST)

L'EST est calculé en évaporant l'eau de l'échantillon à une température de 102°C . La quantité de matière sèche restante après une dessiccation complète par la technique d'infrarouge est appelée matière sèche de l'échantillon.

Mode opératoire

- ✓ Peser une quantité de l'échantillon 5 g de lactosérum sur une coupelle d'aluminium préalablement tarée.
- ✓ Ajuster la température du dessiccateur à 102°C.
- ✓ Fermer le couvercle.

•Quelques minutes plus tard, le résultat apparaît immédiatement sur l'écran et est exprimé pourcentage de masse.

Détermination de pH

Le pH du lactosérum brut est mesuré de manière directe en utilisant un pH mètre préalablement calibré.

Mode opératoire

L'électrode du pH-mètre est immergée dans un bécher contenant un échantillon de lactosérum.

La valeur du pH est directement affichée sur l'écran.

Analyses microbiologiques du lactosérum

Pour les analyses microbiologiques on s'est intéressé à la flore totale.

Pour la préparation de la solution mère, on mélange dans un flacon stérilisé 25 ml de lait et 225 ml d'eau physiologique. A partir de cette dernière, on réalise des dilutions décimales allant de 10^{-1} à 10^{-7} . Ensuite, on incube à une température 30°C pendant 24 h.

Préparation du yaourt à boire

Elle est réalisée selon la figure 7

Ensemencement : Ajoutez 3 % de levain (culture mixte pour yaourt).

Incubation : En général, les températures d'incubation du yaourt varient de 40 à 45°C, la fermentation peut durer jusqu'à 4 heures (**Tammie et Robinson, 1999**).

Ensemencement le lait préparé à 3% de levain (3ml dans 100ml du lait). (Voir l'annexe)

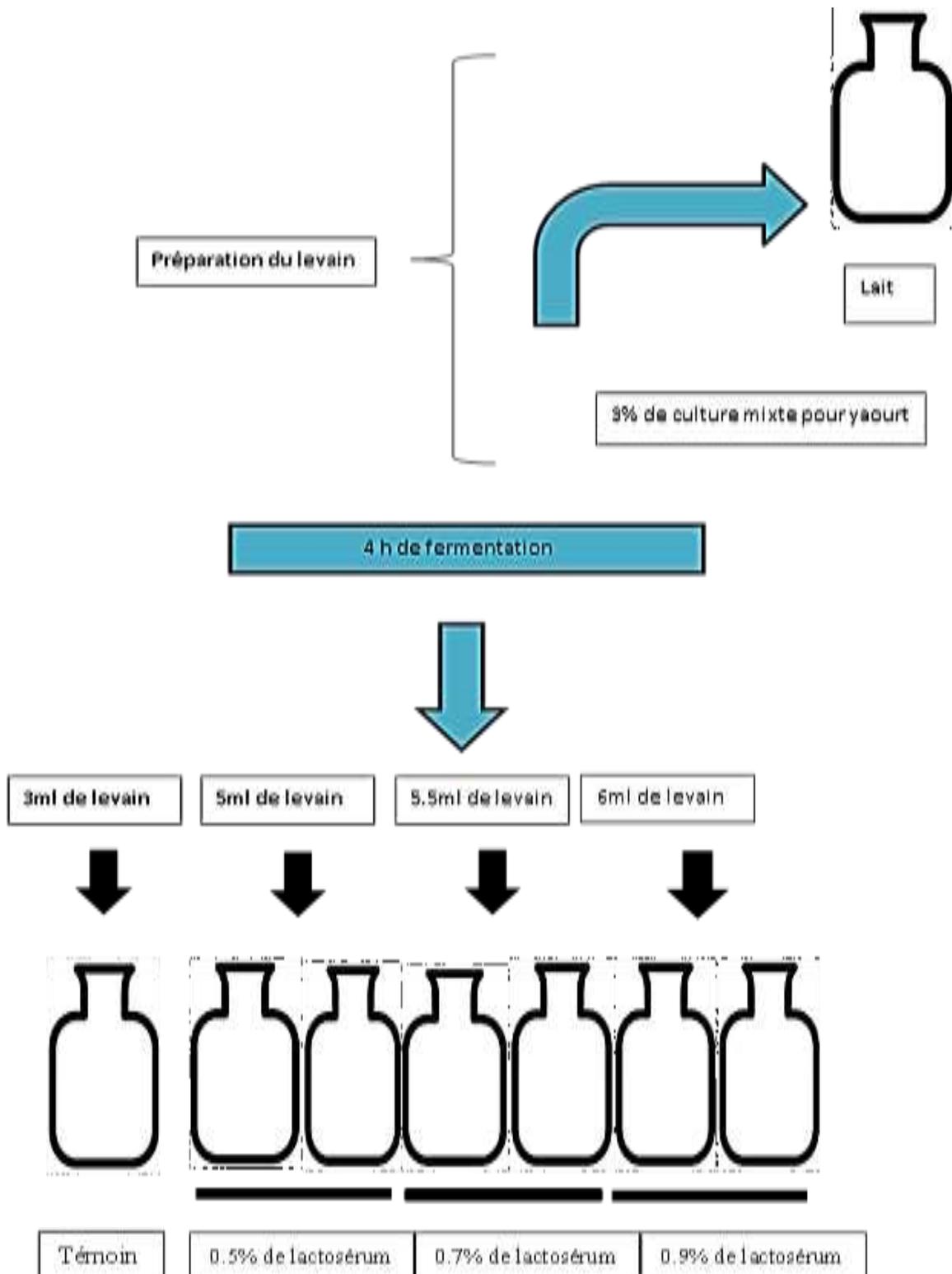


Figure 5 : schéma de fabrication du yaourt à boire

2. Les analyses microbiologiques du yaourt préparé

Pour les analyses microbiologiques on s'est intéressé à la flore lactique.

Pour la préparation de la solution mère, on mélange dans un flacon stérilisé 25 ml de yaourt et 225 ml d'eau physiologique. A partir de cette dernière, on réalise des dilutions décimales allant de 10^{-1} à 10^{-7} .

Ensuite, on incube à une température 37°C pendant 48 h.

Examen microscopique :

Sur boîtes de Pétri et à l'aide d'une loupe binoculaire, les colonies isolées sont soumises à une observation macroscopique afin de déterminer les caractères culturaux (forme, aspect, taille, couleur, opacité et contour). Ensuite, l'observation microscopique par coloration différentielle nous permet de distinguer les isolats selon le type de Gram (positif ou négatif), leur morphologie (bacille ou coque) et leurs modes d'associations (isolés, en chaînettes ou en tétrades). Les bactéries lactiques sont à Gram+.

3. Les analyses physico-chimiques de yaourt préparé

pH

Afin de mesurer le pH d'un yaourt, placez l'électrode du pH-mètre calibré dans un échantillon homogène de yaourt, attendez que la lecture se stabilise, puis enregistrez le pH affiché.

L'extrait sec total

L'EST est calculé en évaporant l'eau de l'échantillon à une température de 102°C . La quantité de matière sèche restante après une dessiccation complète par la technique d'infrarouge est appelée matière sèche de l'échantillon.

4. Détermination de la viscosité

Définition

La viscosité du yaourt fait partie des critères de qualité de ce dernier, et ce, quel que soit le type de yaourt (ferme, brassé ou à boire). La texture du yaourt est évaluée par la mesure de sa viscosité.

La viscosité est définie comme étant la résistance à l'écoulement d'un système soumis à une contrainte tangentielle. Elle est exprimée en $\text{N}\cdot\text{s}/\text{m}^2$, Pa. Sou centpoises (**10-3 Pa.s**).

La viscosité dépend de 4 paramètres indépendants :

- ✓ La nature physico-chimique du produit La température du produit
- ✓ Pression
- ✓ Le gradient de vitesse Le temps
- ✓ La viscosité s'est faite sur un appareil de type (référence Viscosimètre de rotation. À Bille RHEOTEST KF3.2/736) en utilisant la formule décrite sur le manuel de l'appareil.

5. Le rendement en extrait sec

On a utilisé une méthode de filtration par papier filtre pour évaluer le rendement en protéines des différents échantillons de yaourt à boire formulés avec des doses différentes de lactosérum doux (0,5 %, 0,7 % et 0,9%). Chaque échantillon de yaourt (100mL) a été prélevé avec une quantité connue. Un entonnoir de filtration a été rempli d'un papier filtre de qualité laboratoire qui a été fixé sur un bécher propre et sec afin de collecter le filtrat. Par la suite, on a versé l'échantillon de yaourt de manière délicate sur le papier filtre, en veillant à ce que tout le liquide passe à travers le filtre, laissant les solides (protéines et autres composants) sur le papier. La filtration a été autorisée à s'effectuer de manière naturelle jusqu'à ce que tout le liquide ait traversé le filtre, permettant ainsi une séparation efficace des protéines et autres solides du reste du yaourt. (Voir l'annexe)

Résultats Et Discussion

Résultats

1. Résultats physico-chimiques du lait

Les valeurs indiquées dans le tableau représentent la moyenne de 3 répétitions d'analyses Physico-chimiques effectués sur un échantillon du lait

Tableau 7 : Résultats des analyses physico-chimiques du lait

Paramètre	Résultats	Critères de la FIL
Ph	6.70	6.45 à 6.7
F : Matière grasse %	3.28	2 à 2.5
L : Lactose %	4.53	>à 4.5
P : Protéines %	2.91	>à 3.5

Le lait utilisé pour les essais de nos yaourts à boire respecte les critères établis par la Fédération Internationale du Lait, FIL 2018, tels que représentés dans le tableau8).

Cependant, ce lait requiert une augmentation des protéines.

La maîtrise des éléments variables du lait (protéines et matière grasse) est essentielle pour garantir la qualité d'un lait pour yaourt de haute qualité.

- **L'acidité titrable**

L'acidité titrable du lait est 17 °D.

2. Résultats physico-chimiques du lactosérum

Tableau 8: les résultats des analyses physico-chimiques du lactosérum

Paramètre	Résultats
pH	6.62
Extrait sec total (%)	91.16

Le lactosérum obtenu est doux et a un pH moyen de 6.62 conforme également à la norme du codex alimentaires (**CODEX STAN, 212-1999**) qui est supérieur à 5,1. et l'extrait sec totale 91.16%.



Figure 6 : Dessiccateur infra-rouge

Résultats microbiologiques du lait

○ Flore totale

Après dilutions, étalement sur PCA, l'incubation est réalisée à 30°C pendant 24h. Les colonies correspondant aux caractéristiques des bactéries lactiques ont été isolées



Figure 7 : Flore totale du lait

Résultats microbiologiques du lactosérum

o Flore totale

Les boîtes de Pétri ont été retirées après 28 heures d'incubation à 37°C et les colonies de bactéries lactiques ont été dénombrées .

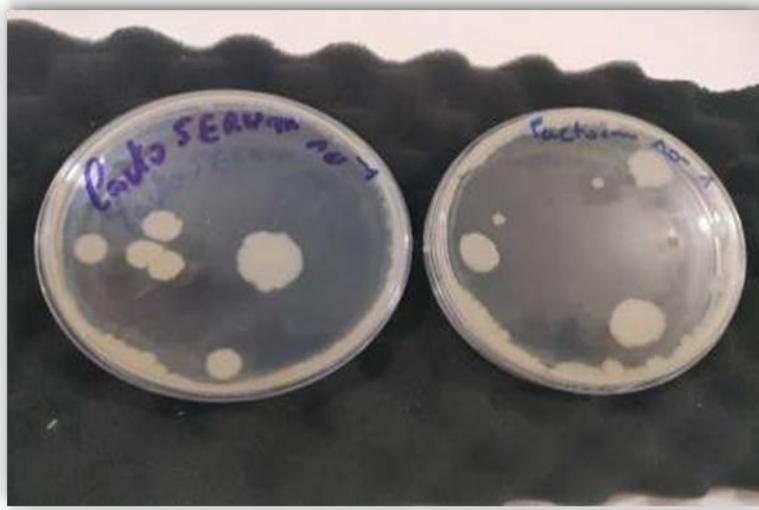


Figure 8 : flore totale du lactosérum

3. Résultats physico-chimiques du yaourt à boire

pH

Tableau 9: les résultats de pH du yaourt valorisé avec lactosérum

	pH
Temoin	4.26
0.5%	4.15
0.7%	4.25
0.9%	4.28

Evolution de la concentration de l'acide lactique et du pH

Témoin

Il s'agit d'un pH courant pour un yaourt standard après la fermentation. Cela suggère que les bactéries lactiques produisent normalement de l'acide lactique.

0.5 % lactosérum

Le pH inférieur indique une hausse de la production d'acide lactique. La présence de lactosérum doux à cette concentration pourrait apporter davantage de lactose, qui est fermenté par les bactéries afin de produire davantage d'acide lactique, ce qui réduit le pH.

0.7 % lactosérum

Ce taux de pH est très similaire à celui du témoin. Cela pourrait suggérer que l'ajout de lactosérum à ce niveau n'a pas d'influence significative sur la production d'acide lactique, ou qu'il existe un équilibre entre l'acidité produite et les composants tampons du lactosérum.

0.9 % lactosérum

Un pH légèrement supérieur à celui du témoin peut indiquer que l'excès de lactosérum doux à cette concentration joue le rôle d'un tampon, neutralisant partiellement l'acide lactique produit par les bactéries. Les minéraux et les protéines présents dans le lactosérum peuvent exercer un effet tampon, diminuant ainsi l'acidité totale ressentie.

La présence de lactosérum doux a un impact sur la synthèse d'acide lactique et le niveau de pH du yaourt. À des niveaux plus bas (0,5%), il entraîne une augmentation de la production d'acide lactique et une diminution du pH. Il a un effet tampon à des concentrations plus élevées (0,9%), ce qui diminue l'acidité perçue et augmente légèrement le pH. Un pH intermédiaire de 0,7 % maintient un pH semblable au témoin, ce qui laisse entendre qu'il y a un équilibre entre les effets.

L'extrait sec

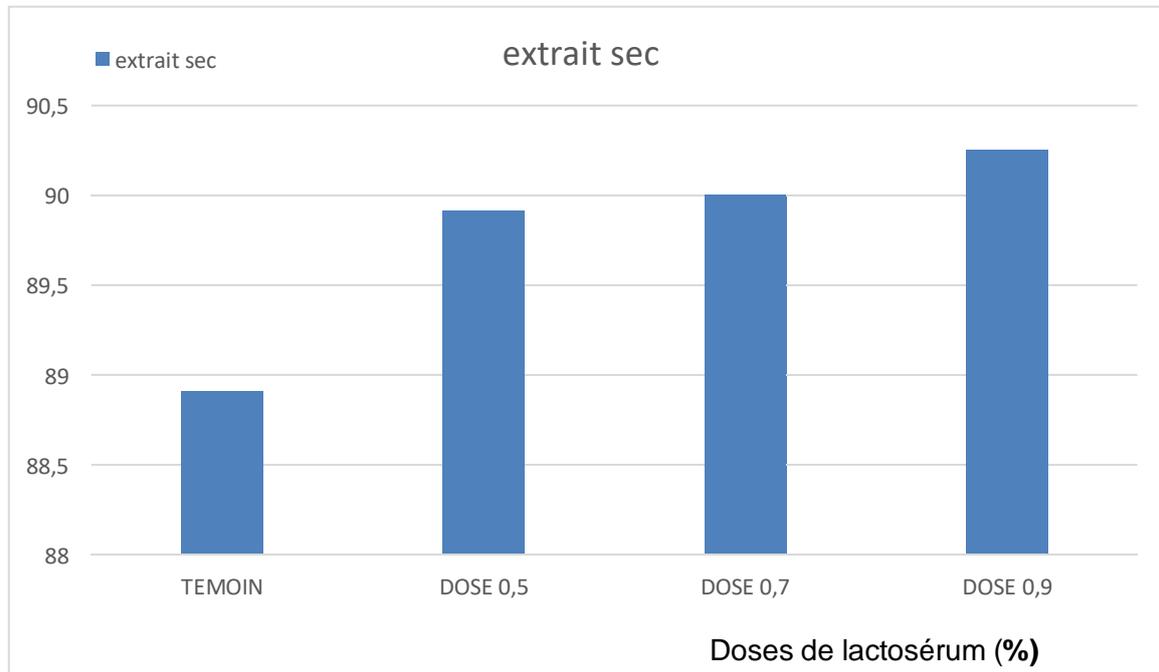


Figure9 : : Résultats de la teneur en extrait sec total du yaourt valorisé avec lactosérum

0,5% de lactosérum

Une petite quantité de solides supplémentaires (protéines, lactose, etc.) est ajoutée avec 0,5% de lactosérum, ce qui augmente légèrement l'extrait sec.

0,7% de lactosérum

Une hausse de 0,2% en lactosérum ajoute davantage de composants solides, ce qui augmente proportionnellement l'extrait sec.

0,9% de lactosérum

Par rapport au témoin, une augmentation totale de 0,4 % de lactosérum entraîne une augmentation encore plus importante des composants solides, ce qui entraîne une augmentation supplémentaire de l'extrait sec.

Le pourcentage de lactosérum dans le yaourt à boire augmente progressivement, ce qui ajoute proportionnellement davantage de solides au mélange. Cela conduit à une hausse de l'extrait sec, qui représente la mesure des éléments solides présents dans le produit final. De cette manière, à mesure que le taux de lactosérum augmente, la quantité d'extrait sec augmente, ce qui a un impact sur la texture, la consistance et la valeur nutritive du yaourt.

4. Résultats des rendements du yaourt à boire



Figure 10 : rendement de yaourt non valorisé avec le lactosérum

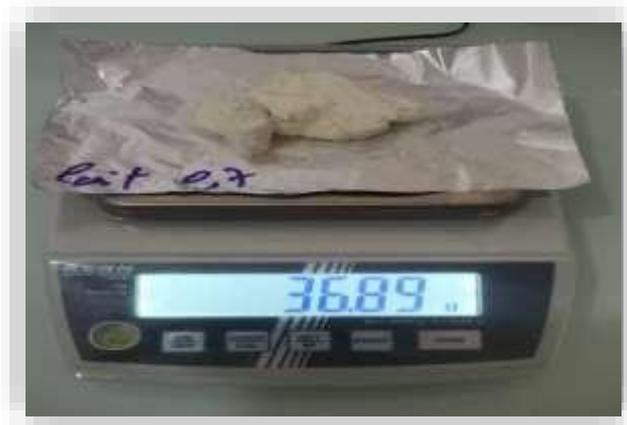


Figure 11 : rendement de yaourt valorisé avec lactosérum

Tableau 10 : le rendement de yaourt valorisé avec lactosérum.

Échantillons	Yaourt témoin	Yaourt	Yaourt Valorisé	Yaourt Valorisé
		Valorisé 0.5%	0.7%	0.9%
Rendements	30.99	36.45	36.89	34.41

Le yaourt enrichi en lactosérum présente un rendement plus élevé que celui du yaourt non enrichi. En outre, parmi les divers échantillons de yaourt valorisé, diverses quantités de lactosérum ont été étudiées. Un rendement de 36,4g a été obtenu à une concentration de 0,5% de lactosérum. Le rendement est légèrement plus élevé à 0,7%, atteignant 36,89g. D'autre part, avec un dosage de 0,9 %, le rendement a diminué à 34,41g. Le dosage idéal, qui offre le meilleur rendement, est celui de 0,7% de lactosérum.

5. la viscosité

Le taux de viscosité le plus élevé est obtenu avec 0,7 % de lactosérum, avec une valeur de 6,37 cP. Cela laisse



Figure 12 : viscosimètre

entendre que cette concentration est la plus efficace pour améliorer la texture du yaourt à boire, en lui donnant une viscosité plus élevée, ce qui est souvent souhaité pour une meilleure sensation en bouche et une stabilité accrue du produit.

Tableau 11 : les résultats de la viscosité

Yaourt à boire	Viscosité
T	5.40
0.5	5.59
0.7	6.37
0.9	5.46

6. Résultats des analyses microbiologiques du yaourt à boire

L'observation microscopique des caractères cultureux de la flore lactique montre la forme des colonies, la taille, la couleur ainsi que le mode de regroupement.

Ces résultats confirment que la flore lactique se développe de manière adéquate dans le produit final, conformément aux normes de qualité exigées.

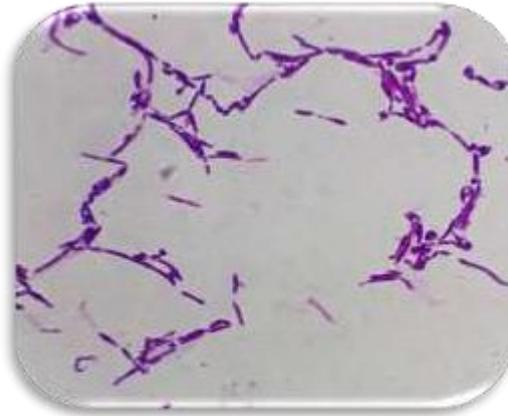


Figure 13 : Aspect microscopique du la bactérie *Lactobacillus bulgaricus* après la coloration de gram (G x 1000)

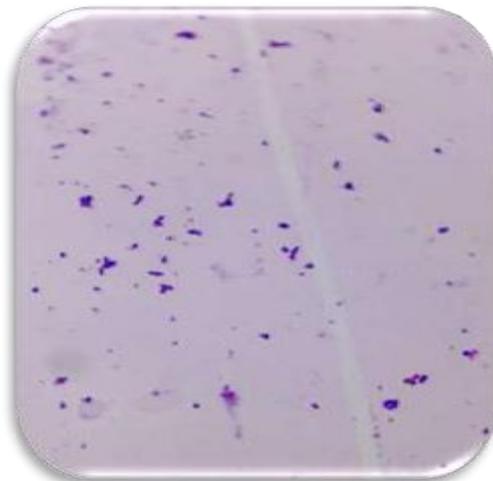


Figure 14 : Aspect microscopique du la bactérie *Streptococcus thermophilus* après la coloration de gram (G x 1000)

Conclusion

La composition organique et minérale des effluents des unités de production du lait et des fromages en fait l'un des rejets les plus polluants pour l'environnement. L'un des principaux déchets des usines laitières, le lactosérum, représente l'un tiers des effluents, est constitué d'eau et de lactose, ainsi que de protéines, de matière grasse et de minéraux.

Il est essentiel de développer de nouvelles technologies afin de valoriser le lactosérum, surtout étant donné que les quantités produites par les entreprises ne cessent d'augmenter au fil des années.

La présente recherche vise à utiliser la poudre de lactosérum doux pour fabriquer un yaourt à boire à base de lactosérum, ainsi que à étudier ses caractéristiques physicochimiques, microbiologiques. Dans cette optique, trois formulations ont été élaborées avec des doses de lactosérum variées : 0,5 %, 0,7 % et 0,9 %.

Tout d'abord, l'ajout de lactosérum doux a démontré des résultats positifs importants sur les caractéristiques nutritionnelles du yaourt. Étant une source abondante de protéines de qualité supérieure, de vitamines et de minéraux, le lactosérum contribue à une amélioration significative de la valeur nutritive du produit final. Au fur et à mesure de l'augmentation de la concentration de lactosérum, les niveaux de ces nutriments augmentaient également, ce qui donnait un produit plus riche en éléments pro-sanitaires.

Ensuite, l'incorporation de lactosérum doux à diverses quantités a également eu un impact sur les caractéristiques physico-chimiques du yaourt. Il a été démontré par les analyses que la viscosité et la stabilité du produit étaient différentes en fonction de la quantité de lactosérum employée. On a trouvé une dose optimale de 0,7% de lactosérum afin de maintenir une consistance agréable et une stabilité optimale, sans séparation de phases ni détérioration de la qualité au fil du temps.

Dans cette étude, la dose de 0,7% de lactosérum doux s'est révélée la plus prometteuse. Elle propose un excellent équilibre entre l'amélioration des propriétés nutritionnelles, le maintien d'une texture et d'une consistance appropriées, et la stabilité du produit final.

En résumé, la quantité de lactosérum doux de 0,7% est la plus prometteuse pour la création d'un yaourt à boire. Elle propose un excellent équilibre entre un taux élevé de protéines, une texture plaisante et homogène, ainsi qu'une stabilité optimale du produit. Grâce à cette concentration, les qualités nutritionnelles du yaourt sont améliorées tout en préservant des caractéristiques sensorielles acceptables. Dans le futur, il serait possible de se pencher sur des méthodes de formulation afin d'améliorer encore plus les avantages du lactosérum sans compromettre la qualité sensorielle du produit.

Annexe



Figure 15: yaourt à boire préparé



Figure 16 : la filtration

Références

Bibliographiques

A

1. **Alimentarius, C. (2015).** Codex Stan 192, 1995. *Norme générale Codex pour les additifs alimentaires.*
2. **Antoine JM. 2011.** "Les ferments lactiques et les laits fermentés : nature et effets." *Photothérapie*, 9 : 76-81
3. **Apria. 1973.** "Utilisation du lactosérum dans la production de sorbets." *Annales des produits laitiers*, 5(2) : 123-128.
4. **Apria. 1973.** Les lactosérums : traitement et utilisation. Association pour la Promotion des Industries Alimentaires.
5. **Ayar A., Gurlin E. 2014.** "Production and Sensory, Textural, Physicochemical Properties of Flavored Spreadable Yogurt." *Life Science Journal*, 11(4) : 58-65.
6. **Augustin, M. 2013.** "Importance de l'industrie laitière pour une sécurité durable." *Revue de l'agriculture et de l'environnement*, 78(4) : 299-310.
7. **Augustin, M. A. 2013.** Dairy Ingredients for Food Processing. Wiley-Blackwell.

B

1. **Barata M., Guillemant M., Moretti E., Muller E., Delebarre M. 2017.** "Formulations nutritionnelles de type yaourt, crème, crème dessert et dessert glacé comprenant un isolat de protéines de pois ainsi que l'utilisation de la formulation comme source protéique." WPOIPCT : Rapport de recherche internationale (Art. 21(3)), 2p.
2. **Belhout A., Belkaid R. 2015.** Alimentation Humaine et Qualité des Produits. (Mémoire) Université Mouloud MAMMERI, Tizi-Ouzou.
3. **Bergamairer, D. (2002).** Production d'exopolysaccharides par fermentation avec des cellules immobilisées de *Lb.rhamnosusrw 9595m* d'un milieu à base de perméat de lactosérum. Thèse doctorat, université de Laval, Canada.149 p.
4. **Boudier, J.F., & Luquet, F.M. 1989.** "Utilisation des lactosérums en alimentation humaine et animale." N°21.
5. **Bourlioux P. 2007.** "Histoire des laits fermentés." *Cahiers de Nutrition et de Diététique*, 42: 9–14.
6. **Bourlioux P., Braesco V., Mater DDG. 2011.** "Yaourts et autres laits fermentés." *Cahiers de Nutrition et de Diététique*, 46(6): 305-314.

C

1. **Chandan RC, Kilara A. 2011.** Dairy ingredients for food processing. Blackwell Publishing, USA, pp. 6-339.
2. **Chandan RC, Nauth KR. 2012.** "Yogurt." In: Hui, Y.H., Evranuz, E.O., Chandan, R.C., Cocolin, L., Drosinos, E.H., Goddik, L., Rodrigues, A., Toldra, F. (Eds.), *Handbook of animal based fermented food and beverage technology*. CRC Press, Boca Raton, FL, pp. 213–233.

1. Corrieu G., Béal C. 2016. "Yogurt: The Product and its Manufacture." Encyclopedia of Food and Health, pp. 617–624.

2. Corrieu G., Béal C. 2016. Yogurt: The Product and its Manufacture. Encyclopedia of Food and Health.

D

1. Dahou A.A., Homrani A., Bensaleh F., Bekada A., Meghoufel N. 2016. "Caractérisation phénotypique et génotypique de deux Lactobacillus isolés d'un fromage traditionnel frais type J'ben." Afrique SCIENCE, 12(6): 14-22.

2. De La Fuente, M. A., Hemar, Y., Tamehana, M., Munro, P. A., & Singh, H. 2002. "Coagulation de la caséine par présure sous haute pression : Effets sur la composition du lactosérum et les propriétés rhéologiques des gels." Food Hydrocolloids, 16(4): 245-253.

3. De Witt JN. 2001. Manuel de l'Enseignant sur le Lactosérum et les Produits de Lactosérum, 1e éd., EuropeanWheyProducts Association, Bruxelles, Belgique, 2001.

4. Droualt S., Corthier G. 2001. "Effet des bactéries lactiques ingérées avec des laits fermentés sur la santé." Unité d'Ecologie et de physiologie du système digestif, INRA, France, pp. 101-117.

F

1. FAO. 1995. Le lait et les produits laitiers dans la nutrition humaine. Collection FAO: Alimentation et nutrition n° 28, Rome (Italie).

1. **FAO-ONU. 2017.** "Production alimentaire : fromage (Algérie)." Organisation des Nations Unies.

2. **Fick, M. 2016.** Rapport de projet : valorisation du lactosérum.

3. **Fredot É. 2006.** Connaissance des aliments bases alimentaires et nutritionnelles de la diététique. Ed Lavoisier, Paris, pp. 9-34.

4. **Fredot É. 2009.** Connaissance des aliments bases alimentaires et nutritionnelles de la diététique. 2ème Ed Lavoisier, Paris, 49p.

G

1. **Gana, S., & Touzi, A. 2001.** "Valorisation du lactosérum par production de levures lactiques avec les procédés de fermentation discontinue et continue." Revue des Energies Renouvelables : Production et Valorisation – Biomasse, 5158.

2. **Gill C., Rowland I. 2003.** "Cancer," in Functional Dairy Products, T. Mattila Sandholm and M. Saarela, Eds, pp. 19–53, CRC Press, Boca Raton and Woodhead Publishing Limited, England.

3. **Guillemant M., Moretti E., Muller E., Delebarre M. 2017.** "Formulations nutritionnelles de type yaourt, crème, crème dessert et dessert glacé comprenant un isolat de protéines de pois ainsi que l'utilisation de la formulation comme source protéique." WPOIPCT: Rapport de recherche

internationale (Art. 21(3)), 2p.

J

1. **Jeante TR, Croguennec T, Mahaut M, Schuck P, Brule G. 2008.** Les produits laitiers. 2ème édition, Lavoisier, Paris. 1-3-13-14-17 (185 pages).
2. **Jolanta BK, Tomasz D, Emilia JT, Bartosz S. 2016.** "Use of Whey and Whey Preparations in the Food Industry – a Review." *Pol. J. Food Nutr. Sci.*, 66(3): 157–165.
3. **Joliet, O., Weidema, B. P., & Suh, S. 2010.** Environmental Life Cycle Assessment of Goods and Services: An Input-Output Approach. CRC Press.
4. Joliet, O., et al. 2010. "Analyse du cycle de vie (ACV) et sa contribution à la conception environnementale." *Journal de l'environnement industriel*, 45(3): 215-230.

K

1. **Keddar F., Koubich S. 2009.** "Etude de l'effet antagoniste entre les deux bactéries du yaourt (*Streptococcus thermophilus* et *Lactobacillus bulgaricus*) et les germes pathogènes (*Escherichia coli* et *Staphylococcus aureus*)." JORA, 1998. Arrêté interministériel du 16 Joumada Ethania 1419 correspondant au 7 octobre 1998 relatifs aux spécifications techniques des yaourts et aux modalités de leur mise à la consommation, Art: 2 et 3, 22p.
2. **Khodja, Z., & Yousfi, N. 2020.** "Etude de différentes voies de valorisation du lactosérum dans l'industrie agroalimentaire." Doctoral thesis, Université Mohamed Boudiaf-M'sila.

L

1. **LACHEBI S., et YELLES F 2018.** Valorisation du lactosérum par technique membranaire. Thèse de doctorat, Boumerdes ; Algérie.
2. **Lamontagne, M. 2002.** "Produits laitiers fermentés, dans : Sciences et technologie du lait. Transformation du lait - Canada : presses internationales polytechniques", 600 p.
3. **LAPOINTE-VIGNOLA C 2002.** Science et technologie du lait: transformation du lait. (Presses inter Polytechnique, Ed.) (2e Ed.). Montréal, Qc: Fondation de technologie laitière du Québec.
4. **Leksir C. 2012.** "Caractérisation et contrôle de la qualité de ferments lactiques utilisés dans l'industrie laitière algérienne." [En ligne] mémoire en vue de l'obtention du Diplôme de Magistère en : Sciences Alimentaires. Option : Biotechnologie Alimentaire. Université Mentouri de Constantine : Institut de la Nutrition, de l'Alimentation et des Technologies Agro-Alimentaires, p6.
5. **Linden, G., & Lorient, D. 1994.** Biochimie agro industrielle: valorisation.
6. **Luquet, F.-M. 1989.** Les produits laitiers

M

1. **Marty-Teyssset, C., et Garel, J.R. (2000).** Increased production of hydrogen peroxide by *Lactobacillus Delbrueckii*ssp *Bulgaricus* on aeration. In: *Involvement. Applied environmental Microbiology*, 66 : 262-267