



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE  
UNIVERSITE DE TISSEMSILT  
INSTITUT DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE  
DEPARTEMENT DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE



Mémoire de fin d'études pour l'obtention du  
diplôme de Master Académique en

Filière : **Sciences Biologiques**

Spécialité : **Microbiologie appliquée**

*Thème*

## **Isolement et caractérisation des bactéries lactiques à partir de lait de chèvre**

Présentée par : Mr. HAKEM hadj Oussama  
M<sup>me</sup>. BOUZATEUR Ikhlas

Soutenu le 24/06/2026

Devant le Jury

**RABAH Fadlallah Hocine**

Président

M.C.B.

Univ-Tissemsilt

**SENOUCI Djamel Eddine**

Encadrant

M.C.B.

Univ-Tissemsilt

**BEDDAL Amira**

Examinatrice

M.C.B.

Univ-Tissemsilt

**Année universitaire : 2025-2026**

## Remerciements

Tout d'abord, nous exprimons notre profonde gratitude envers Allah Le Tout-Puissant, qui nous a accordé la force, la patience et le courage nécessaires pour mener à bien notre parcours universitaire.

Nous adressons nos plus sincères remerciements à notre encadreur, **Mr. Docteur SENOUCI Djamel Eddine**, Maître de Conférences -B- à l'université de Tissemsilt. Nous le remercions chaleureusement pour avoir proposé et dirigé ce travail, ainsi que pour sa grande disponibilité, ses précieux conseils et ses orientations judicieuses tout au long de la réalisation de ce mémoire.

Nous remercions Mr. **RABAH Hocine Fadelallah**, Maître de Conférence -B- à l'université de Tissemsilt, pour m'avoir fait l'honneur de présider le jury de ce mémoire.

Nous sommes aussi très honorés que **M<sup>me</sup> BEDDAL Amira**, Maître Conférence -B- à l'université de Tissemsilt, ait accepté de juger notre travail.

Nous adressons également nos sincères remerciements à **Monsieur TEFIAL Hakim**, Directeur de l'Institut des Sciences de la Nature et de la Vie, pour son soutien, ses encouragements et les conditions favorables qu'il a mises à notre disposition, contribuant ainsi à la réalisation de ce travail.

Nous adressons également nos sincères remerciements au personnel du **laboratoire du Centre Algérien du Contrôle de la Qualité et de l'Emballage (CACQE) de Tissemsilt** pour leur accueil, leur disponibilité, leur précieuse assistance ainsi que leur collaboration tout au long de la réalisation de ce travail.

Nous adressons nos sincères remerciements à **Mme CHEHIH Hadjira** pour sa disponibilité, son assistance technique précieuse et son accompagnement tout au long des travaux pratiques, qui ont grandement contribué à la réalisation de ce travail.

Nos sincères remerciements s'adressent à l'ensemble des membres du **Laboratoire de Recherche en Agriculture et Environnement**, pour leur accueil, leur disponibilité et leur précieuse collaboration.

Nous adressons nos sincères remerciements à **DR. Mahmoud**, **Mme NADIR**, et **Mme. ABDI** pour leur précieuse aide, leurs conseils avisés, leur disponibilité et leurs encouragements tout au long de la réalisation de ce travail.

Nous remercions également les membres du personnel du laboratoire de l'institut pour leur accompagnement.

Nos remerciements vont enfin à toutes les personnes qui ont participé, de près ou de loin, à l'aboutissement de ce projet par leur soutien ou leurs suggestions.

## Dédicace 1

À mes parents bien-aimés À ma mère, source inépuisable de patience et de prières. Ton soutien inconditionnel a été la lumière qui a éclairé mon chemin.

À mon père, Merci pour tes sacrifices silencieux et ta confiance infinie.

J'espère aujourd'hui vous rendre fiers.

À ma chère sœur Fatima Pour ta présence constante, ton écoute, tes encouragements et les moments précieux que nous partageons.

À mes compagnons de toujours Une dédicace simple, à l'image de notre amitié : authentique, solide et pleine de respect.

À l'ensemble des professeurs de l'Institut des Sciences de la Nature et de la Vie (SNV) Pour la qualité de votre enseignement,

Merci d'avoir partagé votre passion pour la biologie et d'avoir contribué à ma formation avec autant de bienveillance.

À tous ceux qui ont cru en moi, de près ou de loin

## Dédicace 2

إلى من كانا لهما فضلا في كل نجاح وصلت إليه، وإلى من تعبنا وضحيّا من أجلي دون انتظار مقابل...

**\*\*إلى أبي الغالي،\*\***

إلى الرجل الذي حمل همّ مستقبلي قبل أن أحمله أنا، إلى من تعب واجتهد وسهر من أجل أن يراني في أحسن المراتب. مهما كتبت فلن أوفيك حقك، فأنت مصدر قوتي وفخري وقوتي في الصبر والعطاء. أسأل الله أن يحفظك ويجزيك عني خير الجزاء.

**\*\*إلى أُمي الحبيبة،\*\***

إلى القلب الذي منحني الحب دون حدود، وإلى الدعوة الصادقة التي كانت ترافقني في كل امتحان وكل خطوة. كنت دائما ملجئي وأماني وسندي، فلك مني كل الحب والامتنان والعرفان.

**\*\*إلى والديّ العزيزين،\*\***

هذا الإنجاز ليس إنجازي وحدي، بل هو ثمرة سنوات من تعبكم وصبركم وتضحياتكم. ما وصلت إلى هذه المرحلة إلا بفضل الله ثم بفضلكم، فلكما أهدي هذا العمل بكل فخر ومحبة.

**\*\*إلى زوجي العزيز،\*\***

شكراً على دعمك وتشجيعك ومساندتك لي خلال هذه المرحلة، وعلى وقوفك إلى جانبي ومشاركتي لحظات التعب والنجاح. لك مني كل التقدير والامتنان.

**\*\*إليكُم جميعاً أهدي ثمرة جهدي، راجية أن أكون قد وفيت جزءاً يسيراً مما قدّمتموه لي من حب وعطاء. \*\***

اتقدم بخالص الشكر والامتنان إلى كل من رافقني خلال مشواري الجامعي الذي دام خمس سنوات، وكان له أثر جميل في دعمي وتشجيعي.

أتوجه بالشكر إلى صديقتي العزيزات شيماء، إيمان، سهام ومروة وهدى اللواتي شاركنني أجمل اللحظات، وتقاسمن معي تعب الدراسة وفرحة النجاح، فكنّ خير رفيقات الدرب.

كما أخصّ بالشكر رفيقتي الغالية دعاء التي كانت سنداً لي طوال هذه السنوات، تدعمني بكلماتها المشجعة ومواقفها الصادقة في مختلف الظروف.

ولا يفوتني أن أتقدم بجزيل الشكر إلى أختي العزيزة أفنان على دعمها المتواصل ومساندتها الدائمة لي، وعلى كل ما قدّمته من تشجيع ومحبة كان لهما أثر كبير في مواصلة هذا المشوار.

## Résumé

Cette étude porte sur l'importance nutritionnelle et microbiologique du lait cru de chèvre dans les régions semi-arides d'Algérie (Tiaret et Tissemsilt). L'objectif principal était d'isoler et d'identifier les bactéries lactiques (BL) locales à partir de 7 échantillons de lait provenant de quatre races : Arbia, Syrienne, Saanen et Alpine.

Les analyses physico-chimiques ont montré des différences entre les races. Les laits des races Arbia et Syrienne ont enregistré l'acidité la plus élevée (22 °D). En revanche, la race Alpine s'est distinguée par le taux de matière grasse le plus important (4,2 g/L). De plus, tous les échantillons ont montré une bonne stabilité à la chaleur.

Sur le plan microbiologique, l'isolement sur milieu MRS a permis d'obtenir 8 isolats purifiés. Toutes ces souches sont des bactéries Gram-positif et catalase-négatif, ce qui confirme leur appartenance aux bactéries lactiques. Les tests biochimiques ont révélé 6 profils différents, ce qui suggère la présence des genres *Lactococcus*, *Leuconostoc* et *Enterococcus*. Enfin, toutes les souches ont réussi à fermenter le lactose.

En conclusion, ces résultats montrent la diversité des bactéries lactiques dans la région de Tiaret et Tissemsilt. Ces souches locales représentent un bon potentiel pour fabriquer des produits laitiers traditionnels. Cependant, des analyses moléculaires restent nécessaires pour confirmer leur identification exacte.

**Mots-clés :** lait de chèvre, bactéries lactiques, caractérisation, analyses physico-chimiques, races caprines, Algérie

## **Abstract**

This study focuses on the nutritional and microbiological importance of raw goat's milk in the semi-arid regions of Algeria (Tiaret and Tissemsilt). The main objective was to isolate and identify local lactic acid bacteria (LAB) from 7 milk samples collected from four breeds: Arbia, Syrian, Saanen, and Alpine.

Physicochemical analyses revealed variations among the breeds. Milk from the Arbia and Syrian breeds recorded the highest acidity (22 °D). In contrast, the Alpine breed stood out with the highest fat content (4.2 g/L). Furthermore, all samples demonstrated good heat stability.

On the microbiological level, isolation on MRS medium yielded 8 purified isolates. All of these strains are Gram-positive and catalase-negative, confirming their classification as lactic acid bacteria. Biochemical tests revealed 6 distinct profiles, suggesting the presence of the genera *Lactococcus*, *Lactobacillus*, *Leuconostoc*, and *Enterococcus*. Finally, all strains successfully fermented lactose.

In conclusion, these results demonstrate the diversity of lactic acid bacteria in the regions of Tissemsilt and Tiaret. These local strains show great potential for the production of traditional dairy products. However, molecular analyses remain necessary to confirm their exact identification.

**Keywords:** goat's milk, lactic acid bacteria, characterization, physicochemical analyses, goat breeds, Algeria.

## ملخص

تتمحور هذه الدراسة حول الأهمية الغذائية والميكروبيولوجية للحليب الخام للماعز في المناطق شبه الجافة بالجزائر (تيارت وتيسمسيلت). كان الهدف الرئيسي هو عزل وتحديد بكتيريا حمض اللاكتيك (BL) المحلية من 7 عينات حليب مستخلصة من أربع سلالات: العربية، السورية، السانين، والألبين.

أظهرت التحاليل الفيزيائية والكيميائية وجود اختلافات بين السلالات؛ حيث سجل حليب سلالتَي العربية والسورية أعلى نسبة حموضة (22 درجة دورنيك). وفي المقابل، تميزت سلالة الألبين بأعلى معدل للمادة الدسمة (4.2 غ/لتر) و أظهرت جميع العينات استقراراً جيداً تجاه الحرارة.

من الناحية الميكروبيولوجية، سمح العزل على وسط (MRS) بالحصول على 8 عزلات منقاة. وتعتبر كل هذه السلالات بكتيريا موجبة الغرام وسالبة الكاتالاز، مما يؤكد انتمائها إلى بكتيريا حمض اللاكتيك. كما كشفت الاختبارات البيوكيميائية عن 6 أنماط مختلفة مشيرة إلى وجود الأجناس التالية: *Lactococcus* و *Lactobacillus* و *Leuconostoc* و *Enterococcus*، نجحت جميع السلالات في تخمير اللاكتوز.

في الختام، تُظهر هذه النتائج تنوع بكتيريا حمض اللاكتيك في منطقتي تيسمسيلت وتيارت. وتمثل هذه السلالات المحلية إمكانات جيدة لتصنيع منتجات الألبان التقليدية. ومع ذلك، تظل التحاليل الجزيئية ضرورية لتأكيد تحديدها الدقيق.

**الكلمات المفتاحية:** حليب الماعز، بكتيريا حمض اللاكتيك، التوصيف، التحاليل الفيزيائية والكيميائية، سلالات الماعز، الجزائر.

## Liste des figures

|                                                                                                                                               |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figure 1 : La race Arbia(Laouadi et al., 2020) .....                                                                                          | 6  |
| Figure 2 : La race Syrienne (Armstrong et al., 2006) .....                                                                                    | 7  |
| Figure 3 : La race Alpine (Waithaka&Kaguongo) .....                                                                                           | 8  |
| Figure 4 : race Saanen (Simon et al., 2022) .....                                                                                             | 9  |
| Figure 5 : La Klila .....                                                                                                                     | 11 |
| Figure 6 : Arbre phylogénétique du génome central avec les souches types de 25 groupes<br>phylogénétiques du genre <i>Lactobacillus</i> ..... | 19 |
| Figure 7 : Agitation manuelle le mélange avant la centrifugation .....                                                                        | 22 |
| Figure 8 : Traitement thermique pour test de stabilité .....                                                                                  | 23 |
| Figure 9 : La mesure de l'acidité Dornic .....                                                                                                | 24 |
| Figure 10 : La coagulation des échantillons .....                                                                                             | 24 |
| Figure 11 : Préparation des dilutions décimales .....                                                                                         | 25 |
| Figure 12 : pipette pasteur forme râteau pour étalement .....                                                                                 | 26 |
| Figure 13 : L'incubation des boîtes de Pétri .....                                                                                            | 26 |
| Figure 14 : Les 4 étape de la coloration différentielle .....                                                                                 | 27 |
| Figure 15 : Teste de catalase .....                                                                                                           | 28 |
| Figure 16 : préparation de milieux de cultures, Milieu de citrate de Simmons, Milieu de bile esculine<br>et Milieu M16 BCP .....              | 30 |
| Figure 17 : suspension bactérienne homogène sur bouillant MRS .....                                                                           | 31 |
| Figure 18 : Préparation de test des sucres .....                                                                                              | 31 |
| Figure 19 : Résultats de matière grasse dans butyromètre .....                                                                                | 32 |
| Figure 20 : Aspect macroscopique des colonies bactériennes.....                                                                               | 33 |
| Figure 21 : Aspect macroscopique des isolats après purification.....                                                                          | 33 |
| Figure 22 : Aspect microscopique des isolats (isolat 2 souche de la race saanen) .....                                                        | 34 |
| Figure 23 : Aspect microscopique des souches colorer en violette .....                                                                        | 34 |
| Figure 24 : résultat de test catalase négatif.....                                                                                            | 35 |
| Figure 25 : Type fermentaire sur milieu MRS liquide contenant la cloche de durham.....                                                        | 36 |
| Figure 26 : Résultats du test d'ADH .....                                                                                                     | 36 |
| Figure 27 : Résultats du l'hydrolyse de l'esculine.....                                                                                       | 37 |
| Figure 28 : Résultat citrate de Simmons négatif pour tous les isolats.....                                                                    | 38 |
| Figure 29 : Résultat de Test de l'influence du pH sur la croissance bactérienne d'isolat de la race<br>ArbiaA1.....                           | 38 |
| Figure 30 : résultat de l'effet de la température sur la croissance bactérienne d'isolat de la race alpin<br>(P1) .....                       | 39 |
| Figure 31 : Résultats de fermentations de sucre .....                                                                                         | 40 |

## Liste des tableaux

|                                                                             |    |
|-----------------------------------------------------------------------------|----|
| Tableau 1 : Comparatif de la Composition Physico-Chimique.....              | 10 |
| Tableau 2 : Synthèse comparative entre les deux voies de fermentations..... | 16 |
| Tableau 3 : Tableau récapitulatif des Tests physico chimique .....          | 32 |
| Tableau 4 : les résultats de fermentations de sucre.....                    | 40 |
| Tableau 5 : Tableau réceptif des résultats des tests des isolats .....      | 41 |

## Sommaire

|                                                                     |           |
|---------------------------------------------------------------------|-----------|
| Remerciements .....                                                 | i         |
| Dédicace 1 .....                                                    | iii       |
| Dédicace 2 .....                                                    | iv        |
| Résumé .....                                                        | v         |
| Abstract .....                                                      | vi        |
| ملخص .....                                                          | vii       |
| Liste des figures .....                                             | viii      |
| Liste des tableaux .....                                            | ix        |
| Sommaire .....                                                      | x         |
| Introduction .....                                                  | 1         |
| I. Partie Bibliographie .....                                       | 4         |
| I.1. Le Lait de Chèvre, Contexte Caprin et Produits Dérivés .....   | 4         |
| <b>I.1.1. Définition biologique.....</b>                            | <b>4</b>  |
| <b>I.1.2. Définition réglementaire.....</b>                         | <b>4</b>  |
| <b>I.1.3. La race Arbia(Race locale Algérienne) .....</b>           | <b>5</b>  |
| <b>I.1.4. La race Syrienne ( ou Syrienne) .....</b>                 | <b>7</b>  |
| <b>I.1.5. La race Alpine .....</b>                                  | <b>7</b>  |
| <b>I.1.6. La race Saanen.....</b>                                   | <b>8</b>  |
| <b>I.3. Analyse des Variations .....</b>                            | <b>9</b>  |
| I.3.1. Race Arbia .....                                             | 9         |
| I.3.2. Race Saanen .....                                            | 9         |
| I.3.3. Race Alpine.....                                             | 9         |
| I.3.4. Race Syrienne .....                                          | 10        |
| <b>I.2. La Composition Physico-Chimique du lait de chèvre .....</b> | <b>10</b> |
| I.4.1. Le Jben.....                                                 | 10        |
| I.4.2. La Klila .....                                               | 11        |
| I.4.3. Le Raïb et le Lben.....                                      | 11        |
| <b>I.4.4. Les Yaourts Caprins.....</b>                              | <b>11</b> |
| <b>I.4.5. Les Glaces Caprines.....</b>                              | <b>12</b> |
| <b>I.4.6. Autres produits dérivés .....</b>                         | <b>12</b> |

|                                                                                                       |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>A. Ricotta</b> .....                                                                               | 12 |
| <b>B. Produits divers</b> .....                                                                       | 12 |
| <b>Les Bactéries Lactiques (BL)</b> .....                                                             | 13 |
| <b>I. Définition général</b> .....                                                                    | 13 |
| <b>I.1. Définition</b> .....                                                                          | 13 |
| <b>II. Caractères morphologiques et physiologiques</b> .....                                          | 14 |
| <b>II.1. Morphologie et structure cellulaire</b> .....                                                | 14 |
| <b>II.2. Physiologie et exigences de croissance</b> .....                                             | 14 |
| <b>II.2.1. Facteurs environnementaux de développement</b> .....                                       | 15 |
| <b>II.2.2. Métabolisme glucidique</b> .....                                                           | 15 |
| <b>II.3. Habitats</b> .....                                                                           | 16 |
| <b>II.3.1. Habitats naturels et niches biologiques</b> .....                                          | 16 |
| <b>II.3.2. Matrices alimentaires et écosystèmes laitiers</b> .....                                    | 16 |
| <b>II.4. Classification</b> .....                                                                     | 17 |
| <b>II.4.1. La classification d’Orla-Jensen</b> .....                                                  | 17 |
| <b>II.5. Identification</b> .....                                                                     | 19 |
| <b>II.5.1. Identification phénotypique classique (Approche de routine)</b> .....                      | 19 |
| <b>II.5.2. Caractérisation physiologique et métabolique</b> .....                                     | 20 |
| <b>II.6. Identification moléculaire et moderne (Approche de certitude)</b> .....                      | 20 |
| <b>PARTIE II : MATERIEL ET METHODES</b> .....                                                         | 21 |
| <b>1. Lieu et période d’étude</b> .....                                                               | 21 |
| <b>2. Échantillonnage de lait du chèvre</b> .....                                                     | 21 |
| <b>3. Analyses physico-chimiques</b> .....                                                            | 22 |
| <b>3.1. Détermination de la teneur en matière grasse (Méthode acido-butyrométrie de Gerber)</b> ..... | 22 |
| <b>3.2. Évaluation de la stabilité thermique</b> .....                                                | 23 |
| <b>3.3. Détermination de l'acidité titrable (Acidité Dornic)</b> .....                                | 23 |
| <b>4.1. L’isolement des bactéries lactiques</b> .....                                                 | 25 |
| <b>4.1.1 Préparation des échantillons et dilutions décimales</b> .....                                | 25 |
| <b>4.1.2 Ensemencement sur milieux sélectifs</b> .....                                                | 25 |
| <b>4.1.3 Purification et vérification</b> .....                                                       | 26 |
| <b>4.2. Identification des bactéries lactiques</b> .....                                              | 27 |
| <b>4.2.1. Examen macroscopique</b> .....                                                              | 27 |
| <b>4.2.2. Examen microscopique</b> .....                                                              | 27 |
| <b>4.3. Tests physiologiques et biochimiques</b> .....                                                | 28 |

|                             |                                                                        |    |
|-----------------------------|------------------------------------------------------------------------|----|
| 4.3.1.                      | Test de la catalase .....                                              | 28 |
| 4.3.2.                      | Test de l'influence du pH sur la croissance bactérienne .....          | 28 |
| 4.3.3.                      | Étude de l'effet de la température sur la croissance bactérienne ..... | 28 |
| 4.4.                        | Test de type fermentaire .....                                         | 29 |
| 4.5.                        | Croissance sur milieu de citrate de Simmons .....                      | 29 |
| 4.6.                        | Milieu de bile esculine .....                                          | 29 |
| 4.7.                        | Milieu M16 BCP .....                                                   | 29 |
| 4.8.                        | Test de fermentation des sucres .....                                  | 30 |
| 4.8.1.                      | Tyndallisation des sucres .....                                        | 30 |
| 4.8.2.                      | Préparation des souches.....                                           | 30 |
| 4.8.3.                      | Préparation de test des sucres .....                                   | 31 |
| III.                        | Résultats et discussion .....                                          | 32 |
| 1-                          | Analyses physico-chimiques .....                                       | 32 |
| 2-                          | Analyse microbiologique .....                                          | 33 |
| 2.1-                        | Isolement et purification des bactéries lactiques .....                | 33 |
| 2.2-                        | Examens Macroscopiques .....                                           | 33 |
| 2.3-                        | La Coloration de Gram.....                                             | 34 |
| 2.4-                        | Test de catalase .....                                                 | 34 |
| 2.5-                        | Type fermentaire.....                                                  | 35 |
| 2.6                         | Hydrolyse de l'arginine .....                                          | 36 |
| 2.7-                        | La résistance à la bile et l'hydrolyse de l'esculine.....              | 36 |
| 2.8                         | Milieu de citrate de Simmons .....                                     | 37 |
| 2.9                         | Test de l'influence du pH sur la croissance bactérienne .....          | 38 |
| 2.10                        | l'effet de la température sur la croissance bactérienne.....           | 38 |
| 2.11-                       | Test de fermentations de sucre.....                                    | 39 |
| 1.                          | Évaluation des paramètres physico-chimiques du lait.....               | 42 |
| 2.                          | Isolement et caractérisation des bactéries lactiques .....             | 42 |
| CONCLUSION                  | .....                                                                  | 44 |
| Références bibliographiques | .....                                                                  | 46 |
| ANNEXES                     | .....                                                                  | 52 |

# INTRODUCTION

### Introduction

À l'échelle mondiale, l'élevage caprin connaît un essor économique significatif, s'affirmant comme une activité vitale pour la sécurité alimentaire et la réduction de la pauvreté, particulièrement dans les économies en développement (Tefiel et Gaouar, 2020). En Algérie, cette filière occupe une place prépondérante, se classant au troisième rang du cheptel national après les ovins et les bovins, avec une population dépassant les 5 millions de têtes. (Boumediene et al., 2025; Gherissi et al., 2026) Cet élevage est principalement concentré dans les zones difficiles, telles que les régions montagneuses, les steppes et les zones arides ou semi-arides. (Badis et al., 2005; Gherissi et al., 2026)

Le contexte agro-écologique de l'Algérie, et plus précisément celui de régions semi-arides comme Tissemsilt, impose aux éleveurs des contraintes climatiques et alimentaires fortes (Tefiel et Gaouar, 2020; Kalai et al., 2026). Dans ces écosystèmes, le choix de la race devient un levier stratégique pour assurer la durabilité des systèmes de production (Gherissi et al., 2026). Traditionnellement, l'élevage repose sur la race locale Arbia, la population la plus dominante du pays. Reconnue pour sa grande rusticité, son aptitude à la marche et sa résilience face aux stress environnementaux, elle demeure toutefois moins productive que les races spécialisées (Gherissi et al., 2026).

Face à la demande croissante en protéines animales, l'introduction de races performantes est devenue courante (Gherissi et al., 2026). La race Syrienne, originaire du Croissant fertile, est particulièrement prisée pour ses doubles aptitudes (lait et viande) et sa capacité à s'adapter aux climats chauds (Argov-Argaman et al., 2016; Tefiel et Gaouar, 2020; Zaid et Alan, 2025). Parallèlement, des races cosmopolites telles que la Saanen, souvent qualifiée de « Holstein du monde caprin » pour ses rendements laitiers exceptionnels, et l'Alpine, appréciée pour la richesse de son lait en matières grasses et protéiques, ont été introduites pour intensifier la production (A S Shuvarikov, 2021; Boumediene et al., 2025; Mohsin et al., 2019). L'intérêt d'une étude comparative entre ces quatre races réside dans la nécessité de concilier le potentiel de production élevé des races importées avec la robustesse des lignées locales (Boumediene et al., 2025).

La valorisation de la filière caprine passe inévitablement par la transformation du lait. Le lait de chèvre est aujourd'hui reconnu comme un « aliment fonctionnel » ou nutraceutique en raison de sa haute digestibilité, de sa faible allergénicité et de sa richesse en composés bioactifs (peptides, acides gras à chaîne courte et moyenne) (Tafes, 2020). En Algérie, si la consommation reste encore largement familiale et artisanale à travers des produits

## Introduction

---

traditionnels comme le *Raïb*, le *Lben* ou le *Jben* (fromage frais), une dynamique de modernisation s'opère pour diversifier les produits dérivés tels que les yaourts et les fromages affinés (BADIS1 et al., juin 2005; Badis et al., 2004; Gherissi et al., 2026). La compréhension des propriétés physico-chimiques et technologiques propres à chaque race est essentielle pour optimiser ces procédés de transformation.(BarŁowska et al., 2020)

La réussite de ces transformations repose sur l'activité des bactéries lactiques (BL) indigènes, qui assurent la conservation, la texture et le développement des arômes des produits finis.

Parmi ce microbiote, les BL sauvages isolés du lait cru jouent un rôle prépondérant et possèdent souvent un potentiel technologique et probiotique supérieur aux souches industrielles standardisées, offrant une biodiversité rare et des capacités d'acidification et de protéolyse uniques. Cependant, les données scientifiques sur les souches locales isolées spécifiquement à partir des différentes races présentes en Algérie restent toujours peu exploré. C'est dans ce contexte que s'inscrit le présent travail, dont l'objectif principal est l'isolement et la caractérisation des bactéries lactiques à partir du lait de chèvre issue à partir des quatre races (Arbia, Syrienne, Saanen et Alpine) évoluant dans le milieu semi-aride de la région de Tiaret et de Tissmsilt. Il s'agit d'évaluer la diversité phénotypique de ces isolats et d'identifier les souches possédant les meilleures aptitudes technologiques pour une future valorisation industrielle.

Pour répondre à ces enjeux, le manuscrit est structuré en trois parties

Une synthèse bibliographique faisant l'état des lieux sur l'élevage caprin en Algérie, les caractéristiques des races étudiées et l'importance microbiologique des bactéries lactiques dans les produits laitiers.

Une section pour le matériel et méthodes utilisées détaillant les protocoles de prélèvement, les techniques d'isolement sur milieux et les tests de pré-identification biochimique.

Une présentation des résultats et discussion, où la diversité des espèces isolées sera analysée en fonction de la race d'origine et confrontée aux travaux de la littérature afin de dégager des perspectives de valorisation pour la filière laitière caprine locale.

**Partie I :**

**Synthèse**

**bibliographique**



## I. Partie Bibliographie

### I.1. Le Lait de Chèvre, Contexte Caprin et Produits Dérivés

#### I.1.1. Définition biologique

D'un point de vue biologique, le lait de chèvre est une sécrétion complexe des glandes mammaires des femelles mammifères, dont la fonction primaire est de nourrir et de protéger les nouveau-nés pendant les premiers stades de leur vie (Demirhan et al., 2026). Il est considéré comme un aliment complet et souvent qualifié d'« aliment fonctionnel » ou nutraceutique en raison de sa richesse en composants biologiquement actifs (peptides, oligosaccharides, acides gras à chaîne courte et moyenne) qui offrent des bénéfices pour la santé humaine au-delà de la simple nutrition (Tafes, 2020). Sa composition est intrinsèquement liée à des facteurs physiologiques comme la race, le stade de lactation et l'état de santé de l'animal (dos Santos et al., 2023).

#### 2. Définition physico-chimique

Sur le plan physico-chimique, le lait de chèvre est défini comme un mélange équilibré se présentant sous forme d'émulsion (matière grasse), de suspension colloïdale (caséines) et de solution vraie (lactose, sels minéraux, vitamines hydrosolubles) (Fontecha et al., 2023).

**A. Composition moyenne :** Il contient environ 87 % d'eau, 3,5 à 4,5 % de matières grasses, 3,1 à 3,7 % de protéines, 4,1 à 4,5 % de lactose et environ 1 % de cendres (Ranadheera et al., 2019).

**B. Caractéristiques spécifiques :** Il se distingue par des globules gras de petite taille (généralement inférieurs à 3,5  $\mu\text{m}$ ) et une absence d'agglutinine, ce qui facilite sa digestion et empêche la formation naturelle d'une couche de crème (Mohsin et al., 2019; Ranadheera et al., 2019).

**C. Structure protéique :** Ses protéines sont majoritairement des caséines (80 %), avec une proportion de caséine nettement plus faible que dans le lait de vache, ce qui réduit son allergénicité et produit un caillé plus mou (Lauková et al., 2025).

**D. Propriétés physiques :** Son pH se situe généralement entre 6,5 et 6,8, sa densité entre 1,028 et 1,034  $\text{g/cm}^3$ , et il possède une acidité titrable souvent plus élevée que celle du lait bovin (Da Silva et al., 2026; dos Santos et al., 2023).

#### I.1.2. Définition réglementaire

le lait de chèvre comme le **produit intégral de la traite totale et ininterrompue** d'une femelle laitière saine, bien nourrie et non surmenée ( Hamiroune et Djemal, 2019).



**A. Critères de pureté :** Pour être commercialisable, il doit être recueilli proprement, ne pas contenir de colostrum et être exempt de substances étrangères (Fontecha et al., 2023).

**B. Standards de composition :** Selon certaines législations (comme les normes brésiliennes citées), le lait de chèvre doit présenter un minimum de 2,8 à 2,9 g/100g de protéines et au moins 2,9 % de matières grasses (da Silva et al., 2026). Aux États-Unis, la FDA applique des seuils similaires de 3,25 % de matières grasses et 8,25 % de solides non gras.(Nayik et al., 2022)

**C. Qualité hygiénique :** La réglementation prend également en compte la numération des cellules somatiques, où un lait de haute qualité est souvent défini par un seuil inférieur à 800 000 ou 1 000 000 de cellules/mL, bien que ces valeurs soient naturellement plus élevées que chez la vache.( Hernández<sup>1</sup> et Parra 2026)

**D. Sécurité sanitaire :** Pour le lait pasteurisé, l'efficacité du traitement thermique est validée par l'inactivation de la phosphatase alcaline (ALP), avec une limite provisoire suggérée de 350 mU/L (Nayik et al., 2022).

### **I.1.3. La race Arbia(Race locale Algérienne)**

**A. Caractéristiques zootechniques :** Il s'agit de la population la plus dominante en Algérie, s'étendant du nord jusqu'aux limites de la steppe (Laouadi&Moula, 2020). Elle possède une tête sans cornes, des oreilles longues et tombantes, et une robe multicolore caractérisée par des poils longs (12 à 15 cm). Morphologiquement, elle est décrite comme étant de petite taille (50 à 70 cm), avec un corps de forme "carrée" et un profil longiligne (Gherissi et al., 2026).

**B. Performances de production :** Principalement utilisée pour la production de viande, elle montre une hétérogénéité génétique qui permet d'identifier des sous-populations plus aptes à la boucherie(M. Laouadi<sup>1</sup>&Moula<sup>4</sup>, 15 Sep 2020). Sa production laitière est jugée satisfaisante pour une race rustique, avec une moyenne de 207 kg par lactation et un rendement journalier d'environ 1,05 kg (Gherissi et al., 2026). Son lait présente une qualité biochimique notable (environ 3,43 % de matières grasses et 3,88 % de protéines) ( Hamiroune et Djamel, 2019).



Figure 1 : La race Arbia(Laouadi et al., 2020)



### I.1.4. La race Syrienne

**A. Caractéristiques zootechniques :** Originaires du Croissant fertile, c'est une race à doubles aptitudes (lait et viande) (Mohsin et al., 2019). Elle est physiquement reconnaissable par ses oreilles très longues et pendantes (Tefiel et Gaouar, 2020). Elle est souvent utilisée dans des programmes de croisement pour améliorer la productivité des races locales.

**B. Performances de production :** Elle est hautement valorisée pour la qualité de son lait et de sa viande (Zaid & Alan, 2025). Bien que moins productive que les races européennes spécialisées (rendement moyen d'environ 1,78 kg/jour), elle surpasse les races locales rustiques (Mestawet et al., 2012). Lorsqu'elle pâture dans des zones riches en arbustes (comme le lentisque), la qualité de son lait s'améliore significativement en termes de fermeté du caillé et de richesse en acides gras oméga-3 (Hadaya et al., 2020).



Figure 2 : La race Syrienne (Armstrong et al., 2006)

### I.1.5. La race Alpine

Race laitière cosmopolite par excellence, elle est largement répandue dans le monde pour la production industrielle (Boumediene et al., 2025; Tafes, 2020). Elle présente une grande diversité génétique, bien que ses effectifs soient souvent gérés en systèmes intensifs. (Argov-Argaman et al., 2016). Elle est réputée pour ses hauts rendements laitiers, pouvant atteindre 800 kg de lait en 280 jours (Gherissi et al., 2026). Comparativement à la Saanen, le lait de l'Alpine est souvent plus riche en matières grasses (3,93 % à 4,22 %) et en protéines (3,51 % à 3,72 %) (Hernández & Parra, 2026). Cette richesse en extraits secs lui confère une excellente "aptitude fromagère" (Boumediene et al., 2025).



Figure 3 : La race Alpine (Waithaka&Kaguongo)

#### **I.1.6. La race Saanen**

Souvent surnommée la « Holstein du monde caprin », la Saanen est la race la plus performante en volume de lait (Mohsin et al., 2019). Elle est caractérisée par une robe généralement blanche et une morphologie optimisée pour la traite mécanique en système intensif (BarŁowska et al., 2020). Elle détient les records de production avec des moyennes pouvant atteindre 900 kg par lactation (ou environ 2,15 à 2,34 kg/jour) (Shuvarikov, 2021;. Hernández&Parra, 2026). Cependant, cette productivité volumétrique se traduit par une plus faible concentration en matières grasses (3,25 %) et en protéines (3,10 %) par rapport aux autres races (Hernández&Parra, 2026). Elle possède un temps de coagulation à la présure plus rapide, ce qui est un avantage technologique spécifique (BarŁowska et al., 2020).



Figure 4 : race Saanen (Simon et al., 2022)

### **I.3. Analyse des Variations**

On observe des distinctions nettes entre ces quatre populations :

#### **I.3.1. Race Arbia**

Bien que sa production laitière soit plus faible en volume (environ 1,05 kg/jour), son lait est souvent cité pour sa richesse biochimique, notamment en protéines (jusqu'à 4,11%) (Gherissi et al., 2026). En Algérie, elle présente une acidité légèrement plus faible que les races importées (Boumediene et al., 2025).

#### **I.3.2. Race Saanen**

Elle privilégie le volume au détriment de la concentration. Elle présente souvent les taux de matière grasse et de protéines les plus bas parmi les quatre races étudiées (phénomène de dilution) (Hernández&Parra, 2026). son pH est généralement comparable à celui de l'Alpine (Boumediene et al., 2025).

#### **I.3.3. Race Alpine**

Elle se situe à un niveau intermédiaire à élever. Elle est reconnue pour avoir un lait plus riche en matière grasse et en extrait sec total que la Saanen, ce qui lui confère une meilleure aptitude technologique pour la transformation fromagère (Shuvarikov, 2021; Boumediene et al., 2025).



### I.3.4. Race Syrienne

Cette race montre des performances remarquables en conditions arides. Ses taux de protéines sont particulièrement élevés (dépassant parfois 4%), et elle peut maintenir une matière sèche élevée même sous stress thermique (Mestawet et al., 2012; Mohsin et al., 2019).

## I.2. La Composition Physico-Chimique du lait de chèvre

Les valeurs suivantes représentent des moyennes ou des plages observées dans différentes études (Algérie, Europe, Moyen-Orient) et peuvent varier selon le système d'élevage.

**Tableau 1** : Comparatif de la Composition Physico-Chimique

(Badis et al., 2005; Boumediene et al., 2025; dos Santos et al., 2023; Gherissi et al., 2026; Mohsin et al., 2019)

| Paramètre                                     | Race Arbia(Locale) | Race Saanen           | Race Alpine           | Race syrienne                   |
|-----------------------------------------------|--------------------|-----------------------|-----------------------|---------------------------------|
| <b>pH</b>                                     | 6,63 - 6,67        | 6,37 - 6,63           | 6,45 - 6,59           | 6,50 - 6,70 (estimé)            |
| <b>Acidité (°D / °SH)</b>                     | 14,88 °D           | 15,44 °D - 18,6 °T    | 15,33 °D - 18,6 °T    | 14,0 - 23,0 °D (moyenne espèce) |
| <b>Matière Grasse (%)</b>                     | 1,94% - 3,43%      | 3,25% - 3,65%         | 3,68% - 4,22%         | 3,12% - 4,90%                   |
| <b>Protéines (%)</b>                          | 3,88% - 4,11%      | 2,94% - 3,42%         | 3,20% - 3,72%         | 4,05% - 4,38%                   |
| <b>Matière Sèche / Extrait Sec (g/L ou %)</b> | 116,6 g/L          | 124,8 g/L - 125,1 g/L | 125,2 g/L - 134,7 g/L | 11,6% - 15,4%                   |

### I.4. Produits traditionnels algériens

En Algérie, la transformation du lait de chèvre est restée longtemps à l'échelle traditionnelle, principalement pour l'autoconsommation familiale dans les zones arides et montagneuses (Badis et al., 2005).

#### I.4.1. Le Jben

C'est un fromage frais traditionnel obtenu par la coagulation spontanée du lait cru grâce à sa flore lactique naturelle. Sa qualité sensorielle est très variable selon la préparation artisanale. Les analyses sur des fromages de ce type montrent un extrait sec total élevé (environ 58,55 %) dû à l'égouttage et au salage, ainsi qu'un pH moyen d'environ 5,77 (Badis et al., 2004). il est décrit comme pouvant contenir des niveaux cliniquement significatifs de tyramine (une amine biogène vasoconstrictrice) par portion (Delgado et al., 2020)



### I.4.2. La Klila

Le Klila est un fromage traditionnel à pâte extra-dure originaire des régions arides et semi-arides de l'Algérie. Il est produit à partir de chèvre. Le lait subit d'abord une fermentation spontanée pour donner du lait caillé (*Rayeb*), qui est ensuite baratté pour séparer le beurre du Lben (lait fermenté maigre). Ce Lben est chauffé pour obtenir un fromage frais qui, après avoir été égoutté, pressé et séché au soleil, devient le Klila (Ibri)



Figure 5 : La Klila

### I.4.3. Le Raïb et le Lben

Ce sont des laits fermentés traditionnels. Le Raïb résulte d'une coagulation spontanée, tandis que le Lben est le liquide restant après le barattage pour l'extraction du beurre. Une particularité du Lben algérien est que les lactobacilles peuvent y être totalement absents au profit des streptocoques (Badis et al., 2005).

### I.4.4. Les Yaourts Caprins

Le yaourt est le lait fermenté le plus répandu, mais il présente des défis technologiques spécifiques au lait de chèvre.

#### A. Caractéristiques physico-chimiques

**a. Texture :** Le yaourt de chèvre est naturellement plus mou, moins visqueux et présente une structure de gel plus faible que celui de vache. Cela est dû à sa faible teneur en caséine (Mituniewicz-Malek et al., 2014; Ranadheera et al., 2019).



**b. Acidité et pH :** La fermentation est généralement arrêtée lorsque le pH atteint environ 4,5 à 4,7 (Uzkuc et al., 2026; Zahid, 2026). L'acidité titrable finale dépasse souvent les 90 °T (Yang et al., 2022).

**c. Acceptabilité :** Le goût « caprin » (goaty flavor), lié aux acides gras à chaîne courte (caproïque, caprylique, caprique), peut être masqué par l'ajout de pulpes de fruits (mûre, betterave, jujube), de miel ou de chocolat (Bicca et al., 2026).

#### **I.4.5. Les Glaces Caprines**

La crème glacée au lait de chèvre est une alternative nutritive et hypoallergénique, notamment pour les enfants (Nayik et al., 2022).

**A. Caractéristiques :** Elle possède une texture plus lisse et des propriétés de fusion (fonte) uniques (Ranadheera et al., 2019).

**B. Bactéries :** Des versions probiotiques intègrent *L. acidophilus*, *B. animalis subsp. lactis* et parfois *Propionibacterium jensenii*.

#### **I.4.6. Autres produits dérivés**

##### **A. Ricotta**

Fromage italien fabriqué à partir du lactosérum de chèvre ( Meira et al., 2015).

##### **B. Produits divers**

Lait en poudre, bonbons (*Cajeta*), boissons chocolatées et même des produits cosmétiques (savons, lotions) (Zahid, 2026).



## Les Bactéries Lactiques (BL)

### I. Définition général

Les bactéries lactiques (BAL) constituent un groupe fonctionnel et écologique de micro-organismes largement répandus dans la nature, englobant des bactéries à Gram-positif, non sporulées et catalase-négatives (Rajput et al., 2023). Historiquement, leur importance est indissociable de l'évolution des sociétés humaines, puisqu'elles sont utilisées depuis des millénaires pour prolonger la durée de conservation des denrées alimentaires par la fermentation (Meng et al., 2021). Sur le plan écologique, les BAL occupent une grande diversité de niches, allant des milieux végétaux et du sol aux cavités muqueuses (buccale, vaginale et gastro-intestinale) de l'humain et des animaux (Nami et al., 2026). Dans l'industrie moderne, leur rôle est pivot, servant non seulement de cultures starters pour la production de produits laitiers, de viandes et de végétaux fermentés, mais aussi d'agents de biopréservation et de probiotiques conférant des bénéfices physiologiques à l'hôte (Li et al., 2023).

Au sein de ce groupe, le genre *Lactobacillus* s'impose comme le taxon le plus emblématique et le plus vaste de la famille des *Lactobacillaceae* (Huang et al., 2018). Sa prééminence s'explique par une hétérogénéité exceptionnelle, tant sur le plan métabolique que génétique, lui permettant de dominer la majorité des écosystèmes alimentaires et des microbiotes associés aux muqueuses (Al-Yami et al., 2022). Toutefois, cette diversité extrême a conduit à une complexité taxonomique telle qu'une révision majeure a été rendue nécessaire pour refléter avec précision les relations phylogénétiques entre les espèces (Zheng et al., 2020).

#### I.1. Définition

Sur le plan taxonomique, le genre *Lactobacillus* est classé au sein du domaine des *Bacteria*, du phylum des *Bacillota* (anciennement *Firmicutes*), de la classe des *Bacilli*, de l'ordre des *Lactobacillales* et de la famille des *Lactobacillaceae* (Niyazbekova et al., 2020). Jusqu'en 2020, ce genre comprenait plus de 260 espèces extrêmement diverses, mais il a été officiellement reclassé en 25 genres distincts afin de garantir une cohérence phylogénomique (Mejía-Caballero et al., 2025). La définition scientifique actuelle restreint le genre *Lactobacillus sensu stricto* au groupe de l'espèce type *Lactobacillus delbrueckii*, incluant des espèces principalement adaptées aux hôtes vertébrés et invertébrés (Zheng et al., 2020).

D'un point de vue morphologique et biologique, les lactobacilles sont définis comme des bâtonnets (rods) ou des coccobacilles, anaérobies facultatifs ou micro-aérophiles, dotés d'un métabolisme strictement fermentaire (Salvetti et al., 2012). Ils se distinguent par une incapacité à former des spores, une absence d'activité catalase (bien que certains présentent



une pseudocatalase) et une teneur en G+C de l'ADN généralement inférieure à 50 mol%, bien que certaines limites supérieures atteignent 59,2 mol%. Leur croissance est optimale entre 30 et 40 °C dans des environnements acidophiles ou aciduriques (pH 5,5 à 6,2) (Salvetti et al., 2012).

Fondamentalement, le lactobacille se définit par sa signature fonctionnelle : la production d'acide lactique comme produit métabolique final majeur de la fermentation des glucides. Ils sont classés selon leurs voies de fermentation : les homofermentaires stricts métabolisent les hexoses via la voie d'Embden-Meyerhof, tandis que les hétérofermentaires utilisent la voie des pentoses phosphates ou de la phosphocétolase, produisant également du dioxyde de carbone, de l'éthanol ou de l'acétate (Salvetti et al., 2012). Cette spécialisation métabolique s'accompagne d'exigences nutritionnelles complexes en acides aminés, peptides et vitamines, reflétant leur adaptation évolutive à des habitats riches en nutriments (Zheng et al., 2020).

## II. Caractères morphologiques et physiologiques

### II.1. Morphologie et structure cellulaire

D'un point de vue morphologique, les micro-organismes du genre *Lactobacillus* se présentent sous la forme de bacilles (bâtonnets) ou de coccobacilles (Rajput et al., 2023). Ces cellules affichent une grande diversité structurelle selon les espèces : elles peuvent être courtes, longues ou fines (Łepecka et al., 2025). Leurs dimensions moyennes se situent généralement dans une plage de 0,5 à 1,2 µm de largeur pour 1,0 à 10,0 µm de longueur (Zheng et al., 2020). En ce qui concerne leur organisation spatiale, les lactobacilles se disposent de manière isolée, en paires ou, très fréquemment, en chaînettes de longueurs variables.

Sur le plan structural, ces bactéries sont invariablement Gram-positif, possédant une paroi cellulaire épaisse et dépourvue de pigments (Hoque et al., 2010). Une caractéristique biologique fondamentale du genre est sa nature non-sporulée ; ils sont incapables de produire des endospores, ce qui constitue un critère de différenciation majeur au sein de la classe des *Bacilli* (Zhang et al., 2025). Enfin, bien que la grande majorité des espèces soient immobiles, certaines souches spécifiques peuvent présenter une mobilité active (Zheng et al., 2020).

### II.2. Physiologie et exigences de croissance

Sur le plan respiratoire, les lactobacilles sont définis comme des organismes anaérobies facultatifs ou microaérophiles (aérotolérants) (Nami et al., 2026). S'ils privilégient les milieux dépourvus d'oxygène pour leur métabolisme, ils tolèrent sa présence sans posséder de métabolisme respiratoire complet. Leur profil biochimique est marqué par une absence de catalase et de cytochromes. En règle générale, ils ne synthétisent pas de porphyrinoïdes et



sont dépourvus d'activités hèmes-dépendantes, bien que certaines souches puissent exprimer une pseudo catalase dans des conditions spécifiques (Salvetti et al., 2012).

Ces micro-organismes se distinguent par des exigences nutritionnelles extrêmement complexes, résultant d'une réduction génomique au cours de leur évolution dans des niches riches en nutriments. Ce sont des bactéries auxotrophes qui requièrent impérativement pour leur développement des glucides fermentescibles, des acides aminés, des peptides, des bases azotées (dérivés d'acides nucléiques) ainsi que des vitamines, notamment celles du complexe B (Szopa et al., 2023).

### II.2.1. Facteurs environnementaux de développement

Le genre *Lactobacillus* occupe un spectre thermique étendu, avec des capacités de croissance allant de 2 °C à 53 °C. Toutefois, la majorité des espèces présentent un optimum thermique situé entre 30 °C et 40 °C. On distingue classiquement les espèces mésophiles, capables de croître à 15 °C mais dont le développement est inhibé à 45 °C, des espèces thermophiles (telles que *L. delbrueckii* ou *L. helveticus*) qui prolifèrent activement à 45 °C et tolèrent des températures proches de 50-52 °C.

Concernant le pH, les lactobacilles sont intrinsèquement acidophiles ou aciduriques. Ils tolèrent et se développent dans des environnements acides où le pH peut descendre jusqu'à 3,0, leur optimum de croissance se situant généralement dans une plage comprise entre 5,5 et 6,2. Cette résistance à l'acidité, couplée à leur capacité à abaisser le pH du milieu par la production d'acides organiques, leur confère un avantage écologique déterminant dans les processus de fermentation.

### II.2.2. Métabolisme glucidique

La signature fonctionnelle du genre réside dans un métabolisme strictement fermentaire où les glucides sont convertis principalement en lactate. Deux voies métaboliques fondamentales permettent de classer les espèces :

**A. Les lactobacilles homofermentaires stricts :** Ils utilisent la voie d'Embden-Meyerhof-Parnas (EMP) ou glycolyse pour métaboliser les hexoses (comme le glucose). Ce processus biochimique, caractérisé par l'activité de l'enzyme fructose-1,6-bisphosphate aldolase, aboutit à la production quasi exclusive (plus de 85 %) d'acide lactique comme produit métabolique final (Bicca et al., 2026).

**B. Les lactobacilles hétérofermentaires :** Ils emploient la voie des pentoses-phosphokétolase (ou voie du phosphogluconate). Les hétérofermentaires stricts dégradent les

hexoses et les pentoses par cette voie, produisant, outre l'acide lactique, des quantités significatives de dioxyde de carbone, d'éthanol et/ou d'acétate.

Les hétérofermentaires facultatifs possèdent la capacité d'utiliser la voie EMP pour les hexoses (production de lactate) tout en activant la voie de la phosphokétolase, souvent induite par la présence de pentoses ou de gluconate (Biadala et al., 2023).

Tableau 2 : Synthèse comparative entre les deux voies de fermentations

| Caractéristique      | Voie Homofermentaire (EMP)                    | Voie Hétérofermentaire (Pentoses)                           |
|----------------------|-----------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|
| Substrat principal   | Hexoses                                       | Hexoses et Pentoses                                         |
| Produits majeurs     | Acide lactique uniquement                     | Acide lactique + CO2 + Acétate/Éthanol                      |
| Rôle clé en laiterie | Texture et structure (formation du gel)       | Arome et typicité (composés volatils et gaz)                |
| Application          | Yaourts classiques, acidification des caillés | Kéfir, fromages affinés (arômes), laits fermentés complexes |

II.3. Habitats

II.3.1. Habitats naturels et niches biologiques

Au sein de la biosphère, les lactobacilles établissent des relations étroites avec les hôtes eucaryotes, se comportant comme des membres essentiels des microbiotes commensaux (Mejía-Caballero et al., 2025). Chez l'humain et les animaux vertébrés, ils colonisent l'ensemble des muqueuses bien qu'ils ne représentent qu'environ 0,3 % de la population bactérienne totale du côlon humain. Leur rôle est celui d'une véritable barrière microbiologique : par la production de métabolites acides, de peroxyde d'hydrogène et de bactériocines, ils exercent une exclusion compétitive contre les pathogènes(Sarapova, 2024)., présents à la surface des végétaux (épiphytes) ou au sein de leurs tissus (endophytes), ainsi que dans la rhizosphère et le sol. Comme *Lactiplantibacillus plantarum*, illustrent parfaitement cette polyvalence en transitant librement entre les milieux végétaux, le sol et le tractus intestinal (Gendre, 2025).

II.3.2. Matrices alimentaires et écosystèmes laitiers

les produits laitiers, représentent des habitats de prédilection où les lactobacilles jouent un rôle technologique et fonctionnel majeur(Gholamhosseinpour et al., 2025). Le lait cru et ses dérivés constituent des milieux sélectifs idéaux en raison de leur richesse en nutriments complexes, notamment en protéines (caséines) et en glucides fermentescibles comme le lactose (Wang et al., 2026).



L'adaptation aux écosystèmes laitiers a conduit à une spécialisation métabolique poussée chez certaines espèces. Par exemple, *Lactobacillus delbrueckii* et *L. helveticus* possèdent des systèmes de transport du lactose hautement efficaces ainsi qu'un équipement protéolytique complexe, incluant la protéase de paroi PrtB, indispensable pour libérer les acides aminés et peptides des caséines du lait (Mejía-Caballero et al., 2025). La fermentation du lactose en acide lactique induit une acidification rapide de la matrice, abaissant le pH à des niveaux (environ 4,5) qui favorisent la coagulation des protéines tout en inhibant la croissance des micro-organismes d'altération.

Ces bactéries se retrouvent ainsi au cœur de la fabrication de nombreux produits fermentés traditionnels et industriels, tels que les yaourts, les fromages artisanaux (ex: Mozzarella, Caciocavallo) et le babeurre. Dans ces environnements, elles peuvent provenir de la microflore naturelle du lait cru, de l'environnement de production ou être introduites intentionnellement comme cultures starters ou levains naturels (NWS - Natural Whey Starters) (Mejía-Caballero et al., 2025). La composition nutritionnelle de ces dérivés laitiers, couplée aux conditions anaérobies et acides des process de transformation, assure aux lactobacilles une position dominante, garantissant ainsi la sécurité sanitaire, la texture et les qualités organoleptiques des aliments (Bentahar et al., 2024).

## II.4. Classification

L'évolution de la classification des bactéries lactiques (BL) constitue l'un des chapitres les plus dynamiques de la microbiologie systématique, illustrant le passage d'une taxonomie basée sur des critères phénotypiques vers une taxonomie génomique de haute précision. La rigueur actuelle dans la dénomination des espèces, particulièrement au sein du groupe des lactobacilles, est essentielle pour garantir la traçabilité technologique et la sécurité sanitaire des produits laitiers caprins (Bustos et al., 2026).

### II.4.1. La classification d'Orla-Jensen

Historiquement, la taxonomie des bactéries lactiques a reposé durant plusieurs décennies sur des critères exclusivement phénotypiques, principalement axés sur la morphologie cellulaire, les profils de fermentation des sucres et les exigences thermiques de croissance. Le jalon fondateur de cette approche fut posé par Orla-Jensen (1919), qui proposa une subdivision du genre *Lactobacillus* en trois groupes physiologiques majeurs, alors considérés comme des sous-genres : *Thermobacterium*, *Streptobacterium* et *Betabacterium*

Cette classification distinguait les espèces selon leur métabolisme fermentaire : le groupe *Thermobacterium* incluait les lactobacilles homofermentaires stricts et thermophiles, tandis



que les *Streptobacterium* regroupaient les espèces homofermentaires facultatives, capables de dégrader les hexoses par la voie d'Embden-Meyerhof. À l'opposé, le groupe *Betabacterium* rassemblait les micro-organismes hétérofermentaires stricts, caractérisés par l'absence de l'enzyme fructose-1,6-bisphosphate aldolase et la production de CO<sub>2</sub> et d'éthanol en plus du lactate. Bien que cette nomenclature soit aujourd'hui obsolète, elle a longtemps servi de cadre de référence pour l'industrie agroalimentaire (Niyazbekova et al., 2020)..

### **A. La révolution moléculaire et le constat d'hétérogénéité**

À partir des années 1980, l'avènement des outils de la biologie moléculaire a profondément bouleversé ce schéma classique. L'introduction de la phylogénie basée sur le séquençage de l'ARNr 16S a révélé que le genre *Lactobacillus*, tel qu'il était défini, présentait une diversité génétique et une hétérogénéité exceptionnelle, dépassant largement les standards appliqués aux autres genres bactériens. Les analyses phylogénétiques ont démontré que le genre était paraphylétique, englobant même le genre *Pediococcus* au sein de sa structure.

Malgré l'apport de l'ARNr 16S pour situer les isolats dans des cadres globaux, cette molécule s'est avérée trop conservée pour discriminer efficacement les espèces proches ou pour refléter la réalité métabolique et écologique complexe du groupe. En conséquence, l'intégration de la génomique comparative et de mesures globales telles que l'identité moyenne des nucléotides (ANI) et l'identité moyenne des acides aminés (AAI) est devenue indispensable pour délimiter les frontières taxonomiques réelles. Ces outils ont mis en évidence que les membres historiques du genre s'organisaient en clades robustes et cohérents, mais trop distants les uns des autres pour appartenir à un taxon unique (Sugahara et al., 2022).

### **B. La reclassification majeure de 2020 : Zheng et al.**

Cette impasse taxonomique a mené à une réévaluation officielle et massive, concrétisée par les travaux de Zheng et al. (2020). En adoptant une approche polyphasique s'appuyant sur les séquences génomiques complètes de plus de 260 espèces, ces chercheurs ont officiellement subdivisé le genre historique *Lactobacillus* en 25 genres distincts. Cette restructuration inclut un genre *Lactobacillus sensu stricto* amendé (restreint au groupe de l'espèce type *L. delbrueckii*), le genre *Paralactobacillus* et 23 nouveaux genres.

Parmi ces nouveaux taxons, on retrouve désormais des genres tels que *Lactiplantibacillus* (ancien groupe *L. plantarum*), *Lacticaseibacillus* (ancien groupe *L. casei*), *Limosilactobacillus* (ancien groupe *L. reuteri*), ou encore *Lentilactobacillus* et *Levilactobacillus* (Todorov et al., 2023). Chaque nouveau genre a été défini pour garantir une homogénéité phylogénétique et fonctionnelle, regroupant des espèces partageant des



propriétés métaboliques et des adaptations écologiques communes (ex : adaptation à l'hôte vs nomadisme)(Nalepa&Markiewicz, 2022).

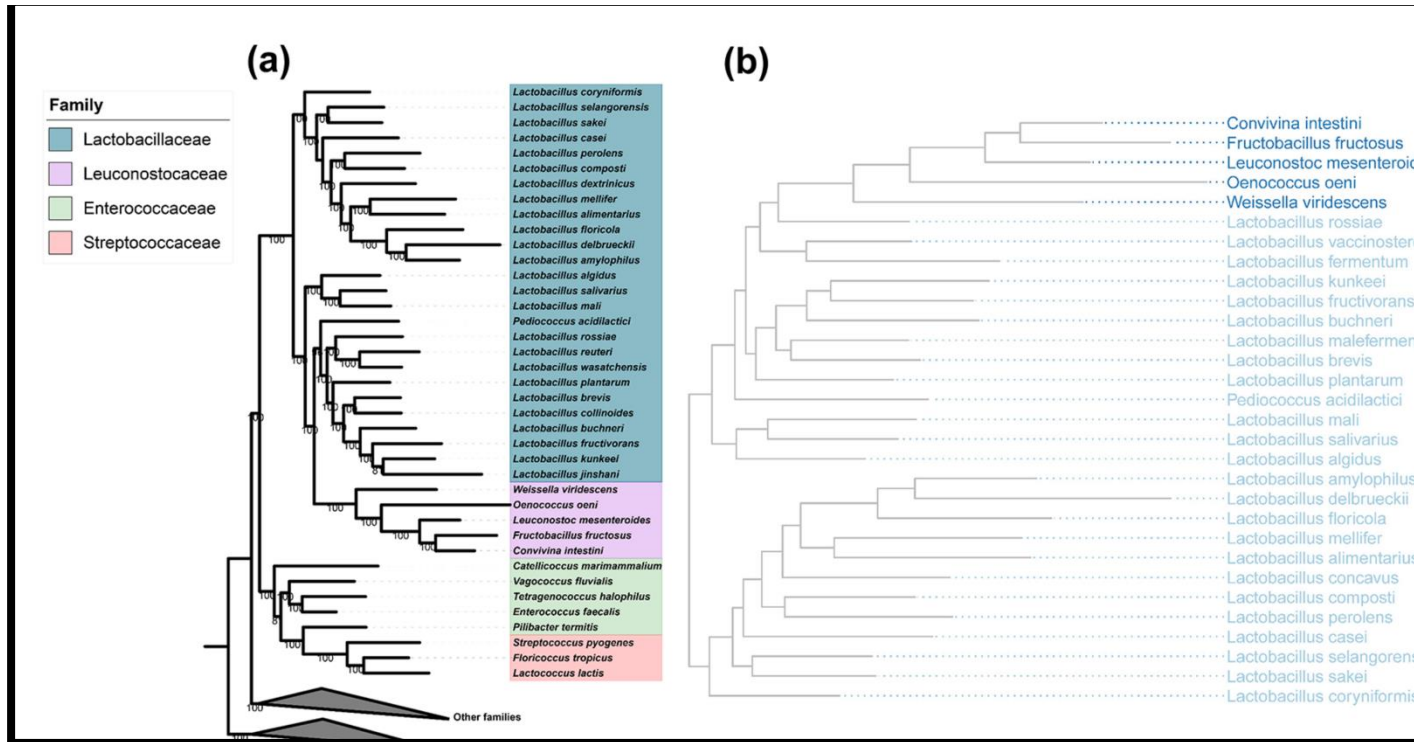


Figure 6 : Arbre phylogénétique du génome central avec les souches types de 25 groupes phylogénétiques du genre *Lactobacillus*

## II.5. Identification

L'identification des bactéries du genre *Lactobacillus* repose aujourd'hui sur une approche polyphasique qui intègre la complémentarité des méthodes phénotypiques traditionnelles et des outils moléculaires de haute résolution. Cette démarche est essentielle pour garantir une classification précise au sein d'un groupe caractérisé par une hétérogénéité exceptionnelle (Meira et al., 2015).

### II.5.1. Identification phénotypique classique (Approche de routine)

La démarche d'orientation en laboratoire débute par l'isolement des souches sur des milieux de culture sélectifs. Le milieu MRS (de Man, Rogosa et Sharpe) constitue la matrice de référence universellement admise pour la croissance des lactobacilles (Wayah&Philip, 2018). L'examen macroscopique des cultures après incubation révèle généralement des colonies circulaires, convexes, d'un diamètre variant de 1 à 3 mm. Celles-ci affichent des teintes caractéristiques allant du blanc au beige ou au crémeux, avec une surface pouvant être lisse et brillante ou terne et rugueuse selon les espèces (Hussein et al., 2025).

L'examen microscopique après coloration de Gram est une étape discriminante cruciale. Il confirme que les lactobacilles sont des bactéries à Gram-positif, se présentant sous forme de

bacilles (bâtonnets) ou de coccobacilles. Une caractéristique diagnostique majeure est leur nature non-sporulée et leur mode de groupement, les cellules pouvant être isolées, en paires ou fréquemment organisées en chaînettes. Sur le plan biochimique, les tests de première intention sont indispensables pour l'orientation : les lactobacilles sont strictement catalase-négative (bien que certaines souches puissent exprimer une pseudo catalase) et oxydase-négative. Leur type respiratoire est défini comme anaérobie facultatif ou micro aérophile (aérotolérant). Enfin, l'étude de la thermotolérance, par l'observation de la croissance à différentes températures (notamment à 15 °C et 45 °C), permet une première distinction fondamentale entre les espèces mésophiles et thermophiles.

### II.5.2. Caractérisation physiologique et métabolique

Une étape pivot de l'identification phénotypique consiste à déterminer le profil fermentaire des isolats. La mise en évidence de la production de gaz (CO<sub>2</sub>) à partir du glucose, réalisée à l'aide de cloches de Durham, permet de différencier les lactobacilles homofermentaires stricts des types hétérofermentaires (Bentahar et al., 2024).

En complément, le test de l'arginine dihydrolase (ADH) constitue un descripteur métabolique précieux pour affiner la différenciation interspécifique. Ce test évalue la capacité de la souche à produire de l'ammoniaque (NH<sub>3</sub>) à partir de cet acide aminé. La réaction est réalisée en milieu liquide standardisé (type bouillon Moeller ou BHI additionné de 1% de L-arginine) sous couche d'huile de paraffine pour garantir l'anaérobiose. La libération d'ammoniaque induit une alcalinisation du milieu virant à l'indigo/violet, ou est révélée par l'ajout du réactif de Nessler qui génère un précipité orange caractéristique. Ce critère est également indispensable pour discriminer les sous-espèces au sein d'autres genres de bactéries lactiques, notamment pour distinguer le phénotype *Lactococcus lactis* subsp. *lactis* (\$ADH^+\$) de *Lactococcus lactis* subsp. *cremoris* (ADH) (Tormo et al., 2015).

L'utilisation de galeries de miniaturisation biochimique, telles que les kits API 50 CHL, est devenue une pratique courante. Ce système standardisé permet d'étudier les profils de fermentation de 49 glucides et dérivés, offrant une base de comparaison solide avec les bases de données de référence. Toutefois, bien que très utiles en routine, ces tests biochimiques peuvent parfois manquer de précision pour discriminer des espèces étroitement apparentées en raison de la variabilité liée aux plasmides.

### II.6. Identification moléculaire et moderne (Approche de certitude)

L'avènement des techniques génotypiques a apporté la précision nécessaire pour une identification de certitude.



Séquençage du gène de l'ARNr 16S, demeure la méthode de référence (gold standard) pour situer un isolat dans un cadre phylogénétique. Cependant, en raison de la trop grande conservation de ce gène chez certaines espèces proches (comme le groupe *L. casei* ou *L. plantarum*), le séquençage peut s'avérer insuffisant pour une distinction spécifique parfaite, nécessitant alors le recours à d'autres gènes de ménage (*housekeeping genes*) plus divergents (Hussein et al., 2025).

la spectrométrie de masse (MALDI-TOF MS) s'est imposée comme une technologie révolutionnaire pour l'identification rapide et à haut débit en routine. Cette méthode analyse le profil protéomique (principalement les protéines ribosomales) de la cellule entière pour générer un spectre de masse unique, comparé instantanément à des bases de données spectrales. Rapide et précise, la technologie MALDI-TOF MS permet désormais de distinguer les lactobacilles au niveau de l'espèce, et même de la sous-espèce, avec une fiabilité souvent supérieure aux approches phénotypiques classiques. L'intégration de ces outils modernes garantit ainsi la rigueur scientifique indispensable aux applications industrielles, cliniques et à l'étude de la biodiversité des lactobacilles (Lauková et al., 2025).

**Partie II :**  
**MATERIEL ET**  
**METHODES**

## PARTIE II : MATERIEL ET METHODES

L'objectif principal de cette étude est de **caractériser les bactéries lactiques isolées du lait de chèvre** provenant des régions de Tiaret et de Tissemsilt, à travers différentes analyses physico-chimiques et microbiologiques

### 1. Lieu et période d'étude

L'ensemble des travaux expérimentaux s'est déroulé durant la période allant de **février 2026 à mai 2026**. La partie relative aux analyses physico-chimiques a été réalisée au niveau du **laboratoire du Centre Algérien du Contrôle de la Qualité et de l'Emballage (CACQE)** de Tissemsilt. Les analyses microbiologiques ont été effectuées au sein du laboratoire pédagogique de microbiologie de **l'Institut des Sciences de la Nature et de la Vie (ISNV)** de l'Université de Tissemsilt.

### 2. Échantillonnage de lait du chèvre

La procédure de traite et de prélèvement doit suivre des étapes rigoureuses pour garantir la qualité sanitaire du lait :

- **Désinfection de la mamelle** : Avant la traite, les trayons doivent être désinfectés, par exemple avec une solution d'iode glycéinée (12,25 %)(Lopes et al., 2016).
- **Séchage** : Après un temps de contact (environ 30 secondes), les trayons sont séchés à l'aide de serviettes en papier jetables (Abou Jaoude et al., 2025).
- **Élimination des premiers jets (Forestripping)** : Il est impératif d'éliminer les premiers jets de lait de chaque trayon avant de procéder à la collecte. Cette étape est cruciale car ces premiers jets contiennent souvent une charge microbienne plus élevée (Pérez Núñez et al., 2024).
- **Collecte aseptique** : Le lait doit être recueilli directement dans des récipients ou flacons en plastique stériles. Si le prélèvement se fait à partir d'un tank ou d'un seau, l'utilisation d'une louche en acier inoxydable préalablement désinfectée à l'éthanol est recommandée (Tamendjari et al., 2021).

Une fois le prélèvement effectué, la chaîne du froid et la rapidité de transfert sont les facteurs clés :

Les échantillons doivent être placés au réfrigérateur ou dans une glacière immédiatement après la collecte pour atteindre une température de 4 °C (ou une plage comprise entre 2 °C et 8 °C) (Dahal et al., 2026). Le transfert vers le laboratoire doit s'effectuer dans des boîtes isothermes munies de sac de glace (Ice packs). Pour garantir que les échantillons soient

représentatifs de leur état d'origine, ils doivent idéalement être préparés ou analysés dans un délai de 3 à 4 heures après la collecte, et généralement ne pas dépasser 24 heures sous réfrigération avant l'analyse (Currò et al., 2020).

Le strict respect de ces étapes (nettoyage, élimination des premiers jets et maintien strict de la température à 4 °C) est présenté comme un facteur essentiel pour produire un lait de chèvre sûr et conforme aux standards de sécurité alimentaire. (Pérez Núñez et al., 2024)

### **3. Analyses physico-chimiques**

#### **3.1. Détermination de la teneur en matière grasse (Méthode acido-butyrométrie de Gerber)**

L'évaluation de la fraction lipidique de la matrice laitière est réalisée par la méthode de Gerber, visant à isoler la matière grasse par digestion des protéines. Le mode opératoire consiste à introduire avec précision 10 ml d'acide sulfurique pur densité= 1,82 g/ml au sein d'un butyromètre, suivi de l'ajout progressif de 11 ml de lait, en veillant à ne pas mouiller le col de l'appareil pour garantir une superposition nette des phases. Un volume de 1 ml d'alcool iso-amylque est ensuite additionné. Après obturation hermétique, le mélange subit une agitation manuelle vigoureuse jusqu'à la dissolution complète des caséines (fig 7). La séparation est finalisée par une centrifugation à 1200 tr/min pendant 5 minutes. Pour optimiser la lecture et la transparence de la couche grasse, les butyromètres sont placés dans un bain-marie thermostaté à  $65\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$  durant 2 à 3 minutes, le bouchon orienté vers le bas. Les résultats sont exprimés en grammes de matière grasse par litre de lait (g/L).



Figure 7 : Agitation manuelle le mélange avant la centrifugation

### 3.2. Évaluation de la stabilité thermique

Le test de stabilité (figure 8) est une étape cruciale pour caractériser la résistance technologique du lait de chèvre face aux traitements thermiques, à l'acidification métabolique ou aux contraintes de conservation. Ce paramètre est déterminant pour garantir l'homogénéité de la matrice et prévenir tout phénomène de coagulation précoce ou de synérèse induit par une déstabilisation du réseau protéique. Une stabilité optimale assure la conformité du lait aux exigences de qualité requises pour les processus de transformation industrielle (AFNOR, 1969)



Figure 8 : Traitement thermique pour test de stabilité

### 3.3. Détermination de l'acidité titrable (Acidité Dornic)

La mesure de l'acidité Dornic est effectuée conformément à la norme **NF-V-04-206** (AFNOR, 1969). Cette analyse permet de quantifier les acides organiques, principalement l'**acide lactique** issu de la fermentation des glucides par les bactéries lactiques. Pratiquement, un échantillon de 10 ml de lait est placé dans un bécher sous agitation constante, en présence de trois gouttes de phénolphtaléine servant d'indicateur coloré. Le titrage est réalisé par l'ajout goutte à goutte d'une solution d'**hydroxyde de sodium (NaOH) à 0,1 N** (soude Dornic) jusqu'à l'obtention d'un virage persistant au rose pâle. La valeur de l'acidité, exprimée en **degrés Dornic (°D)**, correspond au volume de soude versé multiplié par dix, où 1 °D équivaut à 0,1 g d'acide lactique par litre de lait (Liu et al., 2023).

La figure 9 illustre le dispositif dédié à la mesure de l'acidité titrable.



Figure 9 : La mesure de l'acidité Dornic

#### 4. Analyses microbiologiques

Après le transport ; les échantillons sont incubés à 30 c° pendant 72 h jusqu'à la coagulation (figure 10)



Figure 10 : La coagulation des échantillons



## 4.1. L'isolement des bactéries lactiques

### 4.1.1 Préparation des échantillons et dilutions décimales

Dans une zone stérile et après homogénéisation des échantillon du lait coagulé des dilution décimale successive ont été réalisé a partir de la solution mère de lait ; un volume de 1 ml de la solution mère a été prélevé a l'aide d'un micropipette munie d'un embout stérile puis introduit dans un tube stérile contenant 9 ml d'eau physiologique stérile pour obtenir la dilution  $10^{-1}$  après homogénéisation de dilution  $10^{-1}$  en change l'embout par un embout stérile puis 1 ml de cette dilution est transféré dans un tube contient 9 ml d'eau physiologique stérile afin d'obtenir la dilution  $10^{-2}$ ; la même procédure a été répétée successivement jusqu'à l'obtention de la dilution  $10^{-7}$ , toutes les manipulations ont été réalisées en zone stérile, à proximité d'un bec Bunsen, afin de limiter toute contamination. L'embout de la micropipette a été changé entre chaque dilution (figure 11).



Figure 11 : Préparation des dilutions décimales

### 4.1.2 Ensemencement sur milieux sélectifs

Après la préparation des dilutions décimales, les échantillons ont été ensemencés en surface selon la technique d'étalement. Des boîtes de Pétri contenant la gélose MRS préalablement solidifié ont été utilisées. À l'aide d'une micropipette munie d'un embout stérile, un volume de 0,1 mL de chaque dilution a été déposé à la surface du milieu, puis réparti uniformément à l'aide d'une pipette Pasteur stérile coudée en forme de râteau (figure 12).



Figure 12 : pipette pasteur forme râtelier pour étalement

Après l'ensemencement, les boîtes de Pétri ont été incubées à 30 °C pendant une durée de 24 à 72 heures, les boîtes de Pétri ont été placées dans une jarre d'incubation hermétique. Une bougie allumée a été introduite à l'intérieur afin de créer des conditions d'anaérobiose favorables au développement des bactéries lactiques.



Figure 13 : L'incubation des boîtes de Pétri

#### 4.1.3 Purification et vérification

Après l'obtention des colonies en fait des repiquages successifs ; pour obtenir des souches pures ; dans des conditions d'asepsie, les colonies typiques bien isolées sont prélevées afin

d'être ensemencées sur un milieu MRS solide par la technique des stries. Les boîtes sont coulées à 30 °C pendant 24h à 48h en anaérobiose.

## 4.2. Identification des bactéries lactiques

### 4.2.1. Examen macroscopique

L'examen macroscopique permet de définir les caractéristiques morphologiques des colonies à l'œil nu (la forme ; la couleur ; l'aspect ; l'odeur.)

### 4.2.2. Examen microscopique

#### Coloration de gram

Coloration de gram est une coloration différentielle entre les bactéries gram + et gram - en fonction de la composition de leur paroi cellulaire selon le protocole suivant :

Après la préparation et fixation d'un frottis on procède aux 4 étapes de la coloration :

Le cristal de violet (1min), le Lugol (1min), décoloration à l'alcool (30s), et après la coloration avec la safranine (1min), enfin on fait observation au microscope (objectif  $\times 100$  à huile d'immersion) donc les bactéries colorées en violet sont gram + et les bactéries colorées en rose sont gram -.

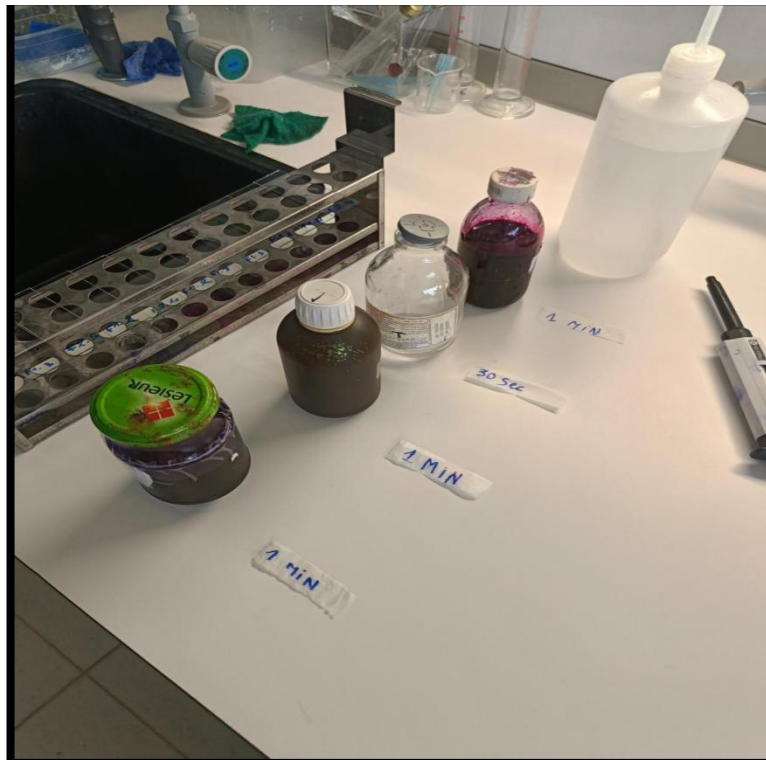


Figure 14 : Les 4 étapes de la coloration de Gram



### 4.3. Tests physiologiques et biochimiques

#### 4.3.1. Test de la catalase

Le test de la catalase permet l'identification des bactéries capables de produire l'enzyme catalase qui dégrade le peroxyde d'hydrogène ( $H_2O_2$ ) en eau et en oxygène.

Ce test est réalisé en zone stérile. On prépare un frottis, puis on ajoute de l'eau oxygénée ( $H_2O_2$ ). Si on observe des bulles de gaz, le test est positif, ce qui signifie que la bactérie possède l'enzyme catalase. En revanche, s'il n'y a pas de bulles de gaz  $CO_2$ , le test est négatif et la bactérie ne possède pas l'enzyme catalase.



Figure 15 : Test de catalase

#### 4.3.2. Test de l'influence du pH sur la croissance bactérienne

Le test du pH a été réalisé en utilisant des tubes contenant du bouillon MRS stérile (Maake et al., 2021). Trois groupes de tubes ont été préparés avec des pH différents :  $pH=4$ ,  $pH=6$  et  $pH=9,7$ . Chaque souche bactérienne a été inoculée dans les trois milieux afin d'étudier l'influence du pH. L'opération a été effectuée en conditions stériles avec du matériel et des instruments stérilisés. Les cultures ont ensuite été incubées à  $30\text{ }^{\circ}\text{C}$  pendant 24 à 48 heures.

#### 4.3.3. Étude de l'effet de la température sur la croissance bactérienne

« Le test de la température a été réalisé en utilisant des tubes contenant du bouillon MRS stérile. Chaque souche bactérienne a été inoculée dans trois tubes. Les tubes ont ensuite été incubés à différentes températures :  $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $30\text{ }^{\circ}\text{C}$  et  $45\text{ }^{\circ}\text{C}$ , afin d'étudier l'influence de la température sur la croissance bactérienne. L'opération a été effectuée en conditions stériles avec du matériel et des instruments stérilisés. Les cultures ont été incubées pendant 24 à 48 heures, puis les résultats ont été observés. »

#### **4.4. Test de type fermentaire**

Le test de fermentation des sucres a été réalisé en utilisant des tubes contenant du bouillon MRS stérile. Chaque souche bactérienne a été ensemencé dans les tubes. Les cloches de Durham stérile ont été utilisées pour détecter la production de gaz  $\text{CO}_2$ . Les tubes ont ensuite été incubés à 30 °C pendant 24 à 48 heures, ce processus s'est déroulé dans des conditions stériles avec du matériel stérilisé. Les résultats ont été observés après incubation. Les tubes présentant une production de gaz sont considérés comme hétérofermentaires, tandis que ceux sans production de gaz sont considérés comme homofermentaires.

#### **4.5. Croissance sur milieu de citrate de Simmons**

Le milieu au citrate de Simmons est un milieu sélectif visant à identifier les micro-organismes capables d'utiliser le citrate comme unique source de carbone et de sodium, et l'ammonium comme seule source d'azote. Après solidification du milieu en boîtes de Pétri, l'ensemencement a été réalisé par stries serrées à l'aide d'une anse stérile, suivi d'une incubation à 30°C pendant 24 à 48 heures. L'utilisation du citrate entraîne une alcalinisation du milieu, marquée par le virage de l'indicateur de pH (bleu de bromothymol) du vert initial vers le bleu intense (test positif)..

#### **4.6. Milieu de bile esculine**

Ce milieu sélectif permet de tester la capacité des bactéries à hydrolyser l'esculine en esculetine en présence de sels biliaires. L'esculetine formée se complexe avec les ions ferriques  $\text{Fe}^{+3}$  du milieu pour donner un précipité noir diffus (test positif, typique du genre *Enterococcus*). L'ensemencement a été réalisé par stries serrées à la surface du milieu, suivi d'une incubation à 30°C pendant 24 à 48 heures.

#### **4.7. Milieu M16 BCP**

Le milieu M16 au Bromocrésol Pourpre (BCP) permet de mettre en évidence la fermentation du lactose avec production d'acides organiques. Cette acidification provoque la baisse du pH sous le seuil de virage de l'indicateur coloré, se traduisant par un changement de couleur du milieu du violet vers le jaune. L'ensemencement a été effectué par stries serrées, suivies d'une incubation à 30°C pendant 24 à 48 heures.



Figure 16 : préparation de milieux de cultures, Milieu de citrate de Simmons, Milieu de bile esculine et Milieu M16 BCP

## **4.8. Test de fermentation des sucres**

### **4.8.1. Tyndallisation des sucres**

Est une méthode de stérilisation des sucres selon le protocole suivant : on prépare une solution de sucre a raison 1 g de sucre + 10 ml d'eau distillée, ensuite on chauffe les tubes au bain marie à 70°C pendant 30 min, après on fait un choc thermique du tubes, l'opération est répétée pendant 3 jour consécutifs .

### **4.8.2. Préparation des souches**

Une culture jeune de bactéries lactiques cultivée dans le milieu MRS bouillon a été soumise à une centrifugation à 6000 tr/min pendant 5 minutes afin d'obtenir un culot bactérien. Le surnageant a ensuite été éliminé et le culot a été remis en suspension dans de l'eau physiologique stérile, suivi d'une nouvelle centrifugation dans les mêmes conditions. Cette opération de lavage a été répétée trois fois. Lors du dernier lavage, le culot a été resuspendu dans de l'eau physiologique stérile puis homogénéisé à l'aide d'un vortex afin d'obtenir une suspension bactérienne homogène.

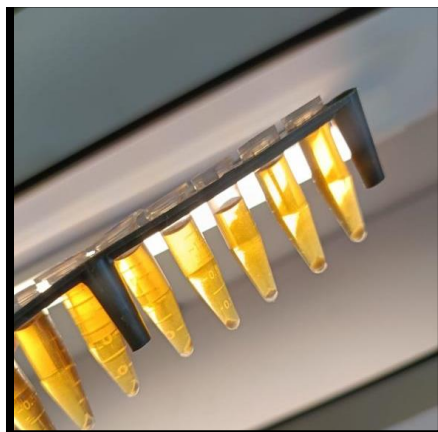


Figure 17 : suspension bactérienne homogène sur bouillant MRS

#### 4.8.3. Préparation de test des sucres

Après la tyndallisation de 13 sucres (fructose, glucose, sucrose, rhamnose, sorbitol , arabinose , galactose , lactose , maltose , tréhalose, mannitol , xylose , amidon ), Pour chaque souche, 15 puits ont été préparés. Treize puits ont été remplis avec 100  $\mu$ L de milieu MRS BCP et 20  $\mu$ L de chaque sucre. Deux puits témoins ont été préparés : un puits contenant uniquement le milieu sans inoculation (témoin négatif) et un autre contenant le milieu sans sucre avec inoculation. Enfin, tous les puits ont été recouverts d'huile de paraffine stérile pour assurer l'anaérobiose, puis incubés à 30 °C pendant 24 à 48 heures. Les résultats ont été observés après incubation.

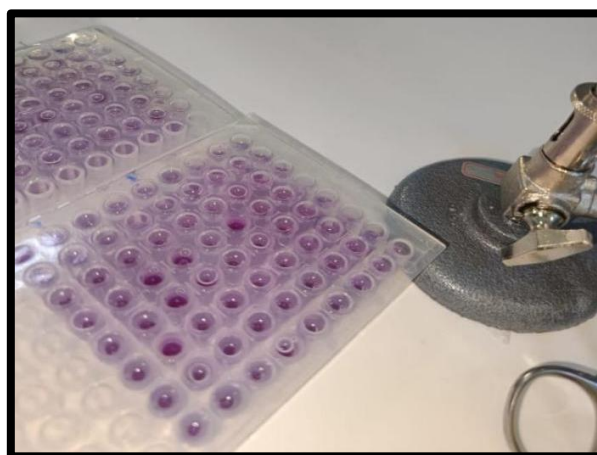


Figure 18 : Préparation de test des sucres

# **Partie III :**

# **Résultats et**

# **discussion**

### III. Résultats et discussion

#### 1- Analyses physico-chimiques

Les analyses physico-chimiques réalisées sur les laits crus des quatre races caprines (*Arbia*, *Alpine*, *Saanen* et *Syrienne*) mettent en évidence des variations notables, notamment au niveau de la matière grasse :

**Acidité titrable et acide lactique** : Les laits des races *Arbia* et *Syrienne* présentent l'acidité Dornic la plus élevée 22D, soit 1,98 g/L d'acide lactique, suivis par la race *Saanen* (20D) et la race *Alpine* 16D.

**Matière grasse** : Le taux de matière grasse est maximal chez la race *Alpine* 4,2g/L et minimal chez la race *Saanen* (1,1g/L

**Stabilité thermique** : Malgré ces variations, l'ensemble des échantillons a montré une parfaite stabilité au test d'ébullition/alcool

**Tableau 3** : Tableau récapitulatif des Tests physico chimique

|                                                  | Race Arbia | Race Alpin | Race saneen | Race syrienne |
|--------------------------------------------------|------------|------------|-------------|---------------|
| <b>Acidité Dornic (°D)<br/>(Volume NAOH /ml)</b> | 2.2/ml     | 1.6/ml     | 2/ml        | 2.2/ml        |
| <b>Acide lactique /L)</b>                        | 1.98       | 1.8        | 1.44        | 1.98          |
| <b>matière grasse (g/L)</b>                      | 3          | 4.2        | 1.1         | 1.3           |
| <b>Test de stabilité</b>                         | Stable     | Stable     | Stable      | Stable        |

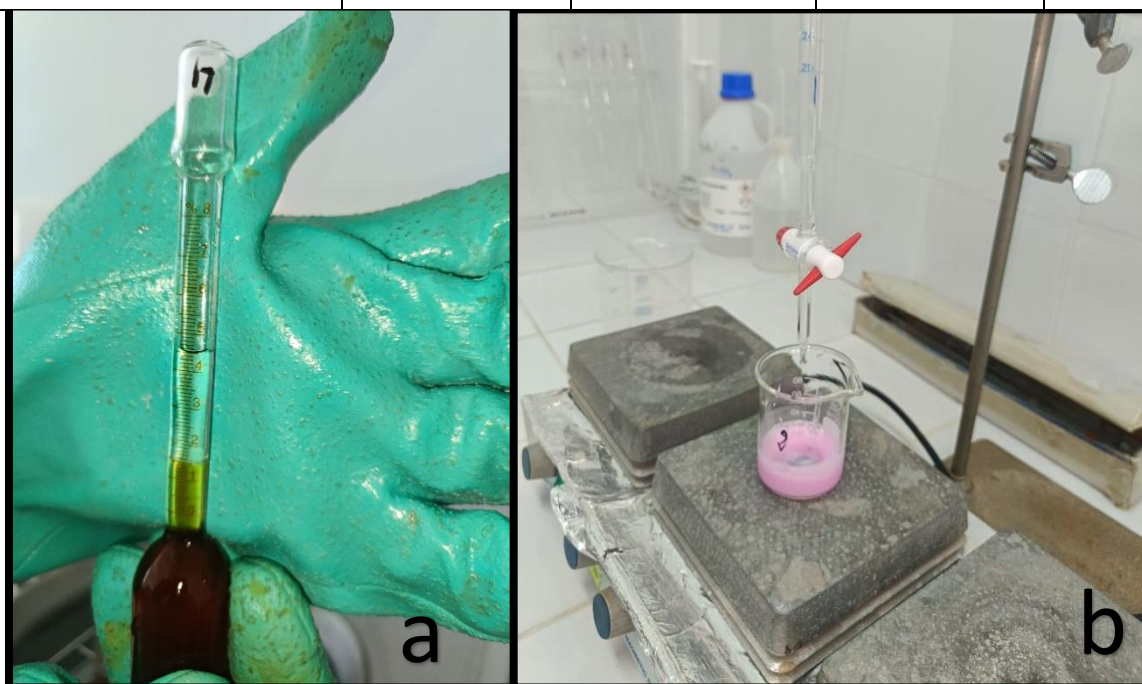


Figure 19 : Résultats de matière grasse dans butyromètre



(a), Résultats de taux d'acidité (°D) (b)

## 2- Analyse microbiologique

### 2.1- Isolement et purification des bactéries lactiques

Après incubation à 30°C pendant 48 heures, une croissance des colonies bactériennes a été observée sur les boîtesensemencées. Le nombre de colonies diminuait progressivement avec l'augmentation du facteur de dilution : les dilutions les moins élevées ( $10^{-1}$ ) présentaient une charge microbienne importante, tandis que le nombre de colonies diminuait progressivement jusqu'à la dilution  $10^{-7}$  (figure 20).

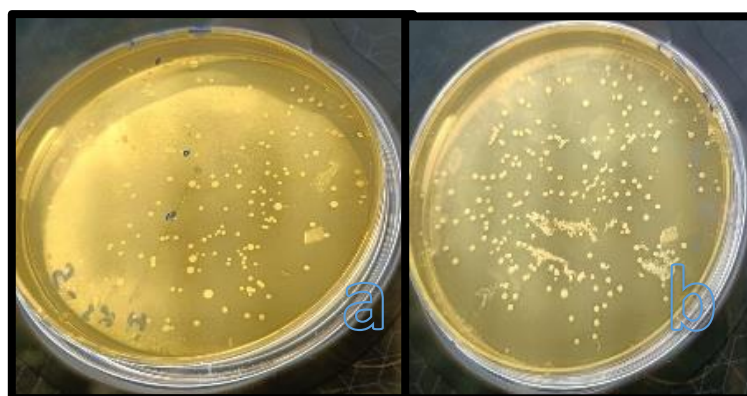


Figure 20 : Aspect macroscopique des colonies bactériennes  
a (la race arbiade dilution -5) et b (le race syrien de dilution -5)

Par ailleurs, trois types de colonies présentant des caractéristiques morphologiques distinctes ont été observés sur les différentes boîtes de culture. Ces colonies typiques ont été sélectionnées et repiquées afin d'obtenir des souches pures. Après purification, une souche pure a été obtenue à partir de chaque type de colonie observé (figure 21).

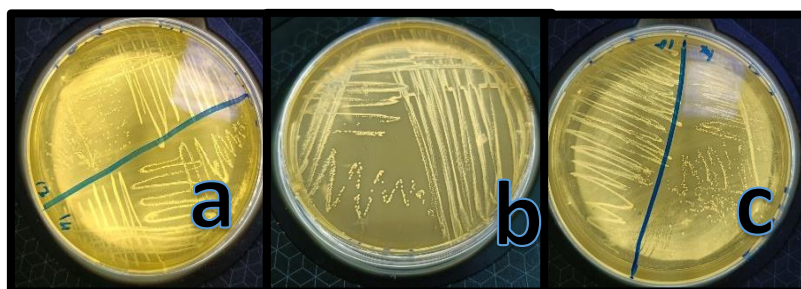


Figure 21 : Aspect macroscopique des isolats après purification  
a (2 isolats de race alpine), b (la race syrienne) et c (2 isolats la race arbia)

### 2.2- Examens Macroscopiques



Les colonies obtenues présentaient des caractéristiques suivantes : Des colonies circulaires de couleur blanc crème, lisse, brillant, de bord entier et relief convexe et de diamètre 0.1 et 0.5 mm (figure 22).

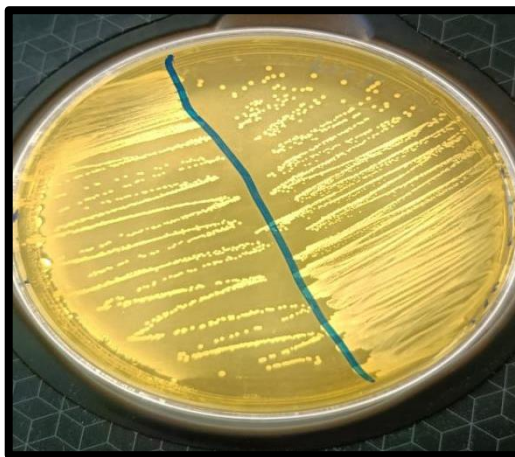


Figure 22 : Aspect microscopique des isolats (isolat 2 souche de la race saanen)

### 2.3- La Coloration de Gram

L'observation microscopique après la coloration de Gram a montré que les souches isolées retenaient la coloration violette, caractéristique des bactéries Gram positives. Cette propriété est due à la présence d'une paroi cellulaire épaisse riche en peptidoglycane. Par ailleurs, l'examen microscopique a révélé des morphologies différentes selon les souches : La majorité (A1, A2, P1, P2, B1, B2) présentaient une forme cocci, tandis que l'isolat S1 (*race Syrienne*) se distingue par une forme **cocco-bacillaire** (figure 23).

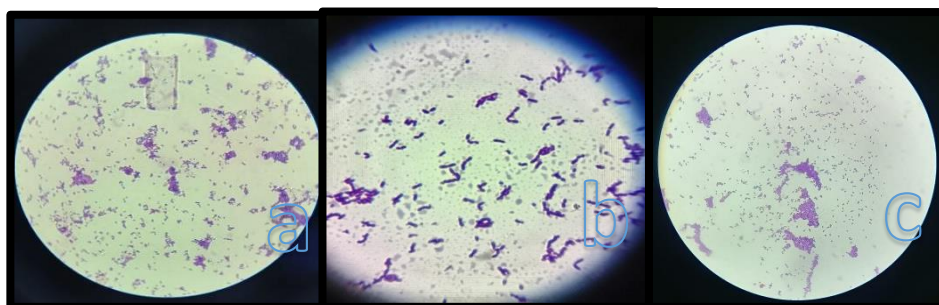


Figure 23 : Aspect microscopique des souches colorer en violette  
a (de A1 de race arbia, b (isolats B2 de la race saanen) et c (isolats P1 de la race alpine)

### 2.4- Test de catalase

L'absence totale de libération de bulles de gaz ( $O_2$ ) après exposition au peroxyde d'hydrogène ( $H_2O_2$ ) confirme que toutes les souches sont **catalase négative**, un critère fondamental des bactéries lactiques (Figure 24).



Figure 24 : résultat de test catalase négatif

## 2.5- Type fermentaire

Les profils sont partagés entre souches homofermentaires (absence de gaz pour A1, P1, B1, B2) et hétérofermentaires (production de gaz pour A2, S1, P2), indiquant des différences métaboliques entre les souches (Figure 25).

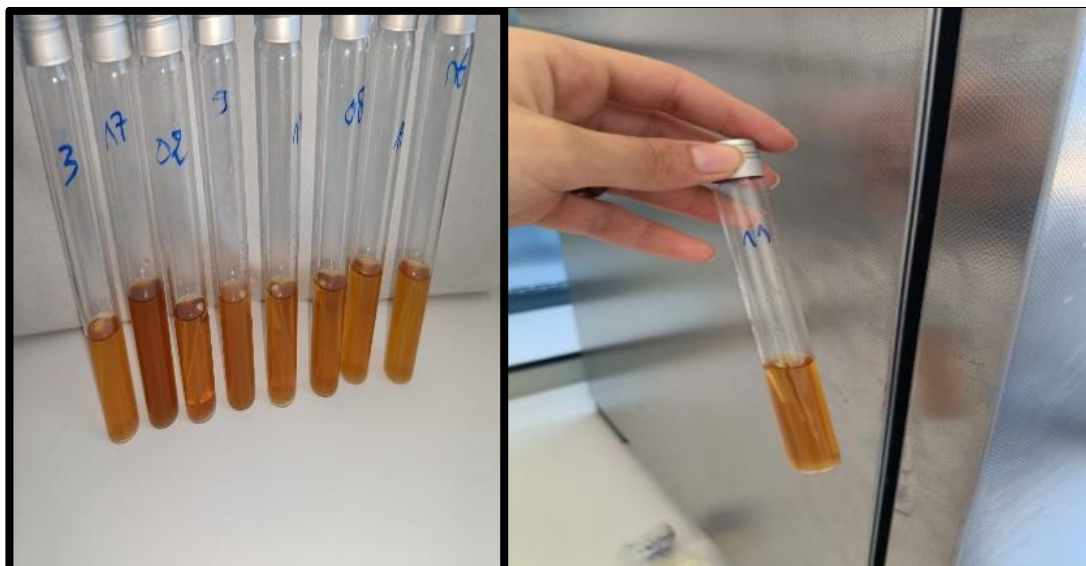


Figure 25 : Type fermentaire sur milieu MRS liquide contenant la cloche de durham

## 2.6 Hydrolyse de l'arginine

On observe que les isolats 2 (A2) et 3(A1) de la race arbiaet 4 et 7 (S1) de la race syrienne et 6 (P2) de la race alpine ont présenté un changement de couleur du milieu, ce qui indique leur capacité à dégrader l'arginine. Ce changement est dû à la production de composés alcalins (notamment l'ammoniac), entraînant une augmentation du pH du milieu. En revanche, les souches 5 (P1) de la race alpine et 8 (B1) de la race saanen n'ont montré aucun changement de coloration et le milieu est resté violet, ce qui signifie qu'elles sont incapables d'hydrolyser l'arginine dans les conditions expérimentales utilisées (figure 26).

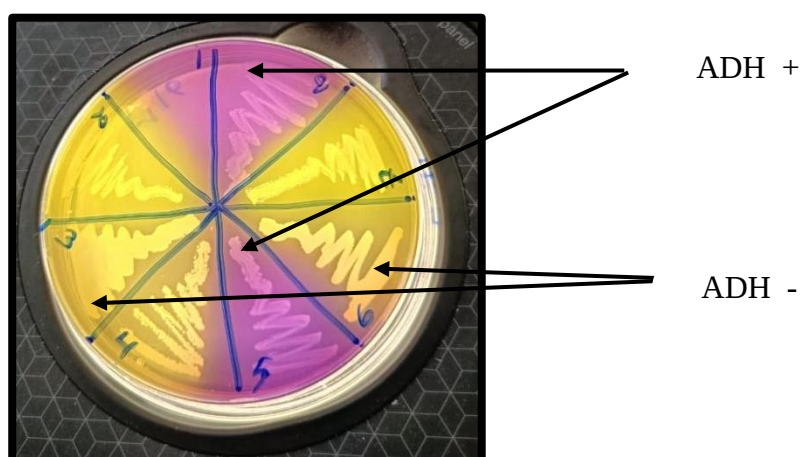


Figure 26 : Résultats du test d'ADH

## 2.7- La résistance à la bile et l'hydrolyse de l'esculine

les isolats 17 et 18 de la race alpine et 22 et 21 de la race saanen ont provoqué un noircissement du milieu, indiquant leur capacité à résister à la bile et à hydrolyser l'esculine. Ce résultat est typique du genre *Enterococcus*, mais une confirmation par d'autres tests phénotypiques reste indispensable. En revanche les isolats 19 et 20 du race syrien n'ont montré aucun changement de coloration ce qui signifie qu'elles sont incapables d'hydrolyser l'esculine. (Figure 27)

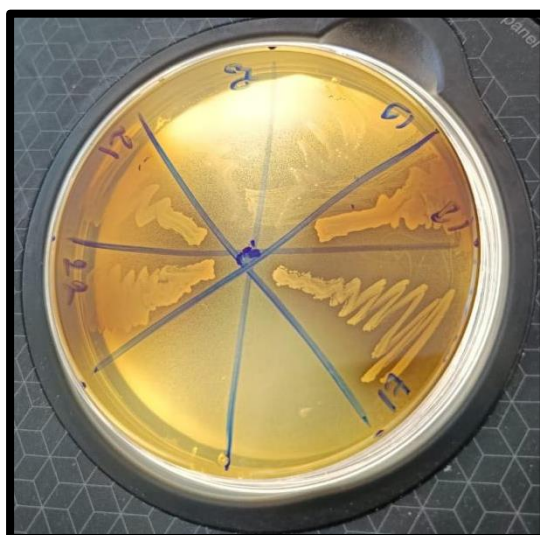


Figure 27 : Résultats du l'hydrolyse de l'esculine

## 2.8 Milieu de citrate de Simmons

Aucune modification de la coloration du milieu n'a été observée sur le milieu citrate de Simmons. Ce résultat indique que les souches étudiées ne sont pas capables d'utiliser le citrate comme seule source de carbone (Figure 28).



Figure 28 : Résultat citrate de Simmons négatif pour tous les isolats

### 2.9 Test de l'influence du pH sur la croissance bactérienne

La croissance des souches n'a pas été observée à pH 4, alors qu'une croissance a été enregistrée à pH 6 et pH 9. Ces résultats indiquent que les souches étudiées ne supportent pas les conditions fortement acides, mais présentent une bonne capacité de croissance à pH neutre et alcalin (Figure 29).

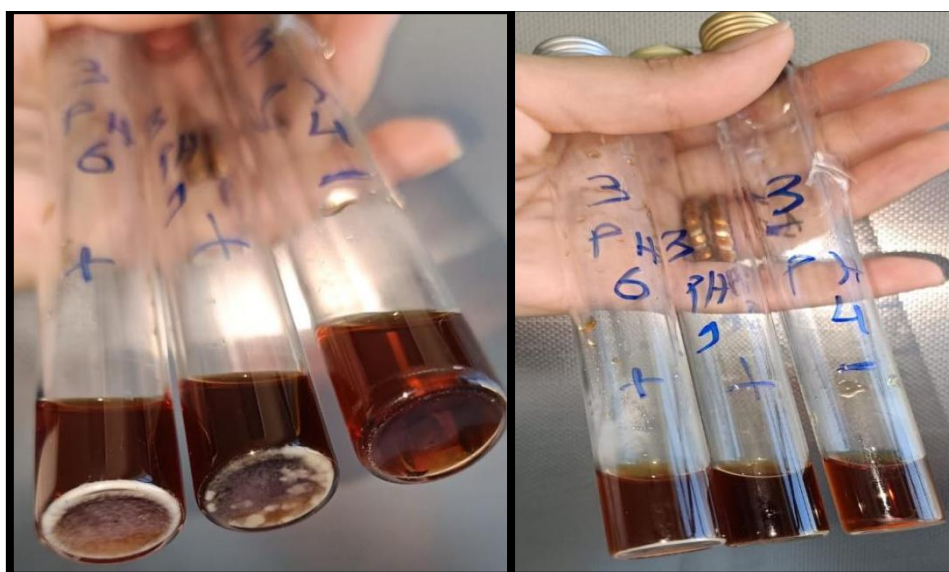


Figure 29 : Résultat de Test de l'influence du pH sur la croissance bactérienne d'isolat de la race ArbiaA1

### 2.10 l'effet de la température sur la croissance bactérienne

L'étude de la croissance en fonction de la température a montré une variabilité entre les souches isolées. Certaines souches ont présenté une croissance à 15°C, 30°C et 45°C, indiquant une large capacité d'adaptation et un profil psychrotrophe et thermotolérant.



D'autres souches ont montré une croissance uniquement à 30°C et 45°C, ce qui suggère un comportement mésophile à tendance thermotolérante. Un troisième groupe a été capable de croître à 15°C et 30°C seulement, correspondant à un profil mésophile adapté aux températures modérées (Figure 30).



Figure 30 : résultat de l'effet de la température sur la croissance bactérienne d'isolat de la race alpin (P1)

### 2.11-Test de fermentations de sucre

L'étude du profil de fermentation de treize glucides (glucose, saccharose, rhamnose, sorbitol, arabinose, galactose, lactose, maltose, tréhalose, mannitol, xylose, amidon et fructose) a permis de mettre en évidence une diversité métabolique entre les huit isolats de bactéries lactiques obtenus à partir du lait de chèvre.

Les résultats ont montré que tous les isolats étaient capables de fermenter le glucose, le saccharose, l'arabinose, le galactose, le lactose et le maltose. Cette capacité traduit la présence de systèmes enzymatiques efficaces permettant l'utilisation de ces glucides comme source de carbone et d'énergie. La fermentation du lactose par l'ensemble des isolats constitue une caractéristique importante des bactéries lactiques associées au lait et aux produits laitiers.

En revanche, aucun isolat n'a montré la capacité de fermenter le rhamnose et le sorbitol, ce qui suggère l'absence ou la faible expression des enzymes nécessaires à leur métabolisme.

Les différences observées concernaient principalement la fermentation du tréhalose, du mannitol, de la xylose, de l'amidon et du fructose. Ces variations ont permis de distinguer plusieurs profils biochimiques parmi les isolats étudiés. Sur la base de ces caractères, six profils de fermentation différents ont été identifiés, indiquant une hétérogénéité métabolique au sein de la collection bactérienne isolée (figure 31).

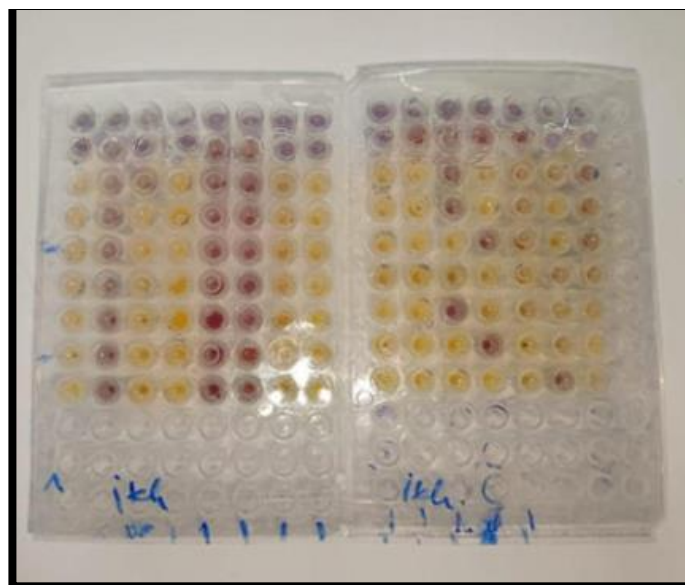


Figure 31 : Résultats de fermentations de sucre

Les isolats P1, B1 et B2 ont présenté un profil identique, ce qui pourrait indiquer leur appartenance à la même espèce ou à des souches étroitement apparentées. À l'inverse, les autres isolats ont montré des profils distincts reflétant une variabilité phénotypique importante.

Cette diversité dans l'utilisation des glucides est fréquemment rapportée chez les bactéries lactiques isolées des laits crus, où différentes espèces coexistent et contribuent aux processus de fermentation. Toutefois, l'identification précise des espèces bactériennes ne peut pas être basée uniquement sur les tests de fermentation des sucres et nécessite des analyses complémentaires, notamment des tests physiologiques, biochimiques ou moléculaires

**Tableau 4 : les résultats de fermentations de sucre**

|           | Glucose | Sucrose | Rhamnose | Sorbitol | Arabinose | Galactose | Lactose | Maltose | Tréhalose | Mannitol | Xylose | Amidon | Fructose |
|-----------|---------|---------|----------|----------|-----------|-----------|---------|---------|-----------|----------|--------|--------|----------|
| <b>A1</b> | +       | +       | -        | -        | +         | +         | +       | +       | -         | +        | +      | +      | +        |
| <b>A2</b> | +       | +       | -        | -        | +         | +         | +       | +       | -         | -        | -      | -      | +        |
| <b>S1</b> | +       | +       | -        | -        | +         | +         | +       | +       | -         | -        | +      | -      | +        |
| <b>S2</b> | +       | +       | -        | -        | +         | +         | +       | +       | +         | -        | +      | -      | +        |
| <b>P1</b> | +       | +       | -        | -        | +         | +         | +       | +       | +         | +        | -      | +      | +        |
| <b>P2</b> | +       | +       | -        | -        | +         | +         | +       | +       | -         | -        | +      | +      | +        |
| <b>B1</b> | +       | +       | -        | -        | +         | +         | +       | +       | +         | +        | -      | +      | +        |
| <b>B2</b> | +       | +       | -        | -        | +         | +         | +       | +       | +         | +        | -      | +      | +        |

A1 ,A2 : Isolats de race Arbia;

S1 : Isolat race Syrienne ;

P1 , P2 : Isolats de race Alpine ;

B1,B2 : Isolats race Saanen )

**Tableau 5 : Tableau réceptif des résultats des tests des isolats**  
**(A1 ,A2 : isolats de race arbia; S1 : isolat race syrienne ; P1 , P2 : isolats de race alpine ; B1,B2 : isolats race saanen )**

|           | <b>PH:9.6</b> | <b>PH:6</b> | <b>PH:4</b> | <b>Test<br/>fermentaire</b> | <b>15C°</b> | <b>30C°</b> | <b>45C°</b> | <b>Milieu<br/>M16BCP</b> | <b>Milieu<br/>bille<br/>esculine</b> | <b>Milieu<br/>citrate de<br/>Simmons</b> | <b>Coloration<br/>de gram</b> |
|-----------|---------------|-------------|-------------|-----------------------------|-------------|-------------|-------------|--------------------------|--------------------------------------|------------------------------------------|-------------------------------|
| <b>A1</b> | +             | +           | -           | -                           | +           | +           | -           | +                        | -                                    | -                                        | cocci                         |
| <b>A2</b> | +             | +           | -           | +                           | -           | +           | -           | +                        | -                                    | -                                        | cocci                         |
| <b>S1</b> | -             | +           | -           | +                           | +           | +           | +           | +                        | -                                    | -                                        | Coco-bacil                    |
| <b>P1</b> | +             | +           | -           | -                           | +           | +           | +           | -                        | +                                    | -                                        | cocci                         |
| <b>P2</b> | +             | +           | -           | +                           | +           | +           | -           | +                        | -                                    | -                                        | cocci                         |
| <b>B1</b> | +             | +           | -           | -                           | +           | +           | -           | -                        | -                                    | -                                        | cocci                         |
| <b>B2</b> | +             | +           | -           | -                           | +           | +           | -           | +                        | -                                    | -                                        | cocci                         |

# **Discussion générale**

### Discussion générale

#### 1. Évaluation des paramètres physico-chimiques du lait

L'acidité titrable (en degrés Dornic) permet d'évaluer l'activité des bactéries lactiques présentes naturellement dans le lait cru. Dans notre étude, les valeurs varient entre 16 °D (race Alpine) et 22 °D (races Arbia et Syrienne). Ces résultats concordent avec les études de Boumediene et *al.*, (2025). et Gherissi et *al.*, (2026), qui expliquent que les races locales algériennes ont souvent une acidité plus élevée. Cela est dû à une flore lactique locale plus active, favorisée par l'élevage extensif (en plein air) et l'absence de pasteurisation immédiate. De même, Dahal et *al.*, (2026) ont observé des variations d'acidité selon les races chez des chèvres au Népal, ce qui montre que la génétique de l'animal influence indirectement la composition du lait.

#### 2. Isolement et caractérisation des bactéries lactiques

Sur le milieu MRS, nous avons obtenu 8 isolats. Les colonies étaient rondes, bombées, de couleur blanc-crème, lisses et brillantes (diamètre entre 0,1 et 0,5 mm). Cet aspect est typique des genres *Lactobacillus*, *Lactococcus*, *Leuconostoc* et *Enterococcus* décrits par (Hussein et *al.*, 2025; Łepecka et *al.*, 2025).

La coloration de Gram a montré que tous les isolats sont des coques ou des cocco-bacilles Gram-positif. C'est une propriété universelle des bactéries lactiques liée à la structure épaisse de leur paroi (Zheng et *al.*, 2020). De plus, le test de la catalase est négatif pour toutes les souches, ce qui est le critère obligatoire pour définir les bactéries lactiques (Rajput et *al.*, 2023). Ces caractéristiques (Gram (+) et Catalase (-)) confirment que nos isolats sont bien des bactéries lactiques, ce qui rejoint les conclusions de Badis et *al.*, (2004) et Bentahar et *al.*, (2024) sur le lait de chèvre en Algérie.

Le test en tube de Durham a révélé deux types de comportements : des souches homofermentaires (sans production de gaz CO<sub>2</sub>) et des souches hétérofermentaires (avec production de gaz).

Les souches homofermentaires produisent principalement de l'acide lactique. Elles sont utiles pour acidifier rapidement le lait et fabriquer des yaourts ou des fromages fermes (Bicca et *al.*, 2026).

Les souches hétérofermentaires produisent du gaz, de l'alcool et des arômes. Elles sont importantes pour donner le goût typique aux produits traditionnels comme le *Lben* ou le *Raïb* (Badis et *al.*, 2005; Biadala et *al.*, 2023).



## Résultats et discussion



Nos souches ne poussent pas à pH 4, mais se développent bien à pH 6 et pH 9,7. En général, les bactéries lactiques du lait préfèrent un pH entre 5,5 et 6,5 (Salvetti et al., 2012). L'absence de croissance à pH 4 montre que nos souches ne sont pas des lactobacilles acidifiants, mais appartiennent plutôt aux genres *Lactococcus*, *Enterococcus* ou *Leuconostoc*. Cependant, la croissance à un pH très basique (9,7) est une caractéristique propre au genre *Enterococcus*, connu pour sa grande résistance (Maake et al., 2021).

Pour la température, nous avons trois groupes : des souches qui poussent partout (15, 30 et 45 °C), des souches moyennes (30 et 45 °C) et des souches plus fraîches (15 et 30 °C). Les souches qui tolèrent 45 °C ressemblent à des *Enterococcus* ou des *Lactobacillus* thermophiles (Nami (Nami et al., 2026)et al., 2026). Celles qui s'arrêtent à 30 °C ressemblent à *Lactococcus lactis* ou *Leuconostoc mesenteroides*, des espèces très courantes en Algérie (Badis et al., 2004; Bentahar et al., 2024).

Le test d'hydrolyse de l'arginine (ADH) a donné des résultats variables. Ce test aide à séparer les sous-espèces de *Lactococcus lactis* ou à identifier certaines espèces d'*Enterococcus* (Tormo et al., 2015). De plus, certaines souches ont dégradé l'esculine en présence de bile, un caractère typique des *Enterococcus* (Maake et al., 2021). Cette résistance à la bile suggère un potentiel probiotique (bactérie bénéfique pour la santé) selon les normes de la FAO/OMS.

Enfin, aucune souche n'a utilisé le citrate sur milieu Simmons, ce qui confirme qu'il ne s'agit pas de contaminations par des entérobactéries.

L'étude de 13 sucres a montré une grande variété de réactions. Toutes les souches fermentent le glucose, le saccharose, l'arabinose, le galactose, le lactose et le maltose. La fermentation du lactose par 100% des isolats prouve qu'elles sont parfaitement adaptées au lait (Wang et al., 2026). À l'inverse, aucune ne fermente le rhamnose ni le sorbitol. Les variations sur les autres sucres (mannitol, xylose et amidon) ont permis de dessiner 6 profils différents. Les isolats P1, B1 et B2 ont le même comportement, ce qui montre qu'ils sont très proches génétiquement. Ce type de diversité est classique dans les laits caprins (Bustos et al., 2026).

En combinant tous les résultats, nous supposons la présence de quatre genres : *Lactococcus*, *Lactobacillus*, *Leuconostoc* et *Enterococcus*. Cette diversité est similaire à celle trouvée par Badis et al (2004), et Lauková et ces collaborateurs (2025) dans le lait de chèvre. Ces souches sauvages locales, adaptées au climat semi-aride, pourraient être plus performantes que les souches industrielles (Bentahar et al., 2024).

Cependant, les tests biochimiques classiques ont des limites. Ils ne permettent pas d'identifier l'espèce exacte de façon certaine (surtout après la nouvelle classification des lactobacilles par



## Résultats et discussion



Zheng et al., (2020). Pour utiliser ces souches de manière sécurisée, il sera indispensable de faire des analyses moléculaires (séquençage ARNr 16S ou MALDI-TOF) (Bustos et al., 2026).

# **CONCLUSION GÉNÉRALE**

### CONCLUSION

Ce travail de recherche, mené dans le cadre de notre mémoire de Master en Biologie Appliquée, avait pour objectif principal l'évaluation physico-chimique du lait cru de quatre races caprines (*Arbia*, *Syrienne*, *Saanen* et *Alpine*) de la wilaya de Tissemsilt et Tiaret , ainsi que l'isolement et l'identification phénotypique des bactéries lactiques autochtones associées.

En premier lieu, l'analyse physico-chimique a mis en évidence une variabilité significative de la composition du lait en fonction de la race de l'animal. Les résultats révèlent que les laits des races *Arbia* et *Syrienne* se caractérisent par une acidité Dornic et une concentration en acide lactique plus élevées (atteignant 22°D, équivalant à 1,98 g/L d'acide lactique). À l'inverse, la race *Alpine* se distingue par la teneur en matière grasse la plus importante (4,2%), malgré une acidité plus faible. Ces fluctuations confirment l'influence directe de facteurs intrinsèques (comme le patrimoine génétique des races) et extrinsèques (tels que l'alimentation et les conditions d'élevage locales) sur les propriétés technologiques du lait. D'un point de vue biologique et nutritionnel, ces résultats permettent de caractériser la qualité spécifique de chaque matrice laitière :

Les laits des races *Arbia* et *Syrienne* affichent une excellente qualité microbiologique et acidifiante. Leur richesse en acide lactique bio-généré constitue une barrière sanitaire naturelle (biopréservation) qui protège le lait contre les altérations, ce qui les rend biologiquement idéaux pour la production de laits fermentés traditionnels (comme le *Lben*).

Le lait de la race *Alpine* présente une qualité nutritionnelle et lipidique supérieure. Sa haute teneur en matière grasse optimise sa structure biochimique pour la coagulation, offrant ainsi une aptitude technologique remarquable pour la transformation fromagère et l'obtention de rendements élevés en produits dérivés (fromages, beurre).

Le lait de la race *Saanen*, bien que moins riche en lipides, conserve un intérêt biologique majeur lié à sa fluidité et à sa composition équilibrée, propices à la consommation sous forme liquide ou à des transformations industrielles de grand volume.

En second lieu, l'étude microbiologique a permis de valider l'efficacité des méthodes biochimiques traditionnelles pour l'exploration de la biodiversité laitière, sans avoir recours à des kits commerciaux automatisés (galeries API). À partir des échantillons de lait cru, huit (08) isolats de bactéries lactiques ont été purifiés. Les tests d'orientation primaires ont confirmé que toutes les souches étaient des bactéries à Gram positif et de type catalase-négatif.

## Conclusion

---

L'application raisonnée des critères physiologiques de Sherman (variations de pH et de température), de l'hydrolyse de l'arginine et de l'esculine, combinée à l'établissement de six (06) profils distincts de fermentation des sucres, a permis de dresser une carte d'identité phénotypique de nos isolats. L'intégration de ces résultats permet de suspecter une présence équilibrée de quatre genres majeurs de bactéries lactiques :

1. Le genre *Enterococcus* (souches thermotolérantes, résistantes à la bile et hydrolysant l'esculine).
2. Le genre *Lactobacillus* (souches sous forme de cocco-bacilles, homofermentaires ou hétérofermentaires).
3. Le genre *Lactococcus* (coques homofermentaires mésophiles, dont la différenciation s'appuie sur le test arginine).
4. Le genre *Leuconostoc* (coques hétérofermentaires productrices de gaz, adaptées aux températures modérées).

Toutes les souches ont démontré une aptitude ubiquiste à fermenter le lactose, ce qui confirme leur parfaite adaptation à la matrice laitière et leur potentiel acidifiant. De plus, la mise en évidence de profils thermotolérants et résistants aux variations de pH (croissance à pH 9) confère à certaines de nos souches un intérêt technologique majeur pour l'industrie agroalimentaire, notamment pour résister aux stress subis lors des procédés de transformation thermique.

En perspective, ce travail ouvre des voies de recherche prometteuses pour la valorisation des ressources laitières de la région de Tissemsilt et Tiaret. Afin de compléter et de valoriser ces résultats encourageants, il serait pertinent de :

- Approfondir l'étude de cette biodiversité en confirmant l'identification de nos isolats au niveau de l'espèce par des outils de biologie moléculaire (comme l'analyse de l'ADN par séquençage de l'ARN ribosomal 16S).
- Explorer la diversité fonctionnelle de ces souches autochtones en évaluant leurs aptitudes de fabrication (vitesse d'acidification, pouvoir protéolytique, production d'arômes ou de substances antimicrobiennes comme les bactériocines)
- Miser sur cette richesse microbienne pour sélectionner les meilleures souches afin de formuler des ferments lactiques locaux « sauvages », capables de standardiser et de préserver la typicité ainsi que la qualité des produits laitiers traditionnels de la région.

### Références bibliographiques

- Al-Yami, A. M., Al-Mousa, A. T., Al-Otaibi, S. A., & Khalifa, A. Y. (2022). Lactobacillus species as probiotics: isolation sources and health benefits. *J. Pure Appl. Microbiol*, 16(4), 1761-1770.
- Argov-Argaman, N., Hadaya, O., Glasser, T., Muklada, H., Dvash, L., Mesilati-Stahy, R., & Landau, S. Y. (2016). Milk fat globule size, phospholipid contents and composition of milk from purebred and Alpine-crossbred Mid-Eastern goats under confinement or grazing condition. *International Dairy Journal*, 58, 2–8. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2015.12.003>
- Armstrong, E., Postiglioni, A., & González, S. (2006). Population viability analysis of the Uruguayan Creole cattle genetic reserve. *Animal Genetic Resources/Recursos genéticos animales*, 38, 19–33.
- Badis, A., Laouabdia-Sellami, N., Guetarni, D., Kihal, M., & Ouzrout, R. (2005). caractérisation phénotypique des bactéries lactiques isolées à partir de lait cru de chèvre de deux populations caprines locales "Arbiaet Kabyle". *Sciences&Technologie. C, Biotechnologies*, 30-37.
- Badis, A., Guetarni, D., Moussa Boudjema, B., Henni, D. E., & Kihal, M. (2004). Identification and technological properties of lactic acid bacteria isolated from raw goat milk of four Algerian races. *Food Microbiology*, 21(5), 579–588. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2003.11.006>
- Barlowska, J., Pastuszka, R., Krol, J., Brodziak, A., Teter, A., & Litwinczuk, Z. (2020). Differences in physico-chemical parameters of goat milk depending on breed type, physiological and environmental factors. *Turkish Journal of Veterinary&Animal Sciences*, 44(3), 720-728.
- Bentahar, M. C., Benabdelmoumene, D., Robert, V., Dahmouni, S., Qadi, W. S., Bengharbi, Z., Langella, P., Benbouziane, B., Al-Olayan, E., & Dawoud, E. A. D. (2024). Evaluation of probiotic potential and functional properties of Lactobacillus strains isolated from Dhan, traditional Algerian goat milk butter. *Foods*, 13(23), 3781.
- Biadala, A., Szablewski, T., Cegielska-Radziejewska, R., Lasik-Kurdys, M., & Adzahan, N. M. (2023). The Evaluation of Activity of Selected Lactic Acid Bacteria for Bioconversion of Milk and Whey from Goat Milk to Release Biomolecules with Antibacterial Activity. *Molecules*, 28(9). <https://doi.org/10.3390/molecules28093696>
- Bicca, B. B., Massaut, K. B., Dos Santos Pereira, E., Vizzotto Foster, M., Fonseca, L. M., Fiorentini, A. M., & Lopes, G. V. (2026). Probiotic fermented goat milk incorporated with blackberry (*Rubus* sp.): A novel functional food product. *J Sci Food Agric*. <https://doi.org/10.1002/jsfa.70708>
- Boumediene, F., Meribai, A., Kahlouche, A., Bouchibane, M., Touzout, N., & Belbraouet, S. (2025). Effects of Breed and Lactation-stage of Goat on the Composition and Lipid Fraction of Milk in Algeria. *Asian Journal of Dairy and Food Research*. <https://doi.org/10.18805/ajdfr.DRF-446>
- Bustos, A. Y., Carol Paz, J. J., Gómez, J. N., & Ledesma, A. E. (2026). Application of Raman Spectroscopy to Rapid Discrimination of Autochthonous Lactic Acid Bacteria Isolated from Goat Cheese. *Current Issues in Molecular Biology*, 48(5), 497.
- Curro, S., Manuelian, C. L., De Marchi, M., Goi, A., Claps, S., Esposito, L., & Neglia, G. (2020). Italian local goat breeds have better milk coagulation properties than cosmopolitan breed. *Italian Journal of Animal Science*, 19(1), 593–601.
- da Silva, M. O. M., Silva, G. M. d., dos Santos, K. M. O., Egito, A. S. d., Alonso Buriti, F. C., & Galdino, I. K. C. P. d. O. (2026). Characterization of Goat Milk Fermented With *Streptococcus thermophilus*, *Limosilactobacillus mucosae* CNPC007 and Inulin With Addition of *Cereus jamacaru*. *Applied Research*, 5(3). <https://doi.org/10.1002/appl.70099>
- Dahal, M., Kadel, R., Ghimire, S., & Acharya, B. R. (2026). Study on the Effect of Breeds on Physiochemical Parameters of Goat Milk at National Goat Research Program, Bandipur Tanahun Nepal. *Nepalese Journal of Agricultural Sciences*, 30, 228–237.
- Delgado, K., Vieira, C., Dammak, I., Frasso, B., Brígida, A., Costa, M., & Conte-Junior, C. (2020). Different ultrasound exposure times influence the physicochemical and microbial quality properties in probiotic goat milk yogurt. *Molecules*, 25(20), 4638.
- Demirhan, S. S., Andic, S., & Oguz, S. (2026). Comparison of Physicochemical, Microbiological, and Sensory Properties of Yogurt Made From Cow, Goat, Sheep, and Buffalo Milk with and Without Probiotic Cultures. *Food Sci Nutr*, 14(4), e71743. <https://doi.org/10.1002/fsn3.71743>

- dos Santos, W. M., Guimarães Gomes, A. C., de Caldas Nobre, M. S., de Souza Pereira, Á. M., dos Santos Pereira, E. V., dos Santos, K. M. O., Florentino, E. R., & Alonso Buriti, F. C. (2023). Goat milk as a natural source of bioactive compounds and strategies to enhance the amount of these beneficial components. *International Dairy Journal*, 137. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2022.105515>
- Saparova, G. B., & Arpadinova, E. Goat Milk, Its Physio-chemical Properties AND Role in Human Health Improvement. *Galaxy International Interdisciplinary Research Journal*, 12(5), 253-255.
- Gendre, J. C. (2025). *Impact des bactériophages sur la dynamique microbienne et les propriétés biochimiques des légumes fermentés* (Doctoral dissertation, Université Paris-Saclay)..
- Gherissi, D. E., Chergui, M., Titaouine, M., Chaabnia, M., Douaïssia, K., Gaouar, S. B. S., Kouti, S., Boumaraf, H., Monaco, D., & Lamraoui, R. (2026). A comprehensive analysis of lactation traits in the Arbia goat breed (*Capra hircus*) from Algeria. *Veterinaria México OA*, 13. <https://doi.org/10.22201/fmvz.24486760e.2026.1464>
- Gholamhosseinpour, A., Hashemi, S. M. B., & Mazydi, H. K. (2025). Ultrasound-assisted enhancement of microbial, physicochemical, and bioactive properties in *Lactobacillus helveticus*-fermented milk. *Food Chemistry: X*, 29, 102724.
- Tefiel, H., Ata, N., Fantazi, K., Yilmaz, O., Cemal, I., Karaca, O., Chahbar, M., Ameer, A. A., & Gaouar, S. B. S. (2020). Microsatellite based genetic diversity in indigenous goat breeds reared in Algeria and Turkey. *Journal of Animal and Plant Sciences*, 30(5), 1115-1122. <https://doi.org/10.36899/JAPS.2020.5.0127>
- Hadaya, O., Landau, S. Y., Glasser, T., Muklada, H., Deutch, T., Shemesh, M., & Argov-Argaman, N. (2020). Producing pasture-like milk from goats in confinement. *Livestock Science*, 236. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2020.104056>
- Hoque, M. Z., Akter, F., Hossain, K. M., Rahman, M. S. M., Billah, M. M., & Islam, K. M. D. (2010). Isolation, identification and analysis of probiotic properties of *Lactobacillus* spp. from selective regional yoghurts. *World Journal of Dairy & Food Sciences*, 5(1), 39–46.
- Huang, C.-H., Li, S.-W., Huang, L., & Watanabe, K. (2018). Identification and Classification for the *Lactobacillus casei* Group [Hypothesis and Theory]. *Frontiers in Microbiology*, Volume 9 - 2018. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.01974>
- Hussein, A. O., Khalil, K., Zaini, N. A. M., Al Atya, A. K., & Aqma, W. S. (2025). Antimicrobial activity of *Lactobacillus* spp. isolated from fermented foods and their inhibitory effect against foodborne pathogens. *PeerJ*, 13, e18541.
- Ibri, K. (2025). Algerian extra hard cheese of Klila: a review on the production method, and microbial, organoleptic, and nutritional properties. *Journal of Ethnic Foods*, 12(1), 18–27.
- Kalai, S. M., Tefiel, H., Haddam, H. Y., Ould Ahmed, M., Houssou, H., Sahi, S., Meghelli, I., & Gaouar, S. B. S. (2026). Characterization of the morphometric diversity and ecogeographic population structure of local Algerian and Mauritanian goats. *Revue d'élevage et de médecine vétérinaire des pays tropicaux*, 79. <https://doi.org/10.19182/remvt.37829>
- Laouadi, M., Tennah, S., Moula, N., Antoine-Moussiaux, N., & Kafidi, N. (2020). Caracterización morfológica de cabras indígenas en el área de Laghouat en Argelia. *Archivos de Zootecnia*, 69, 272–279. <https://doi.org/10.21071/az.v69i267.5345>
- Lauková, A., Tomáška, M., Drončovský, M., Mucha, R., Dvorožňáková, E., Kološta, M., & Pogány Simonová, M. (2025). The Application Potential of the Raw Goat Milk-Derived Strain *Lactococcus lactis* MK 1/3 for the Dairy Industry. *Applied Sciences*, 15(12). <https://doi.org/10.3390/app15126781>
- Łepecka, A., Szymański, P., & Okoń, A. (2025). Isolation, identification, and evaluation of the antioxidant properties of lactic acid bacteria strains isolated from meat environment. *Plos one*, 20(7), e0327225.
- Li, H., Zhu, J., Xiao, Y., Zhang, S., Sun, Y., Liu, Z., Chu, C., Hu, X., & Yi, J. (2023). Biodiversity of lactic acid bacteria in traditional fermented foods in yunnan province, china, and comparative genomics of *Lactobacillus plantarum*. *Fermentation*, 9(4), 402.
- Liu, G., Shu, G., Wang, J., Wang, Z., Liu, Y., Li, Y., & Chen, L. (2023). Purification and identification of EPS produced by five lactic acid bacteria and evaluation of their effects on the texture of fermented goat milk. *Fermentation*, 9(6), 527.

- Lopes, F. C., de Paiva, K. A. R., Coelho, W. A. C., Nunes, F. V. A., da Silva, J. B., da Escóssia, C. d. G. M., de Macêdo Praça, L., Silva, J. B. A., Freitas, C. I. A., & Batista, J. S. (2016). Lactation curve and milk quality of goats experimentally infected with *Trypanosoma vivax*. *Experimental Parasitology*, 167, 17–24.
- Laouadi, M., Tennah, S., Azzag, N., Kafidi, N., Antoine, M. N., & Moula, N. (2021). Biometric variability of Arbiagoat in Laghouat (Algeria) using the mean of the principal component analysis..
- Maake, T. W., Aiyegoro, O. A., & Adeleke, M. A. (2021). Effects of *Lactobacillus rhamnosus* and *Enterococcus faecalis* supplementation as direct-fed microbials on rumen microbiota of boer and speckled goat breeds. *Veterinary Sciences*, 8(6), 103.
- Meira, Q. G. S., Magnani, M., de Medeiros Júnior, F. C., do Egito, R. D. C. R., Madruga, M. S., Gullón, B., ...&de Souza, E. L. (2015). Effects of added *Lactobacillus acidophilus* and *Bifidobacterium lactis* probiotics on the quality characteristics of goat ricotta and their survival under simulated gastrointestinal conditions. *Food Research International*, 76, 828–838.
- Mejía-Caballero, A., López-Sánchez, R., Ramos-Cerrillo, B., Garcíarrubio, A., & Segovia, L. (2025). Genomic insights into habitat adaptation of *Lactobacillus* species. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 41(2), 61.
- Meng, F., Zhao, H., Nie, T., Lu, F., Zhang, C., Lu, Y., & Lu, Z. (2021). Acetate activates *Lactobacillus* bacteriocin synthesis by controlling quorum sensing. *Applied and environmental microbiology*, 87(13), e00720–00721.
- Mestawet, T. A., Girma, A., Ådnøy, T., Devold, T. G., Narvhus, J. A., & Vegarud, G. E. (2012). Milk production, composition and variation at different lactation stages of four goat breeds in Ethiopia. *Small Ruminant Research*, 105(1-3), 176–181. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2011.11.014>
- Mituniewicz-Malek, A., Ziarno, M.,&Dmytrów, I. (2014). Incorporation of inulin and transglutaminase in fermented goat milk containing probiotic bacteria. *Journal of Dairy Science*, 97(6), 3332–3338.
- Mohsin, A. Z., Sukor, R., Selamat, J., Hussin, A. S. M., & Ismail, I. H. (2019). Chemical and mineral composition of raw goat milk as affected by breed varieties available in Malaysia. *International Journal of Food Properties*, 22(1), 815–824. <https://doi.org/10.1080/10942912.2019.1610431>
- HAMIROUNE, M., DAHMANI, S., KASMI, Z., FOUGHALIA, A.,&DJEMAL, M. (2019). Evaluation of the Physicochemical Quality of Raw Bovine and Goat Milk Marketed in the Steppic Region of Djelfa (Algeria). *Bulletin of the University of Agricultural Sciences&Veterinary Medicine Cluj-Napoca. Veterinary Medicine*, 76(1).
- Nalepa, B., & Markiewicz, L. H. (2022). Microbiological Biodiversity of Regional Cow, Goat and Ewe Milk Cheeses Produced in Poland and Antibiotic Resistance of Lactic Acid Bacteria Isolated from Them. *Animals (Basel)*, 13(1). <https://doi.org/10.3390/ani13010168>
- Nami, Y., Barghi, A., Sadeghi, M., Farhadi, T., & Haghshenas, B. (2026). *Lactobacillus delbrueckii*: A functional powerhouse in dairy fermentation and emerging probiotic applications. *Food science&nutrition*, 14(2), e71546.
- Nayik, G. A., Jagdale, Y. D., Gaikwad, S. A., Devkatte, A. N., Dar, A. H., & Ansari, M. J. (2022). Nutritional Profile, Processing and Potential Products: A Comparative Review of Goat Milk. *Dairy*, 3(3), 622–647. <https://doi.org/10.3390/dairy3030044>
- Niyazbekova, Z., Yao, X. T., Liu, M. J., Bold, N., Tong, J. Z., Chang, J. J., Wen, Y., Li, L., Wang, Y., Chen, D. K., & Ma, W. T. (2020). Compositional and Functional Comparisons of the Microbiota in the Colostrum and Mature Milk of Dairy Goats. *Animals (Basel)*, 10(11). <https://doi.org/10.3390/ani10111955>
- Pérez Núñez, I., Díaz, R., Quiñones, J., Martínez, A., Velázquez, L., Huaiquipán, R., Tapia, D., Muñoz, A., Valdés, M., & Sepúlveda, N. (2024). Molecular Characteristics and Processing Technologies of Dairy Products from Non-Traditional Species. *Molecules*, 29(22), 5427.
- Hernández, R. J. A., Prado, R. O. F., Carrillo, D. M. I., Zepeda, B. J. L., Parra, D. H., Barajas, S. C. E., & García, C. A. C. (2026). Biochemical markers, hematological profile, and milk quality in

- Alpine and Saanen goat breeds. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, 78(02), e13648.
- Rajput, A., Chauhan, S. M., Mohite, O. S., Hyun, J. C., Ardalani, O., Jahn, L. J., Sommer, M. O., & Palsson, B. O. (2023). Pangenome analysis reveals the genetic basis for taxonomic classification of the Lactobacillaceae family. *Food Microbiology*, 115, 104334.
- Ranadheera, C. S., Evans, C. A., Baines, S. K., Balthazar, C. F., Cruz, A. G., Esmerino, E. A., Freitas, M. Q., Pimentel, T. C., Wittwer, A. E., Naumovski, N., Graca, J. S., Sant'Ana, A. S., Ajlouni, S., & Vasiljevic, T. (2019). Probiotics in Goat Milk Products: Delivery Capacity and Ability to Improve Sensory Attributes. *Compr Rev Food Sci Food Saf*, 18(4), 867–882. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12447>
- Belkhadem, S., Tefiel, H., Belantar, I., Chahbar, M., & Gaouar, S. B. S. (2019). Discriminant analysis on the morphometry of local goats breed in the western of Algeria. *Genetics&Biodiversity Journal*, 3(2), 49–56.
- Shuvarikov, A. S., Pastukh, O. N., Zhukova, E. V., & Zheltova, O. A. (2021, February). The quality of milk of goats of Saanen, Alpine and Nubian breeds. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 640, No. 3, p. 032031). IOP Publishing.
- Salveti, E., Torriani, S., & Felis, G. E. (2012). The genus *Lactobacillus*: a taxonomic update. *Probiotics and antimicrobial proteins*, 4(4), 217–226.
- Simon, R., Drögemüller, C., & Lühken, G. (2022). The complex and diverse genetic architecture of the absence of horns (polledness) in domestic ruminants, including goats and sheep. *Genes*, 13(5), 832.
- Sugahara, H., Kato, S., Nagayama, K., Sashihara, K., & Nagatomi, Y. (2022). Heterofermentative lactic acid bacteria such as *Limosilactobacillus* as a strong inhibitor of aldehyde compounds in plant-based milk alternatives. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 6. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2022.965986>
- Szopa, K., Szajnar, K., Pawlos, M., & Znamirska-Piotrowska, A. (2023). Probiotic fermented goat's and sheep's milk: Effect of type and dose of collagen on survival of four strains of probiotic bacteria during simulated in vitro digestion conditions. *Nutrients*, 15(14), 3241.
- Tafes, A. G. (2020). Compositional and technological properties of goat milk and milk products A review. *Concepts Dairy Vet Sci*, 3, 295–300.
- Tamendjari, S., Bouzebda, F. A., Chaib, L., Aggad, H., Ramdani, M., & Bouzebda, Z. (2021). Antibiotic resistance of *Staphylococcus aureus* isolated from raw cow and goat milk produced in the Tiaret and Souk Ahras areas of Algeria. *Veterinary World*, 14(7), 1929.
- Todorov, S. D., Penna, A. B., Venema, K., Holzapfel, W. H., & Chikindas, M. L. (2023). Recommendations for the use of standardised abbreviations for the former *Lactobacillus* genera, reclassified in the year 2020. *Beneficial Microbes*, 15(1), 1–4.
- Tormo, H., Lekhal, D. A. H., & Roques, C. (2015). Phenotypic and genotypic characterization of lactic acid bacteria isolated from raw goat milk and effect of farming practices on the dominant species of lactic acid bacteria. *International journal of food microbiology*, 210, 9–15.
- Uzkuc, H., Saritas, S., Celebi Uzkuc, N. M., Karagul Yuceer, Y., & Esatbeyoglu, T. (2026). Comparison of in vitro antioxidant activities of kefir, yogurt, and cheese produced from goat milk. *Food Chem X*, 33, 103394. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2025.103394>
- Kaguongo, Wachira & Kyotalimye, Miriam & Waithaka, Michael & Ronoh, Millicent & Ng'ang'a, Nancy. (2015). Enhancing adoption of harmonised seed standards, regulations and procedures in Eastern and Central Africa.
- Wang, S., Wang, H., Zhao, Y., Pei, Z., Lu, W., Zhao, J., & Lu, S. (2026). Enhanced quality and metabolic profile of fermented milk through fucose supplementation with *Lactobacillus helveticus*. *Molecules*, 31(6), 990.
- Wayah, S. B., & Philip, K. (2018). Purification, characterization, mode of action, and enhanced production of Salivaricin mmaye1, a novel bacteriocin from *Lactobacillus salivarius* SPW1 of human gut origin. *Electronic Journal of Biotechnology*, 35, 39–47.
- Yang, Y., Zhang, R., Zhang, F., Wang, B., & Liu, Y. (2022). Storage stability of texture, organoleptic, and biological properties of goat milk yogurt fermented with probiotic bacteria. *Front Nutr*, 9, 1093654. <https://doi.org/10.3389/fnut.2022.1093654>

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

---

- Zahid, R. (2026). Development of Functional Fermented Dairy Goat Milk Using Indigenous Probiotic *Lactiplantibacillus plantarum* subsp. *plantarum* strain IIA-1A5. *International Journal of Agriculture and Biosciences*. <https://doi.org/10.47278/journal.ijab/2025.234>
- Mohammed Ismael Alsaffa, S., Ghanem, W., Abdullah Ramadan, S. F., & Zaid, Z. (2025). Enhancing Thermotolerance and Immune Competence in Shami Goats: A Novel Dietary Strategy Using *Moringa oleifera* and Turmeric to Mitigate Heat Stress-Induced Production Losses. *International Journal of Agriculture and Biosciences*, 14(1), 45–52.
- Zhang, J., McWhorter, A. R., Khan, S., Willson, N.-L., & Chousalkar, K. K. (2025). Characterization of *Lactobacillus* spp. isolated from layer hens as probiotic candidates. *BMC veterinary research*, 21(1), 416.
- Zheng, J., Wittouck, S., Salvetti, E., Franz, C. M., Harris, H. M., Mattarelli, P., O'toole, P. W., Pot, B., Vandamme, P., & Walter, J. (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.

## ANNEXES

### Milieu MRS (De Man, Rogosa and Sharpe, 1960)

Extrait de levure 5 g

Extrait de viande 10 g

Peptone 10 g

Acétate de sodium 5 g

Citrate de sodium 2 g

Glucose 20 g

KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> 2 g

MgSO<sub>4</sub> 0,25 g

MnSO<sub>4</sub> 0,05 g

Eau distillée 1000 ml

PH = 6,2 Autoclavage : 121°C pendant 15 minutes.

### Eau physiologique

Chlorure de sodium 8.5 g

Peptone 0.5 g

Eau distillée 1000 ml

pH = 7 Autoclavage : 120 °C, 20 minutes

### Milieu M16 BCP (Thomas, 1973)

Extrait de levure 2.5 g

Extrait de viande 5 g

Lactose 2 g

Biopolytone 5 g

Peptone papainique de soja 5 g

Acide ascorbique 0.5 g

Acétate de sodium 1.8 g

L-Arginine 4 g

Pourpre de bromocrésol 0.05 g

Agar 10 g

Eau distillée 1000 ml

pH = 6.5 Autoclavage : 120 °C pendant 20 minutes