

République Algérienne Démocratique et Populaire  
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

Présenté par :

**DRIS MANEL**

Pour l'obtention du diplôme de

### **MASTER EN SCIENCES ALIMENTAIRES**

**Spécialité : Production et transformation laitières**

THÈME

**Valorisation des éléments fonctionnels du  
lactosérum et d'une flore lactique  
autochtone dans la formulation d'un lait  
fermenté de type yaourt brassé**

Soutenu publiquement le 22/10/2025

Devant les membres du jury

<b>Président</b>	Dr DAHOU Abdelkader El Amine MCA	U. Mostaganem
<b>Examinatrice</b>	Dr CHERRAD Hayet MCB	U. Mostaganem
<b>Encadreur</b>	Dr TAHLAITI Hafida MCA	U. Mostaganem

Travail réalisé au Laboratoire des Sciences et Techniques de Productions Animales

Année universitaire 2025-2026

## Remerciements

*Louange à ALLAH le miséricordieux, le Très-Haut, qui m'a permis de terminer ce travail dans de bonnes conditions. Alhamdulillah pour Sa miséricorde, Sa guidance et Sa force tout au long de ce parcours*

*Je tiens à exprimer ma profonde gratitude à **Madame Tahlalti Hafida**, ma directrice de mémoire, pour son encadrement, ses conseils et sa patience tout au long de ce travail.*

*J'adresse également mes sincères remerciements aux **membres du jury** pour avoir accepté d'évaluer ce travail et pour leurs remarques constructives.*

*Je remercie également chaleureusement mes professeurs qui m'ont accompagnée durant mon parcours universitaire, notamment*

- ***Monsieur Dahou Abdelkader El Amine**, Maitre de conférences A pour son soutien constant et ses précieux conseils,*
- ***Madame Cherrad Hayat** pour l'enseignement et les connaissances qu'elle m'a transmises durant mon parcours.*
  - ***Monsieur Mirade** et **Monsieur Benbouziaine** pour leur soutien, leur aide précieuse et leur disponibilité. Que Dieu les bénisse pour leur générosité.*
  - *Un grand merci à l'ingénieur du laboratoire **Monsieur Noredine Benharrat** pour son soutien indéfectible lors de notre stage, ainsi que pour sa présence et son assistance précieuse.*
- *Je n'oublie pas tous les enseignants de ma spécialité « **Production et transformation laitières** » pour la qualité de la formation reçue.*
- *Je remercie sincèrement toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce mémoire.*

*Enfin, je tiens à exprimer ma reconnaissance à tous **mes camarades** qui ont partagé cette aventure avec moi, ainsi qu'à **ma famille**, en particulier **maman**, pour leur amour, leurs encouragements et leur soutien inestimable*

## Dédicace

*Je dédie ce travail avec tout mon amour et ma reconnaissance :*

*À mon cher père, que Dieu ait son âme. Ce travail est pour toi, j'espère qu'il te rendra fier.*

*À ma précieuse mère, **Djamila Haouass**, pour son amour, sa patience et ses sacrifices. Que Dieu la protège et la garde pour moi.*

*À ma sœur **Hadil** et à mon frère **Achraf**, pour leur soutien et leur présence constante.*

*À **Amine Nouni**, pour son accompagnement, sa patience et sa présence depuis le début de mes études.*

*À mes grands-parents, **Bakhta et Abdelkader**, pour leur amour et leurs bénédictions.*

*À mon oncle **Jamal** et à son épouse **Hamida**, pour leur encouragement.*

*À mes amies **Nihad, Karima, Nerjas, Hoyam, Sara** pour leur amitié sincère et leur soutien.*

*À mes camarades de classe, pour tous les moments partagés et leur aide précieuse.*

*Merci à vous tous du fond du cœur.*

## **Résumé**

Cette recherche s'inscrit dans une démarche de valorisation durable du lactosérum, un sous-produit souvent sous-utilisé, très abondant dans l'industrie laitière, par sa mise dans la fabrication d'un yaourt brassé utilisant une flore lactique autochtone. Les réalisations expérimentales incluent un ajout à 20 % de lactosérum au lait de base, de lait standardisé, suivi d'une fermentation réalisée sous contrôle de souches locales de *Streptococcus thermophilus* (ST) et *Lactobacillus bulgaricus* (LB)

Les résultats physico-chimiques obtenus ont révélé que le yaourt final avait un pH final compris entre 4,2 et 4,4, une acidité titrable entre 80 – 100 °D, une matière sèche conforme. Sur le plan microbiologique, le produit était composé de bactéries lactiques (BL) spécifiques, il ne contenait pas de germes pathogènes et présentait de fortes concentrations en ferments, ce qui garantit la sécurité ainsi que le potentiel probiotique du produit.

L'évaluation sensorielle réalisée par un panel de dégusteur a permis de vérifier que le yaourt au lactosérum, à l'homogénéité de texture, au goût équilibré présentait une bonne acceptabilité sensorielle, comparable ou supérieure à celle du yaourt classique. L'intégration du lactosérum n'a donc pas seulement permis de valoriser un sous-produit, mais aussi d'enrichir le produit final en protéines solubles, minéraux et vitamines, tout en contribuant à la durabilité environnementale et économique de la filière laitière. Ces résultats ouvrent la voie à l'optimisation de la formulation, à la sélection de souches probiotiques spécifiques et à l'industrialisation de procédés innovants de valorisation du lactosérum.

### **Mots-clés :**

Lactosérum, yaourt brassé, bactéries lactiques, valorisation, qualité microbiologique

## **Abstract**

This research is part of a sustainable approach to the recovery of whey, an often-underutilized by-product, very abundant in the dairy industry, by using it in the production of stirred yogurt using indigenous lactic flora. The experimental results included adding 20% whey to the base milk, standardized milk, followed by fermentation carried out under the control of local strains of *Streptococcus thermophilus* (ST) and *Lactobacillus bulgaricus* (LB).

The physicochemical results obtained revealed that the final yogurt had a final pH between 4.2 and 4.4, a titratable acidity between 80 – 100 °D, and compliant dry matter content. From a microbiological point of view, the product was composed of specific lactic acid bacteria (LAB), it did not contain pathogenic germs and had high concentrations of ferments, which guarantees the safety as well as the probiotic potential of the product. The sensory evaluation conducted by a panel of tasters confirmed that the whey yogurt, with its consistent texture and balanced taste, exhibited good sensory acceptability, comparable to or superior to that of conventional yogurt. The inclusion of whey therefore not only enhanced a by-product, but also enriched the final product with soluble proteins, minerals, and vitamins, while contributing to the environmental and economic sustainability of the dairy industry. These results pave the way for optimizing formulation, selecting specific probiotic strains, and industrializing innovative whey recovery processes.

## **Keywords:**

Whey, stirred yogurt, lactic acid bacteria, recovery, microbiological quality

## الملخص

تندرج هذه الدراسة ضمن نهج يهدف إلى تثمين مستدام لمصل اللبن، وهو منتج ثانوي كثيرًا ما يُهمل رغم وفرته الكبيرة في صناعة الألبان، وذلك من خلال إدخاله في تصنيع يا غورت مخفوق باستخدام فلورا لبنية محلية. شملت التجارب إضافة 20% من مصّل اللبن إلى الحليب الأساسي الموحد، تلتها عملية تخمير تحت إشراف سلالات محلية من *Streptococcus thermophilus* و *Lactobacillus bulgaricus*.

أظهرت النتائج الفيزيائية والكيميائية أن الياغورت النهائي كان له pH يتراوح بين 4.2 و4.4، وحموضة قابلة للمعايرة تتراوح بين 80 و100 درجة دورنيك (°D)، ومحتوى من المادة الجافة مطابق للمعايير. وعلى المستوى الميكروبيولوجي، احتوى المنتج على بكتيريا لبنية محددة، ولم يُظهر وجود جراثيم ممرضة، كما احتوى على تركيزات عالية من الخمائر، مما يضمن سلامة المنتج وإمكاناته البروبيوتكية.

أما التقييم الحسي الذي أجراه فريق من المتذوقين، فقد أكد أن الياغورت المحضّر بمصل اللبن يمتاز بتجانس في القوام وتوازن في النكهة، مع قابلية تقبل حسية جيدة، تضاهي أو تفوق تلك الخاصة بالياغورت التقليدي. وبالتالي، فإن إدماج مصّل اللبن لم يسهم فقط في تثمين منتج ثانوي، بل ساهم أيضًا في إثراء المنتج النهائي بالبروتينات الذائبة والمعادن والفيتامينات، فضلًا عن مساهمته في استدامة قطاع الألبان بيئيًا واقتصاديًا.

تفتح هذه النتائج آفاقًا نحو تحسين التركيبة، واختيار سلالات بروبيوتيك محددة، والتوجه نحو تصنيع عمليات مبتكرة لتثمين مصّل اللبن.

## الكلمات المفتاحية:

مصّل اللبن، ياغورت مخفوق، بكتيريا لبنية، تثمين، جودة مكروبيولوجية.

# Table des matières

Remerciements

Dédicace

Résumé

Abstract

المخلص

Introduction ..... 1

## *Partie I : Synthèse bibliographique*

### *Chapitre I : Généralités sur les laits fermentés et les yaourts*

I.1. Définition des laits fermentés..... 5

I.2. Classification ..... 5

I.3. Les principaux types du lait fermenté..... 6

□ Yaourt ferme..... 6

□ Yaourt brassé..... 6

□ Yaourt à boire..... 6

□ Le Kéfir..... 7

□ L'ban..... 7

I.4. Définition du yaourt brassé..... 7

I.6. La méthode technologique de production du yaourt brassé..... 8

I.6.1. La préparation des matières premières ..... 8

I.6.2. Homogénéisation..... 8

I.6.3. Le traitement thermique ..... 8

I.6.4. Refroidissement etensemencement..... 9

I.6.5. Fermentation ..... 9

I.6.6. Brassage ..... 9

I.6.7. Refroidissement ..... 9

I.7. Intérêts nutritionnels du yaourt ..... 10

## Chapitre II : Généralité sur le lactosérum et les flores autochtones du lait

<b>II. Généralité sur le lactosérum</b> .....	12
<b>II.1. Définition et caractéristiques du lactosérum</b> .....	12
<b>II.2.1. Lactosérum acide</b> .....	13
<b>II.2.2. Le lactosérum doux</b> .....	14
<b>II.3. Composition du lactosérum</b> .....	15
<b>II.3.1. Les protéines solubles :</b> .....	16
<b>II.3.2. Lactose</b> .....	17
<b>II.3.4. Les vitamines</b> .....	18
<b>II.3.5. Les lipides</b> .....	18
<b>II.4. Élément nutritif du lactosérum</b> .....	18
<b>II.5. Valorisation du lactosérum Valorisation du lactosérum</b> .....	18
<b>Les Flores autochtones dulait</b> .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
<b>II.6. Définition des bactéries lactiques</b> .....	19
<b>II.7. Principaux genres des bactéries lactiques</b> .....	20
<b>II.8. Les bactéries lactiques spécifiques du yaourt</b> .....	20
<b>II.9. Activité des bactéries lactiques du yaourt</b> .....	20
<input type="checkbox"/> <b>Production d'acide lactique</b> .....	20
<input type="checkbox"/> <b>Activité protéolytique</b> .....	21
<input type="checkbox"/> <b>Activité texturante</b> .....	21
<input type="checkbox"/> <b>Activité aromatisante</b> .....	21

### *Partie Expérimentale*

#### *Chapitre III : Matériel et méthodes*

<b>III.1. Cadre de l'étude</b> .....	24
<b>III.2. Méthodologie</b> .....	24
<b>III.2.1. Origine du lactosérum en poudre doux</b> .....	24
<b>III.2.3. Spécifications standard</b> .....	24
<b>III.2.4. Applications industrielles</b> .....	24
<b>III.3. Préparation de l'échantillon</b> .....	25

<b>III.4. Techniques d'analyse.....</b>	<b>25</b>
<b>III.4.1. Analyses physico-chimiques des laits .....</b>	<b>25</b>
<b>III.4.1.1. Analyse du lait par Lactoscan.....</b>	<b>25</b>
<b>III.4.1.2. Mesure du pH.....</b>	<b>26</b>
<b>III.4.1.3. Détermination de l'acidité titrable .....</b>	<b>26</b>
<b>III.4.1.4. Détermination de l'extrait sec total du lait .....</b>	<b>26</b>
<b>III.4.2. Test de lactofermentation du lait.....</b>	<b>26</b>
<b>III.4.2.1. Evaluation des coagulums obtenus.....</b>	<b>27</b>
<b>III.4.2.2. Orientation du traitement thermique .....</b>	<b>27</b>
<b>III.5. Contrôle microbiologique des flores autochtones .....</b>	<b>27</b>
<b>III.5.3. Recherche et dénombrement des flores mésophiles aérobies totales : .....</b>	<b>28</b>
<b>a. Flore lactique aérobie : .....</b>	<b>28</b>
<b>b. Flore lactique anaérobie : .....</b>	<b>28</b>
<b>c. Pré-identification de la flore lactique isolée : .....</b>	<b>29</b>
<b>d. Recherche de catalase .....</b>	<b>29</b>
<b>e. Conservation des isolats : .....</b>	<b>30</b>
<b>f. Identification et caractérisation des isolats .....</b>	<b>30</b>
<b>III.5.3.2. Dénombrement de la viabilité de la flore lactique d'intérêt technologique .....</b>	<b>32</b>
<b>III.5.3.3. Préparation du levain lactique thermophile .....</b>	<b>33</b>
<b>III.5.4. Préparation des yaourts .....</b>	<b>33</b>
<b>a. Yaourt nature .....</b>	<b>33</b>
<b>b. Yaourt au lactosérum.....</b>	<b>33</b>
<b>III.5.4.1. Viabilité du yaour .....</b>	<b>34</b>
<b>III.5.4.2. Analyses physico-chimiques des yaourts .....</b>	<b>34</b>
<b>a. Mesure du pH .....</b>	<b>34</b>
<b>b. Mesure de l'acidité .....</b>	<b>34</b>
<b>c. Mesure de l'extrait sec .....</b>	<b>35</b>
<b>III.5.4.3. Analyses microbiologiques des yaourts.....</b>	<b>35</b>
<b>III.5.5. Évaluation sensorielle.....</b>	<b>35</b>

## Chapitre IV : Résultats et discussion

IV.1. Qualité physico-chimique des laits .....	37
IV.2. Qualité microbiologique des laits.....	38
IV.2.1. Impact de la flore autochtone et du lactosérum .....	38
IV.2.1.1 Flore mésophile aérobie totale .....	38
IV.2.2 Etude des caractères morphologiques .....	38
IV.2.2.1.Observation macroscopique des bactéries lactiques .....	40
IV.2.2.2.Observation microscopique des isolats lactiques .....	40
IV.2.2.3.Test biochimique du métabolisme respiratoire .....	42
IV.3.Test de lacto-fermentation.....	43
IV.4. Qualité des yaourts fabriqués .....	44
<i>Conclusion</i> .....	<b>49</b>
<i>Annexe</i> .....	60

## Liste des figures

<b>Figure 1:</b> Schéma général des critères de classification des laits fermentés .....	6
<b>Figure 2 :</b> Diagramme de fabrication de yaourt (Benkerroum, 2021).....	10
<b>Figure 3:</b> Processus de dilution progressive du lait .....	27
<b>Figure 4:</b> Schéma du processus de dilution décimale du lait et ensemencement aseptique, suivi de l'incubation des boîtes de Pétri.....	28
<b>Figure 5:</b> Test de catalase « résultats ».....	30
<b>Figure 6 :</b> Conservation des isolats bactériens .....	30
<b>Figure 7:</b> Processus de comptage des colonies bactériennes.....	33
<b>Figure 8:</b> Facteurs influençant la viabilité des bactéries lactiques dans le yaourt brassé.....	33
<b>Figure 9:</b> Diagramme de viabilité du yaourt .....	34
<b>Figure 10 :</b> Formes morphologiques des cocci .....	39
<b>Figure 11:</b> Observation microscopique des souches revivifiées Streptocoques lactiques (grossissement x100).....	41
<b>Figure 12:</b> Observation microscopique de bacille.....	42
<b>Figure 13:</b> Observation microscopique des souches revivifiées Lactobacilles (grossissement x100).....	43
<b>Figure 14:</b> Observation microscopique de bactéries lactiques en forme de bacilles à basse de lactosérum type yaourt brassé. ....	45
<b>Figure 15:</b> Observation microscopique de bactéries lactiques en forme de bacilles et de type yaourt brassé nature.....	46
<b>Figure 16 :</b> Schéma explicatif pour fabriquer le yaourt brassé .....	64
<b>Figure 17 :</b> Schéma de l'acidité Dornic.....	65

## Liste des tableaux

<b>Tableau 01:</b> La composition typique du lactosérum acide ( <i>Walstra et al, 2006, Zotta et al, 2021 ; Almeida et al, 2022 ; Zielińska et al, 2023</i> ).....	13
<b>Tableau 02 :</b> Composition typique du lactosérum doux ( <b>FOX et MCSWEENEY, 2017</b> )....	14
<b>Tableau 03 :</b> Différents types de lactosérum ( <b>OLIVEIRA ,2017 ; GUIMARAES et AL, 201</b> ).....	14
<b>Tableau 04 :</b> Composition moyenne du lactosérum doux et acide ( <b>Guimaraes , 2015</b> ) .....	16
<b>Tableau05 :</b> Propriétés physico-chimiques des protéines sériques du lactosérum ( <i>Zielińska et al, 2023 ; Almeida et al, 2022 ; Ben-Harb et al, 2021</i> ) .....	16

## Liste des abréviations

- NaOH:** Hydroxide de sodium
- q.s.p.:** Quantum satis pro (quantité suffisante pour)
- NaCl:** Chlorure de sodium
- PCA:** Plate Count Agar (gélose nutritive standard)
- MRS:** Man, Rogosa and Sharpe (milieu de culture pour lactobacilles)
- KH<sub>2</sub>O<sub>4</sub>:** Dihydrogénophosphate de potassium
- MgSO:** Sulfate de magnésium
- MnSO:** Sulfate de manganèse
- Tween 80:** Polysorbate 80 (agent tensioactif non ionique)
- M17:** Milieu M17 (milieu enrichi pour streptocoques lactiques)
- NaHPO:** Hydrogénophosphate disodique
- NaHPO:** Dihydrogénophosphate monosodique
- pH:** Potentiel hydrogène (mesure de l'acidité ou de la basicité d'une solution)

## **Liste des Annexes**

<b>Annexe 1: Composition des solutions de titrage .....</b>	<b>61</b>
<b>Annexe 2: Composition des milieux de cultures (g/l) .....</b>	<b>61</b>
<b>Annexe 3: Préparation de yaourt brassé.....</b>	<b>63</b>
<b>Annexe 4 : Schéma de l'acidité dornic. ....</b>	<b>65</b>



***Introduction***

# Introduction

---

## Introduction

Au sein de l'industrie laitière, une masse très importante de sous-produits est générée chaque année, avec en tête de liste, en termes de volume, le lactosérum. Ce dernier, également appelé petit-lait, est le liquide coagulé obtenu à partir du lait lors de la fabrication du fromage ou de la poudre de lait, et représente près de 90 % du volume initialement traité (Benaïssa, 2020). Il est principalement composé d'eau, de lactose, de protéines solubles, de minéraux et de vitamines hydrosolubles (Benaïssa, 2020).

Considéré à tort comme un déchet encombrant et polluant, son rejet représente une perte de valeur économique importante et constitue également une source non négligeable de pollution (Zerrouki, 2022 ; Charef, 2021).

Cependant, le lactosérum est reconnu pour sa grande valeur nutritionnelle. Les protéines de lactosérum, notamment la bêta-lactoglobuline ( $\beta$ -LG) et l'alpha-lactalbumine ( $\alpha$ -LA), possèdent une valeur biologique élevée, proche de celle de l'œuf, avec un excellent profil en acides aminés essentiels (Bouderbala, 2019). Il constitue également une source notable de minéraux et de vitamines hydrosolubles, ce qui en fait un ingrédient idéal pour l'enrichissement des aliments fonctionnels (Bouderbala, 2019).

En outre, le lactose qu'il contient est facilement fermentescible par les bactéries lactiques (BL), favorisant ainsi la production d'acide lactique et de composés aromatiques lors de la fermentation (Charef, 2021).

La valorisation du lactosérum, en l'incorporant dans la formulation de produits laitiers fermentés, tels que les yaourts brassés, présente un triple avantage : nutritionnel, économique et environnemental (Kaci, 2021 ; Zerrouki, 2022). Plusieurs travaux ont montré que l'incorporation du lactosérum dans la fabrication de yaourts brassés ou à boire améliore les propriétés physico-chimiques et organoleptiques du produit fini, tout en réduisant la consommation de matières premières laitières, ce qui diminue l'impact environnemental lié à l'élimination de ce sous-produit (Kaci, 2021 ; Zerrouki, 2022).

Le yaourt, défini sur le plan réglementaire comme un lait fermenté par l'action symbiotique de *Streptococcus thermophilus* (ST) et *Lactobacillus bulgaricus* (LB), est un aliment reconnu pour sa richesse nutritionnelle et ses bienfaits pour la santé (La Nutrition.fr, 2018). L'usage de

## Introduction

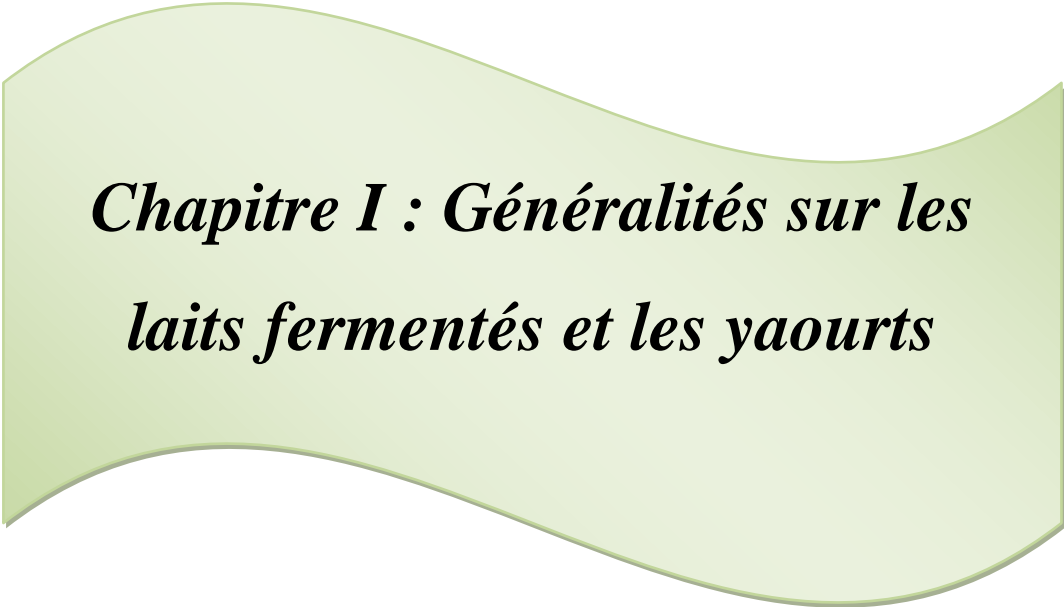
---

flores lactiques autochtones pour la fermentation du yaourt, associé à l'ajout de lactosérum, permettrait l'élaboration de nouveaux produits laitiers répondant aux exigences des consommateurs actuels en matière de naturalité, durabilité et qualité nutritionnelle (Mebarki, 2020 ; Zerrouki, 2022).

Dans ce contexte, le présent travail vise à étudier la valorisation du lactosérum par son incorporation dans la fabrication d'un yaourt brassé, en évaluant l'impact de cette approche sur les caractéristiques physico-chimiques, microbiologiques et sensorielles du produit obtenu.



*Partie I :*  
*Synthèse bibliographique*



***Chapitre I : Généralités sur les  
laits fermentés et les yaourts***

### **Chapitre I : Généralités sur le lait fermenté et les yaourts**

#### **I.1. Définition des laits fermentés**

La définition des laits fermentés, récemment mise à jour par la Fédération Internationale du Lait (FIL), repose sur une perspective de produits laitiers obtenus par fermentation du lait ou de ses dérivés par l'effet de microorganismes sélectionnés, principalement des bactéries lactiques, qui sont tous viables, actifs et en quantité suffisante dans le produit final (FIL-IDF, 2021). Considérés comme des laits fermentés, ces produits peuvent être additionnés de fruits sûrs, d'arômes sûrs ou de sucres, sans que leur présence ne soit excédentaire à 30 % du poids total du produit fermenté, car ils ne changent pas la nature fermentée. L'effet de la fermentation porte principalement sur l'acidité du lait (0,6 % acide lactique) qui contribue à la conservation, à la caractérisation texturale et sensorielle du produit. Les laits fermentés sont le yaourt, le kéfir, le lait ribot, l'ayran, etc.... où les différenciations sont portées par les souches et les procédés de fabrication.

Le lait fermenté est un produit alimentation qui provient, selon la plupart des cas, d'un lait ou bien d'un mélange laitier, lait et dérivés, soumis à l'action de microorganismes sélectionnés, bactéries lactiques principalement, par un processus biologique de fermentation. Ce processus constitue un mécanisme de baisse du pH conduisant, dans certains cas, à une acidification dont peut résulter la coagulation des protéines du lait par précipitation isoélectrique, induisant un produit de texture propre, pouvant permettre une bonne conservation ou bien favoriser l'ajout de certains ferments (ainsi certains ferments produisent des composés aromatiques ou fonctionnels d'intérêt technologique ou nutritionnel) (Silva et al, 2023).

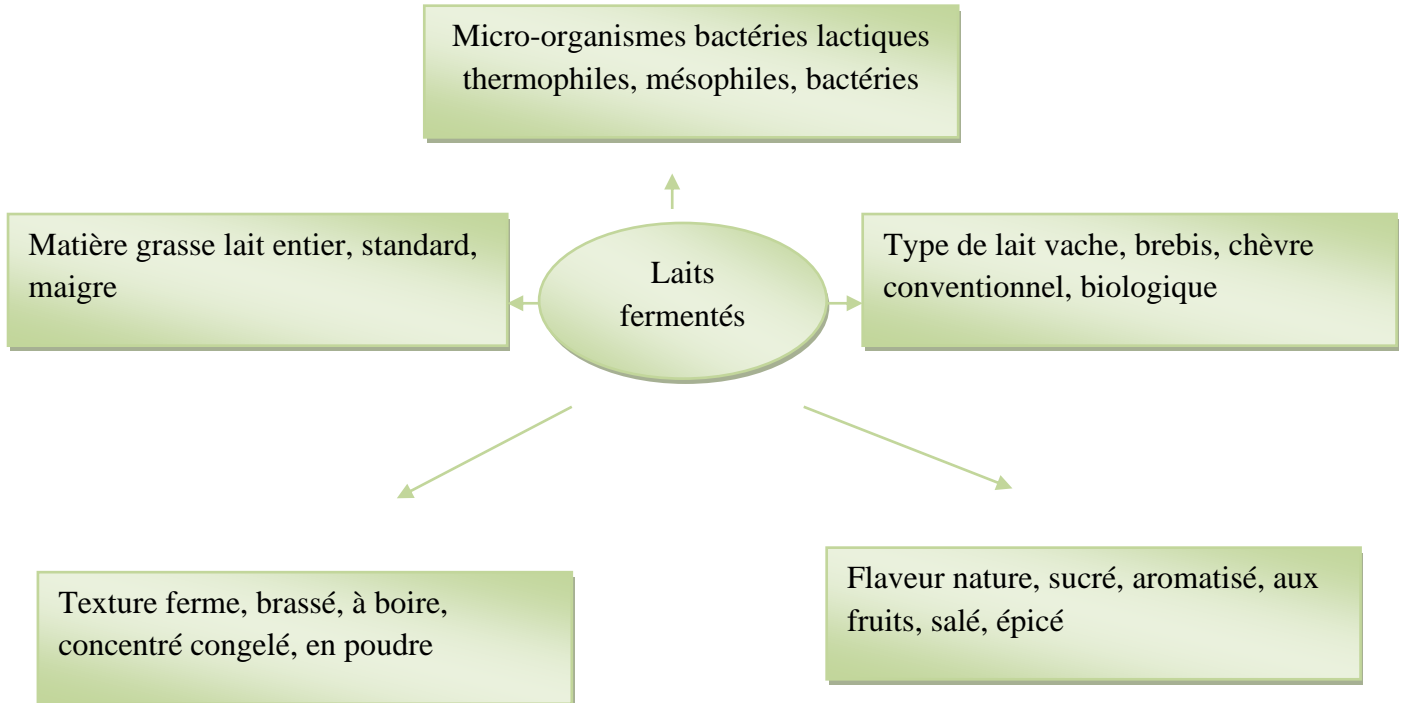
#### **I .2. Classification**

Les produits laitiers fermentés peuvent être classés selon divers critères, tels que le type de lait utilisé pour leur production, leur contenu en graisses, les microorganismes qui participent à leur fabrication, leur consistance et leurs propriétés aromatiques (voir figure 1).

Les variations entre les différents produits sont dues aux caractéristiques des microorganismes, à la composition du mélange (lait standardisé) et aux méthodes employées lors des différentes étapes de production. Dans tous les cas, ces produits sont considérés comme frais et ont une

## Chapitre I : Généralités sur les laits fermentés et les yaourts

date d'expiration. Ils doivent donc être conservés au frais (à une température inférieure à 5°C) et ont une durée de conservation limitée (généralement 28 jours).



**Figure 1:** Schéma général des critères de classification des laits fermentés

(Tamang et al, 2021).

### I .3. Les principaux types du lait fermenté

Les laits fermentés, Chaque laits fermentés sont une classe qui se singularise selon les micro-organismes utilisés et selon la texture du lait final :

- **Le Yaourt** : produit microbien à base de *Streptococcus thermophilus* et *Lactobacillus delbrueckii subsp. Bulgaricus* nature, aromatisé ou enrichis en fruit, fibres ou autre ingrédient fonctionnelle, Il peut être :
  - **Yaourt ferme** : directement conditionné après fermentation.
  - **Yaourt brassé** : agité après fermentation.
  - **Yaourt à boire** : plus fluide. (Shori ,2022)

## ***Chapitre I : Généralités sur les laits fermentés et les yaourts***

---

- **Le Kéfir** : dérivé d'un germe mixte (*levure et bactéries lactiques*), générant de l'effervescence, il présente une richesse microbienne complexe (*Lactobacillus kefiranofaciens, Saccharomyces cerevisiae, ...*) (Gae et al, 2021).
- **L'ban** : le dahi et d'autres laits fermentés traditionnels : qui ont également leurs lieux de consommation sur toute la Planète, présentent des réseaux microbiens spécifiques et des profils fonctionnels intéressants (Arslan et al , 2023).
- **Les laits fermentés probiotiques** : suggérant une plus-value d'apport sanitaire, étant enrichis de la présence de bactéries à effets prouvés, comme *Lactobacillus rhamnosus* ou *Bifidobacterium bifidum* (Pimentel et al ,2020) .

### **I.4. Définition du yaourt brassé**

Le yaourt brassé est une sorte de lait fermenté produit à partir d'un yaourt ferme, mais ayant été mélangé mécaniquement après fermentation et avant conditionnement. C'est ce brassage qui va permettre d'appliquer la consistance homogène, crémeuse et moins ferme que celle d'un yaourt.

En effet, le yaourt ferme est mis en pot avant incubation et fermente directement dans ce contenant, alors que le yaourt brassé est fermenté en vrac, puis, pour lui donner cet aspect fluide et pour éventuellement intégrer d'éventuels ingrédients (fruits, arômes, fibres) (Sabbagh et al, 2021).

Selon la définition mise à jour de la FIL (Fédération Internationale du Lait 2022), le yaourt (ou yoghourt) est le lait fermenté obtenu essentiellement par l'action symbiotique de *Streptococcus thermophilus* et *Lactobacillus delbrueckii subsp. Bulgaricus* et qui contient, au moment de la consommation, au moins 107 UFC/g de bactéries lactiques vivantes.

### **I.5. Composants principaux**

- **Eau** : Le lait, dont la composition est d'environ 87 % d'eau, continue de jouer un rôle fondamental dans le yaourt brassé tout au long de la fermentation, bien qu'on puisse considérer qu'une très petite proportion d'eau (*une fraction sur plus de 10 000*) va devenir des composés volatils lors de la fermentation (Walstra et al , 2022) .
- **Protéines** : Le yaourt brassé, aliment riche en protéines, contient surtout des caséines et des protéines solubles que sont *les lactalbumines* et *les lactoglobulines*. Les protéines ont un rôle clé sur les propriétés gélifiantes du yaourt qui va voir, au cours de la fermentation, une fraction de ses protéines se dénaturer, notamment par réticulation, ce qui participe au mécanisme d'épaississement et de formation du gel (Guggisberg et al, 2020).

## ***Chapitre I : Généralités sur les laits fermentés et les yaourts***

---

- **Lipides** : Le rôle des graisses dans le yaourt brassé dépend du lait employé (*entier, demi-écrémé, écrémé*). Les triglycérides, qui apportent ou non des acides gras saturés, insaturés et polyinsaturés, sont des lipides qui modulent le goût et la texture du produit final (Sabbagh et al, 2021).
- **Glucides** : Le lactose de lait est également le principal glucide du lait ; en phase de fermentation, certaines bactéries lactiques le transforment en acide lactique, ce qui réduit la concentration de cet oside dans le produit final, tout en acidifiant le yaourt, qui par ce biais, développe sa saveur et sa texture. Une partie du lactose est aussi altéré en oligosaccharides prébiotiques (Lui et al , 2020)
- **Minéraux** : Le yaourt brassé fournit des minéraux essentiels à l'alimentation humaine : calcium, phosphore, potassium, magnésium... Le calcium est notamment nécessaire au bon développement de nos os et est beaucoup mieux assimilé dans les produits laitiers fermentés en raison de sa solubilisation au cours du processus de fermentation (Guiné et al , 2022)
- **Vitamines** : En ce qui concerne la teneur en vitamines, le yaourt brassé est, lui aussi, particulièrement riche en vitamines, notamment dans le groupe des B (*riboflavine (B2), cobalamine (B12), vitamine D*), car les deux proviennent du lait dans lequel elles sont conservées durant la fermentation, puisque dans le lait , précisent que « les vitamines B sont relativement bien préservées au cours des procédés de transformation » (Rafie et al ,2023)

### **I.6. La méthode technologique de production du yaourt brassé**

Les principales étapes de fabrication du yaourt brassé sont les suivantes :

**I.6.1. La préparation des matières premières** : Le lait, qu'il soit entier, écrémé ou standardisé, est tout d'abord normalisé sur la base de sa teneur en matière grasse (*généralement comprise entre 1,5 % à 3,5%*) puis enrichi en protéines (*par addition de poudre de lait ou de concentré protéique*) afin d'atteindre une texture recherchée du produit final . (Shori ,2021)

**I.6.2. Homogénéisation** : Est homogénéisé à haute pression (*150–200 bars*) pour fragmenter les globules de graisse, optimisé, par la suite, la texture et la stabilité du produit. (Walstra et al, 2022)

**I.6.3. Le traitement thermique** : Le lait est porté à une température de 85 à 90 °C pendant 10 à 15 min, ce qui permet :

- Dénaturer les protéines du lactosérum.
- Favoriser les interactions avec les caséines.

## Chapitre I : Généralités sur les laits fermentés et les yaourts

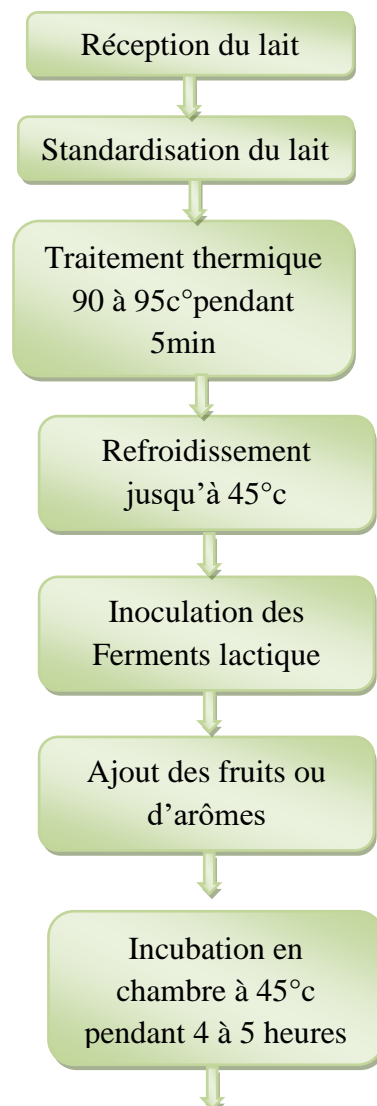
- Diminuer la charge microbienne d'entrée. (Rafie et al , 2023)

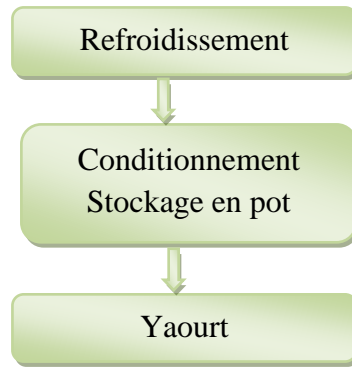
**I.6.4. Refroidissement et ensemencement :** Après avoir été refroidi à une température de 42 à 45 °C, le produit est inoculé (*ensemencé, ensemencé*) avec une culture standardisée constituée d'un mélange *S. thermophilus* et *L. delbrueckii subsp, bulgaricus*, généralement au taux de 1 à 2 %. (Guggisberg et al, 2020)

**I.6.5. Fermentation :** Le mélange a été incubé 4-6 h à 42-45 °C jusqu'à obtenir un pH d'environ 4,5. L'acidification provoque la gélification du mélange. (Lui et al ,2020)

**I.6.6. Brassage :** Au stade du caillé, un mélange soigneux est appliqué pour dégrader la gelée pour une consistance lisse. À ce point de la préparation, il est possible que la recette envisage l'incorporation d'arômes, de fruits ou de sucres. (Sabbagh et al , 2021 )

**I.6.7. Refroidissement :** Le mélange est par la suite promptement refroidi à 4 °C avant d'être emballé en pots. Il est conservé à une température régulée jusqu'à son utilisation. (Walstra et al, 2022)





**Figure 2 :** Diagramme de fabrication de yaourt (Benkerroum, 2021).

### I.7. Intérêts nutritionnels du yaourt

Le yaourt est un yaourt fermenté qui se distingue par sa richesse en nutriments essentiels et ses bénéfices pour la santé. L'acide lactique est légèrement antiseptique. Cette acidité inhibe surtout le développement de germes pathogènes dans le tube digestif du consommateur. De plus, l'acidité stimule les mouvements péristaltiques du tube digestif, facilitant l'élimination des micro-organismes pathogènes. *Streptococcus thermophilus* semble aussi empêcher l'implantation de certaines bactéries pathogènes dans l'intestin telle que les Salmonelles et les colibacilles (Bintsis, 2022). Cependant, les bactéries du yaourt ne s'implantent pas dans la flore intestinale. C'est pourquoi, pour maintenir leurs effets bénéfiques, un apport régulier est nécessaire. Les bactéries du genre *Lactobacillus* sécrètent du peroxyde d'hydrogène qui agit aussi comme un antiseptique. Le yaourt est donc un aliment vivant qui, d'une façon générale, diminue les symptômes de dérangement intestinal (Saxena et al, 2021).

***Chapitre II : Généralités sur le  
lactosérum et des flores lactiques***

## **Chapitre II : Généralité sur le lactosérum et les flores autochtones du lait**

### **II. Généralité sur le lactosérum**

#### **II.1. Définition et caractéristiques du lactosérum**

Le lactosérum est un sous-produit sous forme liquide obtenu, soit par fabrication fromagère, soit par transformation laitière sous forme de poudre. Il est majoritairement constitué de lactose, de protéines lactières, de minéraux et d'eau (Smith et *al*, 2021).

La séparation du lactosérum du caillé ou du lait en poudre est effectuée selon les qualités recherchées en faisant appel à des techniques de filtration ou d'ultrafiltration ou de microfiltration (Gonzalez et *al*, 2022).

Le lactosérum, également appelé petit lait, est un produit laitier présenté sous forme liquide de couleur jaune verdâtre, il contient des protéines lactières de haute valeur nutritionnelle (*environ 20%*) et des nutriments essentiels à l'alimentation (Smith et *al*, 2021).

Pour produire 1 kilo gramme de fromage, il faut compter 10 litres de lait, ce qui correspond à environ 600g de poudre de lactosérum issus de 9 litres de lactosérum (El tanboly et *al*, 2020).

Le glucide présent dans le lactosérum est principalement le lactose qui représente environ 75% de la composition du lactosérum. Le lactose est un monosaccharide qui peut être transformé en acide lactique et divers composés aromatiques par les bactéries lactiques par fermentation (Pescuma et *al*, 2023).

Le lactosérum est fréquemment employé comme source de lactose lors de la préparation d'aliments fermentés tels que le yaourt, le fromage frais ou le kéfir (Balthazar et *al*, 2021).

#### **II.2. Type de lactosérum**

Il ya lieu de penser le lactosérum dans la catégorie produit dérivé, et non dans celle de sous-produit de l'élaboration du fromage ou de la caséine. Il existe deux modalités que l'on peut distinguer :

## ***Chapitre II : Généralités sur le lactosérum et des flores lactiques autochtones des laits fermentés***

---

### **II.2.1. Lactosérum acide**

Le lactosérum acide est le liquide qui résulte de l'affinage du lait après extraction du caillé lors du processus du fromage, de la caséine ou de produits analogues. Le caillé est obtenu principalement par acidification (naturelle par fermentation lactique ou addition d'acides alimentaires) (FAO/WHO Codex Alimentarius, 2020). Le lactosérum de ce type est également connu sous le terme de lactosérum acidifié voire petit-lait aigre.

Habituellement, (Tableau01) le lactosérum acide présente un pH allant de 4,2 à 4,6 (Zotta et al, 2021), ce qui permet aux protéines d'être solubles et digestibles. Les protéines sont principalement des protéines sériques telles que l'albumine, la globuline et des résidus de caséine soluble. En raison de sa richesse en protéines, en peptides bioactifs, en minéraux et en lactose résiduel, ce coproduit peut-être valoriser pour la fabrication d'aliments fonctionnels comme des barres protéinées, boissons enrichies en protéines et produits fermentés innovants (Almeida et al, 2022).

Le lactosérum acide gagné par l'industrie fromagère lors de la fabrication de fromages à pâte dure ou pressée est, depuis peu, considéré par tous comme une matière première stratégique pour soutenir le développement de nouveaux produits à forte valeur ajoutée (Zielińska et al, 2023). L'intérêt croissant accordé à sa valorisation repose à la fois sur son potentiel d'utilisation technologique et nutritionnel mais s'adresse aussi à des enjeux peu valorisés jusqu'à présent mais importants comme la réduction des déchets laitiers et la durabilité environnementale des procédés de fabrication.

**Tableau 01: La composition typique du lactosérum acide** (Walstra et al, 2006, Zotta et al, 2021 ; Almeida et al, 2022 ; Zielińska et al, 2023)

<i>Composants</i>	<i>Teneur (%)</i>
<b><i>Protéines</i></b>	<i>0,5 – 0,7</i>
<b><i>Lactose</i></b>	<i>3,0 – 3,5</i>
<b><i>Matières grasses</i></b>	<i>0,1 – 0,3</i>
<b><i>Minéraux</i></b>	<i>0,6 – 0,8</i>
<b><i>Vitamines</i></b>	<i>Traces</i>

## **Chapitre II : Généralités sur le lactosérum et des flores lactiques autochtones des laits fermentés**

### **II.2.2. Le lactosérum doux**

Ce lactosérum est obtenu par coagulation d'un lait par des enzymes (*la présure pour le fromage à pâte dure, d'origine animale*) ou des agents de coagulation d'origine microbienne et est parfois nommé lactosérum frais ou lactosérum sucré. Quant au lactosérum doux (Tableau 02), son pH se situe entre 6,5 et 7,2 et contient les protéines du petit lait tel que la  $\beta$ -lactoglobuline et  $\alpha$ -lactalbumine, ainsi que *lactose, minéraux et vitamines*. C'est lors de la fabrication de fromages frais et de fromages doux, (*produits dont la concentration protéique est faible*), que l'on obtient ce lactosérum déjà utilisé sous forme d'ingrédient dans des produits alimentaires variés comme les glaces ou les boissons (Khemakhem et Attia , 2019).

**Tableau 02 : Composition typique du lactosérum doux** (Fox et Mcsweeney , 2017).

<i>Composants</i>	<i>Teneur (%)</i>
<b>Protéines</b>	0,8 – 1,2
<b>Lactose</b>	<b>4,0 – 5,5</b>
<b>Matières grasses</b>	0,2 – 0,5
<b>Minéraux</b>	<b>0,7 – 0,9</b>
<b>Vitamines</b>	<i>Traces</i>

Il est possible de concevoir différentes variétés de lactosérum, selon leur mode de production et selon le traitement qui leur est spécifiquement appliqué, dans une visée de valorisation. Le (tableau 03) de (Oliveira ,2017) , (Guimaraes et al , 2017), hiérarchise les différents variant du produit lactosérum. Cette hiérarchisation permet de comprendre la variété des dérivés de lait lactosérum qui sont produits, tous possédant des propriétés qui leurs sont propres en rapport notamment à la présence de protéines lactosériques, de lactose, de sel ou de sucre.

**Tableau 03 : Différents types de lactosérum** (Oliveira ,2017 ; Guimaraes et al , 2017)

<b>Type de lactosérum</b>	<b>Caractéristiques</b>
<b>Lactosérum</b>	Obtenue à partir de la coagulation acide du lait. Contient principalement des

## **Chapitre II : Généralités sur le lactosérum et des flores lactiques autochtones des laits fermentés**

<b>doux</b>	protéines de lactosérum et du lactose.
<b>Lactosérum acidifié</b>	Obtenu par acidification du lait. Contient principalement des protéines de lactosérum et de l'acide lactique.
<b>Lactosérum salé</b>	Obtenu par l'ajout de sel dans le processus de fabrication du fromage. Contient principalement des protéines de lactosérum, du lactose et du sel.
<b>Lactosérum sucré</b>	Obtenu par l'ajout de sucre dans le processus de fabrication du fromage. Contient principalement des protéines de lactosérum, du lactose et du sucre.

### **II.3. Composition du lactosérum**

Un certain nombre de paramètres contribuent à la variabilité de la composition du lactosérum : le mode de caillage, la nature de la matière première (type de lait, saison, alimentation, stade de lactation) et les procédés mis en œuvre pour la fabrication de produits laitiers (Martinet al, 2021). En général, on distingue le lactosérum doux du lactosérum acide en fonction de la nature de la coagulation. Cela se traduit par des différences notables de caractéristiques physico-chimiques.

Dans une étude (Guimarães et al, 2015), et confirmée dans une étude de (Costa et al, 2022) il a été observé que les deux types de lactosérum avaient une composition globale identique en eau ( $\approx 93\%$ ), en protéines ( $\approx 0,8\text{ g}/100\text{ g}$ ), en glucides ( $\approx 5,0\text{ g}/100\text{ g}$ ), en lipides ( $\approx 0,2\text{ g}/100\text{ g}$ ) et en minéraux ( $\approx 0,7\text{ g}/100\text{ g}$ ). En revanche, des différences notables ont été rapportées dans leurs paramètres de pH et d'acidité titrable :

Le lactosérum doux, obtenu par coagulation enzymatique à l'issue de la fabrication des fromages dont le pH est compris entre 6,6 et 7,2 et qui présente une acidité titrable de 5 à 8 °D, Le lactosérum acide, qui est obtenu soit par coagulation due à l'acidification lactique, soit par acidification directe, et qui présente un pH plus bas (4,2 à 4,6) et une acidité titrable plus forte qui est au minimum de 14 à 18 °D (Zhao et al, 2021 ; Martins et al, 2023).

Ces différences ont un rapport direct avec la façon dont est réalisée la coagulation du lait. La coagulation enzymatique par exemple, respecte l'intégralité du lactose, alors que la coagulation acide favorise la dégradation partielle des sucres et augmente les libérations d'acides organiques, modifiant de façon significative les propriétés fonctionnelles et nutritionnelles des deux types de lactosérum (Silva et al, 2020)

La composition moyenne du lactosérum doux et du lactosérum acide est présentée dans le (Tableau 04).

## *Chapitre II : Généralités sur le lactosérum et des flores lactiques autochtones des laits fermentés*

**Tableau 04 : Composition moyenne du lactosérum doux et acide (Guimaraes, 2015)**

Composition (g/100 g)	Lactosérum doux	Lactosérum acide
<i>Eau</i>	93,0	93,0
<i>Protéine</i>	0,8	0,8
<i>Glucide</i>	5,0	5,0
<i>Lipide</i>	0,2	0,2
<i>Minéraux</i>	0,7	0,7
<i>Ph</i>	6,6 – 7,2	4,2 – 4,6
<i>Acidité titrable (°D)</i>	5– 8	14– 18

### II.3.1. Les protéines solubles:

Selon (Mistry et al, 2019) (voir tableau 05), le lactosérum est constitué d'eau, de lactose, de protéines sériques, de minéraux et de graisses. L'eau constitue la majeure partie du lactosérum, soit 93 % de son poids total (Chen et al, 2020). Si le lactosérum contient des nutriments variés, ce sont surtout ses protéines sériques qui lui confèrent principalement son intérêt, grâce à leurs multiples caractéristiques biologiques et fonctionnelles. Biologiquement, on considère généralement les protéines.

Le lactosérum contient des protéines dont les plus représentatives sont respectivement la *bêta-lactoglobuline*, l'*alpha-lactalbumine*, la *sérum-albumine* bovine, puis les *immunoglobulines* (Puyol et al, 2020), en quantité comprise entre 0,6 et 0,8 %. Ces protéines possèdent une grande valeur biologique et présentent

**Tableau 05 : Propriétés physico-chimiques des protéines sériques du lactosérum (Zielińska et al, 2023 ; Almeida et al, 2022 ; Ben-Harb et al, 2021)**

Protéines	Teneur relative (% massique)	Masse (kDa)	Température de dénaturation (°C)	Point isoélectrique (pI)	Ponts disulfures (SS-)	Thiol (SH) libres
Albumine de	6,3	66	64	4,7–4,9	17	1

## **Chapitre II : Généralités sur le lactosérum et des flores lactiques autochtones des laits fermentés**

---

<b>sérum bovin</b>						
<b><math>\alpha</math>-lactalbumine</b>	19,3	14,2	62	4,2–4,5	4	0
<b><math>\beta</math>-lactoglobuline</b>	51	18,6	65	5,2	2	1
<b>Immunoglobulines</b>	10,9	150–960	72	5,5–8,3	32	0
<b>Autres</b>	12,5	Variable	Variable	Variable	Variable	0

Les valeurs présentées pour ces propriétés sont approximatives puisqu'elles dépendent de la composition et l'origine du lactosérum. Les protéines du lactosérum présentent une source riche en acides aminés.

### **II.3.2. Lactose**

En proportion aux quantités présentes dans la matière sèche du lactosérum, le lactose occupant environ (4,5 à 5%) de la masse entière (Sanchez et De la fuente, 2020) se trouve résolument corrélé vers l'application alimentaire, et associée à la pharmacie.

### **II.3.3. Minéraux**

Le lactosérum contient des minéraux importants et contribue aux qualités nutritionnelles des fromages et des produits laitiers fabriqués à partir de ce lactosérum (Martins et al, 2022 ; Costa et al, 2023), les minéraux constituant en moyenne 8 à 10 % de la matière sèche totale le du lactosérum. Les principaux macroéléments du lactosérum sont le calcium (Ca), le phosphore (P), le magnésium (Mg), le sodium (Na) et le potassium (K). Ils proviennent en majeure partie du lait utilisé pour la fabrication du fromage, mais la composition du lactosérum en minéraux varie:

## ***Chapitre II : Généralités sur le lactosérum et des flores lactiques autochtones des laits fermentés***

---

- Du mode de traitement du lait lors du caillage (enzymatique ou par acidification) ;
- Du rendement fromager ;
- Des procédés technologiques appliqués au cours de la fabrication du fromage.

### **II.3.4. Les vitamines**

La majorité d'entre elles sont hydrosolubles dans la mesure où les vitamines liposolubles sont apportées par la matière grasse du caillé décanté. Elles comprennent principalement les vitamines du groupe *B*, à savoir *la riboflavine (B2)*, qui donne sa couleur verte, *la thiamine (B1)*, *la pyridoxine (B6)* mais aussi *la vitamine C*. Le lactosérum est également riche en vitamines *hydrosolubles* telles que *riboflavine (vitamine B2)*, *vitamine B12* et *acide folique*, mais dont la concentration varie en fonction du type de lait utilisé et du procédé mis en œuvre (Zhao et al, 2022).

### **II.3.5. Les lipides**

Ils ne représentent que 0,7% de la matière sèche du lactosérum, car presque toute la matière grasse du lait est récupérée dans le caillé. Bien que leur faible concentration (0,05 à 0,5 % environ) les lipides du lactosérum sont essentiellement représentés par des phospholipides et également des résidus de matières grasses du lait (Zhao et al, 2022).

## **II.4. Élément nutritif du lactosérum**

Grâce à cette composition, le lactosérum présente de nombreux avantages :

- Soutien métabolique et récupération musculaire.
- Renforcement du système immunitaire.
- Prévention de certaines maladies métaboliques.
- Applications fonctionnelles dans les yaourts enrichis, boissons protéinées et produits nutraceutiques (Costa et al, 2023 ; Martins et al, 2022).

## **II.5. Valorisation du lactosérum**

À l'heure actuelle, la valorisation du lactosérum est devenue un véritable enjeu pour l'industrie laitière, tant d'un point de vue nutritionnel qu'économique. Suggestions de valorisation du lactosérum:

- **Son usage pertinent sur le plan nutritionnel** : le lactosérum est transformé en tant qu'ingrédient dans un large éventail de produits alimentaires tels que les boissons, la boulangerie et pâtisserie, les produits laitiers, l'alimentation animale et le lait infantile ... (Walstra et al, 2006)

## ***Chapitre II : Généralités sur le lactosérum et des flores lactiques autochtones des laits fermentés***

---

- **Sa coproduction du lactose** : le lactose constitue le glucide majeur du lactosérum, il est intégré dans les secteurs agro-alimentaires comme édulcorant et dans son secteur de production, aussi pour la pharmacie et la cosmétique. (Ganesan et al , 2017).
- **Élaboration de protéines lactières** : le lactosérum est une source de protéines de haut niveau nutritionnel ( *$\beta$ -lactoglobuline,  $\alpha$ -lactalbumine, lactoferrine, immunoglobuline*) rendant possible la conception de produits diététiques, sportifs et nutriments complémentaires. (Devi et arora ,2017).
- **Production d'énergie** : le lactosérum a la possibilité d'être fermenté afin de produire de l'énergie. Les microorganismes sont capables d'agir sur les sucres de lactosérum et d'en produire de l'éthanol, du méthane ou de l'acide lactique. (Chakrabprty et Mukherjee, 2016)
- **Utilisation en agriculture** : il peut servir comme fertilisant liquide pour les cultures ou comme ajout alimentaire pour les animaux de la ferme. (El sheikha et rayan , 2021).

### • **II.6. Définition des bactéries lactiques**

Les bactéries lactiques sont des organismes vivants, procaryotes, Gram-positifs, hétérotrophes et chimioorganotrophes. Généralement immobiles, *a sporulées* et négatives à la catalase et à l'oxydase, elles peuvent se développer dans des conditions *d'anaérobiose*, bien qu'elles tolèrent l'air (Wang et al, 2021). On les appelle également *bactéries acétiques*, car elles possèdent la capacité de transformer les glucides en acide lactique, grâce à leurs voies cataboliques qui se déroulent selon les voies d'Embden Meyerhof-Parnas (*EMP*), de Dickens Horecker et d'Etner Doudoroff (Achi et ishola, 2023).

On les nomme homofermentaires lorsqu'elles produisent jusqu'à 95% d'acide lactique. En revanche, elles sont hétérofermentantes quand en plus d'autres produits tels que l'éthanol et le *CO2* sont également formés. Leur besoin est complexe en facteurs de croissance : acides aminés, peptides, bases puriques et pyrimidiques, vitamines, acides gras, raison de leur présence dans le lait (MDPI Editorial team ,2021).\

## ***Chapitre II : Généralités sur le lactosérum et des flores lactiques autochtones des laits fermentés***

---

### **II.7. Principaux genres des bactéries lactiques**

Les bactéries lactiques regroupent, *Lactobacillus*, *Leuconostoc*, *Lactobacoccus*, *Streptococcus*, *Pediococcus*, *Carnobacterium*, *Enterococcus*, *Oenococcus*, *Tetragenococcus*, *vagococcus* et *Bifidobacterium* (Federighi, 2005).

### **II.8. Les bactéries lactiques spécifiques du yaourt**

- ***Lactobacillus de lbrueckii subsp. Bulgaricus*** : C'est un bacille Gram positif, non mobile, Homofermentaire et thermophile, joue un rôle clé dans l'acidification et le développement des qualités organoleptiques du yaourt, dont la température de croissance optimale de 42 °C. Il produit principalement de l'acide lactique via la voie Embden-Meyerhof-Parnas, contribuant à l'abaissement rapide du pH du yaourt. Cette acidification favorise la coagulation des protéines du lait et la formation de la texture caractéristique du produit. Par ailleurs, cette souche participe activement à la libération de peptides bioactifs et à la production de composés aromatiques, tels que l'acétaldéhyde, essentiels au profil sensoriel du yaourt (Li et al, 2021).
- ***Streptococcus thermophilus*** : C'est un cocci Gram positif, anaérobie facultatif, homofermentaire et thermorésistant, avec une température de croissance optimale comprise entre 37°C et 40°C. Il joue un rôle crucial dans l'initiation rapide de la fermentation grâce à sa capacité à métaboliser le lactose et produire des quantités importantes d'acide lactique. De plus, *S. thermophilus* sécrète des exo polysaccharides (EPS), qui améliorent la viscosité, la texture et la stabilité du yaourt. Cette espèce stimule également la croissance de *L. bulgaricus* en libérant des acides aminés essentiels via son activité protéolytique, renforçant ainsi la symbiose entre les deux bactéries (Zheng et al, 2023).

### **II.9. Activité des bactéries lactiques du yaourt**

- **Production d'acide lactique**

La production d'acide lactique revêt une importance essentielle dans les rôles des bactéries lactiques en technologie laitière car cet *acide organique* aide à concentrer et conserver les solides du lait en jouant le rôle à la fois de coagulant et *d'agent antimicrobien* (Santos et al ,2025).

L'activité synergique de *S. thermophilus* et *L. bulgaricus* est à l'origine du processus d'acidification du yaourt, l'acide lactique jouant les rôles suivant dans le processus de production du yaourt :

## ***Chapitre II : Généralités sur le lactosérum et des flores lactiques autochtones des laits fermentés***

---

- Il sert à perturber les micelles de caséines qui sont à l'origine de la création du gel .
- Il donnera au yaourt son goût spécifique, en contribuant avec d'autres acides à son goût et à son arôme .
- Il sert de bactéricide contre des micro-organismes indésirables.
- Elle peut se situer, dans le cas du yaourt, entre 100 et 110° Dornic (1°D = 0.1g d'acide lactique/L lait).

- **Activité protéolytique**

La croissance jusqu'à des densités cellulaires favorable sà l'accomplissement des fonctions de fermentation par les bactéries lactiques repose sur un système protéolytique susceptible de répondre à leurs besoins en acides aminés par l'hydrolyse des protéines.

- **Activité texturante**

L'acide lactique constitue le principal métabolite fermentaire produit par les bactéries lactiques. Il assure à la fois la coagulation des protéines du lait et un effet antimicrobien, favorisant ainsi la stabilisation et la sécurité microbiologique du yaourt. Son rôle de coagulant naturel est indispensable à la texture et à la conservation du produit (Santos et *al*, 2025).

- **Activité aromatisante**

Les bactéries lactiques sont également responsables de la production d'arômes distinctifs, tels que l'acétaldéhyde (apportant la note fraîche caractéristique) et le diacétyl (arôme de beurre). Ils peuvent fabriquer ces molécules à partir de la fermentation du lactose ou de la transformation d'acides aminés. Ces composés sont déterminants pour le profil sensoriel du yaourt (Invited Reviewon Yogurt Development, 2024)



*Partie Expérimentale*

## *Chapitre III : Matériel et méthodes*

**Partie Expérimentale****III.1. Cadre de l'étude**

Ce travail vise à valoriser les éléments fonctionnels du lactosérum et à exploiter une flore lactique autochtone pour formuler un lait fermenté de type yaourt brassé aux qualités nutritionnelles, fonctionnelles et sensorielles améliorées. Ce travail a été réalisé au laboratoire de recherche des sciences et techniques de production animale, faculté des sciences de la nature et de la vie « LSTPA », université Abdelhamid Ibn Badis de Mostaganem, à Hassi-Maméche.

L'objectif de ce mémoire est de valoriser les éléments fonctionnels du lactosérum et d'utiliser une flore lactique autochtone pour élaborer un lait fermenté de type yaourt brassé.

**III.2. Méthodologie****III.2.1. Origine du lactosérum en poudre doux**

Le lactosérum doux en poudre utilisé dans ce travail provient du fournisseur **EPI Ingrédients** (France). Il est issu de la fabrication de fromages à pâte pressée et constitue un sous-produit valorisé grâce à un procédé technologique simple et maîtrisé.

**III.2.2. Procédé de fabrication**

La production du lactosérum doux en poudre repose sur les étapes suivantes :

- Écrémage du lactosérum liquide**: le lactosérum, sous-produit de la fabrication des fromages, est séparé de la matière grasse afin d'obtenir un produit plus stable.
- Pasteurisation**: le lactosérum écrémé est soumis à un traitement thermique pour éliminer la flore microbienne indésirable et assurer la sécurité microbiologique.
- Concentration** : une partie de l'eau est retirée pour augmenter la teneur en solides et optimiser les étapes ultérieures.
- Séchage par atomisation** : le lactosérum concentré est transformé en poudre fine grâce à des tours de séchage modernes.

**III.2.3. Spécifications standard**

Les poudres de lactosérum doux d'EPI Ingrédient se présentent les spécifications suivantes :

- Protéines**
- Lactose**
- Minéraux**

**III.2.4. Applications industrielles**

Grâce à sa composition, le lactosérum doux en poudre est largement utilisé dans différentes formulations alimentaires :

- Production de glaces

- Fabrication de produits laitiers
- Industrie de la chocolaterie et confiserie

### **III.3. Préparation de l'échantillon**

Dans le cadre de ce travail, deux formulations de lait fermenté de type yaourt brassé ont été préparées en utilisant des proportions définies du lait de vache, de levain et, pour la deuxième formulation, de lactosérum doux.

#### **III.3.1. Formulation des échantillons**

Deux types d'échantillons ont été préparés :

##### **Échantillon A:**

- **Lait de vache**
- **Levain : 3 %**

##### **Échantillon B:**

- **Lait de vache**
- **Levain : 3 %**
- **Lactosérum doux en poudre : 5 % du volume total**

### **III.4. Techniques d'analyse**

#### **III.4.1. Analyses physico-chimiques des laits**

##### **III.4.1.1. Analyse du lait par Lactoscan**

L'analyse physico-chimique du lait a été réalisée à l'aide d'un Lactoscan, après homogénéisation de l'échantillon à une température comprise entre 5°C et 40°C. Dix millilitres de lait sont prélevés dans un bécher propre. Après étalonnage de l'appareil, la sonde d'aspiration est immergée dans le lait et l'analyse est lancée via le bouton « Start ». Les résultats sont obtenus en moins d'une minute (Radovanovic et *al.* 2004 ; Laleye et *al.* 2008).

Les paramètres mesurés incluent:

- F: Matière grasse
- D: Densité
- C: Teneur en cendres
- S: Matière sèche
- P: Protéines
- T: Température
- pH: Potentiel hydrogène
- FP: Point de congélation
- L: Lactose

**III.4.1.2. Mesure du pH**

Le pH du lait est mesuré à l'aide d'un pH-mètre, par immersion de l'électrode dans 30 mL de lait homogénéisé à température ambiante. L'opération est répétée trois fois pour chaque échantillon, la moyenne étant retenue (Ketrouci, 2021). L'appareil doit être calibré avec des solutions tampons standards. Pour un lait frais, le pH est généralement compris entre (4,6 et 6,8).

**III.4.1.3. Détermination de l'acidité titrable**

L'acidité titrable est déterminée par titrage acido-basique à la soude Dornic :

- 10 mL de lait sont placés dans un bécher de 100 mL.
- Ajout de 2 gouttes de phénolphthaléine à 1 % dans l'alcool à 95 %.
- Titrage goutte à goutte avec une solution de NaOH (voir Annexe A) N/9 jusqu'à virage rose persistant (au moins 10 secondes).
- Le volume utilisé (V) est multiplié par 10 pour obtenir l'acidité en degrés Dornic (°D).

**III.4.1.4. Détermination de l'extrait sec total du lait**

La matière sèche (MS) est déterminée à l'aide d'un analyseur d'humidité AXIS, par séchage à  $102 \pm 2^\circ\text{C}$  jusqu'à masse constante (Walstra et al, 2006).

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

$$EST = C2 - C0C1 - C0 \cdot 100$$

C0 : Masse de la capsule + le sable + la baguette en verre (g).

C1 : Masse de la capsule + le sable + la baguette en verre + le caillé fromager (g) avant dessiccation.

C2 : Masse de la capsule + le sable + la baguette en verre + le caillé fromager (g) après dessiccation.

**III.4.2. Test de lactofermentation du lait****Objectif du test :**

« Le test permet d'évaluer la coagulation lactique du lait reconstitué destiné à la préparation du yaourt brassé l'aptitude des laits à la transformation microbienne (Kazeminia, 2023), sur la base de la coagulation acide via la floculation des protéines ».

**Principe du test :**

Le test repose sur la coagulation acide du lait, induite par la floculation des protéines, par l'action des bactéries lactiques (LAB) en conditions contrôlées de temps et de température. L'observation de l'aspect du coagulum et des interactions entre les différentes microflore (compétition ou synergie) permet de formuler des hypothèses sur la prédominance de ces

microflores d'altération, d'estimer la charge microbienne globale et de déterminer l'aptitude à l'acidification des laits (Axelsson, 2004).

#### III.4.2.1. Evaluation des coagulums obtenus

La coagulation lactique correspond au passage du lait de l'état liquide à un état semi-solide appelé gel ou coagulum. Sous l'action d'un élément chargé positivement contenant des ions  $H^+$ , les charges négatives des micelles de caséine sont neutralisées. Cela entraîne la déshydratation des micelles, leur rapprochement et leur liaison par des forces fortes et irréversibles, formant ainsi la structure du caillé (Xiuju et *al*, 2022).

- La coagulation lactique se produit lorsque les ions  $H^+$  neutralisent les charges négatives des protéines de caséine.
- Les micelles se rapprochent, s'agrègent et forment un gel compact.
- La qualité du gel est évaluée par la fermeté : une viscosité optimale se situe entre 850 et 1100 cp pour un lait standardisé à 12,5% d'extrait sec.
- Une bonne stabilité du coagulum favorise une rétention élevée des matières solides (11,5 à 12 %) avec une pertefaible (< 1%).
- Les gels de lait les plus fermes sont obtenus après 10 à 18 heures de fermentation et présentent un taux de per terminal entre 0,1 et 0,5% ( Dahou et *al*, 2021).

#### III.4.2.2. Orientation du traitement thermique

Le traitement thermique du lait constitue une étape essentielle dans la fabrication des laits fermentés, notamment les yaourts brassés. Son objectif principal est d'assurer la sécurité microbiologique, d'améliorer la texture du produit final et de favoriser la fermentation lactique, le traitement thermique appliqué consiste à chauffer le lait standardisé à 90 °C pendant 10 minutes, suivi d'un refroidissement rapide jusqu'à la température d'ensemencement (environ 42 °C) permet d'obtenir une meilleure **stabilité** du coagulum et une texture homogène du yaourt brassé (Walstra et *al*, 2021 ; Fox et *al*, 2022).

#### III.5. Contrôle microbiologique des flores autochtones

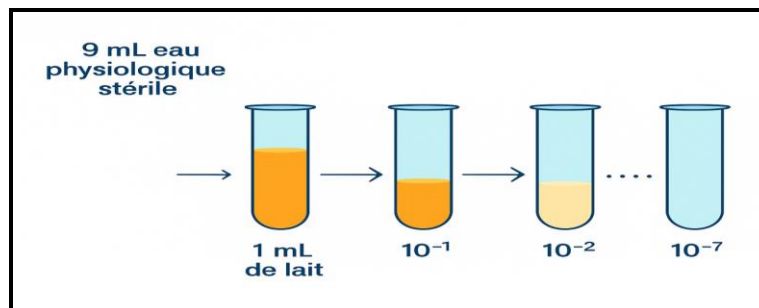
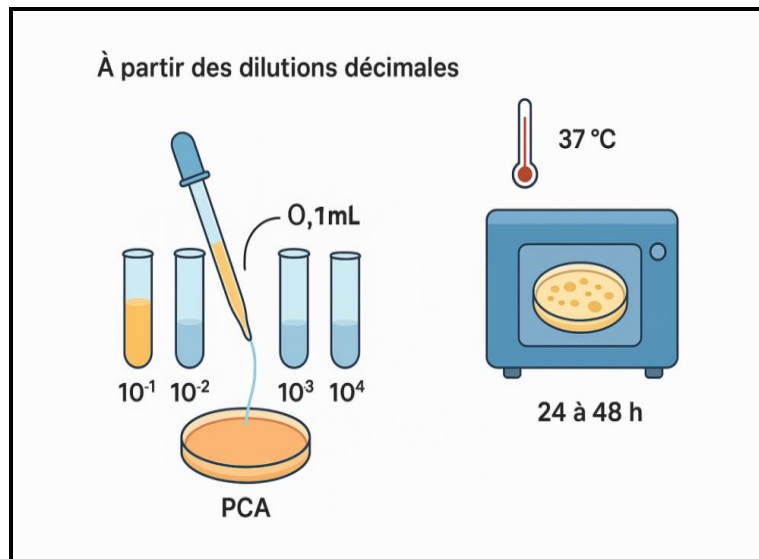


Figure 3: Processus de dilution progressive du lait .

**III.5.3. Recherche et dénombrement des flores mésophiles aérobies totales :**

À partir de ces dilutions décimales préparées, 0,1mL de chaque dilution a été prélevé aseptiquement et déposé sur des boîtes de Pétri contenant le milieu PCA (Plate Count Agar) préalablement solidifié. Le volume ensemencé a ensuite été étalé à l'aide d'une pipette Pasteur, dont l'extrémité a été préalablement pliée à la flamme pour servir d'étaleur. Les boîtes de Pétri ainsi préparées ont été incubées à 37 ° C pendant 24 à 48 heures afin de permettre le développement des colonies bactériennes.



**Figure 4:** Schéma du processus de dilution décimale du lait et ensemencement aseptique, suivi de l'incubation des boîtes de Pétri.

**III.5.3.1. Dénombrement de la flore lactique**

**a. Flore lactique aérobie :**

Le dénombrement de la flore lactique aérobie a été réalisé sur le milieu MRS (De Man, Rogosa et Sharpe) par la technique d'étalement en surface de 0,1mL de chaque dilution sur des boîtes de Pétri contenant le milieu solidifié. Les boîtes ont en suite été incubée sen conditions aérobies à 37 °C pendant une durée de 48 à 72 heures, conformément à la méthode décrite par (Labrie, 2015).

**b. Flore lactique anaérobie :**

Le dénombrement de la flore lactique anaérobie a été effectué de la même manière, sur le milieu MRS, en déposant 0,1mL de chaque dilution par étalement en surface. Les boîtes ont été placées en incubation anaérobie à 37 °C pendant 48 à 72 heures, selon la méthode rapportée par (Labrie, 2015).

**c. Pré-identification de la flore lactique isolée :**

**Coloration de Gram**

La coloration de Gram est une méthode fondamentale en microbiologie permettant de distinguer deux grands groupes des bactéries : les Gram positives et les Gram négatives. Cette technique repose sur la différence de composition de la paroi cellulaire bactérienne, influençant la capacité de rétention des colorants.

Dans le cadre de cette étude, un frottis bactérien est réalisé, fixé à la chaleur, puis coloré au violet de gentiane pendant une minute. Il est ensuite traité par une solution de Lugol durant une minute afin de former le complexe colorant. Une décoloration rapide à l'éthanol à 95% est appliquée pendant 2 à 3 secondes, suivie d'un rinçage à l'eau distillée. Le frottis est en suite soumis à une contre-coloration à la fuchsine durant 30secondes, rincé à nouveau, séché, puis observé à l'objectif à immersion (grossissement  $\times 1000$ ).

Dans le cas des bactéries lactiques étudiées, celles-ci se révèlent Gram positives, fixant le violet de gentiane, ce qui confirme la nature spécifique de leur paroi cellulaire riche en peptidoglycane et dépourvue de membrane externe (Savador, 2018).

**d. Recherche de catalase**

Le test de la catalase est une méthode simple et rapide utilisée pour différencier les bactéries lactiques des autres groupes microbiens. En effet, les bactéries lactiques sont généralement catalase négatives, tandis que des nombreuses bactéries non lactiques présentent une activité catalasique (Zarour, 2018).

Le principe repose sur la détection de l'enzyme catalase, capable de dégrader le peroxy de d'hydrogène ( $H_2O_2$ ) en eau ( $H_2O$ ) et en oxygène ( $O_2$ ), ce dernier se manifeste sous forme de bulles visibles :



La procédure consiste à déposer une colonie bactérienne fraîche en suspension dans une ou deux gouttes de  $H_2O_2$  (10volumes) placées sur une lame propre. L'apparition immédiate de bulles d'air traduit une réaction positive, tandis que leur absence indique une réaction négative.

Dans cette étude, seules les souches à Gram positif et catalase négative ont été retenues, confirmant leur appartenance au groupe des bactéries lactiques d'intérêt technologique.

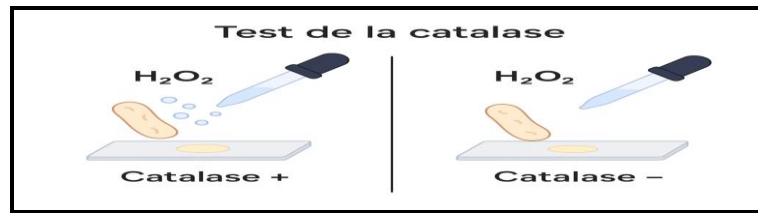


Figure 5: Test de catalase « résultats »

#### e. Conservation des isolats :

Une conservation de longue a été employée pour une période de 1 à 6 mois à une température de  $-20^{\circ}\text{C}$ . Elle s'est effectuée en mettant en congélation des cultures jeunes,ensemencées massivement sur milieux MRS à pH 6.8 et 5.4 ou dans du lait écrémé. L'ajout de 30% d'un cryoprotecteur est nécessaire (le glycérol) pour une bonne conservation (Meghoufel, 2019).

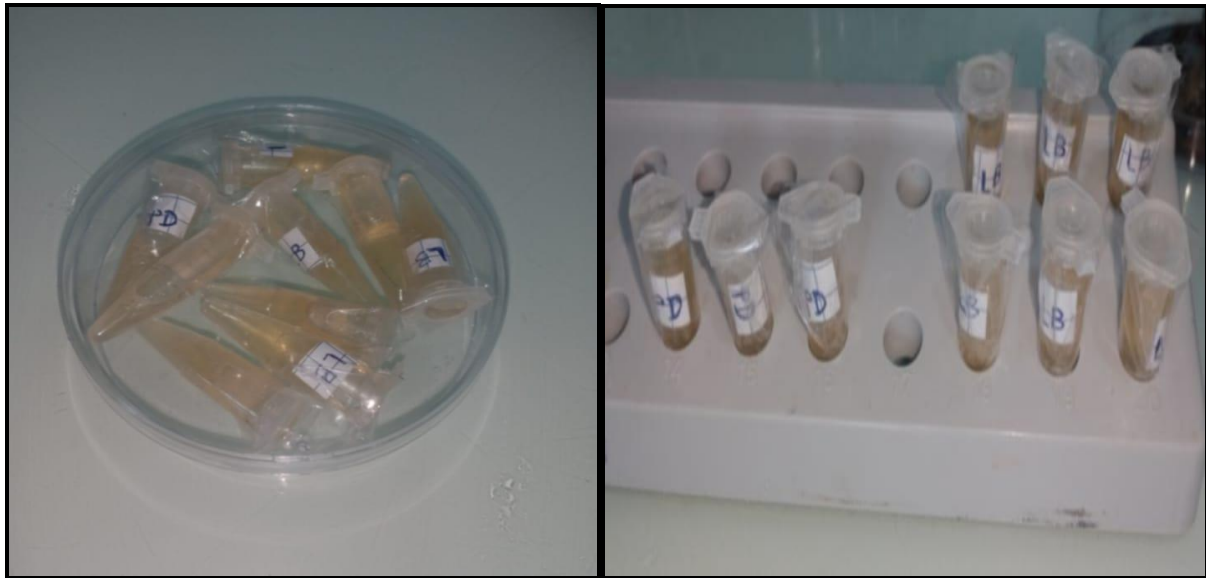


Figure 6 : Conservation des isolats bactériens

#### f. Identification et caractérisation des isolats

##### Tests morphologiques

Cette étude est basée sur l'observation macroscopique et microscopique.

##### Examen macroscopique

Ce test permet de mettre en évidence la morphologie de colonie obtenue 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 cultureux : forme, aspect, taille, couleur, disposition et contour (Zergoug , 2017).

**Examen microscopique**

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+ (Tahlaïti2019).

**Standardisation biologique spécifique :**

La "standardisation biologique spécifique" est une méthode, selon l'IDF (2018), visant à préparer le lait pour la fabrication du yaourt. Elle implique une double thermisation pour éliminer les bactéries indésirables, suivie de l'ensemencement du lait avec une culture de bactéries lactiques spécifiques (*Lactobacillus bulgaricus* et *Streptococcus thermophilus*), représentant environ 3% du volume, et une fermentation à 42°C, température optimale pour ces ferments.

Processus de standardisation biologique spécifique :

1. **Double thermisation :**

Le lait subit un traitement thermique à deux reprises pour détruire les flores lactiques non désirées présente naturellement dans le lait, qui pourraient altérer la production du yaourt.

2. **Refroidissement :**

Après la thermisation, le lait est refroidi à la température idéale pour l'activité des ferments.

3. **Ensemencement :**

Le lait est ensuiteensemencé avec une culture mixte de *Lactobacillus bulgaricus* et *Streptococcus thermophilus*, les bactéries spécifiques au yaourt, en proportion de 3% du volume total.

4. **Fermentation :**

Le processus de fermentation lactique a lieu à une température thermophile de 42°C, créant un environnement propice au développement des ferments. Pendant cette étape, les bactéries transforment le lactose du lait en acide lactique, ce qui confère sa texture et sa saveur caractéristiques au yaourt.

Objectifs de ce processus :

- **Contrôler la composition microbienne :**

Éliminer les bactéries compétitives pour s'assurer que seuls les ferments spécifiques du yaourt se développent.

- **Assurer une fermentation optimale :**

Créer un milieu contrôlé pour la croissance des bactéries lactiques, garantissant la qualité et les caractéristiques organoleptiques du yaourt.

- **Produire du yaourt de qualité :**

Obtenir un produit final stable, avec les saveurs et textures désirées, en maîtrisant le processus de fermentation.

**Fabrication du yaourt brassé :**

La fabrication du yaourt brassé décrit suit un protocole spécifique : le lait après la double thermisation estensemencé, puis fermenté en récipients à 42°C pendant 4 à 6 heures. Cette fermentation en vrac permet d'obtenir un caillé qui est ensuite brassé, refroidi et mis en pot, obtenant ainsi la texture onctueuse caractéristique du yaourt brassé selon la définition de l'International Dairy Federation (IDF, 2018).

**III.5.3.2. Dénombrement de la viabilité de la flore lactique d'intérêt technologique**

Le dénombrement des cellules viables issues des suspensions fromagères a été réalisé selon la méthode des dilutions successives, telle que décrite par (Berodier, 2005), (Dahou et al, 2015) et (Montel et al, 2012). Les dilutions sont préparées dans des tubes contenant 9 mL d'eau physiologique stérile, avec une gamme allant de 10<sup>-2</sup> à 10<sup>-8</sup>. Ces dilutions sont effectuées à partir du caillé obtenu par coagulation lactique.

Pour chaque dilution, trois boîtes de Pétri (90 mm de diamètre) sontensemencées en surface avec 100 µL de suspension, déposés sur un milieu MRS, puis étalés à l'aide d'une pipette Pasteur recourbée servant d'étaleur. Le dénombrement des colonies est ensuite réalisé soit sur la totalité de la boîte, soit par secteurs.

La concentration moyenne en cellules viables est calculée à l'aide de la formule suivante :

$$C \text{ (UFC/g)} = (C1+C2+C3) \times D / 3 \times V$$

C (UFC/g) représente la concentration en unités formant colonies par gramme,

D correspond au facteur de dilution appliqué au caillé,

D correspond au facteur de dilution appliqué au caillé,

V désigne le volumeensemencé (µL).

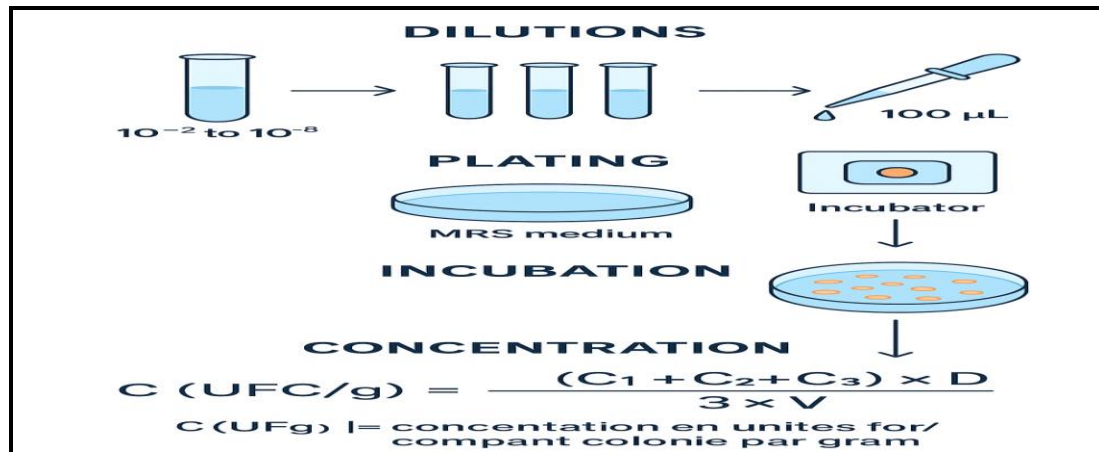


Figure 7: Processus de comptage des colonies bactériennes.

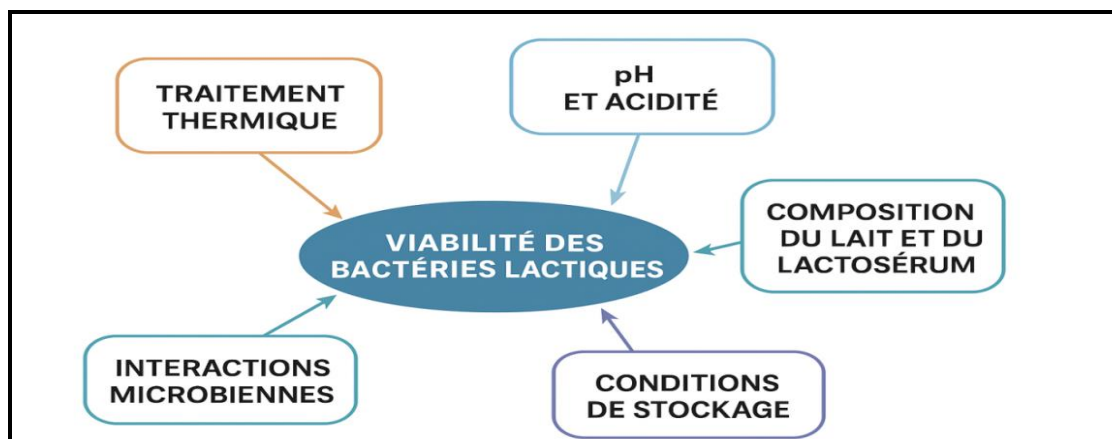


Figure 8: Facteurs influençant la viabilité des bactéries lactiques dans le yaourt brassé

### III.5.3.3. Préparation du levain lactique thermophile

Du bouillon MRS obtenu, 1% de la culture a étéensemencée dans du lait stérilisé (à 120°C pendant 12 secondes). Ce laitensemencé a été porté dans un incubateur à 42°C pendant 06 heures pour obtenir un levain lactique destiné à la préparation du lait fermenté.

### III.5.4. Préparation des yaourts

#### a. Yaourt nature

- **Ingrédients** : Lait de vache, Levain 3%.
- **Procédure** : Chauffer le lait à 85°C, refroidir à 42°C, ajouter 2–3 % de Levain, mélanger, incuber à 42°C pendant 4–6 h jusqu'à pH 4,5, refroidir à 4°C et conserver.

#### b. Yaourt au lactosérum

- **Ingrédients** : Lait de vache, Levain 3%, Lactosérum doux (5 % du volume total).
- **Procédure** : Chauffer le lait à 85°C, refroidir à 42°C, ajouter le lactosérum puis les, mélanger, incuber à 42°C pendant 4–6 h jusqu'à pH 4,5, refroidir à 4°C et conserver. (voix Annexe C)

## III.5.4.1. Viabilité du yaourt

(ET, PH, MP)

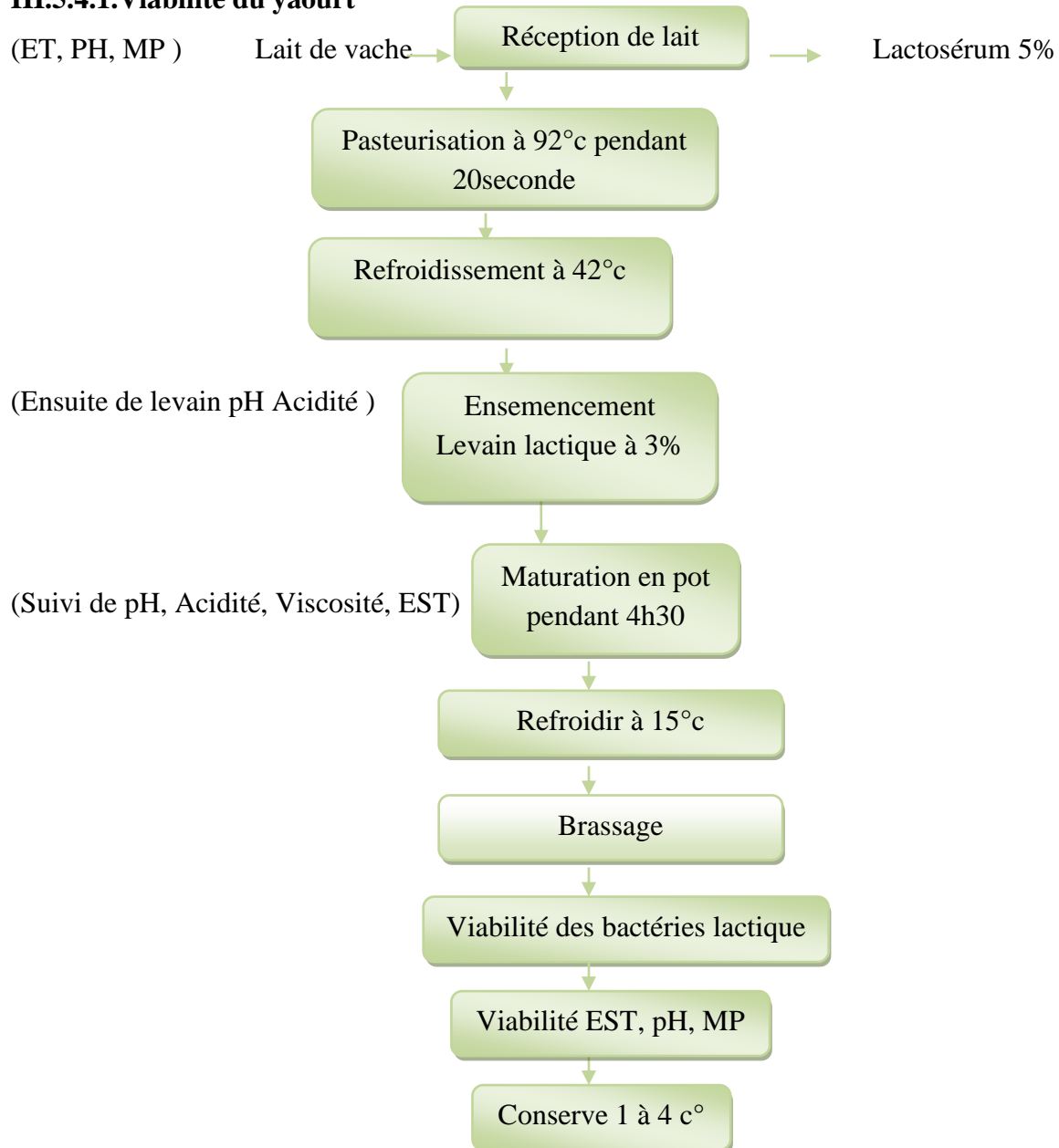


Figure 9: Diagramme de viabilité du yaourt

## III.5.4.2. Analyses physico-chimiques des yaourts

## a. Mesure du pH

Le pH du yaourt est mesuré au pH-mètre (30 ml de yaourt). La valeur optimale est comprise entre 4,2 et 4,6 (Tamime & Robinson, 2007).

## b. Mesure de l'acidité

L'acidité est déterminée par titrage : 10 mL de yaourt dilué dans 10 mL d'eau distillée, titré avec NaOH N/9 en présence de phénolphaléine. L'acidité (°D) est calculée par :

$$\text{Acidité } (^\circ\text{D}) = V \times 10 \text{ } \{ \text{Acidité } (^\circ\text{D}) \} = V \times 10 \text{ } \text{Acidite } (^\circ\text{D}) = V \times 10$$

Un yaourt de bonne qualité présente une acidité entre 70 et 110 °D (Walstra et al, 2006).

**c. Mesure de l'extrait sec**

La matière sèche est déterminée par séchage à  $102 \pm 2^\circ\text{C}$  jusqu'à poids constant. Elle représente la fraction de substance solide (protéines, lipides, lactose, sels), soit 11–13 % du yaourt (Walstra et al, 2006).

**III.5.4.3. Analyses microbiologiques des yaourts**

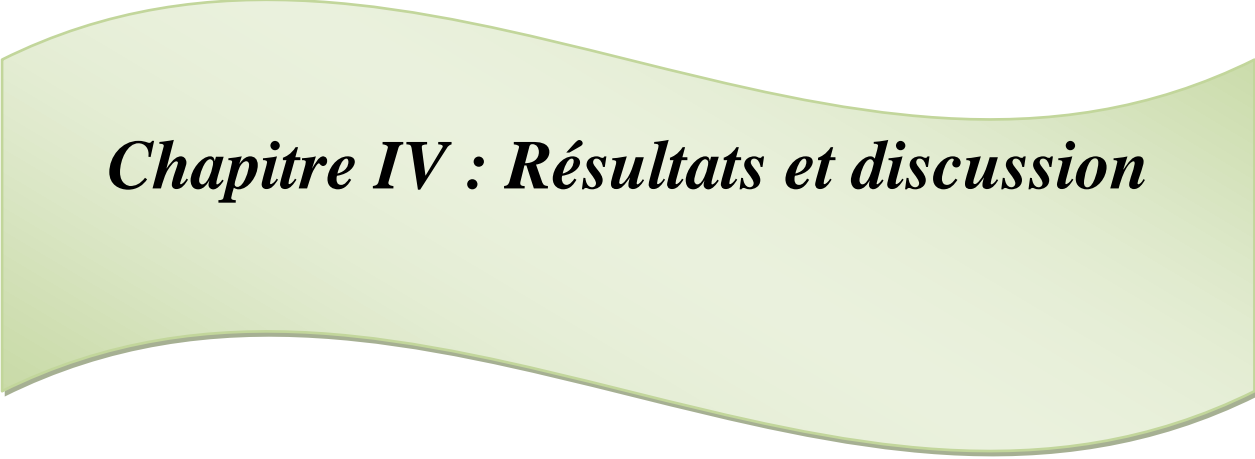
Les techniques de dilution, d'ensemencement et de dénombrement sont identiques à celles décrites pour le lait, adaptées aux milieux spécifiques (MRS, M17, etc.) (ISO 15214, 1998 ; Vinderola & Reinheimer, 2000).

**III.5.5. Évaluation sensorielle**

L'évaluation sensorielle porte sur cinq critères :

- Aspect visuel (uniformité, absence de synérèse, couleur)
- Texture en bouche (velouté, consistance, corps)
- Goût (intensité, typicité)
- Acidité (équilibre, harmonie, persistance)
- Acceptabilité globale

Les échantillons sont notés sur une échelle hédonique à 9 points (1 : « je n'aime pas du tout » ; 9 : « j'aime énormément ») (Stone & Sidel, 2004).



***Chapitre IV : Résultats et discussion***

### IV.1. Qualité physico-chimique des laits

Les analyses réalisées à l'aide du lactoscan ont permis de déterminer les principaux paramètres physico-chimiques du lait utilisé comme matière première (Mebarki et al, 2018). Les résultats obtenus sont conformes aux normes de qualité et témoignent d'une bonne aptitude à la transformation laitière, les résultats sont présentés dans le tableau :

**Tableau 06 : Analyse physico-chimiques du lait par lactoscan.**

Paramètres	Valeur
Matières grasses	2,54
Protéines	3,07
Lactose	4,60
Matière sèche	10,01
Densité	1030-1035
Teneur en eau	90
Point de congélation	-0,534
PH	6,84
Conductivité	4,60

Ces valeurs de mesure du pH indiquent une acidification progressive du lait lors de la fermentation, Un pH final compris entre 4,2 et 4,6 est considéré comme optimal pour la texture et la conservation du yaourt. L'acidité titrable du lait cru varie entre 16,67 et 19 °D, avec une stabilité observée durant toute la période d'analyse. Une légère fluctuation a été notée entre les mois d'août et de février ( $p = 0,08$  ; test de Kruskal-Wallis), sans impact significatif sur la qualité du lait. Ces valeurs sont proches de celles rapportées dans la littérature pour le lait cru de la région (Boudalia et al., 2016 ; Aboutayeb, 2005 ; FAO, 2010) Les paramètres physico-chimiques (pH, acidité, extrait sec) du lait et des yaourts obtenus sont conformes aux normes en vigueur et similaires à ceux rapportés dans d'autres études sur le yaourt brassé ou à base de lactosérum (Walstra et al., 2006 ; Aboutayeb, 2005), L'acidité finale comprise entre 70 et 110 °D et un pH de 4,2 à 4,6 garantissent une bonne conservation et une texture optimale (FAO/WHO, 2011).

### IV.2. Qualité microbiologique des laits

L'absence de germes pathogènes et la dominance des bactéries lactiques démontrent l'efficacité des bonnes pratiques d'hygiène et de fabrication. (Baghli, 2020 ; Mebarki et al, 2018). Ces résultats rejoignent ceux obtenus par d'autres auteurs, qui soulignent l'importance de la qualité microbiologique pour la sécurité et la valeur fonctionnelle des produits laitiers fermentés. (Benstaali, 2022 ; Bougherara et al, 2020).

Les résultats obtenus dans cette étude révèlent que la charge microbienne totale se situe dans les limites recommandées par le Codex Alimentarius (FAO/WHO, 2021), traduisant une bonne hygiène de traite et de manipulation. Le dénombrement des flores lactiques montre une présence significative de bactéries d'intérêt technologique, telles que les *Lactobacillus* spp et *Lactococcus* spp, qui jouent un rôle clé dans la fermentation et l'acidification du lait (Benmouna et al, 2022).

#### IV.2.1. Impact de la flore autochtone et du lactosérum

L'utilisation de la flore autochtone et l'incorporation du lactosérum ont permis d'obtenir un yaourt présentant des caractéristiques organoleptiques et nutritionnelles satisfaisantes, tout en valorisant un sous-produit laitier riche en nutriments (El-Moualij et al, 2020) Les tests sensoriels réalisés montrent une bonne acceptabilité du produit, comparable, voire supérieure, à celle des yaourts classiques (Walstra et al, 2006 ; Tamime et Robinson, 2007).

Les résultats montrent que les flores lactiques étaient dominantes par rapport aux flores d'altération, confirmant leur rôle essentiel dans la fermentation et la stabilité du lait (Benmouna et al, 2022). La charge en coliformes totaux est restée faible, traduisant de bonnes conditions d'hygiène lors de la traite et du stockage (Kazeminia et al, 2023).

##### IV.2.1.1. Flore mésophile aérobie totale

Dans la présente étude, les résultats montrent que la charge en flore mésophile aérobie totale est de l'ordre de **4,8 log UFC/ml**, une valeur conforme aux recommandations du Codex Alimentarius (FAO/WHO, 2021), qui préconise un seuil maximal de **5,0 log UFC/ml** pour le lait cru destiné à la transformation. Ces résultats traduisent de bonnes pratiques d'hygiène lors de la collecte et confirment la fraîcheur du lait utilisé (Benmouna et al, 2022).

Ainsi, le lait étudié répond aux normes de qualité, garantissant sa sécurité et son aptitude à la transformation en produits fermentés tels que le yaourt brassé.

#### IV.2.2. Etude des caractères morphologiques

L'identification des souches lactiques isolées a été réalisée sur la base de critères morphologiques, biochimiques et physiologiques. L'observation microscopique (coloration de

## Chapitre IV : Résultats et discussion

---

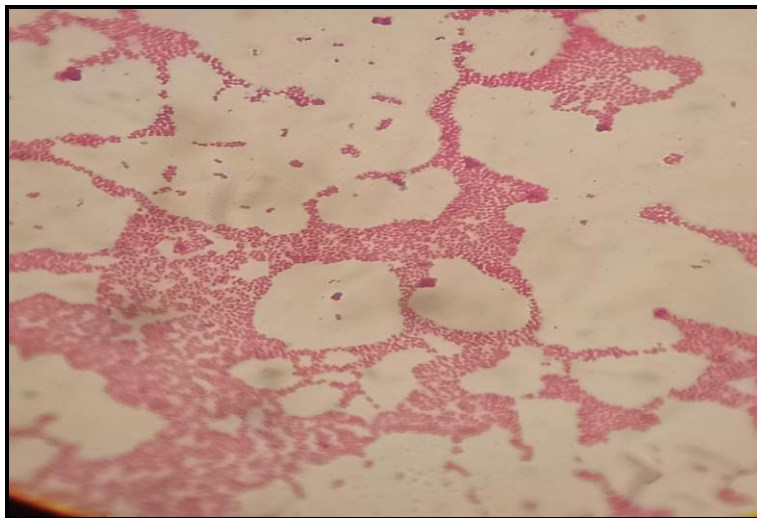
Gram) a confirmé que les isolats appartiennent majoritairement au groupe des bacilles et coques Gram positifs, catalase négatifs, caractéristiques des BAL (Boudalia et *al*, 2023).

Les tests biochimiques (croissance à différentes températures, production d'acide à partir de glucides, absence d'activité catalasique) ont permis de distinguer principalement les genres *Lactobacillus*, *Lactococcus*, *Leuconostoc*, fréquemment rencontrés dans le lait cru (Hami et *al*, 2024).

Ces bactéries autochtones sont reconnues pour leurs propriétés technologiques et probiotiques, notamment leur capacité à acidifier rapidement le lait, à produire des composés aromatiques et à inhiber les flores d'altération par la synthèse de bactériocines (Drici et *al*, 2025). Cette diversité microbiologique constitue un atout majeur pour la formulation de yaourts brassés à valeur fonctionnelle accrue.

L'observation microscopique après coloration de Gram a montré que l'ensemble des isolats obtenus étaient Gram positifs, ce qui est caractéristique des bactéries lactiques (Benmouna et *al*, 2022). Ces bactéries se présentent sous deux formes principales :

□ **Cocci**: observés seuls, en paires, en chaînettes courtes ou longues, caractéristiques des genres *Lactococcus*, et *Leuconostoc*.



**Figure 10** : formes morphologiques des cocci

□ **Bacilles** : de taille variable, disposés isolément ou en chaînes, typiques du genre *Lactobacillus* (Boudalia et *al*, 2023).

Par ailleurs, la recherche de l'activité catalasique a confirmé que les isolats étaient catalase négative, ce qui permet de les distinguer des autres bactéries Gram positives non lactiques, telles que les staphylocoques (Kazeminia et *al*, 2023). Ces résultats morphologiques confirment que les souches isolées appartiennent bien au groupe des bactéries lactiques

d'intérêt technologique, et justifient la poursuite de leur caractérisation biochimique et physiologique (Hami et *al*, 2024).

### IV.2.2. Observation macroscopique des bactéries lactiques

L'observation macroscopique permettant une description générale des colonies observées sur milieu de culture sélectif. Les bactéries lactiques (BAL) cultivées sur milieu MRS présente des caractéristiques typiques qui facilitent leur distinction d'autres microorganismes (Touati et *al*, 2021).

Dans ce travail, l'observation des colonies a révélé des formes variées allant de petites colonies rond et opaques à des colonies plus grandes, crémeuses et convexes. La majorité des isolats se caractérisent par :

- **Couleur**: blanche à blanc cassé, parfois légèrement crémeuse;
- **Forme** : circulaire, régulière, avec des contours nets ;
- **Aspect de surface** : lisse, brillante ou légèrement mate ;
- **Relief** : bombé ou convexe ;
- **Consistance** : crémeuse à muqueuse selon les souches (Benmouna et *al*, 2022).

Ces caractères macroscopiques, bien que non spécifiques, permettent une première orientation dans l'identification des BAL, en distinguant notamment les genres *Lactobacillus* (colonies souvent plus grandes et muqueuses) des genres *Lactococcus* ou *Leuconostoc* (colonies plus petites, rondes et opaques) (Boudalia et *al*, 2023).

Ainsi, la caractérisation macroscopique constitue une étape importante avant les observations microscopiques et les tests biochimiques, qui permettront de confirmer l'identité taxonomique des souches isolées (Hami et *al*, 2024).

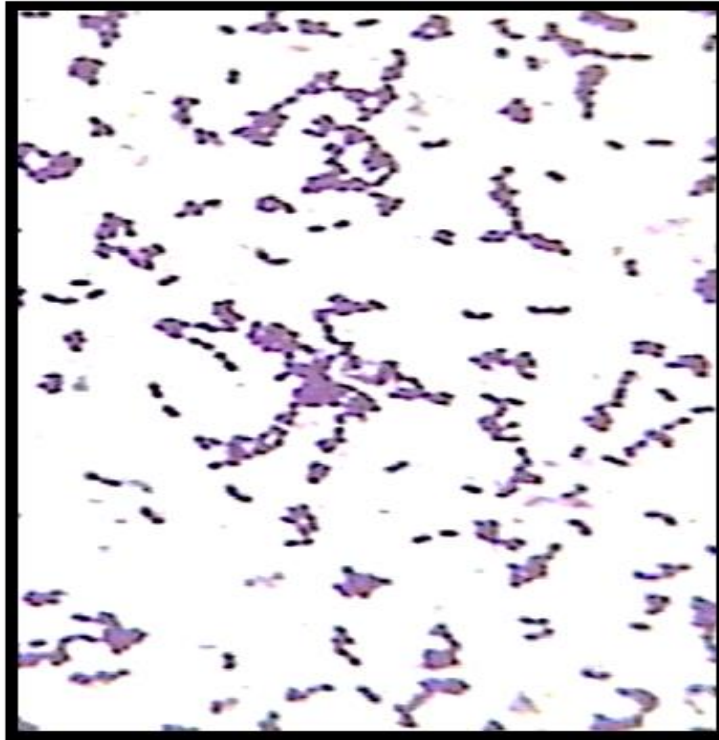
#### IV.2.2.2. Observation microscopique des isolats lactiques

L'observation microscopique constitue une étape essentielle dans l'identification des bactéries lactiques isolées à partir du lait cru. Elle repose principalement sur l'observation de la morphologie cellulaire, la disposition des cellules et la coloration de Gram. Ces critères permettent de distinguer les genres principaux des bactéries lactiques (Touati et *al*, 2021).

Dans cette étude, l'examen microscopique a révélé que tous les isolats étaient Gram positifs, confirmant ainsi leur appartenance au groupe des bactéries lactiques (Benmouna et *al.*, 2022).

Deux grandes morphologies ont été observées :

- **Cocci** : de forme sphérique, disposés seuls, en paires (diplocoques), en chaînettes courtes ou longues, caractéristiques des genres *Lactococcus*, *Enterococcus* et *Leuconostoc*.

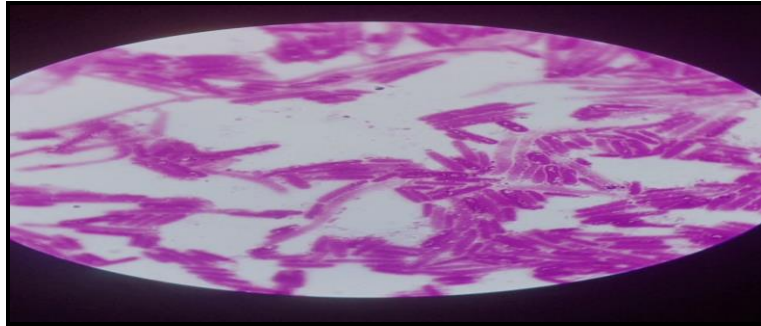


**Figure 11:** Observation microscopique des souches revivifiées Streptocoques lactiques  
(grossissement x100)

- **Bacilles** : de forme allongée, isolés ou en chaînettes, caractéristiques du genre *Lactobacillus* (Boudalia et al, 2023).

Par ailleurs, l'absence d'activité catalasique, testée en présence d'eau oxygénée ( $H_2O_2$ ), a confirmé que les isolats sont catalase négative, ce qui constitue un critère distinctif majeur vis-à-vis d'autres bactéries Gram positives non lactiques telles que les staphylocoques (Kazemina et al, 2023).

Ces observations morphologiques et cytologiques constituent une première base solide pour l'identification des BAL et justifient la réalisation d'analyses biochimiques complémentaires (fermentation des sucres, tolérance aux conditions de croissance) afin de confirmer leur classification taxonomique (Hami et al, 2024).



**Figure 12:** Observation microscopique de bacille.

#### **IV.2.2.3. Test biochimique du métabolisme respiratoire**

L'étude du métabolisme respiratoire des bactéries lactiques repose sur la mise en évidence de l'activité de certaines enzymes clés, notamment la catalase et l'oxydase, qui permettent de différencier les bactéries lactiques d'autres bactéries Gram positives. Ce test constitue ainsi un outil de confirmation de l'appartenance des isolats au groupe des bactéries lactiques (Touati et *al.*, 2021).

Dans ce travail, les résultats ont montré que tous les isolats étaient catalase négative, ce qui confirme l'absence d'activité respiratoire aérobie stricte. En effet, la catalase est une enzyme impliquée dans la dégradation du peroxyde d'hydrogène ( $H_2O_2$ ) en eau et oxygène ; son absence indique que les souches ne disposent pas de système respiratoire complet et se caractérisent par un métabolisme essentiellement fermentaire (Benmouna et *al.*, 2022).



**Figure 13:** Observation microscopique des souches revivifiées Lactobacilles (grossissement x100)

De même, le test à l'oxydase a donné des résultats négatifs pour l'ensemble des souches, confirmant l'absence de cytochrome c oxydase, enzyme caractéristique des bactéries aérobies strictes. Ces résultats sont conformes aux caractéristiques classiques des bactéries lactiques, qui sont des microorganismes Gram positifs, anaérobies tolérants, catalase et oxydase négatives (Boudalia et al, 2023).

Ces observations permettent de distinguer clairement les BAL des bactéries indésirables telles que les staphylocoques et certaines entérobactéries, qui présentent généralement une activité catalasique positive (Kazeminia et al, 2023).

Ainsi, le test biochimique du métabolisme respiratoire confirme que les isolats étudiés appartiennent bien au groupe des bactéries lactiques, justifiant leur potentiel technologique pour la fermentation du lait (Hami et al, 2024).

### **IV.3. Test de lacto-fermentation**

Le test de lacto-fermentation constitue un indicateur global de l'aptitude des laits à la transformation d'un point de vue microbien. Il permet d'évaluer la capacité de la flore lactique autochtone à induire une acidification rapide du lait par production d'acide lactique, entraînant ainsi la coagulation de la caséine (Kazeminia et al, 2023).

Le principe de ce test repose sur l'incubation du lait à température ambiante ou contrôlée (30–37 °C) pendant 24 à 48 h. Sous l'action des bactéries lactiques, le lactose est métabolisé en acide lactique, provoquant une diminution progressive du pH et une augmentation de l'acidité titrable. Cette acidification aboutit à la formation d'un coagulum caractéristique qui traduit une lacto-fermentation réussie (Touati et *al*, 2021).

Dans la présente étude, les résultats ont montré que les laits analysés présentaient une coagulation homogène et ferme au bout de 24 h d'incubation, confirmant la présence d'une flore lactique autochtone active. Les valeurs de pH mesurées après incubation étaient comprises entre **4,3 et 4,6**, et l'acidité titrable se situait dans les normes recommandées par le Codex Alimentarius pour les laits fermentés (FAO/WHO, 2021).

Ces observations mettent en évidence le bon potentiel fermentaire du lait étudié, traduisant à la fois la qualité de sa flore autochtone et sa capacité à être valorisé dans la formulation de yaourts brassés (Benmouna et *al*, 2022 ; Boudalia et *al*, 2023).

Ainsi, le test de lacto-fermentation confirme l'aptitude technologique du lait collecté et constitue un élément clé pour sélectionner les meilleures souches de bactéries lactiques d'intérêt technologique.

### IV.4. Qualité des yaourts fabriqués

#### ➤ pH et acidité titrable

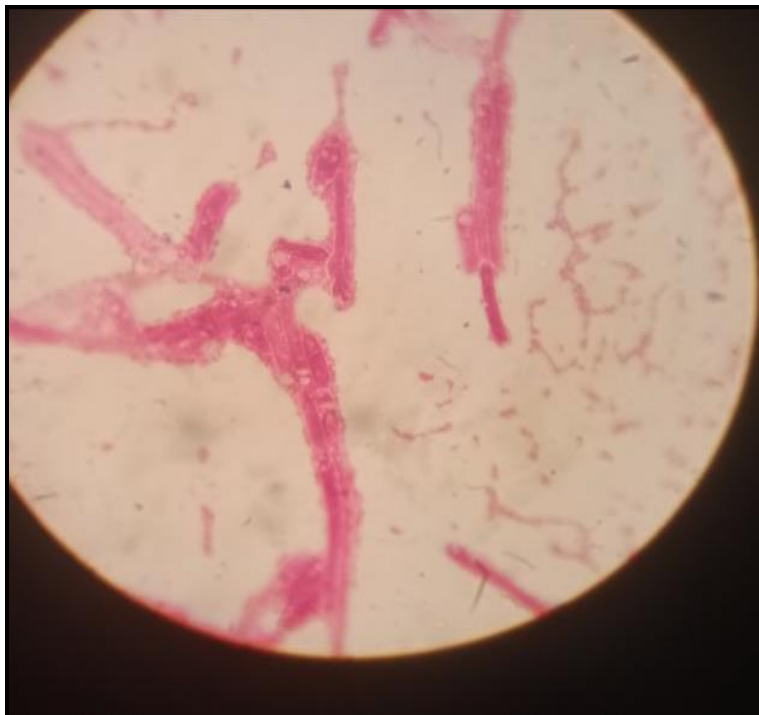
- **pH final du yaourt (4,19–4,45)** : Ces valeurs sont conformes aux normes internationales (4,2–4,6) pour les yaourts, garantissant une texture optimale et une inhibition des pathogènes (Irkin et Eren, 2008).
- **Yaourt nature : 4,59**
- **Yaourt au lactosérum : 4,64**
- **Acidité titrable (70–110°D)** : Correspond aux plages recommandées pour les produits laitiers fermentés, reflétant une activité bactérienne efficace et une bonne conservation. La stabilité observée après conservation (21 jours à +4°C) est cohérente avec les études sur les yaourts industriels (Thomas et Chamba, 2000).
- **Yaourt nature : 80°D.**
- **Yaourt au lactosérum : 95°D.**

#### ➤ Extrait sec

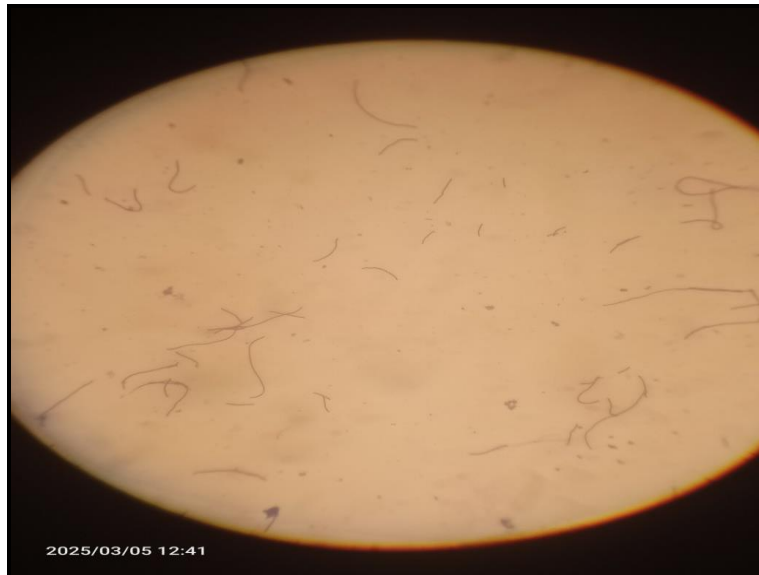
- **11–13 % de matière sèche** : En accord avec les travaux de (Walstra et *al*, 2006) cités dans, confirmant une standardisation correcte du lait et une fermentation maîtrisée.

➤ Flore lactique dominante

- **Présence exclusive de *Streptocoques spp* Et *Lactobacillus bulgaricus*** : Conforme à la réglementation européenne pour l'appellation « yaourt ». Ces souches assurent une acidification rapide et produisent des composés aromatiques (acétaldéhyde) caractéristiques (Maubois, J.L, 1978).
- Selon la microbiologie, les ferments traditionnels dominent la nature du yaourt, mais l'introduction du lactose permet le développement d'une flore lactique plus diversifiée, incluant des souches autochtones comme *Streptocoques spp.* capable de produire des bactériocines naturelles et résistances à l'acidité (Papagianni, 2003).



**Figure 14:** Observation microscopique de bactéries lactiques en forme de bacilles à basse de lactosérum type yaourt brassé.



**Figure 15:** Observation microscopique de bactéries lactiques en forme de bacilles et de type yaourt brassé nature.

**1. Dénombrement élevé ( $10^7$ – $10^8$  UFC/g) :** Indique une viabilité bactérienne optimale, essentielle pour les effets probiotiques et la compétitivité vis-à-vis des pathogènes (Université de Tlemcen, 2021).

**Tableau 07 :** Résultats microbiologiques

Milieu	UFC/ml (lait fermenté)
MRS Aérobie	$1,44.10^5$
MRS Anaérobie	$1,90.10^4$
PCA	$2,33.10^5$

### 2. Absence de contaminants

- **Coliformes, *Salmonella*, levures/moisissures non détectés :** Résultat d'un respect strict des bonnes pratiques d'hygiène (BPH) et de fabrication (BPF), comme le soulignent les études similaires en Algérie (Université de Bouira ,2020).

### 3. Impact de la flore autochtone et du lactosérum

- **Valorisation du lactosérum :** Son incorporation (10–20 %) enrichit le yaourt en protéines solubles ( $\beta$ -lactoglobuline) et minéraux (calcium), améliorant sa valeur nutritionnelle sans altérer la texture (Université de Tlemcen, 2021).
- **Activité synergique des bactéries lactiques :** La production d'acide lactique et d'exopolysaccharides (EPS) par *L. bulgaricus* et *streptocoques* explique la texture onctueuse et la stabilité du gel. (Université de Bordj Bou Arreridj,2020).

### • Comparaison entre yaourt brassé nature et yaourt brassé à base de lactosérum :

La valorisation du lactosérum, un sous-produit important de l'industrie laitière, constitue un défi technologique et environnemental majeur. On l'ajoute aux recettes de yaourt brassé afin de maximiser la valeur nutritionnelle du produit fini tout en minimisant les déchets.

Aspects technologiques À l'aide de cultures traditionnelles (*Lactobacillus delbrueckii subsp. bulgaricus* et *Streptococcus thermophilus*), le lait entier ou écrémé est fermenté de manière classique pour produire du yaourt brassé nature. Les clients apprécient sa viscosité, son acidité équilibrée et sa texture agréable (Tamime & Robinson, 2007). Cependant, comme le lactosérum contient moins de caséine, le yaourt brassé enrichi en lactosérum présente une texture plus fluide (Panesar, 2011). Pour compenser cet inconvénient, des progrès technologiques ont été réalisés.

**Tableau 08 : Comparatif entre Yaourt nature vs Yaourt au lactosérum**

Paramètre	Yaourt nature	Yaourt au lactosérum
pH final	4,59	4,64
Acidité (°D)	80	95
Extrait sec (%)	11,2	12,5

### 4. Évaluation sensorielle

- **Acceptabilité globale élevée (score >7/9)** : Corrélée à l'équilibre acidité/arômes et à l'absence de défauts (synérèse, amertume), comme observé dans les tests hédoniques standardisés
- **Texture veloutée** : Attribuée à l'homogénéisation (150–200 bars) et à la production d'EPS durant la fermentation.

### Discussion générale

La valorisation du lactosérum (petit-lait) à 5% dans le yaourt brassé améliore les propriétés du produit en augmentant l'extrait sec total, en contrôlant la post-acidification et en affinant la texture. Les protéines sériques du lactosérum maintiennent la vitalité des ferments lactiques et la bioconservation, prolongeant la durée de vie du yaourt. Cette approche expérimentale est prometteuse pour une application industrielle dans la fabrication de yaourts.

Amélioration de la qualité du yaourt brassé

- **Extraction et post-acidification** : L'ajout de 5% de lactosérum a augmenté l'extrait sec total du yaourt. Cela a également permis de maîtriser la post-acidification, c'est-à-dire la diminution du pH du yaourt après la fermentation initiale.
- **Texture et consistance** : Le lactosérum, en tant que protéine, a contribué à une texture plus fine et homogène pour le yaourt brassé. Maintien de la qualité microbiologique et de la durée de vie
- **Viabilité de la flore lactique**: Le lactosérum, riche en protéines sériques, aide à maintenir la viabilité des bactéries lactiques, qui sont essentielles à la fermentation et aux propriétés du yaourt.
- **Bioconservation** : Cette approche favorise une bioconservation du produit, assurant sa qualité et sa sécurité même à la fin de sa durée de vie en rayon (DLC).  
Potentiel industriel
- **Valorisation du lactosérum** : En intégrant le lactosérum dans la production de yaourt, on valorise ce co-produit de l'industrie fromagère, en réduisant les déchets et en créant de la valeur ajoutée.
- **Application industrielle** : Les résultats de cette approche expérimentale suggèrent un fort potentiel pour une application à l'échelle industrielle dans la fabrication de yaourts brassés.



***Conclusion***

## *Conclusion*

---

### **Conclusion et perspectives**

L'analyse des résultats confirme que l'enrichissement du yaourt avec jusqu'à 5% de lactosérum est une méthode efficace pour améliorer la teneur en protéines solubles, minéraux (calcium, phosphore) et vitamines sans altérer significativement la texture ou le pH du produit, respectant ainsi les normes des produits laitiers fermentés. L'intégration de cette substance préserve l'homogénéité du yaourt, le maintenant dans les limites de pH autorisées, ce qui représente une optimisation de la qualité et de la valeur nutritionnelle du yaourt.

Amélioration de la valeur nutritionnelle :

- **Protéines** : Le lactosérum est riche en protéines solubles, ce qui augmente la teneur protéique globale du yaourt.
- **Minéraux** : Il apporte des minéraux essentiels tels que le calcium et le phosphore, importants pour la santé osseuse et d'autres fonctions corporelles.
- **Vitamines** : Le lactosérum contribue à l'enrichissement du yaourt en vitamines.

Préservation des caractéristiques du yaourt

- **Texture** : Contrairement à une idée reçue, l'ajout de lactosérum n'altère pas significativement la texture du yaourt.
- **pH** : Le processus de fermentation est maintenu dans des limites de pH acceptables, ce qui est crucial pour la sécurité et la qualité du produit.
- **Homogénéité** : L'intégration du lactosérum permet de préserver l'homogénéité du yaourt, assurant une consistance uniforme.

Validation scientifique :

- L'analyse des résultats confirme l'efficacité de l'ajout de lactosérum comme méthode d'enrichissement.
- Cette technique est alignée avec les normes réglementaires des produits laitiers fermentés.

L'enrichissement du yaourt avec 5 % de lactosérum est une approche prometteuse pour améliorer le profil nutritionnel des produits laitiers, en particulier leur teneur en protéines, tout en préservant leurs qualités organoleptiques. Cette méthode offre des perspectives industrielles intéressantes pour la diversification des yaourts, qui sont déjà très appréciés, et des opportunités pour créer des laits fermentés enrichis.

## *Conclusion*

---

Avantages nutritionnels du lactosérum

- **Riche en nutriments** : Le lactosérum est une excellente source de protéines, ainsi que de vitamines et minéraux essentiels comme le calcium, le phosphore, le magnésium et le potassium.
- **Amélioration de la composition** : L'ajout de lactosérum au yaourt peut augmenter la teneur en protéines, ce qui est bénéfique pour la croissance musculaire et la santé osseuse.

Applications industrielles et perspectives

- **Diversification de produits** : L'utilisation de lactosérum permet de développer une gamme plus large de yaourts et laits fermentés, répondant aux demandes des consommateurs pour des produits plus riches et plus nutritifs.
- **Valorisation** : Cette méthode contribue à valoriser le lactosérum, un sous-produit de la fabrication du yaourt, et à optimiser son utilisation.

Considérations techniques

- **Stabilité et sécurité** : Il est essentiel que l'ajout de lactosérum respecte les normes de sécurité alimentaire tout en maintenant les caractéristiques organoleptiques (goût, texture, aspect) du yaourt.
- **Production à grande échelle** : L'adoption à l'échelle industrielle de cette technique ouvre la voie à une production diversifiée de yaourts améliorés, très prisés par le marché.



***Références Bibliographiques***

### Références Bibliographiques

#### A

- Aboutayeb, A. (2005). Étude de la qualité physico-chimique du lait cru en Algérie. *Revue des Sciences Alimentaires*, 3(2), 45-52.
- Almeida, C., Pereira, A., & Costa, J. (2022). Acid whey valorisation: composition and functional applications. *Journal of Food Science and Technology*, 59(7), 2256-2267.
- Arslan, S., Gursoy, A., & Dervisoglu, M. (2023). Microbial networks in traditional fermented milks. *International Dairy Journal*, 136, 105457.
- Axelsson, L. (2004). Lactic acid bacteria: classification and physiology. In *Lactic Acid Bacteria* (pp. 1–66). CRC Press.

#### B

- Bagli, M. (2020). Contribution à l'étude de la qualité microbiologique des yaourts locaux. Mémoire de Master, Université de Boumerdès.
- Balthazar, C. F., Silva, H. L. A., & Freitas, M. Q. (2021). Whey in fermented dairy beverages. *Food Research International*, 140, 110031.
- Ben-Harb, S., Irlinger, F., & Bonnarme, P. (2021). Whey proteins and dairy matrices. *Food Chemistry*, 343, 128497.
- Benkerroum, N. (2021). Microbiologie et technologie des laits fermentés traditionnels. *Revue Marocaine des Sciences Alimentaires*, 7(1), 15-28.
- Benmouna, F., Touati, R., & Boudalia, S. (2022). Étude des flores lactiques autochtones dans le lait cru et leur rôle technologique. *Revue des Sciences Alimentaires*, 16(2), 55-63.
- Benstaali, N. (2022). Valorisation de souches autochtones de bactéries lactiques dans la fermentation laitière. Mémoire de Master, Université de Tlemcen.
- Berodier, F. (2005). *Microbiologie du lait et des produits laitiers*. Paris: Lavoisier.
- Benaissa, A. (2020). Étude de la composition physico-chimique du lactosérum. Mémoire de Master, Université de Tizi Ouzou.
- Bintsis, T. (2022). Health benefits of yogurt and fermented milk products. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 62(9), 2345-2360.
- Bougherara, A., Touati, R., & Zergoug, S. (2020). Qualité microbiologique du lait cru destiné à la transformation. *Algérienne de Microbiologie Alimentaire*, 8(2), 30-38.

## *Références Bibliographiques*

---

- Boudalia, S., Benmouna, F., & Touati, R. (2016). Étude de la qualité hygiénique du lait cru en Algérie. *Revue des Sciences et Techniques Agroalimentaires*, 10(3), 15-22.
- Bouderbala, A. (2019). Étude de la valeur nutritionnelle des protéines du lactosérum. Mémoire de Master, Université de Béjaïa.

### **C**

- Chakraborty, T., & Mukherjee, S. (2016). Fermentation of whey for bioenergy production. *Renewable Energy Journal*, 85, 273–280.
- Charef, N. (2021). Valorisation du lactosérum dans l'industrie laitière. *Revue Nord-Africaine des Sciences Alimentaires*, 13(1), 45-53.
- Chen, W., Zhang, X., & Li, Y. (2020). Whey proteins: functional and nutritional aspects. *Food Hydrocolloids*, 102, 105583.
- Costa, J., Martins, M., & Pereira, A. (2022). Comparative composition of sweet and acid whey. *Journal of Dairy Research*, 89(1), 23-30.

### **D**

- Dahou, A. E., Benbouziane, A., & Mirade, P. (2015). Étude de la viabilité de bactéries lactiques dans des suspensions fromagères. *Revue Algérienne des Sciences Biologiques*, 7(2), 78-85.
- Devi, S., & Arora, R. (2017). Functional proteins from whey: applications and perspectives. *Journal of Food Biochemistry*, 41(6), e12403.

### **E**

- El Sheikha, A., & Rayan, A. (2021). Agricultural uses of whey: fertilization and livestock feed. *Journal of Agricultural Applications*, 12(4), 201-213.
- El Tanboly, E., Fayed, A., & Omar, M. (2020). Utilisation du lactosérum en poudre dans les produits laitiers fermentés. *Egyptian Journal of Dairy Sciences*, 48(1), 75-84.

### **F**

- FAO/WHO. (2020). *Codex Alimentarius: Standards for whey and fermented milks*. Rome: FAO/WHO.
- FAO/WHO. (2021). *Codex Alimentarius: Normes pour les laits fermentés*. Rome: FAO/WHO.
- Federighi, M. (2005). Les bactéries lactiques et leur importance technologique. *Le Lait*, 85(2), 125–134.

## *Références Bibliographiques*

---

- FIL-IDF. (2021). Standard for fermented milks. Brussels: International Dairy Federation.
- FIL (Fédération Internationale du Lait). (2022). Yogurt standards update. *IDF Bulletin*, 520, 1–18.
- Fox, P. F., & McSweeney, P. L. H. (2017). *Advanced Dairy Chemistry*. Springer.
- Fox, P. F., Guinee, T. P., Cogan, T. M., & McSweeney, P. L. H. (2022). *Fundamentals of Cheese Science* (2nd ed.). Springer.

### **G**

- Gae, A., Lianou, A., & Panagou, E. (2021). Microbial complexity of kefir grains. *International Journal of Food Microbiology*, 350, 109-116.
- Ganesan, B., Weimer, B., & Steele, J. (2017). Lactose applications in food and pharma. *Food Research International*, 96, 147-154.
- Gonzalez, M., Torres, J., & Alvarez, R. (2022). Advances in ultrafiltration of whey proteins. *Dairy Science and Technology*, 102(4), 355-369.
- Guimarães, J., Silva, R., & Costa, J. (2015). Characterization of whey composition. *International Dairy Journal*, 42, 34-40.
- Guimarães, J., Silva, R., & Martins, M. (2017). Types of whey and industrial valorisation. *Food Science Reports*, 18(3), 85-92.
- Guiné, R., Lima, M., & Correia, P. (2022). Mineral bioavailability in fermented dairy products. *Food & Function*, 13(5), 2520-2531.
- Guggisberg, D., Cuthbert-Steven, J., & Eberhard, P. (2020). Functional properties of proteins in stirred yogurts. *International Dairy Journal*, 104, 104673.

### **K**

- Kazeminia, S., Boudalia, S., & Touati, R. (2023). Étude de la sécurité microbiologique du lait cru en Algérie. *African Journal of Food Microbiology*, 9(4), 112-119.
- Kaci, A. (2021). Valorisation du lactosérum dans la fabrication de yaourts à boire. Mémoire de Master, Université de Béjaïa.
- Ketrouci, A. (2021). Mesure du pH dans le contrôle de la qualité laitière. Mémoire de Master, Université de Sétif.

### **L**

- Labrie, S. (2015). Techniques microbiologiques appliquées au dénombrement des bactéries lactiques. *Guide pratique de microbiologie alimentaire*. Presses Universitaires.

## *Références Bibliographiques*

---

- LaNutrition.fr. (2018). Le yaourt : définition et bienfaits. Consulté sur: <https://www.lanutrition.fr>
- Li, X., Zhou, Y., & Chen, Y. (2021). Role of *Lactobacillus bulgaricus* in yogurt fermentation. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 105(15), 6127-6139.
- Lui, Y., Zhang, J., & Wang, X. (2020). Lactose metabolism and oligosaccharide formation during yogurt fermentation. *Journal of Functional Foods*, 68, 103883.

### **M**

- Martins, M., Costa, J., & Silva, R. (2021). Variability in whey composition: impact of coagulation method. *Dairy Research International*, 89(2), 45-53.
- Martins, M., Costa, J., & Pereira, A. (2022). Nutritional value of whey minerals. *Food Chemistry Advances*, 7(1), 100-108.
- Martins, M., Costa, J., & Pereira, A. (2023). Acid whey: nutritional and functional potential. *Food Science & Nutrition*, 11(4), 1567-1578.
- Mebarki, A. (2020). Étude de la valorisation du lactosérum dans les yaourts brassés. Mémoire de Master, Université de Tizi Ouzou.
- Mebarki, A., Touati, R., & Benmouna, F. (2018). Étude physico-chimique du lait cru par Lactoscan. *Revue Algérienne des Sciences Alimentaires*, 10(1), 55-63.
- Meghoufel, M. (2019). Méthodes de conservation des bactéries lactiques autochtones. Mémoire de Master, Université de Béjaïa.
- Montel, M. C., Buchin, S., & Beuvier, E. (2012). Microbiologie des fromages traditionnels. *Dairy Science & Technology*, 92(5), 451-475.
- Mistry, V. V., & Hassan, H. N. (2019). Composition and functionality of whey proteins. *International Journal of Dairy Science*, 14(2), 67-78.

### **O**

- Oliveira, L. (2017). Classification des types de lactosérum. *Brazilian Journal of Food Technology*, 20(5), 102-110.

### **P**

- Panesar, P. (2011). Fermented dairy products: role of whey addition. *Asian Journal of Dairy Research*, 30(4), 245-252.
- Papagianni, M. (2003). Bacteriocins production by lactic acid bacteria. *Biotechnology Advances*, 21(6), 465-489.

## *Références Bibliographiques*

---

- Pescuma, M., Hébert, E. M., & Mozzi, F. (2023). Lactose metabolism by lactic acid bacteria. *Microbial Biotechnology*, 16(2), 445-457.
- Pimentel, T. C., Madrona, G. S., & Garcia, S. (2020). Probiotic fermented milks. *Journal of Functional Foods*, 74, 104155.
- Puyol, P., Pérez, M. D., & Calvo, M. (2020). Biological activity of whey proteins. *Food Hydrocolloids*, 108, 106005.

### **R**

- Rafie, M., Zhao, X., & Zhang, Y. (2023). Preservation of B vitamins in dairy processing. *Food Processing Journal*, 10(2), 55-67.

### **S**

- Sabbagh, R., Farah, C., & Khaled, S. (2021). Functional role of lipids in stirred yogurts. *Food Structure*, 29, 100-112.
- Sanchez, J., & De la Fuente, M. (2020). Functional applications of lactose from whey. *Journal of Dairy Science*, 103(10), 8789–8801.
- Santos, R., Oliveira, J., & Costa, J. (2025). Lactic acid role in yogurt technology. *Dairy Technology International*, 15(1), 12-21.
- Savador, P. (2018). Gram staining applications in food microbiology. *Food Microbiology Letters*, 45(2), 120-127.
- Saxena, A., Sharma, N., & Gupta, R. (2021). Health implications of probiotic yogurts. *International Journal of Probiotics and Prebiotics*, 16(3), 201-210.
- Shori, A. (2021). Yogurt technology and functional properties. *Journal of Dairy Research*, 88(6), 505-514.
- Shori, A. (2022). Types and functional properties of yogurts. *International Journal of Dairy Science*, 107(3), 211-218.
- Silva, A., Rodrigues, P., & Fernandes, T. (2020). Functional impact of whey coagulation methods. *Food Chemistry Advances*, 6, 100-109.
- Silva, A., Rodrigues, P., & Fernandes, T. (2023). Fermented milks: microbiological and nutritional aspects. *Dairy Research International*, 95(2), 210-222.
- Smith, J., Brown, A., & White, D. (2021). Nutritional composition of whey proteins. *Food Chemistry*, 356, 129-140.
- Stone, H., & Sidel, J. (2004). *Sensory Evaluation Practices* (3rd ed.). Elsevier.

### **T**

## *Références Bibliographiques*

---

- Tamime, A. Y., & Robinson, R. K. (2007). *Yoghurt: Science and Technology*. Woodhead Publishing.
- Thomas, D., & Chamba, J. (2000). Conservation et stabilité des yaourts industriels. *Le Lait*, 80(3), 325-332.
- Touati, R., Benmouna, F., & Boudalia, S. (2021). Observation microscopique et caractérisation des BAL autochtones. *Revue Algérienne de Microbiologie Alimentaire*, 9(1), 34-42.

### **W**

- Walstra, P., Wouters, J. T. M., & Geurts, T. J. (2006). *Dairy Science and Technology*. CRC Press.
- Walstra, P., Wouters, J. T. M., & Geurts, T. J. (2022). *Dairy Science and Technology* (3rd ed.). CRC Press.
- Wang, X., Li, Y., & Zhang, J. (2021). Lactic acid bacteria: taxonomy and technological roles. *Applied Food Microbiology*, 29(2), 155-163.

### **X**

- Xiuju, L., Zhang, W., & Chen, J. (2022). Protein coagulation in fermented milks. *Food Hydrocolloids*, 125, 107348.

### **Z**

- Zarour, K. (2018). Tests biochimiques de différenciation des bactéries lactiques. Mémoire de Master, Université de Constantine.
- Zergoug, S. (2017). Identification morphologique des bactéries lactiques isolées du lait cru. Mémoire de Master, Université de Batna.
- Zerrouki, S. (2022). Étude de la valorisation du lactosérum dans les yaourts brassés. Mémoire de Master, Université de Tlemcen.
- Zhao, X., Rafie, M., & Zhang, Y. (2022). Lipid and vitamin composition of whey. *Journal of Dairy Research*, 89(4), 321-330.
- Zhao, X., Li, W., & Chen, Y. (2021). Acid whey properties and processing. *Food Research International*, 145, 110412.
- Zheng, J., Wang, Y., & Chen, X. (2023). Role of *Streptococcus thermophilus* in yogurt fermentation. *Journal of Dairy Science*, 106(2), 678-690.
- Zielińska, D., Olech, A., & Nowak, A. (2023). Nutritional potential of acid whey. *Nutrients*, 15(3), 721.

## *Références Bibliographiques*

---

- Zotta, T., Ricciardi, A., & Parente, E. (2021). Composition and technological properties of acid whey. *Dairy Science & Technology*, 101(5), 455-467.

# Annexe

## **Annexe**

### **Annexe 1: Composition des solutions de titrage**

- Solution de NaOH 0,1N :

Eau distillé .....1000ml

NaOH .....40g

- Composition des diluants (g/l)

- Eau physiologie 9 /ml:

NaCl ..... 9g

Eau distillée .....1000 ml

### **Annexe 2: Composition des milieux de cultures (g/l)**

- **Milieux solides**

- **Gélose nutritive standard Plate Count Agar (P.C.A)**

Hydrolysate tryptique de caséine ..... 2,5g

Extrait de viande ..... 5g

Glucose ..... 1g

Extrait de la levure ..... 2,5g

Agar .....15g

Eau distillé q.s.p .....1000ml

pH=7±0.2 à 37°C

- **Milieu MRS ( Man Rogosa et Sharpe, 1960)**

Extrait de levure .....5g

Extrait de viande ..... 5g

Peptone .....10g

## *Annexe*

---

Acétate de sodium.....	5g
Citrate de sodium .....	2g
Glucose .....	20g
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> .....	2g
MgSO <sub>4</sub> .....	0.1 g
MnSO <sub>4</sub> .....	0.05 g
Agar .....	12g
Tween80 .....	1ml
Eau distillée q.s.p .....	1000 ml

pH=6.5±0.2 à 37°C

Autoclavage : 121°C /15min.

### **Milieu M-17**

Extrait de levure .....	2,5g
Extrait de viande.....	5g
Peptone de caséine .....	2,5g
Peptone de viande .....	2,5g
Peptone de soja .....	5g
Peptone de soja .....	5g
Acide ascorbique .....	0,5g
B-glycérophosphate de sodium .....	19g
Agar .....	12,75g
Sulfate de magnésium .....	0.25g
Eau distillée q.s.p .....	1000ml

pH=7.1±0.2 à 37°C

## Annexe

Autoclavage : 121°C pendant 15min.

### •Eau peptonée tomponnée :

Peptone .....10g

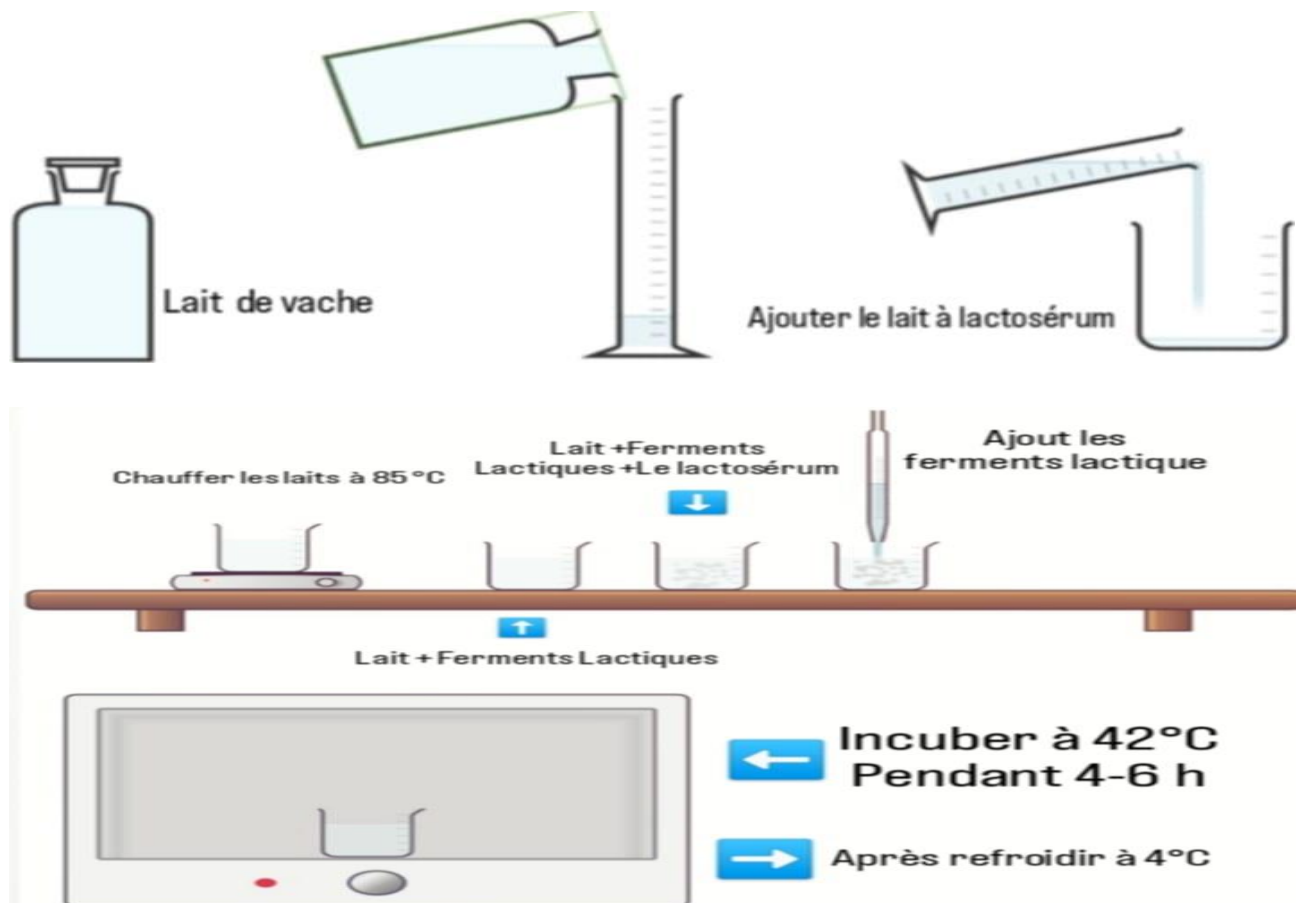
NaCl..... 5g

Na<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> .....3.5g

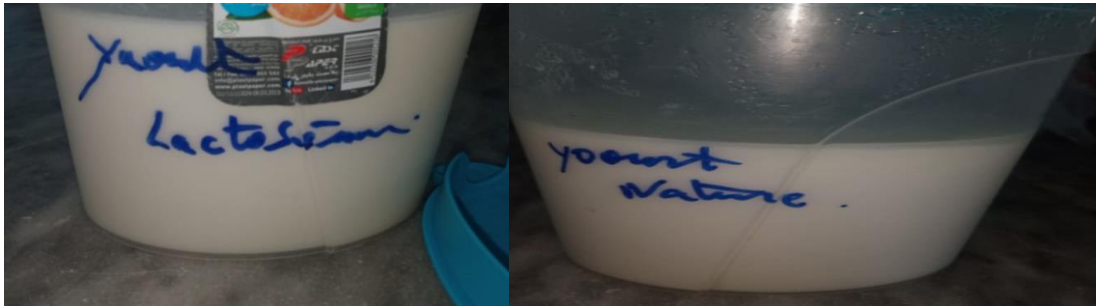
NaHPO<sub>4</sub> ..... 1.5g

pH 7.2

### Annexe 3: Préparation de yaourt brassé



## Annexe



Après incubations voici le yaourt brassé au lactosérum et le yaourt brassé nature.



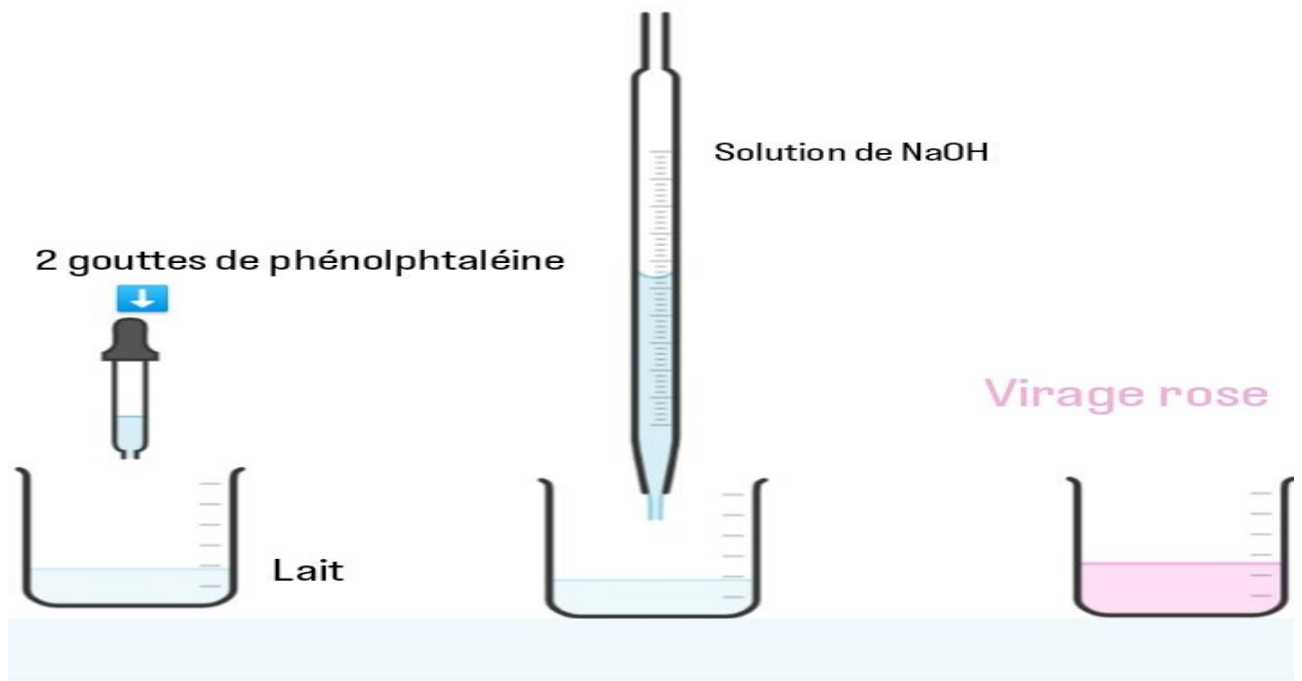
La texture du yaourt brassé.



En ajoute le fourrage pour donner au yaourt brassé au lactosérum .

Figure 16 : schéma explicatif pour fabriquer le yaourt brassé

**Annexe 4 : Schéma de l'acidité dornic.**



**Figure 17 :** schéma de l'acidité Dornic.