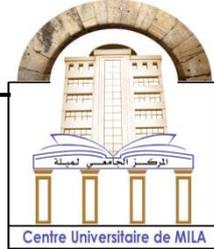


الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

Ministère de L'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



N°Ref : .....

**Centre Universitaire Abdelhafid BOUSSOUF- Mila**

Institut des Sciences de la Nature et de la Vie

Département des Sciences Biologiques et Agricoles

**Mémoire préparé en vue de l'obtention du diplôme de**

**Master**

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Sciences Biologiques

Spécialité : Microbiologie Appliquée

Thème :

**Contribution des bactéries lactiques thermophiles à la qualité du yaourt :  
Analyse technologique et sanitaire à la laiterie Numidia.**

Présenté par :

- Belkessour Amani
- Gueniche Rokia

Devant le jury :

LAGHOUATI Ouafa  
HADEF Sawsen  
BOUDRAA Wahiba

Grade MCB  
Grade MAA  
Grade MCA

Présidente  
Examinatrice  
Promotrice

Année Universitaire : 2024/2025

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

# *Remerciements*

*Nous remercions, du plus profond de notre cœur, Dieu le tout puissant de nous avoir donné Le courage et la volonté d'achever ce travail..*

*Nous remercions, madame Belattar Hakima.*

*Merci pour votre aide, votre compréhension, votre grande gentillesse.*

*Merci de nous guider vers ce qui est juste dans notre travail.*

*Merci d'avoir pris le temps de nous expliquer.*

*Nous tenons à exprimer toute notre gratitude à notre enseignante Laghouati Ouafa Pour avoir Accepté de présider le jury de notre mémoire de Master.*

*Grand et respectueux remerciement va à madame HadeF Sawsen d'avoir accepté d'examiner ce travail. Nous vous remercions surtout pour votre entretien, vos conseils ainsi que vos précieuses discussions.*

*Nous remercions, madame Boudraa Wahiba*

*Nous remercions, madame Aberkane Meriem de nous avoir aidé.*

*Grande merci à l'équipe de laiterie Numidia, Constantine*

# *Dédicace*



*Merci Allah de m'avoir donné la capacité d'écrire et de réfléchir, force d'y croire, la patience d'aller jusqu'au bout du rêve et le bonheur de lever mes mains vers le ciel et de dire " Ya Kayoum".*

*A Ceux qui sont les plus chères au monde.*

*Je dédie ce travail*

*À mes parents, qu'ils trouvent ici ma plus profonde*

*Gratitude et tout mon amour pour leur soutien tout au long*

*De mes études et leurs Sacrifices sans limites.*

*Mon père que Dieu le tout-puissant lui accorde sa sainte*

*Miséricorde et l'accueil en son vaste Paradis.*

*Ma mère, la femme combattante que sans elle je ne suis pas pu*

*Être ce que je suis, en reconnaissance de son effort, son amour et*

*Son encouragement durant toutes mes années d'études.*

*Que Dieu les garde et les protège pour moi.*

*À ma sœur Chourouk, et mon frère Messoud.*

*A tous mes cousines et mes cousins, A tous ma famille.*

*A mes petits «Assil, Norcine et Chihabe »*

*A mes chères amis Doudou et Wissam*

*A mon meilleur binôme de travail Rokia*

*À tous ceux qui m'aiment, À tous ceux que j'aime*

## *Amani*



# *Dédicace*



*Je tiens à exprimer ma profonde gratitude à mon père pour son soutien constant et ses encouragements,*

*et à ma mère, dont l'amour, les prières et les sacrifices silencieux ont été mon véritable pilier.*

*À mes frères et sœurs — Rania, Wasila, Nour, Rima, Fawzi et Marwan — merci pour votre amour et votre présence à mes côtés.*

*À mes chères amies — Manar, Meriem, Shirin, Amel, Hadil, Reyhana et Nour — votre soutien et votre amitié ont été précieux tout au long de cette aventure.*

*Aux petits anges de la famille — Amina, Maram, Remas, Maria, Rowan, Abdelrahim et Abderrahman — vos sourires ont illuminé mes journées.*

*Un merci tout particulier à mon binôme Amani, pour ton sérieux, ta patience et ton esprit d'équipe. Ton soutien a fait toute la différence.*

*Rokia*



## Résumé

Cette étude, menée au sein de la laiterie Numidia (Constantine) en 2025, met en évidence le rôle technologique et sanitaire des bactéries lactiques, notamment *Streptococcus thermophilus* et *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus*, dans la production de yaourt. En suivant les Bonnes Pratiques de Fabrication, des analyses physico-chimiques et microbiologiques ont été réalisées. Les résultats ont montré que le produit est conforme aux normes en vigueur. Par ailleurs, les analyses microbiologiques ont révélé une absence totale de micro-organismes pathogènes, notamment *Salmonella spp.*, *Listeria monocytogenes*, *Staphylococcus aureus* et les entérobactéries. Ces résultats confirment que l'utilisation de bactéries lactiques permet non seulement d'obtenir un yaourt de qualité sur le plan organoleptique, mais également de proposer un aliment sain et fonctionnel. Ainsi, ce mémoire souligne l'intérêt d'intégrer des micro-organismes bénéfiques dans l'industrie agroalimentaire afin de répondre aux attentes croissantes des consommateurs en matière de produits naturels, sûrs et à forte valeur ajoutée pour la santé.

**Mots clé :** Yaourt, Laiterie Numidia, *Streptococcus thermophilus*, *Lactobacillus bulgaricus*, Analyses physico-chimiques, Analyses microbiologiques.

## ملخص

تم إجراء هذه الدراسة داخل ملبنة نوميديا (قسنطينة) في 2025 ، وتهدف إلى إبراز الدور التكنولوجي والصحي للبكتيريا اللبنية، لا سيما *Streptococcus thermophilus* و *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus*، في إنتاج الياغورت. وبالاعتماد على ممارسات التصنيع الجيدة، تم إجراء تحاليل فيزيائية-كيميائية وميكروبيولوجية. أظهرت النتائج أن المنتج مطابق للمعايير المعمول بها. كما كشفت التحاليل الميكروبيولوجية عن غياب تام للكائنات الحية الدقيقة الممرضة، لا سيما *Staphylococcus aureus*، *Listeria monocytogenes*، *Salmonella spp.*، *entérobactéries*. تؤكد هذه النتائج أن استخدام البكتيريا اللبنية لا يسمح فقط بالحصول على ياغورت عالي الجودة من حيث الخصائص الحسية، بل يُعتبر أيضًا غذاءً صحيًا ووظيفيًا. وعليه، يبرز هذا البحث أهمية إدماج الكائنات الحية الدقيقة المفيدة في الصناعات الغذائية، بهدف تلبية الطلب المتزايد للمستهلكين على منتجات طبيعية وآمنة وذات قيمة صحية مضافة.

**الكلمات المفتاحية:** ياغورت ، ملبنة نوميديا، *Streptococcus thermophilus*، *Lactobacillus bulgaricus*، تحاليل فيزيائية-كيميائية، تحاليل ميكروبيولوجية.

## **Abstract**

This study, conducted at the Numidia dairy plant (Constantine) in 2025, highlights the technological and health-related roles of lactic acid bacteria, particularly *Streptococcus thermophilus* and *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus*, in yogurt production. In compliance with Good Manufacturing Practices, both physicochemical and microbiological analyses were carried out. The results showed that the product met the applicable standards. Furthermore, microbiological tests confirmed the total absence of pathogenic microorganisms, including *Salmonella* spp., *Listeria monocytogenes*, *Staphylococcus aureus*, and Enterobacteriaceae. These findings confirm that the use of lactic acid bacteria not only ensures the production of yogurt with desirable organoleptic qualities, but also offers a safe and functional food product. Thus, this dissertation emphasizes the importance of incorporating beneficial microorganisms into the agri-food industry to meet the growing consumer demand for natural, safe, and health-promoting products.

**Keywords:** Yogourt, Numidia Dairy, *Streptococcus thermophilus*, *Lactobacillus bulgaricus*, Physico-chemical analyses, Microbiological analyses.

# Table des matières

Liste des abbreviations.

Liste des tableaux.

Liste des figures.

**INTRODUCTION.**

## Partie bibliographique

### Chapitre 1 : Fabrication du yaourt

1. Historique .....	6
2. Définition .....	6
3. Différents types de yaourt .....	7
3.1. La technologie de fabrication .....	7
3.2. La teneur en matière grasse.....	7
4. Composition du yaourt .....	7
5. Technologie de fabrication .....	8
5.1. Processus de fabrication.....	8
5.3. Caractéristiques du yaourt .....	10
5.3.1. Paramètre physico-chimique.....	10
5.3.2. Paramètre microbiologique .....	11
6. Profil microbiologique du yaourt .....	11
6.1. Bactéries lactiques fermentaires.....	11
6.1.1. <i>Streptococcus thermophilus</i> .....	12
6.1.2. <i>Lactobacillus delbrueckii</i> subsp. <i>Bulgaricus</i> .....	12
6.2. Probiotiques fonctionnels du yaourt .....	13
6.2.1. Bactéries lactiques .....	13
6.3. Contaminants microbiens indésirables.....	14
6.3.1. La flore aérobie mésophile .....	14

6.3.2.	Les coliformes totaux et fécaux .....	14
6.3.3.	<i>Escherichia. Coli</i> .....	15
6.3.4.	<i>Salmonella</i> .....	15
6.3.5.	<i>Staphylococcus aureus</i> .....	15
6.3.6.	<i>Clostridium sulfito-réducteurs</i> .....	15
6.3.7.	Les levures et moisissures .....	15

## **Chapitre 2: Les ferments thermophiles**

1.	Définition des thermophiles.....	18
2.	Classification des bactéries thermophiles .....	18
2.1.	Selon la température .....	18
2.2.	Classification taxonomique.....	19
3.	Rôle des thermophiles dans le yaourt.....	19
4.	Synergie des bactéries lactiques.....	20

### **Partie expérimentale**

#### **Matériels et méthodes**

1.	Présentation de la laiterie Numidia (ex l'ONALAIT).....	24
1.1.	Situation géographique .....	24
1.2.	Historique .....	24
1.3.	Organisation fonctionnelle de l'unité laitière Numidia – Constantine .....	24
1.4.	Les produits de la laiterie.....	25
2.	Matériel.....	26
3.	Méthodes .....	26
3.1.	Conditions d'asepsie .....	27
3.2.	Processus de fabrication du Yaourt au niveau de la laiterie Numidia .....	27
3.2.1.	Le lait collecté .....	27
3.2.2.	Homogénéisation .....	28

3.2.3.	Écrémage et Standardisation .....	28
3.2.4.	Pasteurisation .....	28
3.2.5.	Tank Pré-conditionné .....	29
3.2.6.	Conditionnement et stockage .....	30
3.2.7.	Produits finis .....	30
3.3.	Contrôle Physico-chimiques .....	31
3.3.1.	Analyse du lait cru.....	33
3.3.2.	Test d'antibiotique .....	33
3.3.3.	Analyses du Yaourt .....	33
3.4.	Contrôle Microbiologique.....	34
3.4.1.	Recherche des entérobactéries .....	35
3.4.2.	Recherche de <i>Listeria</i> .....	36
3.4.3.	Recherche des salmonelles.....	36
3.4.4.	Recherche de <i>Staphylococcus aureus</i> .....	37
3.5.	Evaluation organoleptique du Yaourt Numidia (Questionnaire).....	37

## Résultats et discussion

1.	Contrôle physico-chimiques.....	41
1.1.	Analyses physico-chimiques du lait cru.....	41
1.2.	Résultats du test d'ATB de lait cru .....	43
1.3.	Résultats des analyses physico-chimiques du yaourt .....	43
1.4.	Évolution du pH durant la fermentation.....	44
2.	Contrôle microbiologiques .....	46
3.	Résultats d'évaluation organoleptique du Yaourt Numidia (Questionnaire).....	47
	<b>CONCLUSION.....</b>	<b>51</b>
	<b>Références bibliographique.....</b>	<b>52</b>
	<b>Annexes.....</b>	<b>66</b>

## **Abréviations**

**OMS** : l'Organisation Mondiale de la Santé.

**FAO** : l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture.

**ISO** : l'Organisation internationale de normalisation.

**JORA** : Journal officiel de la république algérienne.

**AFNOR** : Agence Française de Normalisation.

**ONALAIT** : l'Office National du Lait.

**COLAC** : Coopérative Laitière de Constantine.

**EcN**: *Escherichia coli* Nissle.

**UFC** : unités formant colonies.

**°D** : degrés Dornic.

**pH** : potentiel hydrogène.

**EPS** : d'exopolysaccharides.

**ATB** : antibiotique.

**µL** : microlitre.

**MRS**: Gélose de Man, Rogosa, Sharpe.

**VRBD**: Violet Red Bile Glucose Agar.

**ALOA** : Agar Listeria selon Ottaviani et Agosti.

**SFB** : Sulfite-Ferrous-Bile.

**SS** : Salmonella-Shigella.

**3BTC**: 3 Bitcoins.

## Liste des tableaux

<b>Tableau 1:</b> Composition nutritionnelle pour 100g de yaourt .....	8
<b>Tableau 2:</b> Normes physico-chimiques du Yaourt selon JORA, 2017 .....	10
<b>Tableau 3:</b> Normes physico-chimiques du Yaourt selon JORA, 2017 .....	11
<b>Tableau 4:</b> Classification des bactéries lactiques du yaourt.....	19
<b>Tableau 5:</b> Aptitudes technologiques des bactéries lactiques du yaourt.....	20
<b>Tableau 6:</b> Interactions métaboliques entre <i>Lactobacillusdelbrueckii</i> subsp. <i>bulgaricus</i> et <i>Streptococcus thermophilus</i> en culture mixte dans le lait .....	21
<b>Tableau 7:</b> Matériels utilisés .....	26
<b>Tableau 8:</b> Les moyennes des résultats des analyses physico-chimique du lait cru. ....	41
<b>Tableau 9:</b> Les moyennes des résultats du test d'ATB de lait cru. ....	43
<b>Tableau 10:</b> Les moyennes des résultats des analyses physico-chimique du Yaourt .....	44
<b>Tableau 11:</b> Résultats des analyses microbiologiques des germes contaminants effectuées sur le produit fini des 10 jours (température de conservation : 4 °C). ....	46

## Liste des figures

<b>Figure 1:</b> Diagramme de fabrication du yaourt .....	9
<b>Figure 2:</b> Streptococcus thermophilus.....	12
<b>Figure 3:</b> Lactobacillus delbrueckii subsp. Bulgaricus . .....	13
<b>Figure 4:</b> Principaux effets bénéfiques attribués aux probiotiques . .....	16
<b>Figure 7:</b> Laiterie Numidia.....	24
<b>Figure 8:</b> Tanks de stockage .....	25
<b>Figure 9:</b> Ecrémeuse « Tetra Pak » .....	26
<b>Figure 10:</b> Equipement de pasteurisation « Frau Impianti ».....	28
<b>Figure 11:</b> Sachet des ferments.....	30
<b>Figure 12:</b> Réchauffeur. ....	30
<b>Figure 13:</b> Conditionneuse « ERCA » . .....	30
<b>Figure 14:</b> Produit finis . .....	31
<b>Figure 15:</b> Diagramme de fabrication du yaourt Numidia- Constantine, 2025.....	32
<b>Figure 16:</b> Etapes d'analyse du lait cru. ....	33
<b>Figure 17:</b> Analyses physico-chimiques du lait. cru. ....	33
<b>Figure 18:</b> Etapes du dosage de la matière grasse (Gerber). ....	34
<b>Figure 19:</b> Etapes de détermination de l'humidité (Extrait sec).....	34
<b>Figure 20:</b> Etapes de détermination du pH.....	35
<b>Figure 21:</b> Etapes de détermination de l'acidité titrable. ....	35
<b>Figure 22:</b> Etapes d'indentification des entérobactéries. ....	36
<b>Figure 23:</b> Etapes d'indentification de Listeria. ....	36
<b>Figure 24:</b> Etapes d'indentification des salmonelles.....	37
<b>Figure 25:</b> Etapes d'indentification de <i>Staphylococcus aureus</i> . ....	38
<b>Figure 26:</b> Courbe de diminution du pH pendant le temps.....	45
<b>Figure 27:</b> Résultats du questionnaire organoleptique du yaourt Numidia, Constantine.....	48



***Introduction***

Depuis les débuts de l'humanité, la fermentation représente l'une des méthodes les plus anciennes et les plus efficaces de transformation et de conservation des denrées alimentaires. Cette biotechnologie naturelle repose sur l'activité métabolique de micro-organismes, en particulier les bactéries lactiques, capables de convertir des substrats organiques en composés plus stables, plus sûrs et souvent plus digestes. À l'ère actuelle, marquée par une forte demande en produits sains, naturels et fonctionnels, les aliments fermentés suscitent un regain d'intérêt, tant pour leurs qualités organoleptiques que pour leurs effets bénéfiques sur la santé (**Marco et al., 2021**).

Parmi ces aliments, Le yaourt, produit laitier fermenté largement consommé à l'échelle mondiale, se distingue par sa valeur nutritionnelle et ses bienfaits pour la santé digestive. Sa fabrication repose sur l'action synergique de deux bactéries thermophiles, *Streptococcus thermophilus* et *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus*, qui assurent la fermentation lactique à des températures élevées (42–45 °C). Ce processus confère au yaourt ses propriétés organoleptiques, son acidité et sa stabilité microbiologique (**Zhang et al., 2021**).

Au-delà leur rôle technologique dans la fermentation, les bactéries thermophiles utilisées dans la fabrication du yaourt participent activement à son enrichissement nutritionnel. Elles produisent des composés bioactifs tels que des peptides antimicrobiens, des vitamines hydrosolubles (notamment du groupe B) et des exopolysaccharides à effet prébiotique. Ces micro-organismes contribuent également à l'amélioration de la digestion du lactose, à l'équilibre du microbiote intestinal et au renforcement de l'immunité, en particulier chez les individus sensibles (**Zotta et al., 2017 ; EFSA, 2022**).

Ce mémoire a pour objectif de valoriser le rôle des bactéries thermophiles dans la transformation du lait en yaourt, en mettant l'accent sur leurs effets organoleptiques, nutritionnels et microbiologiques. L'étude s'appuie sur le procédé de fabrication appliqué à la laiterie Numidia, Constantine pour illustrer leur contribution à la production de yaourts de qualité, répondant aux exigences sanitaires.

Ce mémoire est organisé en trois parties principales :

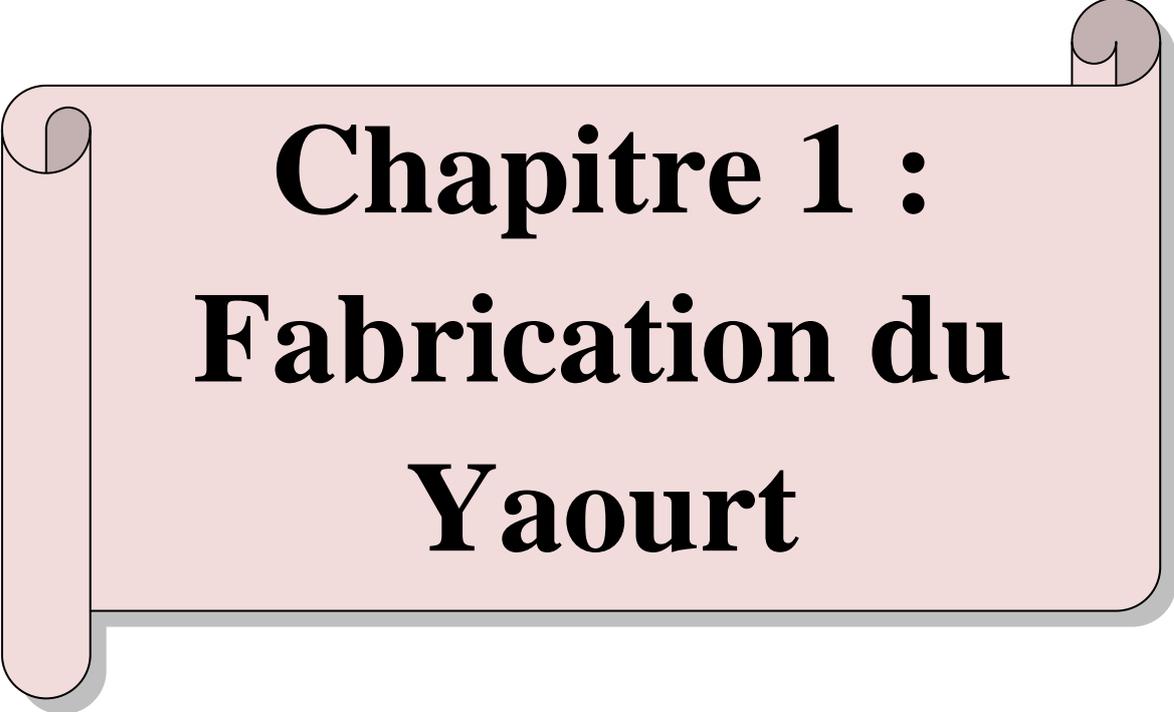
- Une étude bibliographique présentant d'abord les étapes de fabrication du yaourt, suivie d'un chapitre consacré aux bactéries thermophiles et à leurs caractéristiques.

- Une partie expérimentale décrit les techniques expérimentales mises en œuvre, incluant le procédé de fabrication du yaourt, ainsi que les analyses physico-chimiques et microbiologiques effectuées.

- Une dernière partie analyse les résultats obtenus, portant sur l'impact des bactéries thermophiles sur la qualité du yaourt, en termes de propriétés microbiologiques, organoleptiques et nutritionnelles, ainsi que sur le déroulement de la fermentation à la laiterie Numidia, Constantine.



*Partie  
bibliographique*



**Chapitre 1 :**  
**Fabrication du**  
**Yaourt**

### 1. Historique

Le yaourt est un produit laitier fermenté dont les origines remontent à l'Antiquité, particulièrement dans les régions des Balkans et du Moyen-Orient où il était traditionnellement consommé. Son introduction en Europe occidentale date du XVI<sup>e</sup> siècle, bien que sa production soit demeurée artisanale pendant plusieurs siècles, assurée principalement par des crémeries locales. Ce n'est qu'à partir du milieu du XX<sup>e</sup> siècle que le yaourt a connu une industrialisation à grande échelle, rendue possible par les progrès technologiques dans les procédés de fermentation et de conservation, ainsi que par la sélection rigoureuse de souches bactériennes, notamment thermophiles, impliquées dans sa fabrication (Popovic et al., 2019; Raveschot et al., 2020). De nos jours, le yaourt est considéré comme un aliment fonctionnel, riche en éléments nutritifs et en probiotiques, jouant un rôle bénéfique dans le maintien de l'équilibre du microbiote intestinal et dans la promotion de la santé humaine (Hill et al., 2014).

### 2. Définition

Selon la définition conjointe actualisée de l'Organisation mondiale de la santé (OMS) et de l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO), le yaourt est un produit laitier fermenté obtenu exclusivement par l'action de deux bactéries spécifiques : *Streptococcus thermophilus* et *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus*, sans incorporation d'autres micro-organismes (FAO/WHO, 2002; Tamime & Robinson, 2021). Ces deux espèces exercent une action synergique : *S. thermophilus* amorce la fermentation en abaissant le pH du milieu, créant des conditions propices à la prolifération de *L. bulgaricus*, lequel intensifie l'acidification et génère des composés aromatiques clés responsables de la texture et de l'arôme caractéristiques du yaourt (Zhong et al., 2020).

Conformément aux exigences du Codex Alimentarius et à la norme française AFNOR, le yaourt doit contenir exclusivement ces deux bactéries thermophiles vivantes, à une concentration minimale de  $10^7$  unités formant colonie par gramme (UFC/g) dans le produit fini. Ce seuil garantit à la fois la viabilité microbiologique, la qualité hygiénique et l'efficacité probiotique du produit (AFNOR, 2020; Codex Alimentarius, 2023).

### 3. Différents types de yaourt

Les différents types sont classés en fonction de :

#### 3.1. La technologie de fabrication

Selon **Romain et al. (2008)**, on distingue principalement deux types de yaourts :

- **Les yaourts fermes** : dont la fermentation s'effectue directement en pots. Ils sont généralement proposés en version nature ou aromatisée.
- **Les yaourts brassés** : fermentés en cuve avant leur conditionnement. Ils se présentent le plus souvent sous forme nature ou aux fruits.

#### 3.2. La teneur en matière grasse

Selon la **FAO/WHO (2000)**, les yaourts peuvent être classés en trois catégories selon leur teneur en matières grasses :

- **Yaourt entier** : élaboré à partir de lait entier, il contient au minimum 3 % de matière grasse.
- **Yaourt partiellement écrémé** : fabriqué à partir de lait partiellement écrémé, il contient moins de 3 % de matière grasse.
- **Yaourt écrémé (ou maigre)** : ce type de yaourt ne dépasse pas 0,5 % de matière grasse.

### 4. Composition du yaourt

Au cours du processus de fermentation, la composition du lait est profondément modifiée. Ces transformations biochimiques contribuent à améliorer la valeur nutritionnelle du produit final, le rendant souvent plus bénéfique que le lait initial (Tableau 1).

**Tableau 1:Composition nutritionnelle pour 100g de yaourt (CIQUAL, 2020)**

Désignation produits	Composition nutritionnelle pour 100g					
Yaourt et lait fermenté	Energie (Kcal/100 g)	Protéines (g/100g)	Matière grasses (g/100g)	Glucides (g/100g)	Calcium (mg/100g)	Vitamine B2 (mg/100g)
Yaourt ou spécialité laitière nature (aliment moyen)	56.8	3.88	2.3	4.73	127	0.23
Yaourt, lait fermenté ou spécialité lactière, nature	45.8	3.96	1.5	2.65	128	0.26
Yaourt, lait ou spécialité laitière, nature, 0% MG	39.8	4.82	0.064	4.1	129	0.24
Yaourt ou spécialité laitière, aromatisé aux fruits	93.3	3.2	2.89	12.8	109	0.23
Yaourt ou spécialité laitière, aromatisé ou aux fruits, 0% MG (aliment moyen)	45.8	4.29	0.13	4.92	129	0.26
Yaourt, lait fermenté ou spécialité, aromatisé, sucré	89.3	3.42	2.6	12.2	120	0.22

## 5. Technologie de fabrication

### 5.1. Processus de fabrication

La production des yaourts et laits fermentés suit trois étapes clés : préparation du lait, fermentation et traitements post-fermentaires, chacune étant rigoureusement contrôlée pour garantir la qualité sanitaire, organoleptique et nutritionnelle du produit final (Tamime & Robinson, 2021). Le schéma général de production est illustré dans la figure 1.

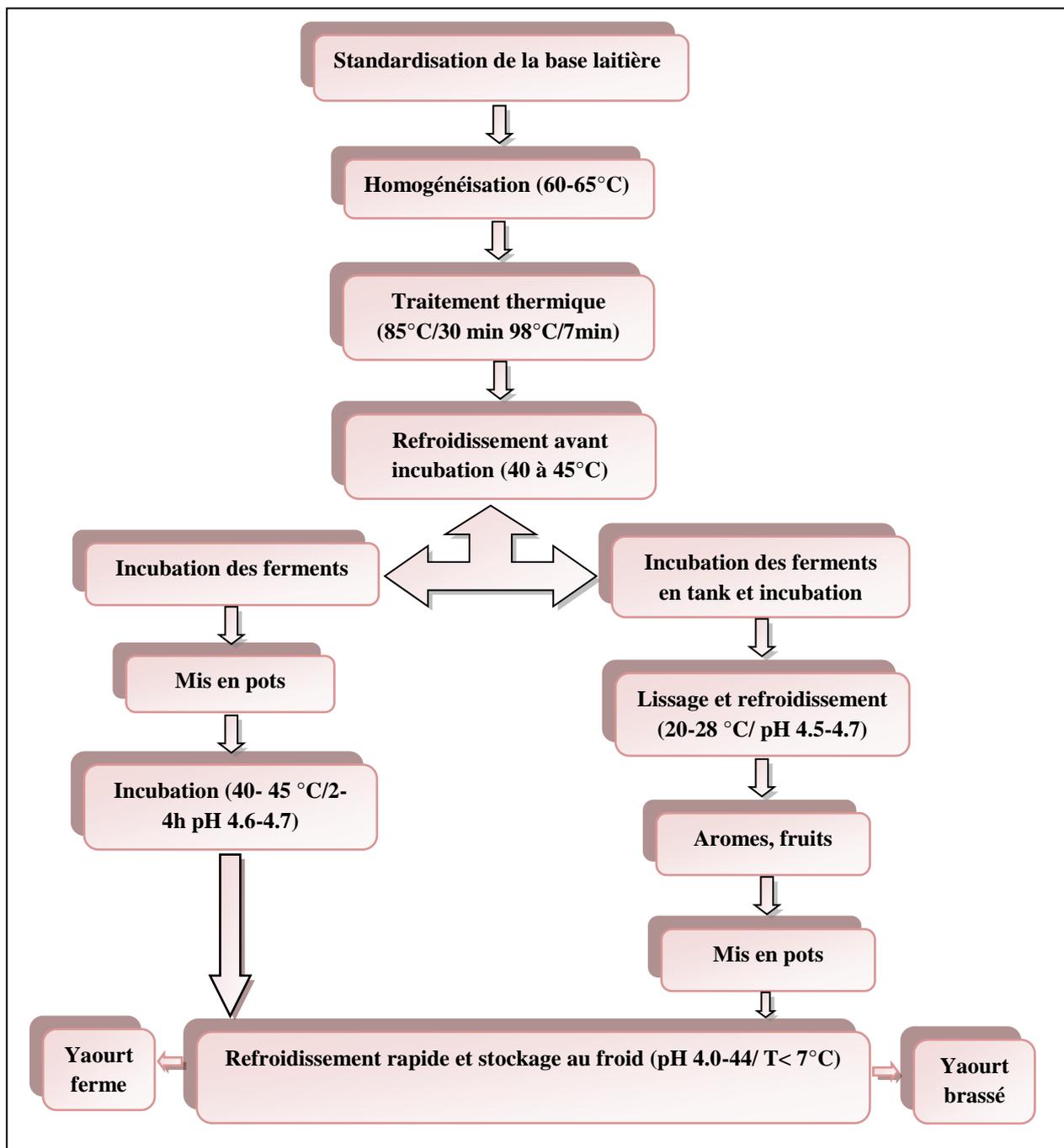


Figure 1 : Diagramme de fabrication du yaourt (Lucey, 2004).

### 5.2. Caractéristiques du yaourt

Les caractéristiques principales du yaourt sont :

#### 5.2.1. Paramètre physico-chimique

Les paramètres physico-chimiques permettent d'évaluer la qualité, la stabilité et la conformité du yaourt, en lien avec l'action des ferments thermophiles et les normes réglementaires (Tableau 2), sont :

- **Viscosité** : Indicateur de la résistance à l'écoulement, elle varie selon les propriétés physico-chimiques du yaourt et se mesure avec des instruments spécialisés (**Pacikora, 2004; Scher, 2003**).

- **pH** : Un pH entre 4,2 et 4,8 favorise la formation d'un gel structuré par précipitation des micelles de caséine, tout en réduisant la synérèse (**Debon et al., 2010**).

- **Température** : Un chauffage intense dénature les protéines sériques, améliorant la texture, la rétention d'eau et la sécurité microbiologique du yaourt (**Soudini & Béal, 2008**).

- **Extrait sec total (EST)** : Composé des éléments nutritifs du lait, un EST faible favorise la synérèse, corrigée par l'ajout de poudre de lait ou de concentrés protéiques (**Amiot et al., 2002; Lamontagne, 2002**)

- **Matière grasse (MG)** : Constituée de globules riches en triglycérides, phospholipides, cholestérol et  $\beta$ -carotène, la MG varie selon la nature du lait (**Amiot et al., 2002; Boutonnier, 2008**).

**Tableau 2:** Normes physico-chimiques du Yaourt selon **JORA, 2017**.

Paramètres	T (°C)	D°	MG (g/l)	EST (g/l)	PH
Normes	43 à 45	85 à 100	4	20 à 22	4 à 4,6

### 5.2.2. Paramètre microbiologique

Cependant, des contaminations secondaires peuvent survenir au cours des étapes post-fermentaires, en particulier lors du conditionnement et du stockage, si les protocoles d'hygiène ne sont pas rigoureusement appliqués. Ces contaminations sont généralement attribuées à une exposition à l'air ambiant, à l'utilisation de matériels insuffisamment désinfectés ou à une rupture de la chaîne du froid. Les principaux micro-organismes impliqués sont des levures, notamment *Candida* spp. et *Kluyveromyces* spp., ainsi que des moisissures telles que *Penicillium* spp. Et *Mucor* spp (tableau 3). Ces agents altèrent les propriétés sensorielles du produit (texture, arôme et goût), compromettant ainsi sa qualité organoleptique et sa stabilité microbiologique (Irlinger & Mounier, 2009; Pogačić et al., 2019).

**Tableau 3** : Normes physico-chimiques du Yaourt selon JORA, 2017.

Microorganismes	Normes
Coliformes totaux	10 germes/g
Coliformes fécaux	1 germe/ g
Salmonelles	Abs/25g
<i>Staphylococcus aureus</i>	10 germes/g
Levures	100 germes/g
Moisissures	Abs/g

## 6. Profil microbiologique du yaourt

Le profil microbiologique du yaourt, incluant les ferments lactiques et d'éventuels contaminants, est un indicateur clé de sa qualité sanitaire, sensorielle et de son efficacité probiotique (Lourens-Hattingh & Viljoen, 2001; Tamime & Robinson, 2021).

### 6.1. Bactéries lactiques fermentaires

Selon la norme Codex Alimentarius (2003/2018), un yaourt également désigné comme lait fermenté par cultures spécifiques, doit être obtenu par la fermentation du lait à l'aide de deux bactéries obligatoires et spécifiques :

### 6.1.1. *Streptococcus thermophilus*

*Streptococcus thermophilus* est une bactérie lactique homofermentaire à Gram positif, de forme cocci, généralement observée en paires ou en chaînes courtes (figure 2). Anaérobie facultative et non mobile, cette espèce est fréquemment isolée du lait cru et des produits laitiers fermentés. Elle se caractérise par une relative thermorésistance, tolérant des températures de 60 °C durant 30 minutes, ce qui la rend adaptée aux procédés thermiques modérés, notamment dans la production de yaourt. Sa croissance optimale se situe entre 40 et 45 °C, avec une tolérance allant de 35 à 50 °C. Ces propriétés justifient son utilisation en synergie avec *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* dans les cultures starters thermophiles. Toutefois, *S. thermophilus* demeure sensible à certains agents antimicrobiens comme le bleu de méthylène (0,1 %) et à divers antibiotiques à large spectre (Yao et al., 2020; Zotta et al., 2017).



Figure 2 : *Streptococcus thermophilus* (Corrieu et Luquet, 2008).

### 6.1.2. *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *Bulgaricus*

*Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* est un bacille à Gram positif, non sporulé, non mobile et microaérophile, observé sous forme de bâtonnets isolés ou en chaînes (figure3). Thermophile et strictement homofermentaire, il convertit exclusivement les hexoses en acide lactique, sans utilisation des pentoses. Sa croissance dépend de la présence de nutriments spécifiques, notamment les ions calcium et magnésium, essentiels à l'activité enzymatique. Sa température optimale se situe autour de 42 °C, avec une plage de croissance allant de 37 à 47 °C. Utilisé dans la fabrication du yaourt, il agit en synergie avec *Streptococcus thermophilus*, favorisant une acidification rapide et une croissance mutuelle (Le Boucher et al., 2015; Marié et al., 2020; Tamang et al., 2022).



**Figure 3 :** *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *Bulgaricus* (Durso et Huktins, 2003)

### 6.2. Probiotiques fonctionnels du yaourt

En dehors des bactéries thermophiles, largement reconnues pour leur rôle dans les processus de fermentation lactée, d'autres micro-organismes à potentiel probiotique suscitent un intérêt croissant en raison de leurs effets bénéfiques démontrés sur la santé humaine (figure 4)(Hill et *al.*,2014; Ouwehand et *al.*, 2002).

#### 6.2.1. Bactéries lactiques

Les bactéries Gram-positives jouent un rôle clé depuis longtemps dans la fermentation alimentaire, contribuant au développement du goût, de la texture et à la conservation de nombreux produits tels que les produits laitiers, les légumes fermentés ou les charcuteries (Chapot-Chartier & Kulakauskas, 2014).

##### 6.2.1.1. Lactobacilles

- Les lactobacilles sont des bactéries Gram-positives, pléomorphes, anaérobies facultatives, non sporulées et généralement immobiles (à l'exception de *Lactobacillus agilis*), présentant des formes allongées variables. Elles métabolisent le lactose en acide lactique sans utiliser de chaîne respiratoire, sont dépourvues de catalase, sensibles à l'oxygène, et leur croissance est lente et influencée par divers facteurs (Charlotte, 2017)

- Les souches probiotiques les plus couramment utilisées sont *Lactobacillus rhamnosus* GG, *Lactobacillus johnsonii* La1 et *Lactobacillus casei* Shirota (Niarquin, 2022).

##### 6.2.1.2. Bifidobactéries

Les Bifidobactéries sont des bacilles Gram-positifs, non sporulés, strictement anaérobies et hétérofermentaire, souvent en forme de Y. Elles produisent principalement de l'acide lactique et acétique, et bien qu'elles partagent des caractéristiques avec les bactéries

lactiques, elles appartiennent au phylum des Actinobactéries en raison de leur teneur élevée en G+C. Présentes naturellement dans la flore intestinale, elles dominent particulièrement chez le nourrisson (Belhamra, 2017).

### 6.2.1.3. Coques

Les bactéries lactiques des genres *Streptococcus*, *Enterococcus*, *Lactococcus*, *Pediococcus* et *Leuconostoc* présentent généralement une forme sphérique ou ovoïde et se disposent en paires, chaînes courtes ou tétraèdres. Parmi elles, seules certaines souches de *Streptococcus*, *Enterococcus* et parfois *Lactococcus* sont utilisées comme probiotiques (Piquebaille, 2013).

### 6.2.1.4. Levures

*Saccharomyces cerevisiae* et *S. boulardii*, traditionnellement utilisées en fermentation, sont aujourd'hui reconnues pour leurs propriétés probiotiques. *S. boulardii* est la seule levure probiotique dont l'efficacité a été prouvée cliniquement, notamment dans la prévention et le traitement des diarrhées liées aux antibiotiques. Résistante au transit intestinal et active à 37 °C, elle se distingue des probiotiques bactériens par sa nature eucaryote (Czerucka et al., 2007; Czerucka & Rampal, 2019).

## 6.3. Contaminants microbiens indésirables

Malgré la fermentation, certains micro-organismes indésirables peuvent apparaître par mauvaise hygiène ou conservation inadaptée :

### 6.3.1. La flore aérobie mésophile

La flore aérobie mésophile, active entre 20 °C et 45 °C en présence d'oxygène, est un indicateur clé de l'hygiène des aliments. Son dénombrement permet d'évaluer la qualité microbiologique, bien qu'il puisse être influencé par des bactéries psychrotrophes dans les produits réfrigérés. Elle reste néanmoins une méthode fiable et largement utilisée dans les normes de sécurité alimentaire (Elshagabee et al., 2017; Cutting, 2019 ; Hong et al., 2021).

### 6.3.2. Les coliformes totaux et fécaux

Selon la norme ISO (2006), les coliformes sont des bacilles Gram négatif, non sporulés, anaérobies facultatifs et oxydase négative, capables de fermenter le lactose avec production d'acide et de gaz en 24 à 48 heures à 37 °C. Membre de la famille des *Enterobacteriaceae*, ce

groupe est utilisé comme indicateur d'hygiène dans les aliments, l'eau et les surfaces. Les coliformes thermotolérants (ou fécaux), fermentant le lactose à  $44 \pm 0,5$  °C, indiquent spécifiquement une contamination fécale d'origine humaine ou animale. Leur présence signale une contamination récente et potentiellement la présence d'agents pathogènes entériques (Bain *et al.*, 2015; Leclerc *et al.*, 2001; WHO, 2022).

### 6.3.3. *Escherichia. Coli*

*Escherichia coli*, appartenant à la famille des *Enterobacteriaceae*, est un bacille court, mobile grâce à des flagelles péritriches, Gram négatif, anaérobie facultatif, non sporulé et oxydase négative. Sa croissance s'observe entre 32 °C et 44 °C (Farougou *et al.*, 2013).

### 6.3.4. *Salmonella*

*Salmonella* spp. sont des bacilles pathogènes à Gram négatif, mésophiles, capables de survivre dans divers environnements. Présentes surtout dans les aliments d'origine animale, elles représentent un risque sanitaire majeur, d'où l'importance de leur surveillance stricte dans les chaînes alimentaires (Marder *et al.*, 2018 ; EFSA, 2023).

### 6.3.5. *Staphylococcus aureus*

*Staphylococcus aureus*, bactérie de la famille des *Micrococcaceae*, est un cocci Gram positif, souvent groupé en grappes, non sporulé, coagulase positive. Son nom provient de l'aspect doré de ses colonies (« *staphylo* » : grappe, « *kokkus* » : baie, « *aureus* » : doré). Anaérobie facultative à métabolisme préférentiellement aérobie, elle est mésophile et se développe à 37 °C. Cette bactérie est également halophile et xérophile, capable de croître en présence de sel, de sucre et dans des milieux déshydratés (Bailly *et al.*, 2012).

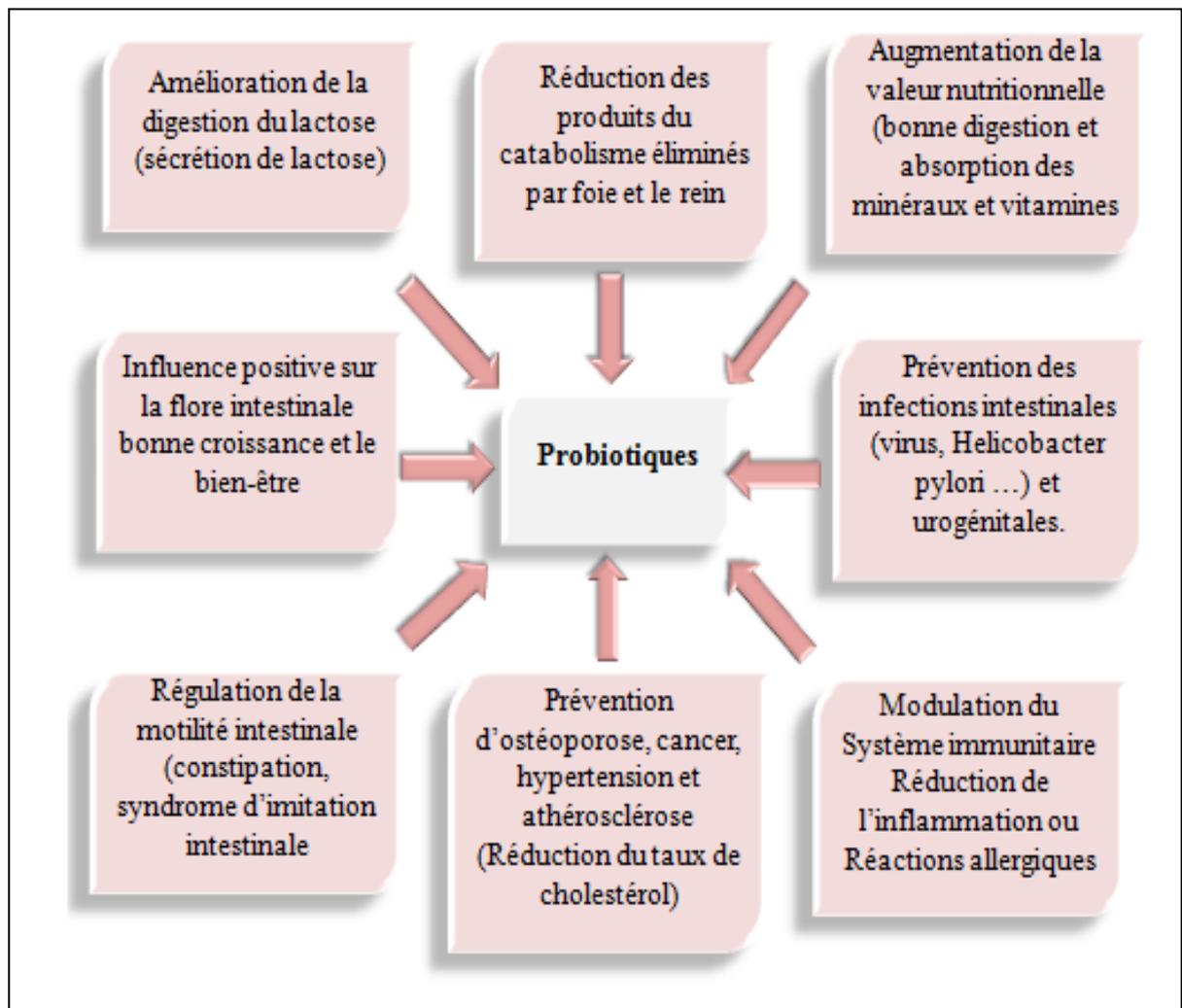
### 6.3.6. *Clostridium sulfito-réducteurs*

Les *Clostridium* sont des bacilles Gram positif, anaérobies stricts et sporulés, couramment présents dans les sols, les eaux usées et les matières fécales. Leur capacité de sporulation leur permet de résister à des conditions extrêmes. En microbiologie alimentaire, leur présence dans les produits laitiers peut signaler une contamination ancienne ou un défaut d'hygiène. Certaines espèces pathogènes, comme *C. perfringens*, *C. botulinum* ou *C. difficile*, sont à l'origine de toxi-infections graves. Leur surveillance constitue une étape critique dans les démarches HACCP de sécurité sanitaire (Pérez-Losada *et al.*, 2018 ; Kalmar *et al.*, 2021; EFSA, 2023).

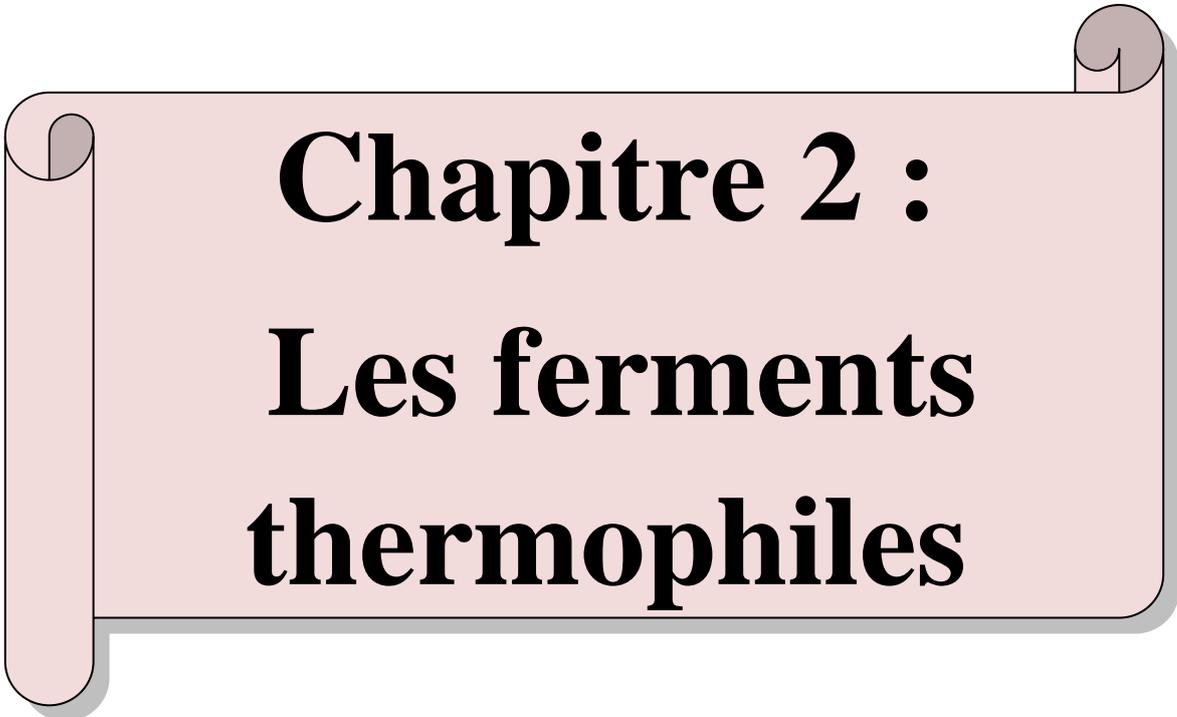
### 6.3.7. Les levures et moisissures

• **Les levures** : micro-organismes capables de produire de l'éthanol et du dioxyde de carbone, elles participent à la formation des arômes. Toutefois, leur présence à la surface des yaourts est un signe de contamination altérant l'aspect et le goût du produit (**Romain et al., 2015**).

• **Les moisissures** : Les champignons filamenteux, comme *Penicillium*, *Aspergillus* ou *Mucor*, se développent dans des environnements humides et acides. Présents dans les laiteries, ils peuvent altérer les produits ou, au contraire, contribuer à la maturation de certains fromages. Leur surveillance est essentielle en milieu laitier (**Schenk et al., 2018; Samson et al., 2020 ; Wouters et al., 2023**).



**Figure 4:** Principaux effets bénéfiques attribués aux probiotiques (**Mercenier et al., 2003**)



**Chapitre 2 :**  
**Les ferments**  
**thermophiles**

### 1. Définition des thermophiles

Le terme « thermophile » provient du grec ancien, combinant *thermotita* « chaleur » et *philia* « affinité », et désigne les micro-organismes ayant une préférence marquée pour les environnements chauds (Mehta & Satyanarayana, 2013).

Ces organismes, appartenant à la catégorie des extrêmophiles, se caractérisent par leur capacité à croître de manière optimale à des températures élevées (Kambourova *et al.*, 2016).

La définition des thermophiles a évolué au fil du temps. Thomas Brock, pionnier dans ce domaine, les décrit comme des organismes dont la température de croissance optimale dépasse 60 °C (Alain *et al.*, 2010). Karl Stetter, quant à lui, adopte une approche plus large, fixant le seuil de reproduction à 45 °C, et distingue plusieurs sous-groupes : thermophiles modérés (55–65 °C), extrêmes (65–80 °C), hyperthermophiles (>80 °C) et hyperthermophiles extrêmes ( $\geq 105$  °C) (Righi & Chaa, 2022). Les micro-organismes thermophiles peuvent être Gram positifs ou négatifs, aérobies ou anaérobies, et certains sont sporulants. Leur grande diversité et leurs propriétés remarquables, notamment la production d'enzymes thermostables, suscitent un intérêt croissant dans les domaines industriels, pharmaceutiques et biotechnologiques (Panda *et al.*, 2013; Yoneda *et al.*, 2013 ; Aanniz *et al.*, 2015).

### 2. Classification des bactéries thermophiles

Les thermophiles peuvent être classés, d'une part, selon leur température optimale de croissance, et d'autre part, en fonction de leur classification taxonomique, fondée sur des critères morphologiques, biochimiques et génétiques (Stetter, 2006).

#### 2.1. Selon la température

La température est un facteur écologique essentiel qui influence la répartition et l'activité des organismes vivants, notamment les micro-organismes. En microbiologie, les bactéries sont classées selon leur température optimale de croissance, un critère fondamental permettant de distinguer plusieurs groupes : les psychrophiles ( $\approx 4$ °C), les mésophiles ( $\approx 39$ °C), les thermophiles ( $\approx 60$ °C), les hyperthermophiles ( $\approx 88$ °C) et les extrêmophiles (jusqu'à 106°C). Cette classification illustre leur remarquable capacité d'adaptation à une

grande diversité de conditions thermiques, allant des environnements froids aux plus extrêmes (Madigan & Martinko, 2007 ; Boulefkhad & Talhi, 2018).

### 2.2. Classification taxonomique

La classification de *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus*, *Streptococcus salivarius* subsp. *thermophilus* est présentée dans le tableau 4.

**Tableau 4 :** Classification des bactéries lactiques du yaourt

<i>Lactobacillus delbrueckii</i> subsp. <i>Bulgaricus</i> (Zheng et al., 2020)	<i>Streptococcus salivarius</i> subsp. <i>Thermophilus</i> (Vos et al., 2011).
<b>Domaine:</b> Bacteria	<b>Domaine :</b> Bacteria
<b>Phylum:</b> Firmicutes	<b>Phylum :</b> Firmicutes
<b>Classe :</b> Bacilli	<b>Classe:</b> Bacilli
<b>Ordre:</b> Lactobacillales	<b>Ordre:</b> Lactobacillales
<b>Famille:</b> Lactobacillaceae	<b>Famille:</b> Streptococcaceae
<b>Genre:</b> Lacticaseibacillus	<b>Genre:</b> Streptococcus
<b>Espèce:</b> <i>Lactobacillus delbrueckii</i>	<b>Espèce:</b> <i>Streptococcus thermophilus</i>
<b>Sous-espèce:</b> <i>Lactobacillus delbrueckii</i> subsp. <i>bulgaricus</i>	<b>Sous-espèce:</b> <i>Streptococcus salivarius</i> subsp. <i>thermophilus</i>

### 3. Rôle des thermophiles dans le yaourt

Dans la fabrication du yaourt, *Streptococcus thermophilus* et *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* fermentent le lactose en acide lactique, ce qui entraîne une baisse du pH et la coagulation de la caséine (tableau 5). Elles participent aussi au développement des arômes (acétaldéhyde, diacétyl) et, pour certaines souches, à l'amélioration de la texture via la production d'exopolysaccharides (Vinderola et al., 2019 ; Dubois-Dauphin et al., 2020; Lollo et al., 2022).

**Tableau 5 :** Aptitudes technologiques des bactéries lactiques du yaourt (Yildiz, 2010).

Intérêts	Rôles
Production d'acide lactique	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Inhibition des micro-organismes indésirables</li> <li>• Coagulation des protéines, entraînant la formation du gel</li> </ul>
Activité protéolytique	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>L. delbrueckii subsp. bulgaricus</i> hydrolyse les caséines en polypeptides grâce à son activité protéasique.</li> <li>• <i>S. thermophilus</i> poursuit cette dégradation en libérant des acides aminés libres via son activité exopeptidasique.</li> </ul>
Activité aromatique	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Production de composés aromatiques tels que l'acétaldéhyde et le diacétyl, responsables du goût délicat et de la saveur typique du yaourt.</li> </ul>
Activité texturant	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Production d'EPS de type filaire, contribuant à l'augmentation de la viscosité, à une texture lisse et crémeuse, ainsi qu'à la réduction de la synérèse.</li> </ul>

#### 4. Synergie des bactéries lactiques

Dans le yaourt, *Streptococcus thermophilus* et *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* coopèrent de manière symbiotique, stimulant leur croissance et la fermentation. Cette interaction favorise l'acidification, l'échange de métabolites et la production d'arômes typiques comme l'acétaldéhyde (Siewerts et al., 2008 ; Lahtinen et al., 2011;Ibarra-Sánchez et al., 2020).Les principales modifications métaboliques sont résumées dans le tableau 6.

## Chapitre 2 : Les ferments thermophiles

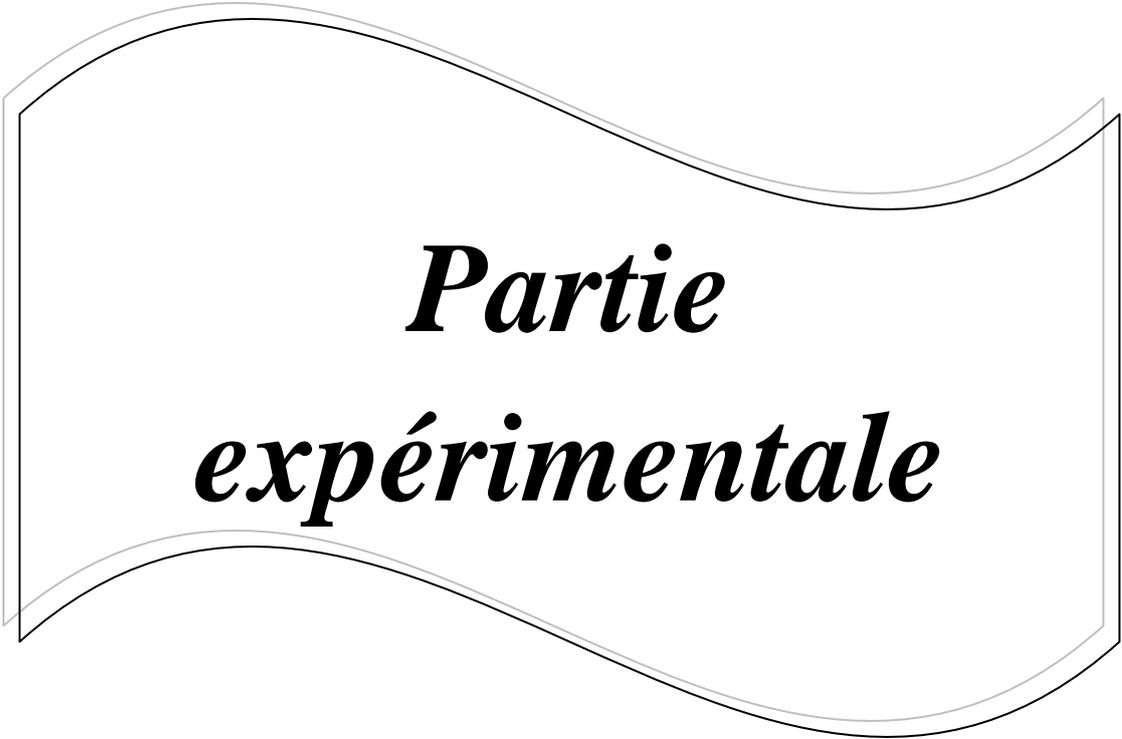
**Tableau 6:** Interactions métaboliques entre *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* et *Streptococcus thermophilus* en culture mixte dans le lait (Corrieu & Luquet, 2008).

	<i>S.thermophilus</i> ↕ <i>L.bulgaricus</i>	<i>S.thermophilus</i> ↑ <i>L.bulgaricus</i>	<i>S.thermophilus</i> ↓ <i>L.bulgaricus</i>		
<b>Mécanisme et Facteur d'interaction</b>	Synthèse d'acide lactique à partir du lactose	Production de peptides et d'acides aminés sous l'action de protéinase PrtB	Production de CO <sub>2</sub> par activité uréase	Acide formique	Acide pyruvique Acide folique
<b>Rôle de l'interaction</b>	Inhibition de la croissance	Activation de la croissance	Synthèse de l'acide aspartique	Synthèse Des bases puriques	Non caractérisé

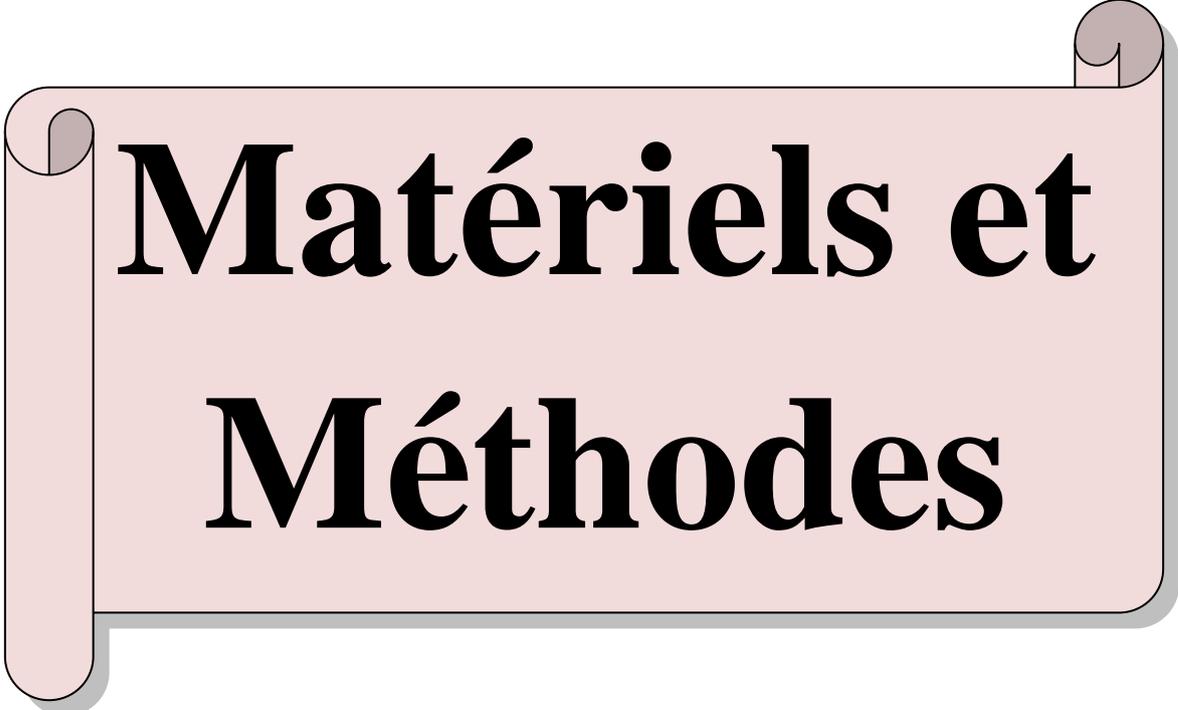
↕: Influence mutuelle entre *S.thermophilus* et *L.bulgaricus*.

↑: *L.bulgaricus* affect sur *S.thermophilus*.

↓ : *S.thermophilus* affect sur *L.bulgaricus*.



*Partie  
expérimentale*



# **Matériels et Méthodes**

Notre étude expérimentale a été réalisée au niveau de la laiterie Numidia à Constantine durant 15 jours (6 avril 2025 jusqu'au 20 avril 2025). Elle vise à étudier le rôle et l'intérêt des bactéries thermophiles dans la fabrication du yaourt, en mettant l'accent sur leur contribution au processus de fermentation lactique et leur impact sur la qualité du produit fini.

### 1. Présentation de la laiterie Numidia (ex l'ONALAIT)

#### 1.1. Situation géographique

La laiterie Numidia est une société située à 4 km au Sud-est de Constantine, au lieu dit-Chaab-Ersas. C'est la deuxième unité de production laitière de l'Est Algérien après celle d'Annaba (figure 5).



**Figure 5 :** Présentation géographique de la laiterie Numidia (Google Maps, 2025).

#### 1.2. Historique

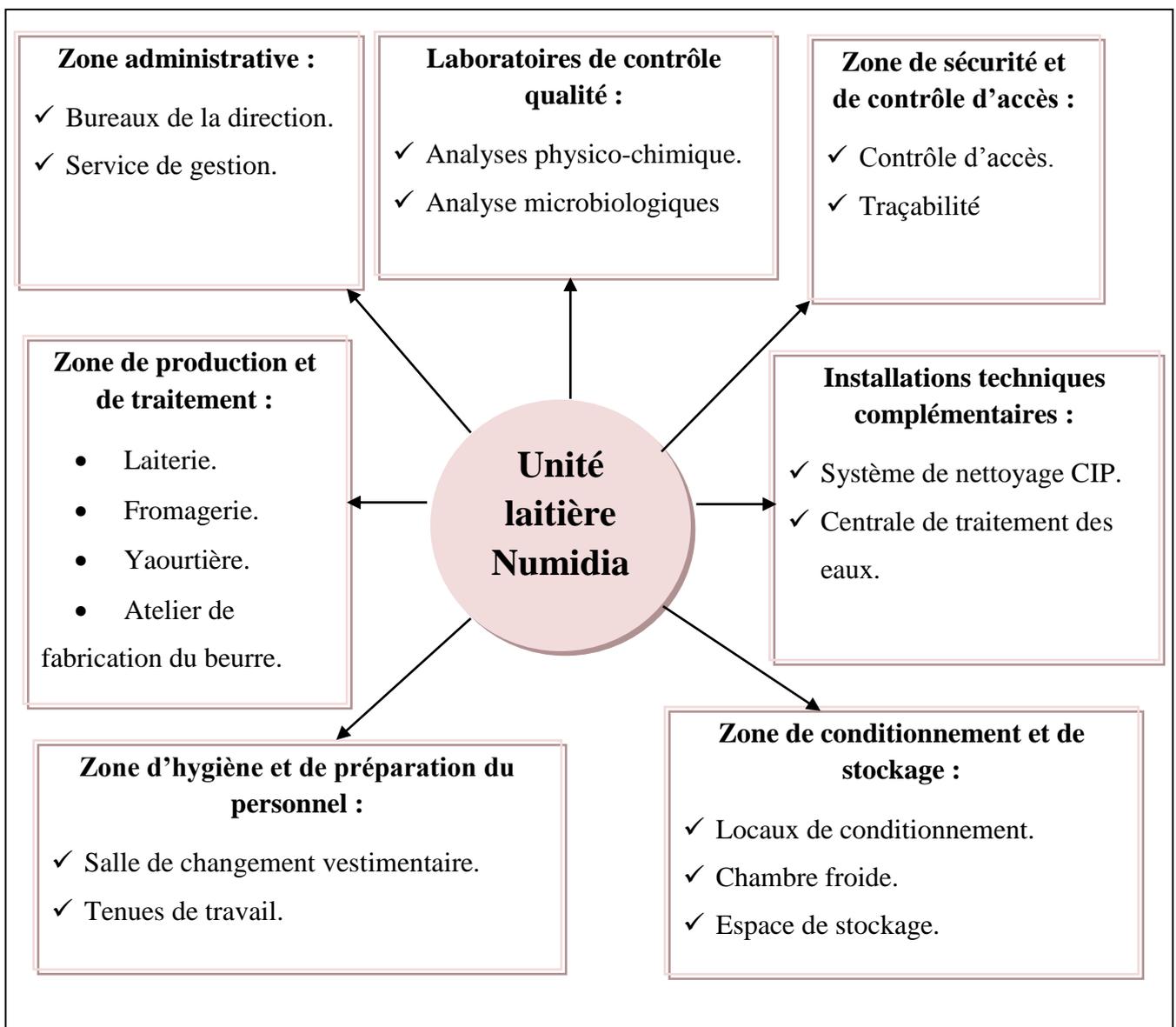
Juste après l'indépendance de l'Algérie, l'unité laitière « NUMIDIA » de Constantine fonctionnait comme une coopérative agricole appelée COLAC (Coopérative Laitière de Constantine). Cette coopérative a ensuite été intégrée à l'Office National du Lait (ONALAIT), créé en 1969 par décret présidentiel dans le cadre d'une politique nationale visant à structurer et moderniser le secteur laitier.

Dans le cadre du programme de développement industriel de l'État algérien, l'unité « NUMIDIA » a été lancée en 1974 comme un investissement stratégique. La production a débuté en mars de la même année, avec une capacité initiale de traitement de 28 200 litres de lait par jour. En janvier 1981, l'ONALAIT a été réorganisé en trois offices régionaux —

Ouest, Centre et Est — pour améliorer la gestion territoriale. L'Office Est, couvrant la région orientale, assure l'approvisionnement en lait et produits dérivés de quatre wilayas : Constantine, Mila, Khenchela et Oum El Bouaghi. Il regroupe plusieurs unités de production clés, dont Idouga (Annaba), El Tell (Sétif), El Aurès (Batna) et NUMIDIA (Constantine), qui jouent un rôle central dans la transformation et la distribution des produits laitiers dans l'Est algérien. Aujourd'hui, environ 70000 litres de lait sont collectés quotidiennement dans différentes fermes (Laiterie Numidia, 2025).

### 1.3. Organisation fonctionnelle de l'unité laitière Numidia – Constantine

Organisation fonctionnelle de l'unité laitière Numidia montré dans la figure 7.



**Figure 6 :** Organisation fonctionnelle de l'unité laitière Numidia – Constantine, 2025.

### 1.4. Les produits de laiterie

Les principaux produits élaborés dans cette industrie comprennent le lait (sous différentes formes telles que le lait pasteurisé, le lait fermenté et le lait de vache), les yaourts (notamment les yaourts fermes, les yaourts étuvés aromatisés et le petit-suisse), les fromages (comme le camembert), ainsi que d'autres dérivés laitiers tels que la crème fraîche et le beurre (Figure 7).



Figure 7:Laiterie Numidia (Photo personnel, 2025).

## 2. Matériels

Le tableau ci-dessous présente l'ensemble des matériaux, équipements et produits utilisés au cours de notre étude.

Tableau 7:Matériels utilisés.

Catégorie	Équipement / Matériel
Ingrédients alimentaires	-Ferments commerciaux, Lait de vache, Sucre, Poudre de lait, arômes.
Réception et traitement du lait	-Citernes isothermiques, Tank de stockage, Écrémeuse, Réchauffeur, Équipement de pasteurisation.
Matériel d'analyse physico-chimique	-Analyseur de lait ultrasonique , Mini Incubator MilkSafe , Eprouvette Gerber , Centrifugeuse , Acide sulfurique ,

	Alcool amylique , Dessiccateur , pH-mètre , Burette graduée, Réactifs Milk safe , Bandelettes , Micropipette , NaOH , Phénolphtaléine.
<b>Matériel d'analyse microbiologique</b>	-Bec bunsen, Boites de Pétri, Milieux de culture ( <b>Annexe1</b> ), Eau peptone, Etuve, bain marie, Anse de Platine, microscope.
<b>Conditionnement</b>	-Conditionneuse.
<b>Matériaux communs du laboratoire</b>	-Réfrigérateur, Tubes à essai, Pipette, Gants, blouses, masques, Flacons stériles, Eau distillée, Eau de Javel, Béchers, Balance électronique.

### 3. Méthodes

#### 3.1. Conditions d'asepsie

Conformément aux normes publiées dans le JORA (2017) (**Annexe 2**) relatif aux Bonnes Pratiques de Fabrication.

, des mesures d'hygiène strictes ont été appliquées afin de prévenir toute contamination microbienne lors des manipulations :

- **Nettoyage des locaux** : Utilisation d'un nettoyeur haute pression (type Karcher) et de détergents pour nettoyer sols et surfaces avant chaque production.

- **Hygiène du personnel** : Port obligatoire de blouse, charlotte, gants, masque, et lavage des mains avec savon antiseptique.

- **Ventilation** : Présence d'aérations au plafond pour assurer le renouvellement de l'air.

#### 3.2. Processus de fabrication du Yaourt au niveau de la laiterie Numidia

Le protocole de fabrication du yaourt à la laiterie Numidia respecte les BPF définies par les normes publiées dans le JORA (2017) (**Annexe 2**), garantissant la qualité et la sécurité du produit final.

### 3.2.1. Le lait collecté

La sélection du lait cru repose sur la qualité de l'alimentation des vaches laitières ainsi que sur leur état sanitaire. Après la collecte quotidienne, effectuée à l'aide de camions isothermes, environ 70 000 litres de lait sont acheminés à la laiterie depuis différentes fermes. À leur arrivée, des contrôles rigoureux sont réalisés, incluant des tests de détection d'antibiotiques et des analyses physico-chimiques et microbiologiques. Seuls les lots conformes aux normes JORA (2017) (**Annexe 2**), de qualité sont retenus pour la fabrication du yaourt.

### 3.2.2. Homogénéisation

Le lait collecté est stocké dans des tanks de stockage afin d'assurer son homogénéisation à une température de 50-55°C (Figure 8), ce qui permet également d'inhiber les agents pathogènes (**JORA ,2017**).



**Figure8 : Tanks** de stockage (Photo personnel, 2025).

### 3.2.3. Écrémage et Standardisation

Le lait est d'abord écrémé à l'aide d'une centrifugeuse « Tetra Pak » (Figure 9), séparant le lait écrémé (0 % de matière grasse) de la crème (35 à 40 % de matières grasses). Le lait écrémé est ensuite mélangé avec du lait cru selon une formulation précise, puis enrichi en matière sèche par ajout de poudre de lait pour améliorer texture et valeur nutritionnelle. Le mélange est agité en continu pour garantir son homogénéité, puis soumis à des analyses physico-chimiques afin de vérifier sa conformité aux normes de production (**JORA, 2017**).



**Figure9:**Ecrémeuse « Tetra Pak » (Photo personnel ,2025).

### 3.2.4. Pasteurisation

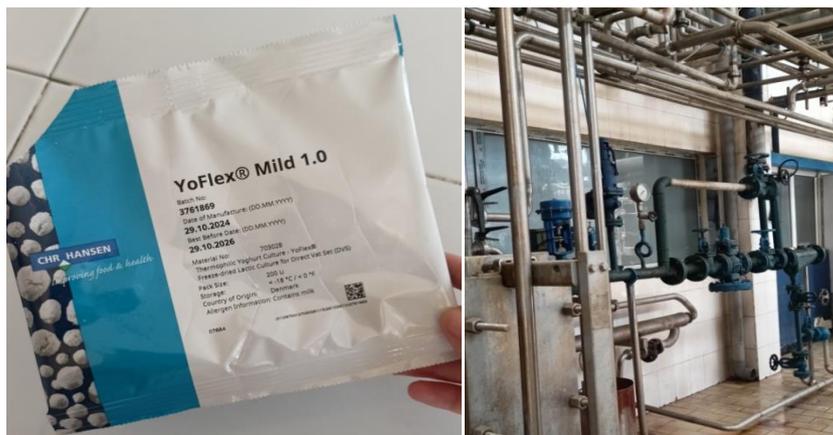
La pasteurisation consiste à chauffer le lait entre 85 et 90 °C pour éliminer les germes pathogènes (Figure 10), puis à le refroidir rapidement entre 5 et 10 °C afin de prolonger sa conservation et limiter le développement microbien. Des analyses microbiologiques sont ensuite réalisées pour vérifier l'efficacité du traitement et assurer la sécurité du produit (JORA, 2017).



**Figure 10 :** Equipement de pasteurisation « Frau Impianti » (Photo personnel, 2025).

### 3.2.5. Tank Pré-conditionné

Le lait estensemencé avec des ferments lactiques thermophiles (*Lactobacillus bulgaricus* et *Streptococcus thermophilus*) sous agitation douce pendant 15 à 20 minutes pour assurer une répartition homogène (Figure 11). Il est ensuite incubé à 40–45 °C, température idéale pour le développement des ferments et de l'acidité, puis transféré par un réchauffeur (Figure 12) (JORA, 2017).



**Figure 11 :** Sachet des ferments

**Figure 12 :** Réchauffeur (Photo personnel, 2025).

(Photo personnel, 2025).

### 3.2.6. Conditionnement et stockage

À cette étape, une conditionneuse est utilisée pour former les pots et les décorer (Figure 13) en fonction du type de produit (JORA, 2017).



**Figure 13 :** Conditionneuse « ERCA » (Photo personnel, 2025).

Parallèlement, on prépare les arômes (banane, pêche, abricot, citron, fruits rouges, vanille, fraise) par égouttage (JORA, 2017).

Une fois les arômes ajoutés, le yaourt est dosé dans les pots, puis fermé hermétiquement par un opercule. Chaque pot est étiqueté avec une date de péremption pour assurer traçabilité et conservation. Après maturation, le yaourt atteint ses qualités optimales et est prêt à être commercialisé (JORA, 2017).

### 3.2.7. Produits finis

Après le conditionnement, les pots de yaourt sont placés en chambre chaude (42 à 45 °C) pendant 4 à 5 heures pour la fermentation, puis transférés en chambre froide (2 à 6 °C) pour stopper ce processus et stabiliser le produit (Figure 14). Une fois la maturation terminée, le yaourt atteint ses qualités optimales et est prêt à être commercialisé (JORA, 2017).



Figure 14 : Produit finis (Photo personnel).

La figure 15 représente un diagramme réduplicatif à la fabrication du yaourt Numidia

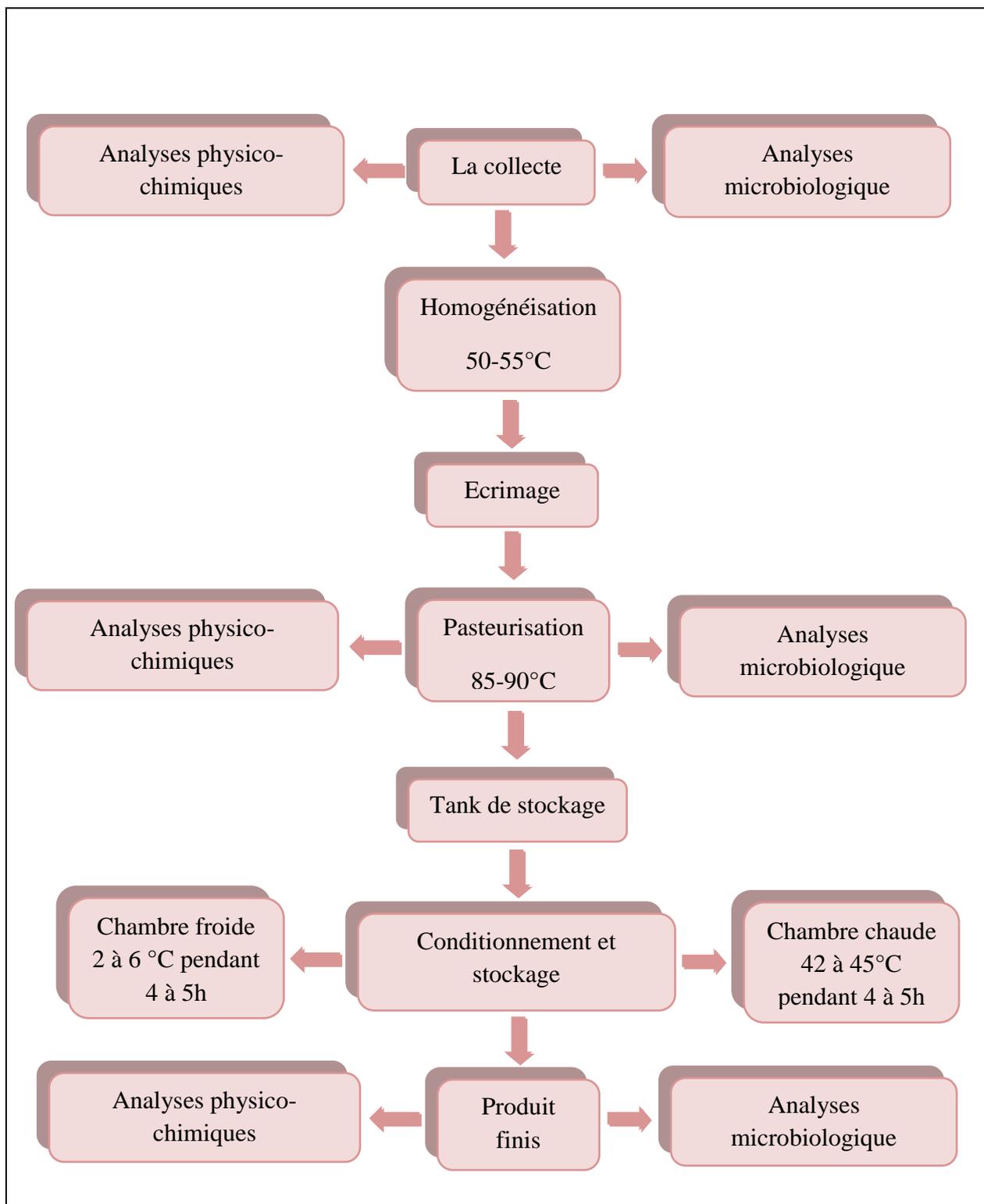
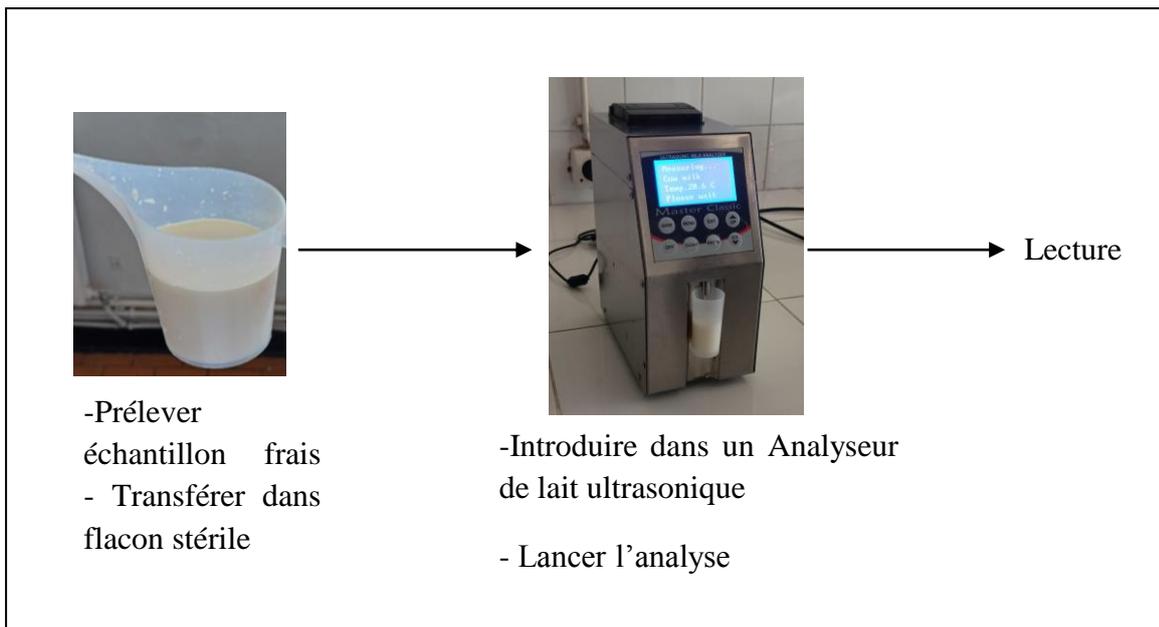


Figure 15 : Diagramme de fabrication du yaourt Numidia- Constantine, 2025.

### 3.3. Contrôle Physico-chimiques

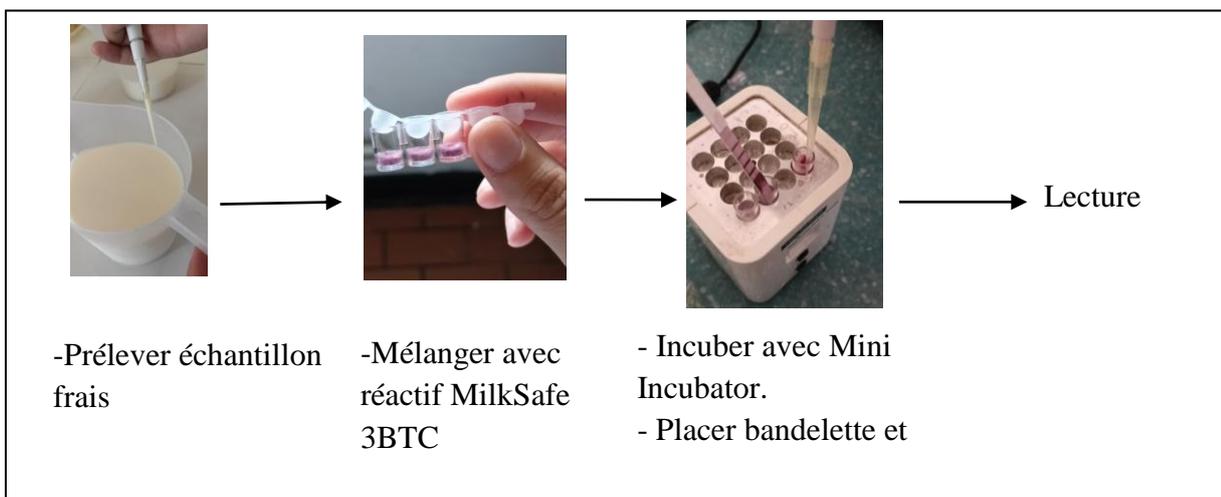
Les figures 16, 17, 18, 19, 20,21 présentent les principaux paramètres physico-chimiques analysés (**Annexe 3**), essentiels pour garantir la sécurité, la stabilité et la qualité du produit fini. Ces analyses permettent d'évaluer la conformité du yaourt aux exigences fixées par JORA (2017), relatif aux BPF (**Annexe 2**).

#### 3.3.1. Analyse du lait cru



**Figure 16 :** Etapes d'analyse du lait cru.

#### 3.3.2. Test d'antibiotique



**Figure 17 :** Analyses physico-chimiques du

### 3.3.3. Analyses du Yaourt

#### 3.3.3.1. Dosage de la matière grasse (Gerber)

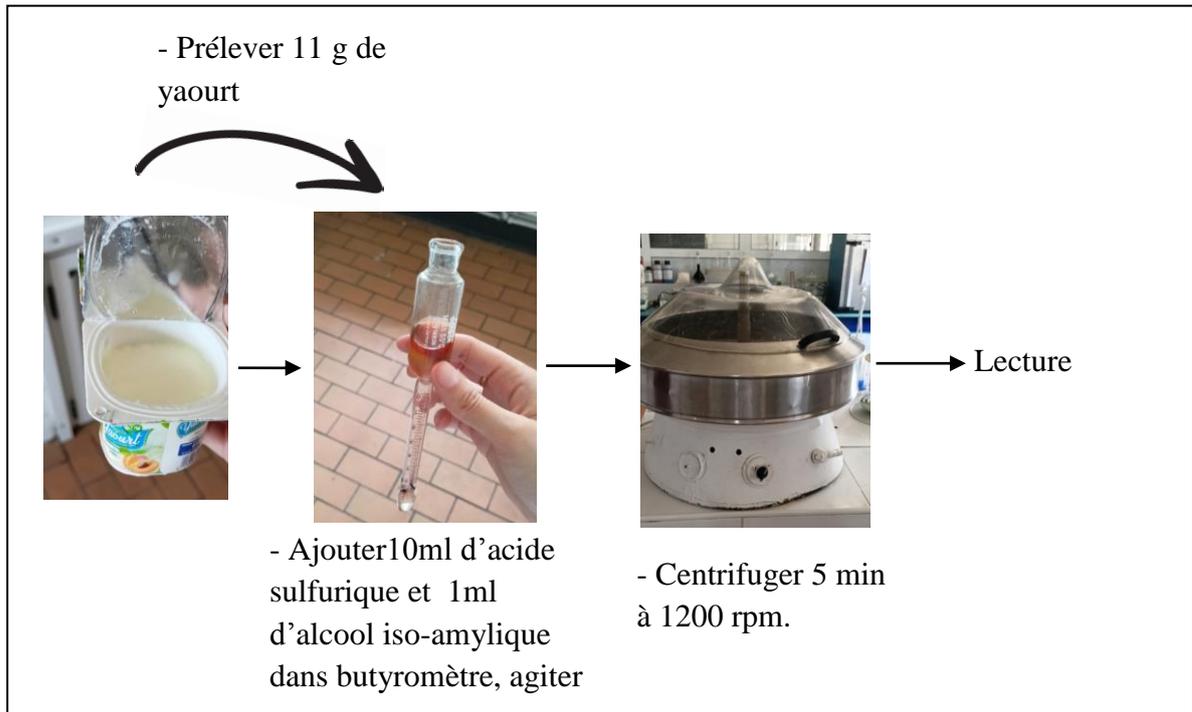


Figure 18 : Etapes du dosage de la matière grasse (Gerber).

#### 3.3.3.2. Détermination de l'humidité (Extrait sec)

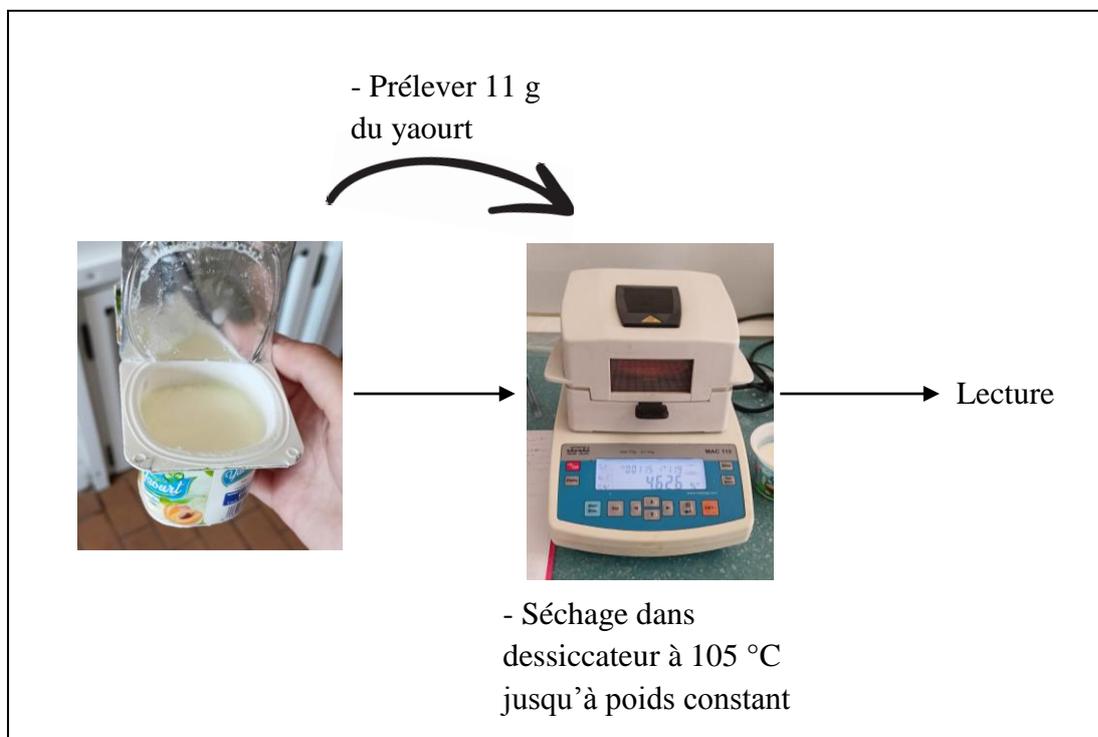
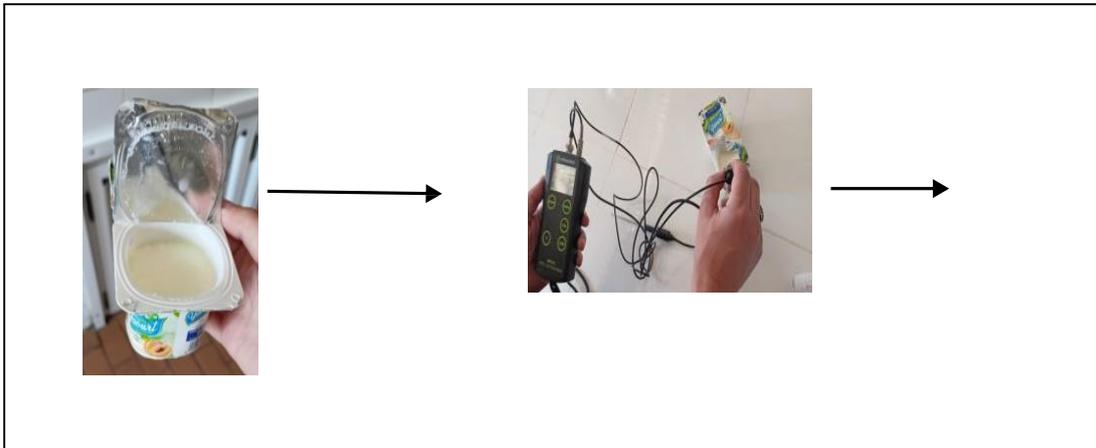
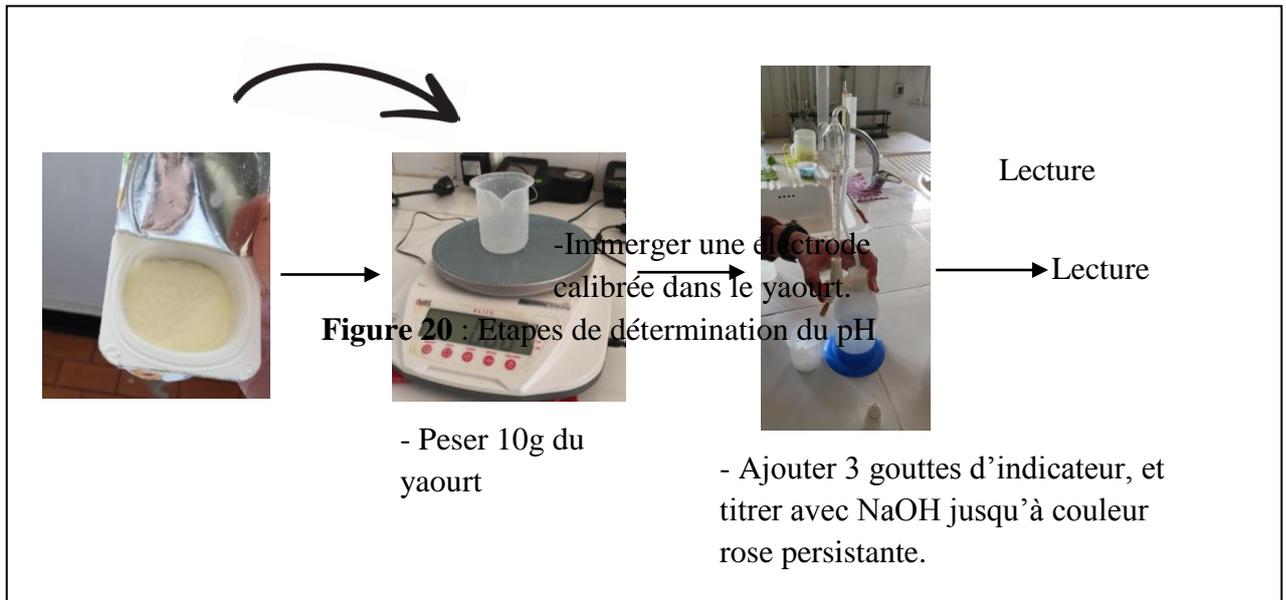


Figure 19 : Etapes de détermination de l'humidité (Extrait sec).



**3.3.3.3. Détermination du pH**

**3.3.3.4. Détermination de l'acidité titrable**



**Figure 21 : Etapes de détermination de l'acidité titrable.**

**3.4. Contrôle Microbiologique**

Le contrôle de la qualité microbiologique des différents échantillons consiste en la recherche de micro-organismes spécifiques, conformément aux normes réglementaires définies dans le JORA(2017) (**Annexe 2**). Les figures 18, 19, 20,21 récapitulent les principales méthodes d'analyse microbiologique employées (**Annexe 3**).

3.4.1. Recherche des entérobactéries

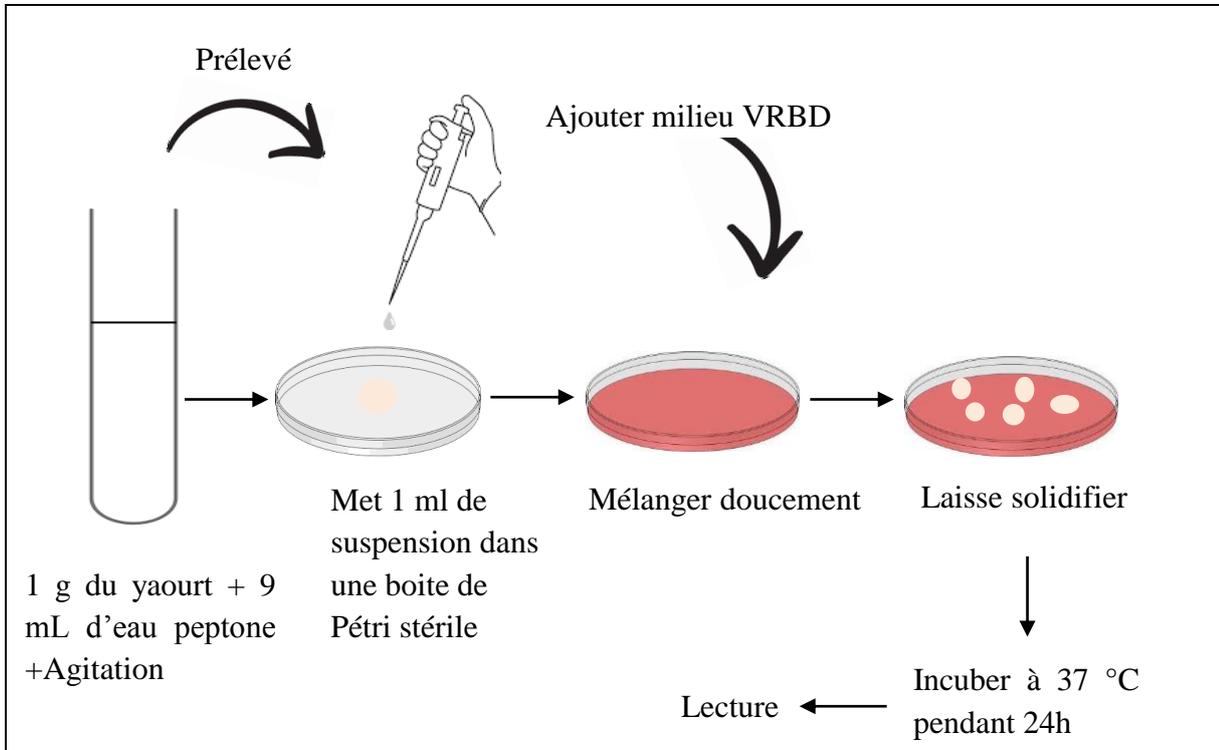


Figure 22:Etapes de recherche des entérobactéries.

3.4.2. Recherche de *Listeria*

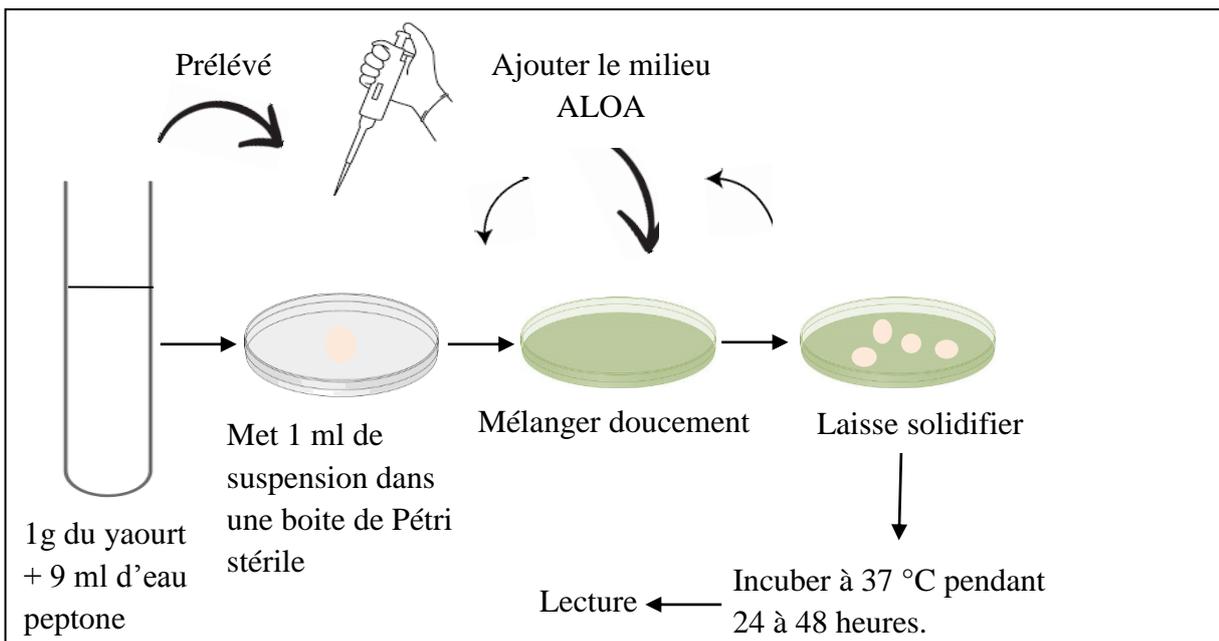


Figure 23:Etapes de recherche de *Listeria*.

3.4.3. Recherche des salmonelles

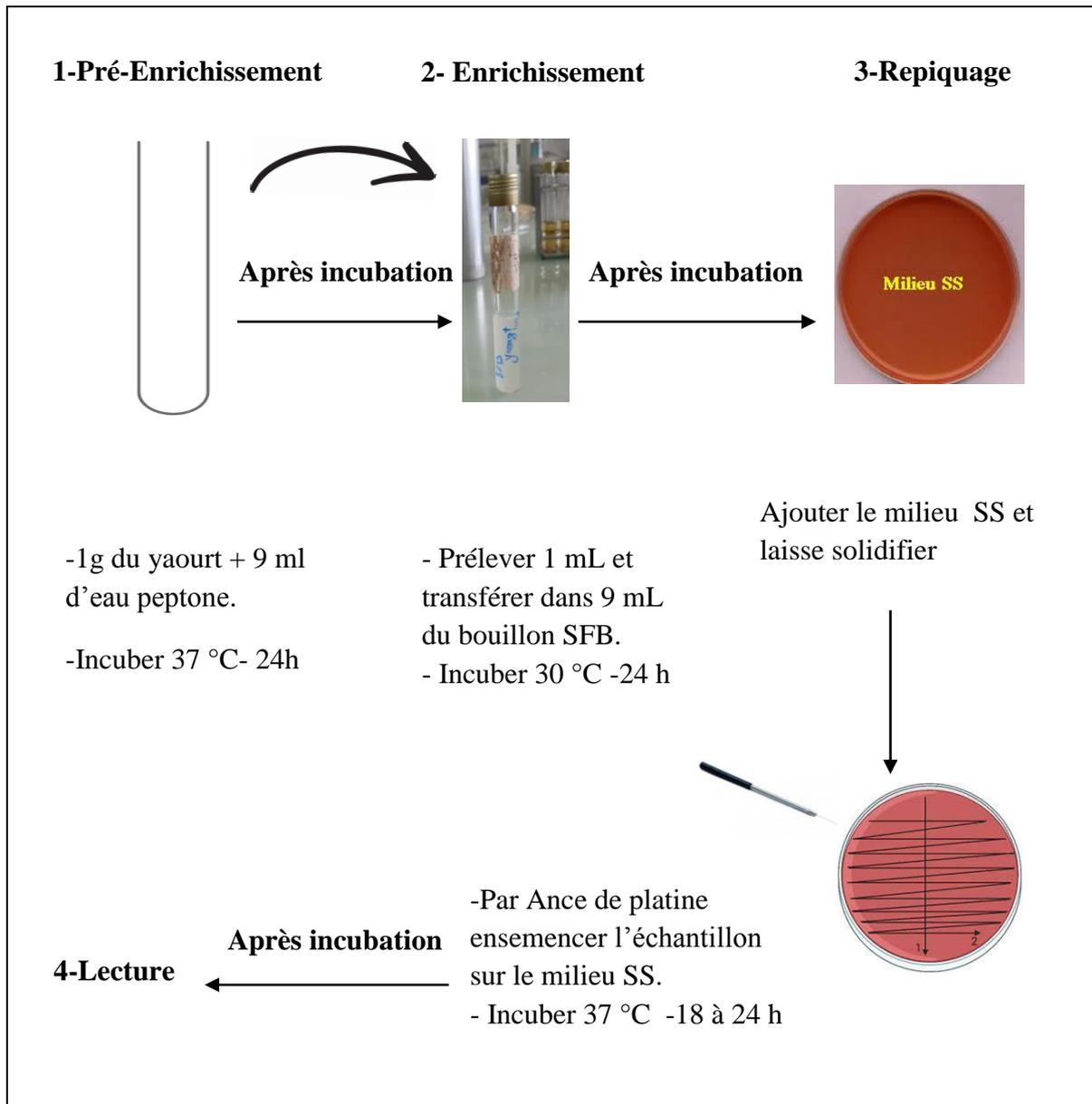


Figure24:Etapes de recherche des salmonelles.

3.4.4. Recherche de *Staphylococcus aureus*

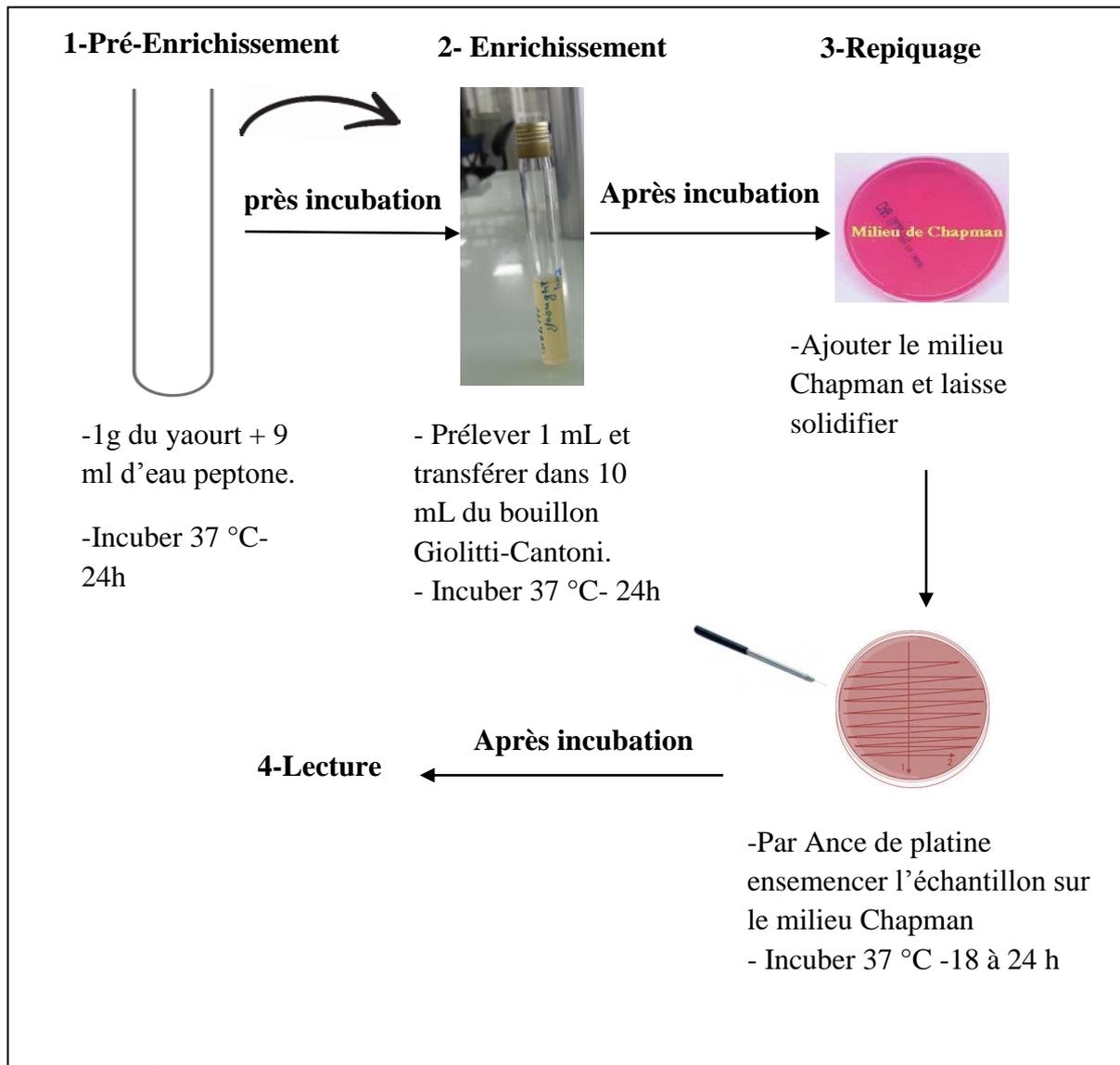


Figure 25 : Etapes de recherche de *Staphylococcus aureus*.

3.5. Evaluation organoleptique du Yaourt Numidia (Questionnaire)

(Annexe 5)

L'évaluation organoleptique du yaourt produit à la laiterie Numidia a été réalisée le 17 juin 2025, entre 11h00 et 12h30, au sein du centre universitaire Abd El Hafid Boussouf (Mila). Cette analyse sensorielle a impliqué un panel de 20 étudiants volontaires, âgés de 22 à 24 ans, recrutés pour leur disponibilité et leur capacité à suivre un protocole de dégustation standardisé.

Afin de garantir l'objectivité des résultats, chaque participant a bu de l'eau plate avant la dégustation, dans le but de neutraliser les saveurs résiduelles et d'éviter toute interférence gustative. L'évaluation s'est basée sur une fiche descriptive couvrant les principaux critères organoleptiques suivants :

- **Aspect visuel** : Homogène, surface lisse, sans séparation de phase, Légèrement granuleux, Présence de séparation de phase.

- **Texture** : Ferme et consistante, tient bien à la cuillère, moyennement ferme, trop liquide, présence de grumeaux.

- **Odeur** : Odeur lactée fraîche, légèrement acidulée, odeur neutre, odeur désagréable (moisi, rance, etc.)

- **Goût** : Douce, acidité modérée et agréable, trop acide, saveur fade, présence d'amertume ou arrière-goût.

- **Couleur** : Blanche uniforme, brillante, blanche avec taches ou variation de couleur.

- **Appréciation globale** Très satisfaisant, conforme aux attentes, satisfaisant avec quelques défauts mineurs, moyennement satisfaisant avec plusieurs défauts, non satisfaisant.



# Résultats et discussion

## 1. Contrôle physico-chimiques

L'analyse physico-chimique du lait cru et du yaourt constitue une étape essentielle pour évaluer leur qualité nutritionnelle, leur conformité aux normes en vigueur et leur aptitude à la transformation. Les paramètres étudiés notamment le pH, l'acidité titrable, l'extrait sec, la teneur en matières grasses et en protéines, permettent de caractériser le produit initial et d'observer les modifications induites par la fermentation. Cette section présente les résultats obtenus et leur interprétation, en vue de mieux appréhender l'impact de la transformation sur la qualité finale du yaourt

### 1.1. Analyses physico-chimiques du lait cru

Les moyennes des analyses physico-chimiques du lait cru utiliser à la laiterie Numidia sont présentées dans le tableau 8. Les résultats, conformes aux normes **JORA (2017)**, indiquent une bonne qualité du lait, apte à la transformation par fermentation

**Tableau 8:** Les moyennes des résultats des analyses physico-chimique du lait cru.

Paramètre	Moyenne	Norme JORA (2017)
<b>MG (%)</b>	4,19± 0,07	3,5 – 4,5
<b>ESD (%)</b>	9,11 ± 0,10	> 8,5
<b>D°</b>	29,6 ± 0,12	28 – 30
<b>Protéines(%)</b>	3.28 ± 0,06	3,0 – 3,4
<b>Lactose(%)</b>	5,02 ± 0,09	4,8 – 5,2
<b>Sels minéraux(%)</b>	0,68 ± 0,04	0,6 – 0,9
<b>Eau ajoutée(%)</b>	0 ± 0,00	0
<b>Points de congélation (°C)</b>	-0,586 ± 0,0037	-0,515 à -0,590

**MG :** Matière grasse, **ESD :** Extrait sec total, **D° :** Densité Dornic

Selon les résultats du tableau 8, La teneur moyenne en matières grasses du lait cru analyser est de 4,19 %, soit 41,9 g/L ± 0,07, ce qui dépasse légèrement l'intervalle de référence établi par **Laurienne (2015)**, compris entre 33 et 47 g/L. Cette valeur indique une bonne qualité nutritionnelle du lait. Elle est également supérieure aux concentrations rapportées par **Belkheir et al. (2014, 2015)**, Qui ont observé des teneurs variant entre 34,91 et 37,91 g/L dans la wilaya de Tizi-Ouzou. Cette richesse en lipides pourrait s'expliquer par

plusieurs facteurs, notamment le stade physiologique des animaux, leur patrimoine génétique, leur alimentation et les conditions d'élevage, connus pour influencer la composition physico-chimique du lait.

Dans notre étude, la teneur moyenne en extrait sec dégraissé (ESD) du lait est de 9,11 % (91,1 g/L  $\pm$  0,10), soit une valeur supérieure à celles rapportées dans plusieurs études régionales, mais proche des recommandations de la **FAO (2010)**, fixées entre 90 et 95 g/L. Ces résultats, comparables à ceux de **Belkheir et al. (2015)** et de **Rahan et Si Tahar (2009)**, suggèrent une bonne qualité nutritionnelle du lait, bien que certaines variations puissent être liées à l'alimentation, à la génétique des animaux et aux conditions d'élevage.

L'analyse a révélé une teneur moyenne en extrait sec total (EST) de 29,6 % (soit 296 g/L  $\pm$  0,10), ce qui demeure légèrement en dessous de la plage normative du lait de vache cru, généralement comprise entre 30 % et 34 % (**Laurianne, 2015**). D'après **Aboutayeb (2011)**, cette teneur reflète la richesse globale du lait en matière sèche, influencée par la teneur en matières grasses (avec une relation inverse), les protéines, le lactose, ainsi que par des facteurs alimentaires, génétiques et physiologiques.

La teneur moyenne en protéines du lait analysé est de 3,28 % (soit 32,8 g/L  $\pm$  0,06), une valeur légèrement inférieure à la plage de référence pour le lait de vache cru, généralement située entre 34 et 35 g/L. Ces résultats concordent avec ceux rapportés par **Benyounes et al. (2013)** ainsi que **Belkheir et al. (2014, 2015)**, Dans la région de Tizi-Ouzou. Cette légère diminution pourrait s'expliquer par la phase de lactation (**Legarto et al., 2014**) et l'alimentation, deux facteurs connus pour affecter la synthèse des protéines dans le lait.

La teneur moyenne en lactose du lait analysé est de 5,2 % (52 g/L  $\pm$  0,09), ce qui correspond aux plages recommandées par la **FAO (2010)** et **Laurianne (2015)**. Cette valeur, supérieure à celles observées par **Rahan et Si Tahar (2009)** ainsi que **Belkheir et al. (2014, 2015)**, Reflète une bonne qualité glucidique, probablement liée à une alimentation équilibrée, un stade de lactation optimal et une concentration adéquate en matière sèche.

La teneur en sels minéraux du lait analysé est conforme aux attentes, ces éléments (calcium, phosphore, potassium, etc.) étant essentiels à la nutrition et à la coagulation du lait. Par ailleurs, l'absence d'eau ajoutée ( $0 \pm 0,00$  %) indique l'absence de dilution frauduleuse, attestant de la qualité du lait et de sa conformité aux normes du JORA (2017) et du Codex Alimentarius, qui interdisent toute addition d'eau dans le lait cru.

Le point de congélation moyen du lait analysé est de  $-0,586\text{ }^{\circ}\text{C}$  ( $\pm 0,0037$ ), inférieur au seuil critique de  $-0,530\text{ }^{\circ}\text{C}$ , ce qui confirme l'absence d'adultération par ajout d'eau. Ce résultat, conforme aux observations de **Bousbia et al. (2012)**, témoigne d'une bonne qualité physico-chimique du lait, probablement liée à une concentration élevée en extraits secs, notamment en lactose et en minéraux.

### 1.2. Résultats du test d'ATB de lait cru

Dans le cadre du contrôle qualité, un test rapide a été effectué pour détecter la présence éventuelle de résidus d'antibiotiques dans le lait cru. Les résultats moyens, obtenus à l'aide du kit MilkSafe 3BTC, sont synthétisés dans le tableau 9.

**Tableau 9** : Les moyennes des résultats du test d'ATB de lait cru.

Type d'antibiotique	Résultats moyenne
Bêta-lactamines	100 % négatif
Tétracyclines	100 % négatif
Sulfonamides	100 % négatif

Tous les échantillons de lait cru prélevés à la laiterie Numidia pendant 10 jours, se sont révélés exempts de résidus d'antibiotiques, avec un taux de conformité de 100 %, attestant d'une excellente qualité sanitaire. Ce résultat contraste avec les données de **Gaouar, Loukaf et Masmi (2021)**, qui ont observé une positivité de 30 à 33 % dans la région d'Oran. Cette différence pourrait s'expliquer par de meilleures pratiques d'élevage et un respect rigoureux des délais de retrait dans la zone étudiée.

### 1.3. Résultats des analyses physico-chimiques du yaourt

Le tableau 10 présente les moyennes des principaux paramètres physico-chimiques du yaourt ferme produit par la laiterie Numidia à Constantine. Les résultats obtenus indiquent une conformité générale aux exigences de JORA (2017), garantissant la qualité des produits laitiers fermentés.

**Tableau 10:** Les moyennes des résultats des analyses physico-chimique du Yaourt

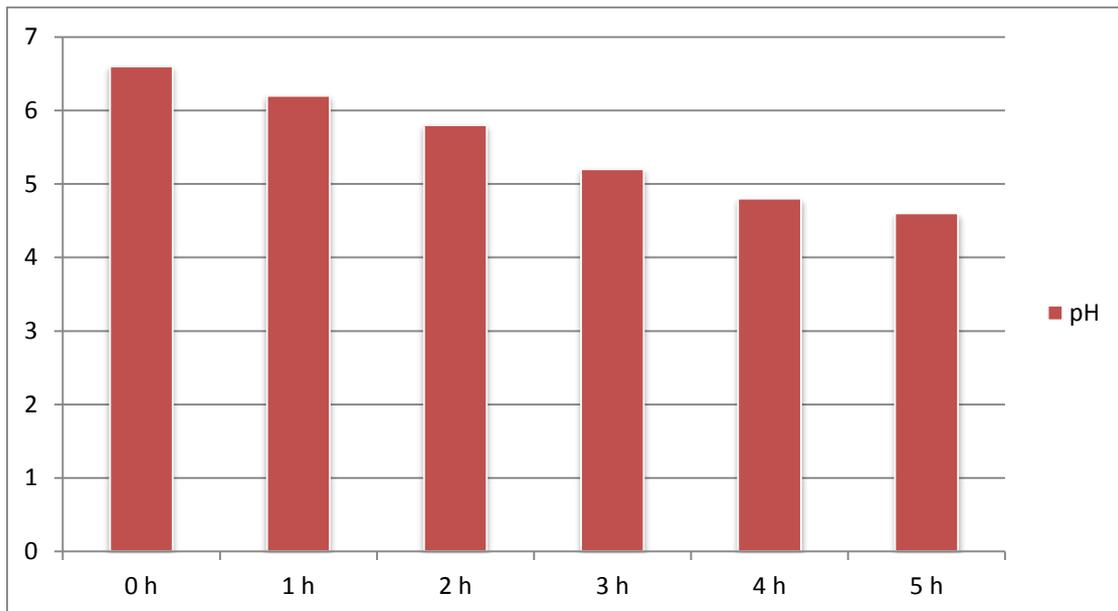
Paramètre	Moyenne	Normes JORA (2017)
MG (%)	3,78 ± 0,091	4
ES (%)	20,72 ± 0,466	20 à 22
D°	91,1 ± 2,024	85 à 100
pH	4,31 ± 0,056	4 à 4,6

Les résultats du tableau 10 indiquent une teneur en matière grasse de  $3,78 \pm 0,091$  %, classant le produit parmi les yaourts entiers. Cette valeur est supérieure à celles rapportées par **Soualhi, 2012**, qui a observé des taux inférieurs ou égaux à 3 % dans des yaourts partiellement écrémés. L'extrait sec atteint  $20,72 \pm 0,466$  %, témoignant d'une bonne concentration en matières solides, supérieure à celle mesurée par **Bellamine-Ben-Toumi (2012)** dans des yaourts traditionnels d'Oum El Bouaghi (18,5–19,8 %). Cette richesse est favorable à la texture et à la qualité sensorielle, comme le soulignent **Folkenberg et al. (2005)**.

L'acidité du yaourt est de  $91,1$  °D ( $\pm 2,024$ ), ce qui respecte les normes JORA (2017), qui fixent une plage de 85 à 100 °D pour les yaourts entiers. Cette valeur reflète une fermentation bien maîtrisée par *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* et *Streptococcus thermophilus*, garantissant une bonne coagulation et une conservation efficace. Selon **Tamime et Robinson (2007)**, une acidité conforme à cette plage est associée à une qualité sensorielle et microbiologique optimale. De plus, **Béal et Corrieu (1991)** insistent sur l'importance du contrôle de l'acidité pour assurer la stabilité, la texture et la durée de vie du yaourt.

#### 1.4. Évolution du pH durant la fermentation

La figure 22 représente des graphiques à barres d'évolution du pH au cours de la phase d'incubation, effectuée à une température de 4 °C. Cette cinétique d'acidification constitue un indicateur pertinent pour évaluer l'efficacité des ferments lactiques utilisés (*Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* et *Streptococcus thermophilus*) ainsi que la performance technologique du procédé de fabrication du yaourt.



**Figure 26 :** Courbe de diminution du pH pendant le temps.

L'analyse des graphiques à barres représentant l'évolution du pH au cours de la fermentation met en évidence une diminution progressive, reflet direct de l'activité métabolique des bactéries lactiques. Dans notre étude, le pH est passé de 6,6 à 4,6 en l'espace de 5 heures d'incubation (maturation) après l'ajout des ferments, traduisant une acidification significative du milieu.

Le pH acide du yaourt résulte directement de l'action des bactéries lactiques thermophiles. Ces micro-organismes induisent une fermentation du lactose, principal glucide du lait, en acide lactique, ce qui provoque une baisse progressive du pH du milieu.

Lorsque le pH atteint environ 4,6, les caséines (protéines majoritaires du lait), atteignent leur point isoélectrique. Ce phénomène entraîne la coagulation du lait et permet la formation du gel caractéristique du yaourt. Cette fonction acidifiante des bactéries lactiques est déterminante dans le processus d'élaboration du yaourt. (**Azzeddine, 2014**).

La diminution progressive du pH observée au cours de l'incubation est directement liée à la croissance rapide des bactéries lactiques dans des conditions propices, notamment à température ambiante, favorisant ainsi la production continue d'acide lactique (**Béal et Helinck, 2019**). Il est bien établi que la cinétique d'acidification est fortement influencée par des paramètres technologiques tels que la température et la durée d'incubation (**Jeantet et al., 2008**).

Une fois l'acidité cible atteinte (généralement autour de pH 4,6), un refroidissement rapide à 4 °C est essentiel pour stopper la fermentation en inhibant l'activité métabolique des bactéries thermophiles. Ce refroidissement permet non seulement de stabiliser la texture et la saveur du yaourt, mais aussi de préserver sa qualité microbiologique et sensorielle jusqu'à la consommation (Feng *et al.*, 2021 ; Tamime & Robinson, 2007). Cette étape de réfrigération remplit également un rôle technologique essentiel, en améliorant la texture du yaourt par l'action structurante du froid sur le gel lacté (Corrieu et Luquet, 2005).

### 2. Contrôle microbiologiques

Des analyses microbiologiques ont été effectuées sur des échantillons de yaourt Numidia -Constantine prélevés quotidiennement pendant 10 jours (Pasto, sortie cuve, produit finis), afin de vérifier l'absence de micro-organismes pathogènes (entérobactéries, *Staphylococcus aureus*, *Salmonella spp.* et *Listeria monocytogenes*). Les résultats sont présentés dans le tableau 11.

**Tableau 11** : Les moyennes des résultats des analyses microbiologiques des germes contaminants effectuées sur le produit fini des 10 jours (température de conservation : 4 °C).

Germe recherché	Résultat	Norme
Entérobactéries (UFC/1g)	Absence	Abs
<i>Staphylococcus aureus</i> (UFC/1g)	Absence	<10
<i>Salmonella spp.</i> (UFC/25g)	Absence	Abs
<i>Listeria monocytogenes</i> (UFC/1g)	Absence	Abs

Les analyses microbiologiques du yaourt fini révèlent l'absence d'entérobactéries, de *Staphylococcus aureus*, de *Salmonella spp.* et de *Listeria monocytogenes*, attestant d'un bon contrôle hygiénique et technologique. Ces résultats respectent les exigences du Codex Alimentarius et des normes JORA 2017 applicables aux produits laitiers fermentés (FAO/WHO, 2020).

Les analyses microbiologiques du yaourt Numidia révèlent une absence d'entérobactéries, indicateurs classiques de contamination fécale et de mauvaise hygiène, traduisant le respect des Bonnes Pratiques d'Hygiène (BPH) au sein de la laiterie (Khalfaoui

*et al.*, 2023). De même, *Staphylococcus aureus* n'a pas été détecté au-delà du seuil réglementaire de 10 UFC/g, conforme à la norme JORA (2017), ce qui témoigne d'un bon contrôle de l'hygiène. Ce pathogène opportuniste est redouté pour ses entérotoxines thermostables à l'origine d'intoxications alimentaires (**Kadariya *et al.*, 2014**).

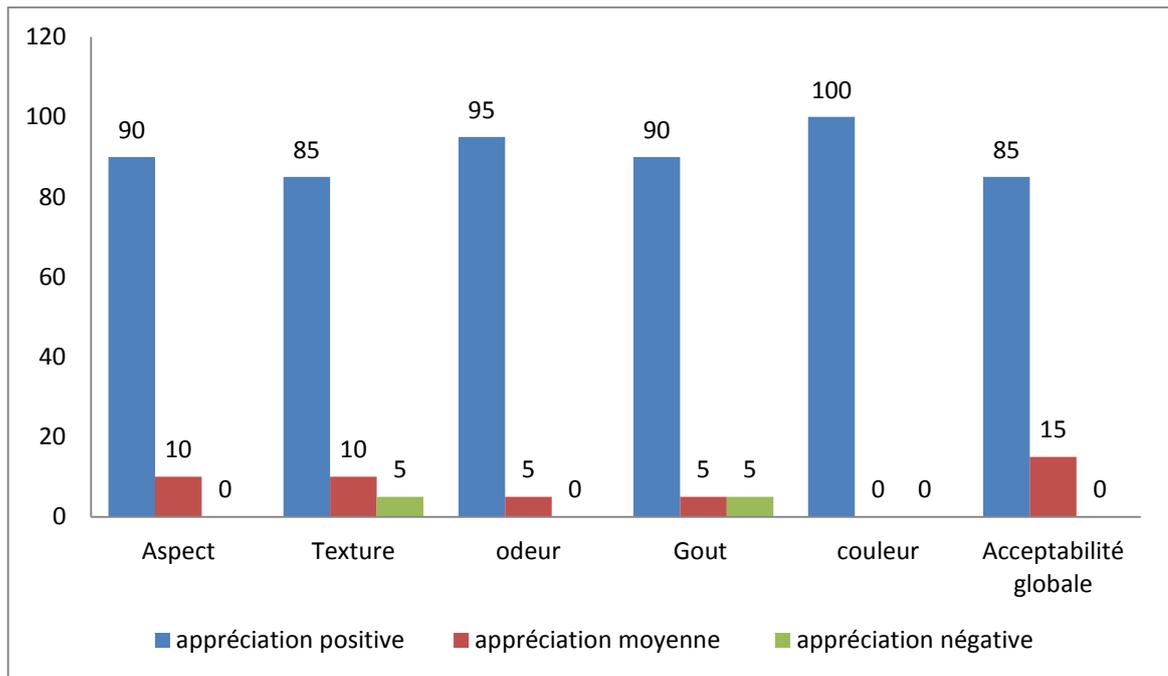
A titre comparatif, *S. aureus* a été retrouvé dans 27 % des yaourts vendus au Zimbabwe, soulignant les risques liés à des défauts de conditionnement ou de conservation (**Gadaga *et al.*, 2019**).

L'absence de *Salmonella spp.* dans 25 g de produit, critère fondamental de sécurité selon l'OMS, confirme la maîtrise du traitement thermique. Cette bactérie, responsable de salmonelloses fréquentes dans le monde, peut contaminer les produits laitiers en cas de non-respect des bonnes pratiques de pasteurisation ou de stockage (**WHO, 2022**).

Enfin, *Listeria monocytogenes* n'a été détectée dans aucun échantillon analysé sur une période de 10 jours, en conformité avec la norme JORA (2017). Ce germe, capable de se développer à basse température et de persister dans les environnements industriels, représente un danger majeur dans les aliments prêts à consommer (**Ferreira *et al.*, 2014 ; EFSA, 2023**). Son absence répétée témoigne de la rigueur des procédés de fabrication et de la conformité du produit aux exigences du Codex Alimentarius (2020).

### **3. Résultats d'évaluation organoleptique du Yaourt Numidia (Questionnaire)**

La figure 23 représente les résultats simulés pour le questionnaire organoleptique du yaourt Numidia, Constantine.



**Figure 27 :** Résultats du questionnaire organoleptique du yaourt Numidia, Constantine.

Le graphique à barres issu du questionnaire organoleptique (Figure 23) met en évidence une appréciation globalement très positive du yaourt Numidia par les étudiants testeurs.

Les résultats montrent que la couleur du produit a été unanimement jugée satisfaisante, avec 100 % des participants décrivant une couleur blanche uniforme et brillante, ce qui traduit une bonne qualité de fabrication.

L'odeur et le goût ont également été très bien notés, respectivement par 95 % et 90 % des répondants, indiquant que le yaourt dégage une odeur lactée fraîche et présente une acidité modérée agréable, caractéristiques d'une fermentation bien maîtrisée. L'aspect du yaourt, jugé homogène et sans séparation de phase, a satisfait 90 % des participants, soulignant une bonne stabilité du produit. Toutefois, certains critères montrent des avis légèrement plus nuancés.

La texture, bien que globalement bien perçue par 85 % des étudiants, a suscité des remarques concernant une fermeté variable et la présence ponctuelle de grumeaux, ce qui pourrait être attribué à des variations dans les conditions de fermentation ou à une homogénéisation insuffisante.

Concernant le goût, 10 % des participants ont perçu soit une acidité trop marquée, soit une saveur fade, ce qui pourrait indiquer un déséquilibre dans la composition ou la fermentation du produit.

Enfin, l'acceptabilité globale du yaourt a été jugée très satisfaisante par 85 % des étudiants, tandis que 15 % l'ont évaluée comme satisfaisante avec quelques défauts mineurs. Ces résultats traduisent une qualité générale élevée du produit, tout en signalant quelques axes d'amélioration, notamment sur la texture et le profil gustatif.



***Conclusion et  
recommandations***

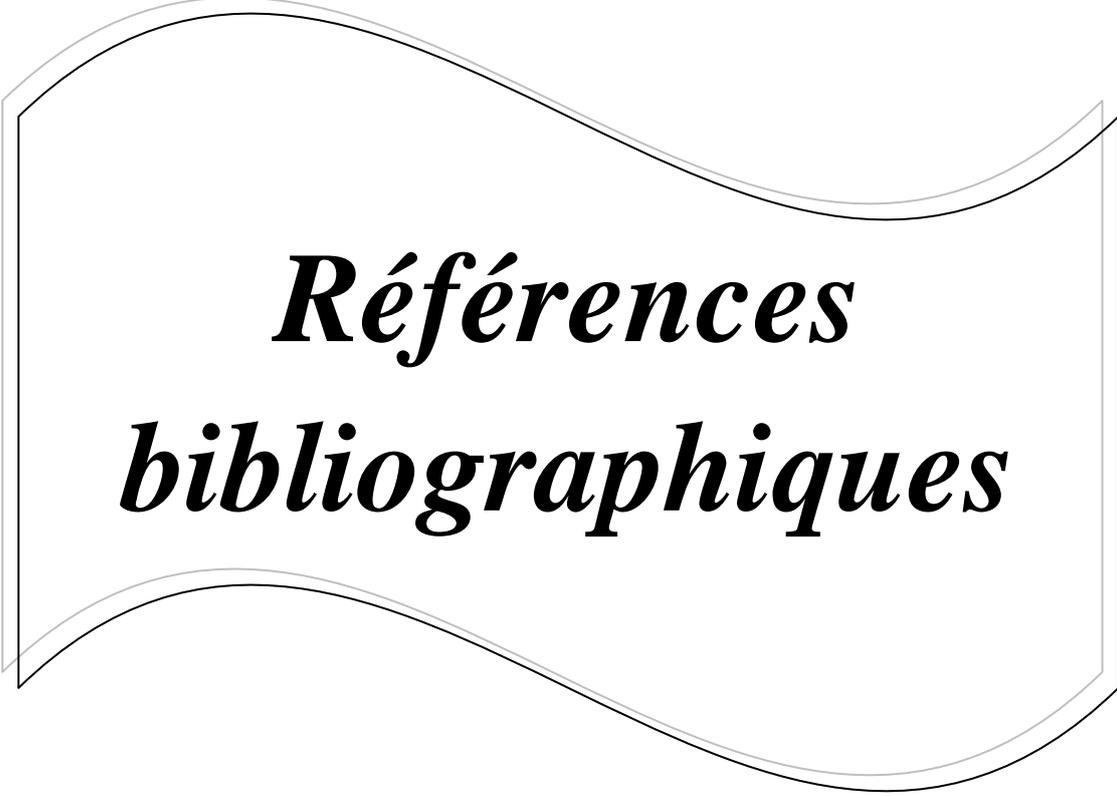
Le travail réalisé au sein de la laiterie Numidia à Constantine a permis de mettre en évidence le rôle central des bactéries lactiques thermophiles, notamment *Streptococcus thermophilus* et *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus*, dans la fabrication d'un yaourt de qualité. Leur activité fermentaire s'est traduite par une acidification rapide et contrôlée du lait, essentielle à la coagulation et à la formation du gel lacté, contribuant ainsi à la texture, à la saveur et à la stabilité du produit fini.

Les analyses physico-chimiques du lait cru ont montré des valeurs conformes aux normes, notamment en ce qui concerne la matière grasse, l'extrait sec dégraissé, la densité, les protéines, le lactose, les sels minéraux et le point de congélation. De plus, aucune trace de résidus d'antibiotiques ( $\beta$ -lactamines, tétracyclines, sulfamides) n'a été détectée. Les yaourts produits ont également présenté des caractéristiques physico-chimiques conformes aux normes, avec une baisse progressive du pH (de 6,6 à 4,6 en 5 heures), reflétant une activité fermentaire optimale due à la transformation du lactose en acide lactique.

Sur le plan microbiologique, l'absence totale de germes pathogènes (*Salmonella spp.*, *Listeria monocytogenes*, *Staphylococcus aureus*, entérobactéries) témoigne du respect rigoureux des Bonnes Pratiques d'Hygiène et de Fabrication, assurant ainsi la sécurité sanitaire du produit.

Pour approfondir le rôle des bactéries thermophiles dans l'alimentation humaine, plusieurs axes de recherche peuvent être envisagés :

- Approfondir la caractérisation génétique et fonctionnelle des souches thermophiles utilisées.
- Développer des yaourts fonctionnels enrichis en probiotiques ou en nutriments spécifiques, adaptés à des besoins nutritionnels ciblés.
- Optimiser les paramètres de fermentation (température, pH, durée d'incubation) afin d'améliorer les propriétés organoleptiques, la valeur nutritionnelle et la durée de conservation du yaourt.



***Références  
bibliographiques***

## Liste des references

### -A-

• **Aanniz, T., Ouadghiri, M., & Melloul, M. (2015).** Thermophilic bacteria in Moroccan hot springs, salt marshes and desert soils. *Brazilian Journal of Microbiology*, 46(2), 443–453.

• **Aboutayeb, R. A. (2011).** *Composition physico-chimique et microbiologique du lait*. Dans *Technologie du lait et dérivés laitiers*.

• **AFNOR. (2020).** *NF V 04-600 : Lait fermentés – Définition, spécifications et méthodes d'essai*. Association Française de Normalisation.

• **Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (ANSES). (2020).** *Table de composition nutritionnelle des aliments Ciqua 2020*. <https://ciqua.anses.fr>

• **Amiot, J., Fournier, S., Lebeuf, Y., Paquin, P., & Simpson, R. (2002).** Composition, propriétés physico-chimiques, valeur nutritive, qualité technologique et techniques d'analyse du lait. In C. L. Vignola (Éd.), *Science et technologie du lait* (pp. 1–73). Tec & Doc Lavoisier.

• **Azzeddine, M. (2014).** *Étude des propriétés acidifiantes des bactéries lactiques dans la fabrication du yaourt*. Mémoire de Master, Université des Sciences et de la Technologie Houari-Boumediene, Alger.

### -B-

• **Bailly, J. D., Bruger, H., & Chadron, H. (2012).** *Micro-organismes et parasites des viandes : Les connaître pour les maîtriser de l'éleveur au consommateur* (p. 5). France Agricole Éditions.

• **Bain, R., Cronk, R., Hossain, R., Bonjour, S., Onda, K., Wright, J., ...& Bartram, J. (2015).** Global assessment of exposure to faecal contamination through drinking water based on a systematic review. *Tropical Medicine & International Health*, 20(5), 599–607. <https://doi.org/10.1111/tmi.12438>.

• **Béal, C., & Corrieu, G. (1991).** Influence of fermentation temperature on the acidification kinetics and pH gradient between the inside and the outside of *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* cells in milk. *Journal of Dairy Research*, 58(3), 409–419.

- **Béal, C., & Helinck, S.(2019).***Fabrication des yaourts et des laits fermentés.* Techniques de l'Ingénieur. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-03519802>
- **Belhamra, Z. (2017).***Croissance et survie des probiotiques en présence des édulcorants et des additifs alimentaires* [Thèse de doctorat en microbiologie, Université Ferhat Abbas Sétif 1, Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie].
- **Belkheir, B., Ghozlane, F., Benidir, M., Bousbia, A., Benahmed, N., & Agguini, S. (2015).**Production laitière, pratiques d'élevage et caractéristiques du lait en exploitations bovines laitières en montagne de Kabylie, Algérie. *Livestock Research for Rural Development*, 27(8), Article #145. <http://www.lrrd.org/lrrd27/8/belk27145.html>
- **Belkheir, B., Ghozlane, F., Benidir, M., Bousbia, A., Benahmed, N., & Agguini, S. (2015).** Production laitière, pratiques d'élevage et caractéristiques du lait en exploitations bovines laitières en montagne de Kabylie, Algérie. *Livestock Research for Rural Development*, 27(8), Article #145. <http://www.lrrd.org/lrrd27/8/belk27145.html>
- **Bellamine-Ben-Toumi, N.(2012).***Évaluation de la qualité physicochimique et microbiologique des yaourts artisanaux commercialisés dans la région d'Oum El Bouaghi* [Mémoire de magistère, Université d'Oum El Bouaghi, Algérie].
- **Benyounes, A., Bourriache, H. E., & Lamrani, F. (2013).** Effet du stade de lactation sur la qualité physico-chimique du lait de vache Holstein en région Est de l'Algérie. *Livestock Research for Rural Development*, 25(7), Article #121.  
<http://www.lrrd.org/lrrd25/7/beny25121.htm>
- **Boulefkhad, N., & Talhi, A.(2018).***La mise en évidence de la production de quatre enzymes (protéase, amylase, cellulase et pectinase) par des micro-organismes isolés à partir d'eau thermale et sol proche des sources thermales* [Mémoire de master, Université de Constantine 1].
- **Bousbia, A., Ghouzlane, F., Benidir, M., Belkhir, B., Benaouda, S. et Agguini, S.(2012).***Évolution de la filière lait et qualité physico-chimique du lait dans la région de Tizi Ouzou.* Mémoire de Master, Université Mouloud Mammeri de Tizi Ouzou, Faculté des Sciences Biologiques et Agronomiques, 56 p.
- **Boutonnier, J. L. (2008).***Matière grasse laitière : Composition, organisation et propriétés* (p. 15). INRA.

### -C-

- **Chapot-Chartier, M. P., & Kulakauskas, S. (2014).** Cell wall structure and function in lactic acid bacteria. *Microbial Cell Factories*, 13(1), Article 1. <https://doi.org/10.1186/1475-2859-13-1>
- **Charlotte, M. (2017).** *Place des probiotiques dans la prise en charge de pathologies humaines* [Thèse de doctorat, Université de Picardie Jules Verne]. HAL Archives. <https://hal.archives-ouvertes.fr/>
- **Codex Alimentarius Commission. (2018).** *Standard for fermented milks (Codex Stan 243-2003, Rev. 2018)*. Food and Agriculture Organization of the United Nations & World Health Organization. <https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/standards/243/en/>
- **Codex Alimentarius Commission. (2023).** *Standard for fermented milks (Codex Stan 243-2003, Rev. 2023)*. Food and Agriculture Organization of the United Nations & World Health Organization. <https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/en/>
- **Corrieu, G., & Luquet, F. M. (2005).** *Bactéries lactiques et probiotiques : Aspects microbiologiques et technologiques des fermentations lactiques*. Lavoisier Tec & Doc.
- **Corrieu, G., & Luquet, F. M. (2008).** *Bactéries lactiques et probiotiques* (2<sup>e</sup> éd.). Lavoisier TEC & DOC.
- **Cutting, S. M. (2019).** *Bacillus* probiotics. *Food Microbiology*, 75, 68–72. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2018.06.008>
- **Czerucka, D., & Rampal, P. (2019).** Diversity of *Saccharomyces boulardii* CNCM I-745 mechanisms of action against intestinal infections. *World Journal of Gastroenterology*, 25(18), 2188–2203. <https://doi.org/10.3748/wjg.v25.i18.2188>
- **Czerucka, D., Piche, T., & Rampal, P. (2007).** Review article: Yeast as probiotics—*Saccharomyces boulardii*. *Alimentary Pharmacology & Therapeutics*, 26(6), 767–778. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2036.2007.03442.x>

### -D-

- **Debon, J., Schwinden Prudencio, E., & Cunha Petrus, J. C. (2010).** Rheological and physicochemical characterization of prebiotic microfiltered fermented milk. *Journal of Food Engineering*, 97(2), 128–135. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2009.09.022>

• **Dubbert, S., von Büнау, R., & Krueger, D. (2020).** *Escherichia coli* Nissle 1917: A probiotic as a therapy for intestinal inflammation. *Clinical and Experimental Gastroenterology*, 13, 423–432.

• **Dubois-Dauphin, R., Spinnler, H. E., & Bonnarme, P. (2020).** Key volatile compounds in fermented dairy products: Metabolic pathways and biochemical markers. *Food Research International*, 132, 109046.

• **Durso, L., & Hutkins, R. (2003).** Starter cultures. In *Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition* (2nd ed., pp. 5583–5593). Elsevier Science Ltd.

### -E-

• **EFSA Panel on Nutrition, Novel Foods and Food Allergens (NDA), 2022.**

• **Elshagabee, F. M. F., Rokana, N., Gulhane, R. D., Sharma, C., & Panwar, H. (2017).** *Bacillus* as potential probiotics: Status, concerns, and future perspectives. *Frontiers in Microbiology*, 8, 1490. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.01490>

### -F-

• **FAO. (2010).** *Probiotics in food: Health and nutritional properties and guidelines for evaluation*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. <https://www.fao.org/3/a0512e/a0512e.pdf>

• **FAO. (2021).** *Guide des bonnes pratiques de réduction des pertes du lait dans les centrales laitières : Guide of best practices to reduce milk loss at dairy plants*. Tunisie : FAO.

• **Farougou S, Mensah G.A, Clinqart.A, Youssao A.K.I, Kassa S.K, Salifou C.F.A, Boko K.C, Ahounou G.S et Tougan P.U.(2013).** Diversité de la microflore initiale de la viande et sécurité sanitaire des consommateurs, Centre de Recherches Agricoles d'Agonkanmey, Institut National des Recherches Agricoles du Bénin, *Int. J. Biol.Chem. Sci.* 7(3): 1351-1369.

• **Faure, L. (2015).** *Le lactose, indicateur de déficit énergétique chez la vache laitière ?* [Thèse de doctorat, Université Claude-Bernard Lyon 1]. 123 p.

• **Feng, X., Zhang, Y., Zhang, Y., Yang, H., & Li, S.(2021).** Probiotic characteristics of lactic acid bacteria isolated from traditional fermented yak milk and their cholesterol-lowering effects in mice. *Journal of Dairy Science*, 104(1), 39–52.

• **Ferreira, V., Wiedmann, M., Teixeira, P., & Stasiewicz, M. J. (2014).** *Listeria monocytogenes* persistence in food-associated environments: Epidemiology, strain characteristics, and implications for public health. *Journal of Food Protection*, 77(1), 150–170.

• **Folkenberg, D. M., Dejmek, P., Skriver, A., & Ipsen, R. (2005).** Relation between sensory texture properties and exopolysaccharide distribution in set and in stirred yoghurts produced with different starter cultures. *Journal of Texture Studies*, 36(2), 174–189.

• **Food and Agriculture Organization of the United Nations & World Health Organization. (2002).** *Guidelines for the evaluation of probiotics in food: Report of a joint FAO/WHO working group on drafting guidelines for the evaluation of probiotics in food.* London, Ontario, Canada. <https://www.fao.org/3/a0512e/a0512e.pdf>

### -G-

• **Gadaga, T. H., Mutukumira, A. N., & Narvhus, J. A. (2019).** Microbiological quality of traditional fermented milk products sold in Zimbabwean informal markets. *Food Control*, 98, 66–72.

• **Gaouar, Z. L., Loukaf, K., & Masmî, N. (2021).** Les résidus d'antibiotiques dans le lait cru de vache : état des lieux dans la région de l'Ouest algérien. *Journal de la Faculté de Médecine d'Oran*, 5(1), 653–660.

• Google Maps, 2025.

### -H-

• **Hill, C., Guarner, F., Reid, G., Gibson, G. R., Merenstein, D. J., Pot, B., Morelli, L., Canani, R. B., Flint, H. J., Salminen, S., Calder, P. C., & Sanders, M. E. (2014).** Expert consensus document: The International Scientific Association for Probiotics and Prebiotics consensus statement on the scope and appropriate use of the term *probiotic*. *Nature Reviews Gastroenterology & Hepatology*, 11(8), 506–514. <https://doi.org/10.1038/nrgastro.2014.66>

### -I-

• **Ibarra-Sánchez, L. A., El-Haddad, N., Mahmoud, D., Huang, I.-T., & Gänzle, M. G.(2020).**Invited review: Antibiotic resistance in lactic acid bacteria and implications for the food industry. *Journal of Dairy Science*, 103(2), 1720–1734.

• **Irlinger, F., & Mounier, J. (2009).** Microbial interactions in cheese: Implications for cheese quality and safety. *Current Opinion in Biotechnology*, 20(2), 142–148. <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2009.02.016>

• **ISO. (2006).***ISO 22000:2005 - Food safety management systems – Requirements for any organization in the food chain.* Organisation internationale de normalisation.

### -J-

• **Jeantet, R., Roignant, M., & Brulé, G.(2008).***Génie des procédés appliqués à l'industrie laitière.* Paris : Tec & Doc / Lavoisier.

### -K-

• **Kadariya, J., Smith, T. C., & Thapaliya, D.(2014).***Staphylococcus aureus* and staphylococcal food-borne disease: An ongoing challenge in public health. *BioMed Research International*, 2014, Article 827965.

**Kalmar, I. D., Wautier, M., Bertrand, S., Collard, J. M., & Vanneste, K.(2021).** Emerging foodborne pathogens: A review on the emergence and resurgences of foodborne bacterial pathogens. *Microorganisms*, 9(4), 838.<https://doi.org/10.3390/microorganisms9040838>

• **Kambourova, M., Radchenkova, N., Tomova, I., & Bojadjieva, I.(2016).** Thermophiles as a promising source of exopolysaccharides with interesting properties. In P. Singh, C. Isarankura-Na-Ayudhya, & A. R. Pandey (Eds.), *Biotechnology of extremophiles* (pp. 117–139). Springer, Cham.

• **Khalfaoui, H., Boukercha, D., Gherib, M., & Abed, F.(2023).** Qualité microbiologique des yaourts produits artisanalement et industriellement dans l'Est algérien. *Science et Technologie. Série C, Sciences Biologiques et Sciences de la Santé*, 58(2), 87–94.

### -L-

- **Lahtinen, S. J., Ouwehand, A. C., Salminen, S. J., & Wright, A. V. (2011).** *Lactic acid bacteria: Microbiological and functional aspects* (4th ed.). CRC Press.
- **Lamontagne, M. (2002).** Produits laitiers. In C. L. Vignola (Éd.), *Science et technologie du lait : Transformation du lait* (pp. 93–139). Presses Internationales Polytechnique.
- **Le Boucher, C., Cousin, F. J., Moëgne-Loccoz, Y., Goossens, D., Stocker, P., Van de Guchte, M., & Maguin, E. (2015).** Symbiotic relationship between *Streptococcus thermophilus* and *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* in milk: A transcriptomic study of key genes involved in the association. *Applied and Environmental Microbiology*, 81(15), 6241–6253.
- **Leclerc, H., Mossel, D. A. A., Edberg, S. C., & Struijk, C. B. (2001).** Advances in the bacteriology of the coliform group: Their suitability as markers of microbial water safety. *Revue Scientifique et Technique (International Office of Epizootics)*, 20(3), 717–726. <https://doi.org/10.20506/rst.20.3.1301>
- **Legarto, J., Gele, M., Felay, A., Hurstaud, C., Lagriefeul, G., Palhière, I., Peyraud, J.-L., Rouille, B. et Brunshwig, P., 2014.** Effets des conduites d'élevage sur la production du lait, les taux butyreux et protéiques et la composition en acides gras du lait de vache, chèvre et brebis évalués par spectrométrie dans le moyen infrarouge. *INRA Productions Animales*, vol. 27, n° 4, p. 269–282.
- **Lollo, P. C. B., Morato, P. N., Moura, C. S., & Amaya-Farfan, J. (2022).** Exopolysaccharides from yogurt cultures: Technological and health-promoting aspects. *Food Hydrocolloids*, 122, 107093.
- **Lourens-Hattingh, A., & Viljoen, B. C. (2001).** Yogurt as probiotic carrier food. *International Dairy Journal*, 11(1–2), 1–17. [https://doi.org/10.1016/S0958-6946\(01\)00036-X](https://doi.org/10.1016/S0958-6946(01)00036-X)
- **Lucey, J. A. (2004).** Cultured dairy products: An overview of their gelation and texture properties. *International Journal of Dairy Technology*, 57(2), 77–84.
- **Lupien, J. R. (1998).** *Le lait et les produits laitiers dans la nutrition humaine*. FAO (Collection Alimentation et Nutrition).

### -M-

• Marco, M. L., Heeney, D., Binda, S., Cifelli, C. J., Cotter, P. D., Foligné, B., Gänzle, M., Kort, R., Pasin, G., Pihlanto, A., Smid, E. J., & Hutkins, R. (2021). Health benefits of fermented foods: Microbiota and beyond. *Current Opinion in Biotechnology*, 70, 147–155.

• Marder, E. P., Griffin, P. M., Cieslak, P. R., Dunn, J., Hurd, S., Jervis, R., ... Hoekstra, R. M. (2018). Incidence and trends of infections with pathogens transmitted commonly through food and the effect of increasing use of culture-independent diagnostic tests — Foodborne Diseases Active Surveillance Network, 10 U.S. sites, 2013–2016. *Morbidity and Mortality Weekly Report*, 67(10), 324–328. <https://doi.org/10.15585/mmwr.mm6710a1>

• Marié, C., Galia, W., Guzzo, J., & Cocconcelli, P. S. (2020). Dairy lactic acid bacteria and their interactions: Genomic insights and biotechnological applications. *Microbial Cell Factories*, 19, Article 208.

• Mehta, D., & Satyanarayana, T. (2013). Diversity of hot environments and thermophilic microbes. In T. Satyanarayana, B. N. Johri, & A. E. Bala (Eds.), *Thermophilic microbes in environmental and industrial biotechnology: Biotechnology of thermophiles* (pp. 4–60). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-94-007-5899-5\\_2](https://doi.org/10.1007/978-94-007-5899-5_2)

• Mercenier, A., Pavan, S., & Pot, B. (2003). Probiotics as biotherapeutic agents: Present knowledge and future prospects. *Current Pharmaceutical Design*, 9(2), 175–191.

• Ministère de l'Agriculture. (2017). *Arrêté fixant les conditions d'hygiène applicables dans les laiteries* (n° 24-17 du 25 février 2017). *Journal officiel de la République algérienne*, n° 15, 12–18.

### -O-

• Ouwehand, A. C., Salminen, S., & Isolauri, E. (2002). Probiotics: an overview of beneficial effects. *Antonie van Leeuwenhoek*, 82(1–4), 279–289.

<https://doi.org/10.1023/A:1020620607611>

### -P-

- **Pacikora, E. (2004).***Interactions physico-chimiques et sensorielles dans le yaourt brassé aromatisé : Quels impacts respectifs sur la perception de la texture et de la flaveur* [Thèse de doctorat, Institut National Agronomique Paris-Grignon]. HAL. <https://theses.hal.science/tel-00007790>
- **Panda, M. K., Sahu, M. K., & Tayung, K.(2013).**Isolation and characterization of a thermophilic *Bacillus* sp. with protease activity isolated from hot spring of Tarabalo, Odisha, India. *Iranian Journal of Microbiology*, 5(2), 159–165.
- **Pérez-Losada, M., Alam, M. T., Crandall, K. A., &Freitas, A. T. (2018).** Clostridium diversity and evolution in the humangut. *Microbiome*, 6(1), 179.
- **Piquepaille, C. (2013).***Place des probiotiques dans le traitement de diverses pathologies intestinales* [Thèse de doctorat en pharmacie, Université de Limoges].
- **Pogačić, T., Švigir, A., Krstanović, A., & Mrvčić, J. (2019).**Yeasts in fermented dairy products: Impact on product quality and safety. *Fermentation*, 5(1), 13. <https://doi.org/10.3390/fermentation5010013>

### -R-

- **Rahan, A., & Si Tahar, M. (2009).***Caractérisation physico-chimique du lait de mélange dans la région de Tizi Ouzou* [Mémoire de recherche, Université Mouloud Mammeri de Tizi Ouzou].
- **Raveschot, C., Cunha Pinho, C. M., Levieux, S., Béal, C., Dary-Mourot, A., & Cudennec, B. (2020).** Peptides from milk fermentation with *Lactobacillus* and *Streptococcus* species: Biological activities and potential health benefits. *Food Research International*, 129, 108859. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.108859>
- **Righi, F. Z., & Chaa, Z. M.(2022).***Les microorganismes hyperthermophiles producteurs de cellulase* [Mémoire de master, Université Mohamed Khider de Biskra]. 56 p.
- **Romain, J., Thomas, C., Michel, M., Pierre, S., & Gérard, B. (2008).***Les produits laitiers* (Éd. revue, 200 p.). Éditions France Agricole.
- **Romain, J., Thomas, C., Michel, M., Pierre, S., & Gérard, B.(2015).***Les produits laitiers : Composition, transformation et qualité.* Éditions France Agricole.

### -S-

• **Samson, R., Lacroix, C., & Audet, P. (2020).** Advances in probiotic dairy product development and assessment of their functionality. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 60(3), 345–360.

• **Scaldaferri, F., Gerardi, V., Mangiola, F., Pecere, S., Bombardieri, M., & Lopetuso, L. R. (2016).** Role and mechanisms of action of *Escherichia coli* Nissle 1917 in the maintenance of remission in ulcerative colitis patients: An update. *World Journal of Gastroenterology*, 22(24), 5505–5511. <https://doi.org/10.3748/wjg.v22.i24.5505>

• **Schenk, M., Raffellini, S., Guerrero, S., & Zaritzky, N. (2018).** Quality and safety of ready-to-eat fermented meat products. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 17(4), 953–971.

• **Scher, J. (2003).** Rhéologie, texture et texturation des produits alimentaires. In *Techniques de l'ingénieur (Traité Agroalimentaire, F3300, pp. 2–15)*. Techniques de l'Ingénieur. Scientific opinion on the safety of *Streptococcus thermophilus* food supplements. *EFSA Journal*, 20(5):7325.

• **Sieuwerts, S., de Bok, F. A. M., Hugenholtz, J., & van Hylckama Vlieg, J. E. T. (2008).** Unraveling microbial interactions in food fermentations: From classical to genomics approaches. *Applied and Environmental Microbiology*, 74(16), 4997–5007.

• **Sodini, C., & Béal, I. (2008).** Fabrication des yaourts et des laits fermentés. In J.-C. Gripon (Éd.), *Le lait : Génie alimentaire* (pp. 335–359). Lavoisier Tec & Doc.

• **Soualhi, M. (2012).** *Analyse physico-chimique de yaourts locaux* [Mémoire de magistère, Université Saad Dahlab – Blida]. di.univ-blida .dz.

• **Soudaki, K., & Attaf, Y. (2009).** *Procédés de fabrication du yaourt alimentaire : Unité d'ARIB* [Mémoire de fin d'étude, Université de Khemis Miliana].

• **Stetter, K. O. (2006).** Hyperthermophiles in the history of life. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 361(1474), 1837–1843.

### -T-

• **Tamang, J. P., Watanabe, K., & Holzapfel, W. H. (2022).** Diversity of microorganisms in global fermented foods and beverages. *Frontiers in Microbiology*, 13, 839151.

• **Tamime, A. Y., & Robinson, R. K. (2007).** *Tamime and Robinson's Yoghurt: Science and technology* (3rd ed.). Cambridge : Woodhead Publishing.

• **Tamime, A. Y., & Robinson, R. K. (2021).** *Yoghurt: Science and technology* (4th ed.). Woodhead Publishing.

• **Toba, T., Tomita, Y., Itoh, T., & Adachi, S. (1981).**  $\beta$ -Galactosidase of lactic acid bacteria: Characterization by oligosaccharides formed during hydrolysis of lactose. *Journal of Dairy Science*, 64(2), 185–192.

### -V-

• **Vinderola, G., Ouwehand, A., Salminen, S., & von Wright, A. (2019).** Lactic acid bacteria: Microbiological and functional aspects. In *Lactic acid bacteria: Microbiological and functional aspects* (5th ed.). CRC Press.

• **Vos, P., Garrity, G., Jones, D., Krieg, N. R., Ludwig, W., Rainey, F., Schleifer, K.-H., & Whitman, W. B. (Eds.). (2011).** *Bergey's manual of systematic bacteriology: Volume 3 – The Firmicutes* (2nd ed., 1450 p.). Springer. <https://doi.org/10.1007/978-0-387-68489-5>

### -W-

• **World Health Organization. (2022).** *Guidelines for drinking-water quality: Fourth edition incorporating the first and second addenda*. World Health Organization. <https://www.who.int/publications/i/item/9789240045064>

• **Wouters, D., Smid, E. J., & Hugenholtz, J. (2023).** Advances in functional dairy fermentation: Microbial ecology, health benefits, and industrial applications. *Current Opinion in Food Science*, 51, 100952.

### -Y-

• **Yao, Y., Song, Y., & Zhou, Y. (2020).** Physiological characteristics and probiotic potentials of *Streptococcus thermophilus* isolated from traditional fermented dairy products in China. *Journal of Dairy Science*, 103(9), 7984–7994. <https://doi.org/10.3168/jds.2019-18003>

• **Yildiz, F. (2010).** *Development and manufacture of yogurt and other functional dairy products*. CRC Press. 454 p.

• **Yoneda, Y., Yoshida, T., Yasuda, H., Imada, C., & Sako, Y. (2013).** A thermophilic, hydrogenogenic and carboxydrotrophic bacterium, *Calderihabitans maritimus* gen. nov., sp. nov., from a marine sediment core of an undersea caldera. *International Journal*

of *Systematic and Evolutionary Microbiology*, 63(10), 3602–3608.  
<https://doi.org/10.1099/ijs.0.051938-0>

### -Z-

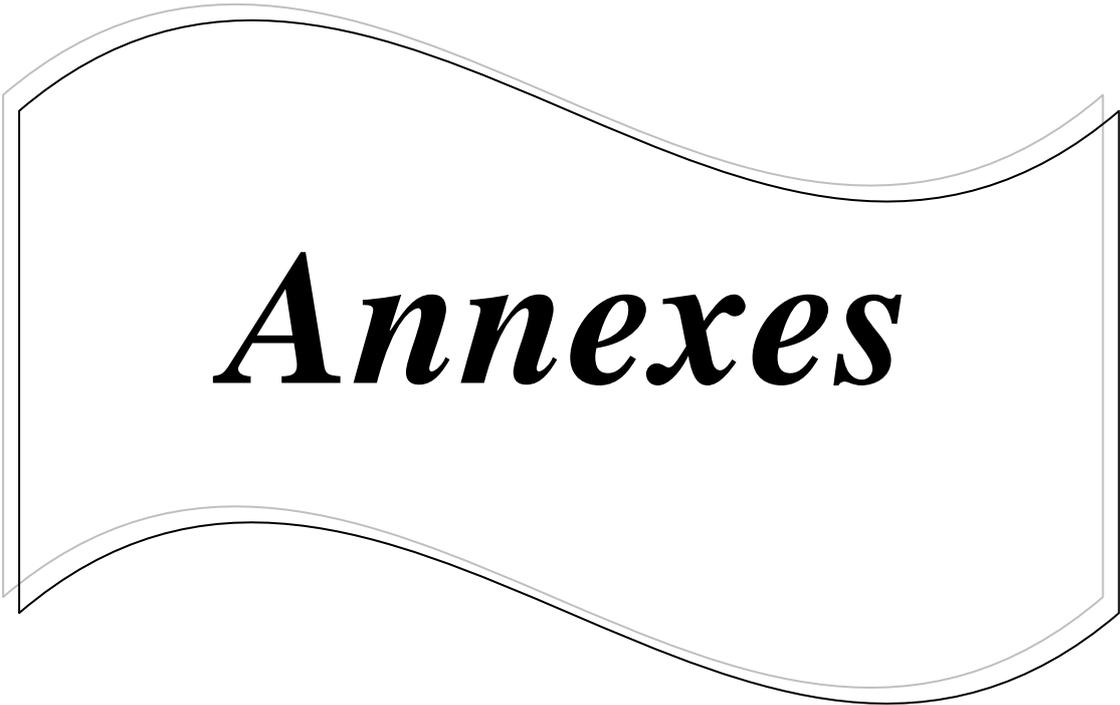
• **Zeng, X., Alain, K., & Shao, Z. (2021).** Microorganisms from deep-sea hydrothermal vents. *Marine Life Science & Technology*, 3, 204–230.

• **Zubillaga, M., Weill, R., Postaire, E., Goldman, C., Caro, R., & Boccio, J. B. (2001).** Effect of probiotics and functional foods and their use in different diseases. *Nutrition Research*, 21, 569.

• **Zheng, J., Wittouck, S., Salvetti, E., Franz, C.M.A.P., Harris, H.M.B., Mattarelli, P., O’Toole, P.W., Pot, B., Vandamme, P., Walter, J., & Lebeer, S. (2020).** A taxonomic note on the genus *Lactobacillus*: Description of 23 novel genera, emended description of the genus *Lactobacillus* Beijerinck 1901, and union of *Lactobacillaceae* and *Leuconostocaceae*. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 70(4), 2782–2858.

• **Zhang, L., Liu, C., Li, D., Zhao, Y., Zhang, X., Zeng, X., & Yang, W. (2021).** Effect of fermented milk containing *Streptococcus thermophilus* on the gut microbiota of mice. *Food Research International*, 147, 110569. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2021.110569>.

• **Zotta, T., Parente, E., Ianniello, R. G., De Filippis, F., Ricciardi, A., & Reale, A. (2017).** Dynamics of bacterial communities and interaction networks in thermophilic fermented milks. *International Journal of Food Microbiology*, 248, 10–21. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2017.02.008>.



***Annexes***

**Annexe 01:** La composition des milieux de culture utilisés pour les analyses microbiologiques.

### VRBD

<b>Peptone</b>	<b>7g</b>
<b>Extrait de levure</b>	3g
<b>Chlorure de sodium (Na Cl)</b>	5g
<b>D-glucose (dextrose)</b>	10g
<b>Sels biliaries n° 3</b>	1,5g
<b>Rouge neutre (violet de gentiane)</b>	0,01g
<b>Cristal violet</b>	0,002g
<b>Agar</b>	15g

Le *pH* du milieu prêt à l'emploi : 7,2 à 25°C.

### ALOA

<b>Peptone</b>	<b>23g</b>
<b>Chlorure de sodium (NaCl)</b>	5g
<b>Glucose</b>	2g
<b>Phosphate disodique</b>	2,5g
<b>Glycine</b>	1g
<b>Lithium chlorure</b>	10g
<b>Acriflavine</b>	0.015g
<b>Cefoxitine</b>	0,02g
<b>Nalidixique acide</b>	0,02g

<b>Chromogène (substrat d'une phosphatidylinositol-phospholipase C)</b>	0,15g
<b>Agar</b>	13g

Le *pH* du milieu prêt à l'emploi : 7,2 à 25 °C.

### SS

<b>Extrait de viande de bœuf</b>	<b>5g</b>
<b>Peptone</b>	5g
<b>Citrate de sodium</b>	10g
<b>Seles biliaries</b>	4,2g
<b>Lactose</b>	100g
<b>Rouge neutre</b>	0.025g
<b>Vert brillant</b>	0,003g
<b>Citrate de fer</b>	2g
<b>Thiosulfate de sodium</b>	8,5g
<b>Agar</b>	12g
<b>Eau distillée</b>	1000ml

Le *pH* du milieu prêt à l'emploi : 7,0 à 25°C.

### Chapman

<b>Tryptone</b>	<b>5g</b>
<b>Peptone pepsique de viande</b>	5g
<b>Extrait de viande</b>	1g
<b>Mannitol</b>	10g

<b>Chlorure de sodium</b>	75g
<b>Rouge de phénol</b>	25g
<b>Agar</b>	15g
<b>Eau distillée</b>	1000ml

**Autoclavage à 120°C pendant 15 min.**

**Le *pH* du milieu prêt à l'emploi : 7,4 à 25°C.**

### **Eau peptone**

<b>Peptone de caséine</b>	<b>10g</b>
<b>Chlorure de sodium</b>	5g
<b>Phosphate de sodium</b>	12g
<b>Phosphate de potassium</b>	1,5g
<b>Eau distillée</b>	1000ml

**Autoclavage à 120°C pendant 15 min.**

**Le *pH* du milieu prêt à l'emploi : 7,4 à 25°C.**

### **Bouillon Giolitti-Cantoni**

<b>Tryptone</b>	<b>10g</b>
<b>Extrait de viande</b>	5g
<b>Extrait de levure</b>	5g
<b>Chlorure de lithium</b>	5g

<b>Mannitol</b>	20g
<b>Chlorure de sodium</b>	5g
<b>Glycine</b>	1,2g
<b>Pyruvate de sodium</b>	3g
<b>Eau distillée</b>	1000ml

**Le *pH* du milieu prêt à l'emploi : 6,9 à 25°C.**

**Annexe 2** : Le journal officiel de la république Algérienne n°39 correspondant au 2 Juillet 2017.

14		JOURNAL OFFICIEL DE LA REPUBLIQUE ALGERIENNE N° 39		8 Chaoual 1438 2 juillet 2017	
1- Laits et produits laitiers (suite)					
Catégories des denrées alimentaires	Micro-organismes/ métabolites	Plan d'échantillonnage		Limites microbiologiques (ufc (1)/g ou ufc/ml)	
		n	c	m	M
Crème pasteurisée	Enterobacteriaceae	5	2	10	10 <sup>2</sup>
	Staphylocoques à coagulase +	5	2	10	10 <sup>2</sup>
	<i>Salmonella</i>	5	0	Absence dans 25 g	
	<i>Listeria monocytogenes</i>	5	0	100	
Crèmes glacées et desserts lactés congelés	Germes aérobies à 30 °C	5	2	10 <sup>5</sup>	10 <sup>6</sup>
	Staphylocoques à coagulase +	5	2	10	10 <sup>2</sup>
	Enterobacteriaceae	5	2	10	10 <sup>2</sup>
	Enterobacteriaceae (2)	5	2	50	5.10 <sup>2</sup>
	<i>Salmonella</i>	5	0	Absence dans 25 g	
	<i>Listeria monocytogenes</i>	5	0	100	
Beurre cru	<i>Escherichia coli</i>	5	2	10	10 <sup>2</sup>
	Staphylocoques à coagulase +	5	2	10 <sup>2</sup>	10 <sup>3</sup>
	<i>Salmonella</i>	5	0	Absence dans 25 g	
	<i>Listeria monocytogenes</i>	5	0	100	
Beurre pasteurisé	Enterobacteriaceae	5	2	10	10 <sup>2</sup>
	Staphylocoques à coagulase +	5	2	10	10 <sup>2</sup>
	<i>Salmonella</i>	5	0	Absence dans 25 g	
	<i>Listeria monocytogenes</i>	5	0	100	
Beurre concentré	Germes aérobies à 30 °C	5	2	5.10 <sup>2</sup>	5.10 <sup>3</sup>
	Staphylocoques à coagulase +	5	0	Absence	
	Coliformes totaux	5	0	Absence	
	<i>Salmonella</i>	5	0	Absence dans 25 g	
Laits fermentés (Lben, Raib...)	Coliformes totaux	5	2	3.10 <sup>4</sup>	3.10 <sup>5</sup>
	Coliformes thermotolérants	5	2	30	3.10 <sup>2</sup>
	Staphylocoques à coagulase +	5	2	3.10 <sup>2</sup>	3.10 <sup>3</sup>
	<i>Salmonella</i>	5	0	Absence dans 25 g	
	<i>Listeria monocytogenes</i>	5	0	100	
Yaourts ou yoghourts et desserts lactés	Enterobacteriaceae	5	2	10	10 <sup>2</sup>
	Staphylocoques à coagulase +	5	2	10	10 <sup>2</sup>
	<i>Salmonella</i>	5	0	Absence dans 25 g	
	<i>Listeria monocytogenes</i>	5	0	100	
Caséines-caseinates	Germes aérobies à 30 °C	5	2	3.10 <sup>4</sup>	3.10 <sup>5</sup>
	Staphylocoques à coagulase +	5	0	Absence	
	Coliformes totaux	5	0	Absence dans 0,1 g	
	<i>Salmonella</i>	5	0	Absence dans 25 g	

(1) Ufc : unité formant colonie.  
(2) Ce critère s'applique au stade du portionnement dans le commerce de détail, c'est-à-dire lors du fractionnement ou de la manipulation en vue de la vente directe au consommateur final.

**Annexe 3** : Le tableau (ci-dessous) présente les analyses physico-chimiques et microbiologiques utilisées dans l'unité «Numidia» lors de la fabrication du yaourt.

### 1. Analyses physico-chimiques

Analyse	Principe	Mode opératoire	Expression des résultats
<b>1. Analyse du lait cru.</b>	Mesure ultrasonique des propriétés physico-chimiques sans réactifs chimiques.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Prélever échantillon frais</li> <li>- Transférer dans flacon stérile</li> <li>- Introduire dans un Analyseur de lait ultrasonique.</li> <li>- Lancer l'analyse et enregistrer résultats</li> </ul>	Résultats affichés sur écran numérique (matière grasse, protéines, densité, etc.)
<b>2. Test d'ATB (Antibiotiques).</b>	Réaction chimique sur bandelette réactive provoquant un changement de couleur.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Prélever 200 µL de lait</li> <li>- Mélanger avec réactif MilkSafe 3BTC</li> <li>- Incuber avec Mini Incubator.</li> <li>- Placer bandelette et lire les résultats.</li> </ul>	Ligne absente = test positif (résidus présents) Ligne présente = test négatif (absence de résidus).
<b>3. Dosage matière grasse (Gerber)</b>	Dégradation des protéines par acide sulfurique, séparation de la matière grasse par centrifugation.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Prélever 11 g de yaourt</li> <li>- Ajouter acide sulfurique et alcool iso-amylque dans butyromètre</li> <li>- Centrifuger 5 min à 1200 rpm.</li> </ul>	Lecture directe sur butyromètre en % ou g/L.

<p><b>4. Détermination de l'humidité (extrait sec)</b></p>	<p>Mesure de la matière sèche après évaporation complète de l'eau par dessiccation.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Prélever 2 g de yaourt</li> <li>- Séchage dans dessiccateur à 105 °C jusqu'à poids constant.</li> </ul>	<p>Résultat en % massique d'extrait sec affiché.</p>
<p><b>5. Détermination du pH</b></p>	<p>Mesure de l'activité des ions H<sup>+</sup> dans le yaourt à l'aide d'un pH-mètre chaque 1 heure pendant 5 heures.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Immerger une électrode calibrée dans le yaourt.</li> <li>- Attendre stabilisation.</li> <li>- Noter la valeur.</li> </ul>	<p>Lecture directe sur afficheur numérique, et la courbe des variations tracée.</p>
<p><b>6. Détermination de l'acidité titrable</b></p>	<p>Neutralisation des ions H<sup>+</sup> par titrage à la soude avec indicateur phénolphaléine.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Prélever 10 mL de yaourt</li> <li>- Ajouter 3 gouttes d'indicateur</li> <li>- Titrer avec NaOH jusqu'à couleur rose persistante.</li> </ul>	<p>Exprimée en °D : 80–100 °D pour le yaourt (0,01 g acide lactique/L).</p>

**2. Analyses microbiologique**

Recherche microbienne	Mode opératoire	Lecture / Résultat
<p><b>Recherche des entérobactéries</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Prélever 1 g d'échantillon dans 9 mL d'eau peptone et agité.</li> <li>- Prélever 1 mL de suspension dans une boîte de Pétri.</li> <li>- Ajouter milieu VRBD, mélanger doucement.</li> <li>- Laisser solidifier.</li> <li>- Incuber à 30 °C pendant 24 h.</li> </ul>	<p align="center">Colonies roses apparente</p>

<b>Recherche des Listeria</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Prélever 1 g d'échantillon dans 9 mL d'eau peptone et agité.</li> <li>- Prélever 1 mL de suspension dans une boîte de Pétri.</li> <li>- Ajouter milieu ALOA, mélanger.</li> <li>- Laisser solidifier.</li> <li>- Incuber à 37 °C pendant 24 à 48 heures.</li> </ul>	Colonies bleu-vert avec halo opaque (brillantes).
<b>Recherche des salmonelles</b>	<p><b>Pré-enrichissement</b> :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Prélever 1 g d'échantillon dans 9 mL d'eau peptone et agité.</li> <li>- Incuber 37 °C pendant 24 heures.</li> </ul> <p><b>Enrichissement</b> :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Prélever 1 mL et transférer dans 9 mL du bouillon SFB.</li> <li>- Incuber 30 °C pendant 24 heures.</li> </ul> <p><b>Repiquage</b> :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Ensemencer le milieu SS.</li> <li>- Incuber 37 °C pendant 18 à 24 heures.</li> </ul>	Colonies incolores avec centre noir (production de H <sub>2</sub> S).
<b>Recherche Staphylococcus aureus</b>	<p><b>Pré-enrichissement</b> :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Prélever 1 g d'échantillon dans 9 mL d'eau peptone et agité.</li> <li>- Incuber 37 °C pendant 24 heures.</li> </ul> <p><b>Enrichissement</b> :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Prélever 1 mL et transférer dans 10 mL du bouillon Giolitti-Cantoni.</li> </ul>	Colonies noires entourées d'une zone claire (staphylocoques).

	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Incuber 37 °C pendant 24 heures.</li> </ul> <p><b>Repiquage</b> :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Ensemencer le milieu Chapman.</li> <li>- Incuber 37 °C pendant 18 à 24 heures.</li> </ul>	
--	---	--

#### Annexe 4 : Les moyennes des résultats analyses physico-chimique et microbiologique.

Les tableaux ci-dessous représentent les résultats moyens des analyses physico-chimique et microbiologique pendant 10 jours.

##### 1. Analyses physico-chimiques

##### 1.1. Analyses physico-chimiques du lait cru

Jour	Matière grasse (%)	ESD (%)	Densité (°D)	Protéines (%)	Lactose (%)	Sels minéraux (%)	Eau ajoutée (%)	Point de congélation (°C)
Jour 01	4,2	9,1	29,6	3,3	5,0	0,7	0,0	-0,586
Jour 02	4,1	9,0	29,5	3,2	5,0	0,7	0,0	-0,582
Jour 03	4,3	9,2	29,7	3,3	4,9	0,7	0,0	-0,590
Jour 04	4,2	9,1	29,6	3,3	5,1	0,7	0,0	-0,588
Jour 05	4,1	9,0	29,4	3,2	5,0	0,6	0,0	-0,580
Jour 06	4,2	9,3	29,8	3,3	5,2	0,7	0,0	-0,590
Jour 07	4,2	9,1	29,6	3,3	5,0	0,7	0,0	-0,584
Jour 08	4,3	9,2	29,7	3,4	4,9	0,7	0,0	-0,589

<b>Jour 09</b>	4,1	9,0	29,5	3,2	5,0	0,6	0,0	-0,583
<b>Jour 10</b>	4,2	9,1	29,6	3,3	5,1	0,7	0,0	-0,586

### 1.2. Résultats du test d'ATB de lait cru

<b>Jour</b>	<b>Bêta-lactamines</b>	<b>Tétracyclines</b>	<b>Sulfonamides</b>
<b>Jour 01</b>	Ligne visible	Ligne visible	Ligne visible
<b>Jour 02</b>	Ligne visible	Ligne visible	Ligne visible
<b>Jour 03</b>	Ligne visible	Ligne visible	Ligne visible
<b>Jour 04</b>	Ligne visible	Ligne visible	Ligne visible
<b>Jour 05</b>	Ligne visible	Ligne visible	Ligne visible
<b>Jour 06</b>	Ligne visible	Ligne visible	Ligne visible
<b>Jour 07</b>	Ligne visible	Ligne visible	Ligne visible
<b>Jour 08</b>	Ligne visible	Ligne visible	Ligne visible
<b>Jour 09</b>	Ligne visible	Ligne visible	Ligne visible
<b>Jour 10</b>	Ligne visible	Ligne visible	Ligne visible

### 1.3. Résultats des analyses physico-chimiques du yaourt

<b>Jour</b>	<b>MG (%)</b>	<b>EST (%)</b>	<b>pH (produit fini)</b>	<b>Acidité (°D)</b>
<b>Jour 01</b>	3,8	20,3	4,35	90
<b>Jour 02</b>	3,9	20,1	4,32	92
<b>Jour 03</b>	3,7	21,0	4,28	94
<b>Jour 04</b>	3,8	20,8	4,30	91
<b>Jour 05</b>	3,8	21,5	4,25	90

<b>Jour 06</b>	3,7	20,6	4,40	89
<b>Jour 07</b>	3,6	20,9	4,37	91
<b>Jour 08</b>	3,9	20,2	4,22	95
<b>Jour 09</b>	3,8	21,3	4,36	89
<b>Jour 10</b>	3,8	20,5	4,31	90

#### 1.4. Évolution du pH durant la fermentation

Temps (heures)	pH mesuré
<b>0 h (début)</b>	6,6
<b>1 h</b>	6,2
<b>2 h</b>	5,8
<b>3 h</b>	5,2
<b>4 h</b>	4,8
<b>5 h</b>	4,6

## 2. Analyses microbiologique

Jour	Entérobactéries (CFU/g)	Staphylococcus aureus (CFU/g)	Salmonella spp.	Listeria monocytogenes
<b>Jour 01</b>	Absente	Absente	Absente	Absente
<b>Jour 02</b>	Absente	Absente	Absente	Absente
<b>Jour 03</b>	Absente	Absente	Absente	Absente
<b>Jour 04</b>	Absente	Absente	Absente	Absente

<b>Jour 05</b>	Absente	Absente	Absente	Absente
<b>Jour 06</b>	Absente	Absente	Absente	Absente
<b>Jour 07</b>	Absente	Absente	Absente	Absente
<b>Jour 08</b>	Absente	Absente	Absente	Absente
<b>Jour 09</b>	Absente	Absente	Absente	Absente
<b>Jour 10</b>	Absente	Absente	Absente	Absente

## Annexe 5 : Questionnaire et ces résultats.

### 1. Questionnaire

#### 1. Aspect

Comment décririez-vous l'apparence du yaourt ?

- Homogène, surface lisse, sans séparation de phase
- Légèrement granuleux
- Présence de séparation de phase
- Autre (précisez) : \_\_\_\_\_

#### 2. Texture

Quelle est votre impression sur la consistance du yaourt ?

- Ferme et consistante, tient bien à la cuillère
- Moyennement ferme
- Trop liquide
- Présence de grumeaux
- Autre : \_\_\_\_\_

### 3. Odeur

Quelle odeur percevez-vous ?

- Odeur lactée fraîche, légèrement acidulée
- Odeur neutre
- Odeur désagréable (moisi, rance, etc.)
- Autre : \_\_\_\_\_

### 4. Goût

Comment évaluez-vous la saveur ?

- Douce, acidité modérée et agréable
- Trop acide
- Saveur fade
- Présence d'amertume ou arrière-goût
- Autre : \_\_\_\_\_

### 5. Couleur

La couleur vous paraît-elle conforme ?

- Blanche uniforme, brillante
- Blanche avec taches ou variation de couleur
- Autre : \_\_\_\_\_

### 6. Acceptabilité globale

Que pensez-vous du yaourt dans son ensemble ?

- Très satisfaisant – conforme aux attentes
- Satisfaisant – quelques défauts mineurs
- Moyennement satisfaisant – plusieurs défauts
- Non satisfaisant

## 2. Résultats du questionnaire

<b>Critère</b>	<b>Modalité choisie (description)</b>	<b>Nombre d'étudiants (sur 20)</b>	<b>%</b>
<b>Aspect</b>	Homogène, surface lisse, sans séparation de phase	18	90
	Légèrement granuleux	2	10
<b>Texture</b>	Ferme, tient bien à la cuillère, sans grumeaux	17	85
	Moyennement ferme	2	10
	Présence de grumeaux	1	5
<b>Odeur</b>	Odeur lactée fraîche, légèrement acidulée	19	95
	Odeur neutre	1	5
<b>Goût</b>	Douce, acidité modérée agréable	18	90
	Trop acide	1	5
	Saveur fade	1	5
<b>Couleur</b>	Blanche uniforme, brillante	20	100
<b>Acceptabilité globale</b>	Très satisfaisant – conforme aux attentes	17	85
	Satisfaisant – quelques défauts mineurs	3	15