

DÉPARTEMENT DE SCIENCES ALIMENTAIRES

MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDES

Présenté par

BENAZZA Ibithel Aya

Pour l'obtention du diplôme de

MASTER EN SCIENCES ALIMENTAIRES

Spécialité : Production et transformation laitière

Thème

**Caractérisation des aptitudes technologiques
d'un *Lactobacillus delbrueckii subsp. lactis* isolé
des produits laitiers locaux**

Soutenu le 23/06/2026

Devant le Jury COMPOSÉ DE :

Présidente	Dr DAHOU Abdelkader El Amine	MCA	U. Mostaganem
Encadrante	Dr TAHLAITI Hafida	MCA	U. Mostaganem
Examineur	De BOUFERKAS Youcef	MCA	U. Mostaganem

Année universitaire : 2025/2026

Remerciements

Je remercie avant tout Allah, le Tout-Puissant, pour la force, la patience et la persévérance qu'Il m'a accordées afin de mener ce travail à son terme.

J'adresse mes sincères remerciements à mon encadrante, Dr TAHLAITI Hafida, pour ses précieux conseils, sa disponibilité et son accompagnement tout au long de la réalisation de ce mémoire.

J'exprime ma profonde gratitude à Dr DAHOU Abdelkader El Amine pour son aide précieuse, ses orientations et ses conseils avisés qui ont grandement contribué à l'aboutissement de ce travail. Je le remercie également pour l'honneur qu'il me fait en participant à l'évaluation de ce mémoire en qualité de membre du jury.

Mes sincères remerciements à Monsieur le Dr Bouferkes Youcef pour l'honneur qu'il me fait en acceptant d'évaluer ce mémoire en qualité de membre du jury.

Je remercie particulièrement M. BENHARRAT Nouredine, ingénieur au laboratoire LSTPA, pour son aide technique, sa disponibilité et son accompagnement durant mon stage.

Mes remerciements s'adressent également à Dr TABET Khadidja et Dr BEKIHALL Amine pour leur collaboration, leur disponibilité et leur soutien.

Enfin, je remercie toutes les personnes qui ont contribué, de près ou de loin, à la réalisation de ce mémoire.

À tous, j'adresse ma sincère reconnaissance et ma profonde gratitude.

Dédicaces

Je remercie avant tout Allah, le Tout-Puissant, pour Sa protection, Sa guidance et la force qu'Il m'a accordée tout au long de ce parcours. Grâce à Lui, j'ai pu surmonter les difficultés et mener ce travail à son terme.

Je dédie ce mémoire,

À mes très chers parents, pour leur amour, leur soutien et tous les sacrifices consentis afin de me permettre d'atteindre mes objectifs.

À ma très chère mère, pour sa présence constante, ses encouragements et tous les efforts qu'elle n'a cessé de fournir pour mon bien-être et ma réussite.

À mon cher père, pour son soutien, sa confiance et ses précieux conseils.

À mes chères sœurs, Amira et Nour, pour leur affection et leurs encouragements.

À mon cher petit frère, Yasser, avec tous mes vœux de réussite, de bonheur et de succès.

À mon amie Ikram DERDOUR, pour son aide précieuse, sa disponibilité et son accompagnement tout au long de la réalisation de ce mémoire.

À moi-même, qui ai appris au fil des années que la réussite ne consiste pas toujours à suivre le chemin que l'on avait imaginé, mais à savoir avancer, persévérer et donner le meilleur de soi-même jusqu'au bout.

Je dédie ce mémoire avec toute ma gratitude et mon profond respect.

Résumé

Cette étude porte sur la caractérisation des aptitudes technologiques de souches de *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *lactis* isolées à partir de produits laitiers locaux, dans le but d'évaluer leur potentiel d'utilisation dans la fabrication des produits laitiers fermentés. Après l'isolement et l'identification des souches, plusieurs aptitudes technologiques ont été étudiées, notamment la thermorésistance à **63,5 °C pendant 30 minutes**, la croissance à **15 °C** et **45 °C**, la tolérance aux variations de **pH 4,5** et **9,6**, ainsi qu'aux concentrations de **NaCl à 4 %** et **6,5 %**. Les activités acidifiante, protéolytique, le type fermentaire et la production de composés aromatiques ont également été évalués. Les résultats obtenus ont montré une bonne adaptation des souches aux différentes conditions technologiques testées. Une activité acidifiante importante, caractérisée par une diminution du pH et une augmentation de l'acidité Dornic, ainsi qu'une activité protéolytique satisfaisante ont été observées. Les souches étudiées ont également présenté un profil homofermentaire et certaines ont produit des composés aromatiques. Afin de valoriser ces aptitudes technologiques, un essai de fabrication de yaourt a été réalisé en association avec *Streptococcus thermophilus*. Le produit obtenu a présenté une bonne coagulation, une texture homogène et une bonne acceptabilité sensorielle. Ces résultats confirment que *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *lactis* constitue une culture d'intérêt technologique prometteuse pour le développement et l'amélioration des produits laitiers fermentés.

Mots-clés : *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *lactis* ; bactéries lactiques ; aptitudes technologiques ; thermorésistance ; pH ; NaCl ; activité acidifiante ; activité protéolytique ; yaourt.

Abstract

This study aimed to characterize the technological properties of *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *lactis* strains isolated from local dairy products in order to evaluate their potential use in the manufacture of fermented dairy products. After isolation and identification, several technological properties were evaluated, including heat resistance at **63.5°C for 30 min**, growth at **15°C** and **45°C**, tolerance to **pH 4.5** and **9.6**, tolerance to **4%** and **6.5% NaCl**, acidifying activity, proteolytic activity, fermentation type, and aroma compound production. The results showed that the studied strains adapted well to the tested technological conditions. They exhibited significant acidifying activity, reflected by a decrease in pH and an increase in Dornic acidity, as well as satisfactory proteolytic activity. The strains also showed a homofermentative profile, and some produced aromatic compounds. A yogurt-making trial was carried out in association with *Streptococcus thermophilus*. The resulting yogurt showed good coagulation, a homogeneous texture, and good sensory acceptability. These findings indicate that *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *lactis* is a promising technological starter culture for the development and improvement of fermented dairy products.

Keywords: *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *lactis*; lactic acid bacteria; technological properties; heat resistance; pH; NaCl; acidifying activity; proteolytic activity; yogurt.

الملخص

تهدف هذه الدراسة إلى توصيف القدرات التكنولوجية لسلاسلات *Lactobacillus delbrueckii subsp. lactis* المعزولة من منتجات ألبان محلية، وذلك لتقييم إمكانية استخدامها في تصنيع منتجات الألبان المخمرة. بعد عزل السلالات والتعرف عليها، تم تقييم عدة خصائص تكنولوجية، شملت المقاومة الحرارية عند 63.5°م لمدة 30 دقيقة، والنمو عند 15°م و45°م، وتحمل درجتي الحموضة 4.5 و9.6، وتحمل تركيزي 4% و6.5% من كلوريد الصوديوم، إضافة إلى النشاط الحمضي، والنشاط البروتيني، ونمط التخمر، وإنتاج المركبات العطرية.

أظهرت النتائج قدرة جيدة للسلاسلات المدروسة على التكيف مع مختلف الظروف التكنولوجية المختبرة. كما بينت نشاطاً حمضياً مهماً تمثل في انخفاض قيمة pH وارتفاع الحموضة الدورنيكية، بالإضافة إلى نشاط بروتيني جيد. وأظهرت السلالات أيضاً نمط تخمر متماثل، وتمكنت بعض السلالات من إنتاج مركبات عطرية. ولتقييم إمكاناتها التطبيقية، تم إجراء تجربة لتصنيع الزبادي باستعمال هذه السلالات بالاشتراك مع *Streptococcus thermophilus*. وتميز المنتج النهائي بتخثر جيد، وقوام متجانس، وقبول حسي جيد. وتؤكد هذه النتائج أن *Lactobacillus delbrueckii subsp. lactis* تمتلك إمكانات واعدة كمزرعة بادئة في تطوير وتحسين منتجات الألبان المخمرة.

الكلمات المفتاحية: *Lactobacillus delbrueckii subsp. lactis*؛ بكتيريا حمض اللاكتيك؛ القدرات التكنولوجية؛ المقاومة الحرارية؛ الأس الهيدروجيني pH؛ كلوريد الصوديوم NaCl؛ النشاط الحمضي؛ النشاط البروتيني؛ الزبادي

Liste des figures

Figure 01. Classification des bactéries lactiques selon leur morphologie et leur type de fermentation	04
Figure 02. Analyses microbiologiques	15
Figure 03. Test de catalase (photo originale).....	15
Figure 04. Coloration du Gram (photo originale).....	16
Figure 05. Conservation des isolats (photo originale)	17
Figure 06. Test de thermorésistance (photo originale)	17
Figure 07. Test protéolytique (photo originale).....	19
Figure 08. Résultat du test de lactofermentation du lait fermenté étudié.....	23.
Figure 09. Les résultats des analyses microbiologiques	25
Figure10 L'aspect microscopique des différents isolats après coloration de Gram.....	26
Figure 11. Résultats du test de thermorésistance	28
Figure 12. Les résultats de détermination du type fermentaire des souches isolées sur milieu Clark	31
Figure 13. Les résultats de détermination du profil aromatique des souches étudiées sur milieu Clark	32
Figure 14. Courbes d'acidification des souches LB 6 ET 5.....	35
Figure 15. Halos d'hydrolyse observés autour des puits sur milieu à base de caséine	39
Figure 16. Yaourt obtenu après fermentation du lait par la souche étudiée associée à <i>Streptococcus thermophilus</i> et additionné de sirop de datte.....	41

Liste des tableaux

Tableau 01. Résultats des analyses physicochimiques du lait de brebis	22
Tableau 02. Résultats du test de lactofermentation	23
Tableau 03. Dénombrement des microorganismes sur les différents milieux de culture	24
Tableau 04. Résultats de la pré-identification des isolats	26
Tableau 05. Résultats du test de thermorésistance	28
Tableau 06. Résultats de la croissance des souches à différentes températures	29
Tableau 07. Détermination du type fermentaire des souches étudiées sur milieu Clark	30
Tableau 08. Détermination du profil aromatique des souches étudiées sur milieu Clark après addition des réactifs VP1 et VP2	32
Tableau 09. Évolution du pH et de l'acidité Dornic du lait inoculé par les différentes souches	33
Tableau 10. Diamètres des halos d'hydrolyse observés lors du test d'activité protéolytique	35
Tableau 11. Tolérance des souches aux différentes concentrations de NaCl et aux variations du Ph.	36
Tableau 12. Résultats de l'analyse sensorielle du yaourt élaboré	39

Liste des abréviations

BL: Bactéries Lactiques

EPS: Exopolysaccharides

FAO: Food and Agriculture Organization

H₂O₂ : Peroxyde d'hydrogène

LSTPA : Laboratoire des Sciences et Techniques de Production Animale

NaCl : Chlorure de sodium

pH : Potentiel Hydrogène

UFC : Unité Formant Colonie

UFC/mL : Unités Formant Colonies par millilitre

VP : Voges-Proskauer

VP1 : Réactif 1 du test de Voges-Proskauer

VP2 : Réactif 2 du test de Voges-Proskauer

°C : Degré Celsius

°D : Degré Dornic

SOMMAIRE

Remerciements

Dédicaces

Résumé

Abstract

المخلص

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste des abréviations

Introduction générale..... 1

PARTIE I : ÉTUDE BIBLIOGRAPHIQUE

Chapitre I : Généralités sur les bactéries lactiques et les produits laitiers locaux

1. Les bactéries lactiques (BL). 3

1.1. Classification et identification des bactéries lactiques 3

1.2. Habitat et diversité dans les produits laitiers 4

2. Les produits laitiers locaux/traditionnels 5

2.1. Types de produits (lait cru, Jben, Smen, Leben, etc.)..... 5

2.2. Importance socio-économique et culturelle..... 6

2.3. Microflore indigène associée aux produits laitiers traditionnels... 6

Chapitre II : Aptitudes technologiques d'intérêt des bactéries lactiques

1. Caractérisation spécifique du *Lactobacillus delbrueckii* 7

1.1. Caractéristiques..... 7

1.2. Aptitudes technologiques spécifiques..... 7

1.2.1. Aptitude à l'acidification 7

1.2.2. Aptitude protéolytique 8

1.2.3. Aptitude lipolytique	9
1.2.4. Production de composés d'arômes et de texture.....	9
1.2.5. Aptitude à la bioprotection et activité antimicrobienne	10
1.2.6. Production d'arômes et de texture	10
1.2.7. Bioprotection et activité antimicrobienne	11

PARTIE II : ÉTUDE EXPÉRIMENTALE

Matériels et méthodes

1.Objectif de l'étude	12
2.Matériel biologique.....	12
3.Analyses physicochimiques	12
3.1. Analyse par Lactoscan.....	12
3.2. Détermination du pH	13
3.3. Détermination de l'acidité titrable	13
3.4. Test de lactofermentation.....	14
4.Analyses microbiologiques	14
4.1. Préparation des dilutions décimales.....	14
4.2. Technique d'ensemencement.....	14
4.3. Incubation et dénombrement	15
5.Identification des isolats	15
5.1. Test de catalase	15
5.2. Coloration de Gram	16
6.Conservation des isolats	16
7.Caractérisation des aptitudes technologiques	17
7.1. Test de thermorésistance.....	17
7.2. Croissance à différentes températures	18
7.3. Tolérance au NaCl	18
7.4. Tolérance au pH	18

7.5. Détermination du type fermentaire	18
7.6. Détermination du profil aromatique	18
7.7. Activité protéolytique	18
7.8. Activité lipolytique	19
7.9. Test d'acidification	19
8.Essai technologique	20
8.1. Activation des souches de <i>Lactobacillus delbrueckii subsp. lactis</i>	20
8.2. Préparation du yaourt.....	20
9.Analyse sensorielle	20

Résultats et discussion

1.Analyses physicochimiques	22
2.Test de lactofermentation.....	23
3.Analyses microbiologiques	24
4.Pré-identification des isolats.....	26
5.Test de thermorésistance.....	27
6.Croissance à différentes températures	28
7.Détermination du type fermentaire	30
8.determination du profil aromatique	31
9.Activité acidifiante.....	33
10. Tolérance au NaCl et aux variations du pH.....	34
11. Activité protéolytique	36
12. Résultats de l'essai technologique	38
13. Analyse sensorielle	39

Conclusion et perspectives

Références bibliographiques

Annexes

Introduction

Introduction

Les bactéries lactiques (BL) constituent un groupe de micro-organismes essentiels dans l'industrie agroalimentaire, en particulier dans la transformation des produits laitiers fermentés.

Leur importance repose principalement sur leur capacité à fermenter les sucres en acide lactique, entraînant une diminution du pH qui contribue à la conservation des aliments en inhibant la croissance des micro-organismes indésirables et pathogènes. En plus de leur rôle dans la sécurité microbiologique, les bactéries lactiques participent activement au développement des caractéristiques organoleptiques des produits laitiers, notamment le goût, l'arôme et la texture, grâce à la production de divers métabolites et composés aromatiques (Marco *et al.*, 2017).

Parmi les espèces les plus impliquées dans les fermentations lactières, *Lactobacillus delbrueckii subsp. lactis* occupe une place importante en raison de ses propriétés thermophiles et de sa forte activité fermentaire. Cette espèce est couramment utilisée dans la fabrication du yaourt en association avec *Streptococcus thermophilus*. Elle se caractérise par sa capacité à acidifier rapidement le lait à des températures élevées, contribuant ainsi à la coagulation des protéines, au développement de la texture et à l'amélioration des qualités sensorielles des produits fermentés (Ayivi & Ibrahim, 2022)

Dans un contexte local, l'étude des souches issues de produits laitiers traditionnels présente un intérêt particulier. En effet, ces produits sont souvent caractérisés par une microflore indigène diversifiée, résultant de conditions de production artisanales et d'environnements spécifiques. Contrairement aux ferments industriels standardisés, les souches locales peuvent présenter des propriétés technologiques uniques, notamment en termes d'adaptation, de profils fermentaires et de production de composés aromatiques. L'exploration de cette biodiversité microbienne permet ainsi de valoriser les ressources locales et d'identifier des souches présentant un potentiel intéressant pour des applications industrielles.

L'objectif de cette synthèse bibliographique est de présenter et d'analyser les connaissances scientifiques disponibles relatives aux bactéries lactiques impliquées dans les produits laitiers, en mettant l'accent sur *Lactobacillus delbrueckii subsp. lactis*. Elle vise également à résumer les méthodes utilisées pour l'identification et la caractérisation des

aptitudes technologiques de ces micro-organismes, ainsi que les principaux résultats rapportés dans la littérature scientifique concernant leurs propriétés fonctionnelles.

Partie 1. Etude bibliographique

Chapitre 01. Généralités sur les bactéries lactiques et les produits laitiers locaux.

1. Les bactéries lactiques (BL)

1.1. Classification et identification des bactéries lactiques

Les bactéries lactiques constituent un groupe phylogénétique hétérogène de micro-organismes Gram positifs, non sporulés, catalase négatifs et capables de produire de l'acide lactique comme principal produit de fermentation des glucides (**figure 01**).

Historiquement regroupées dans le genre *Lactobacillus*, les avancées en génomique ont conduit à une révision taxonomique majeure basée sur des analyses phylogénomiques. Cette reclassification a permis de diviser l'ancien genre *Lactobacillus* en plusieurs genres distincts, mieux définis sur le plan génétique, reflétant ainsi leur diversité évolutive et écologique (**Zheng et al., 2020**).

L'identification des bactéries lactiques repose sur une approche polyphasique combinant des méthodes phénotypiques, biochimiques et moléculaires. Les caractéristiques morphologiques incluent la forme cellulaire (bacilles ou cocci) et l'agencement des cellules, tandis que les tests physiologiques portent sur la capacité de croissance, la fermentation des sucres, la tolérance au pH, à la température et à la concentration en sel.

Toutefois, ces méthodes phénotypiques présentent des limites en raison de la similarité des profils entre espèces proches, rendant leur discrimination parfois difficile (**Fadrique et al., 2018**).

Les méthodes moléculaires sont aujourd'hui essentielles pour une identification fiable et précise. L'analyse de la séquence du gène codant pour l'ARNr 16S constitue une méthode de référence permettant une identification au niveau du genre et, dans certains cas, de l'espèce.

Des techniques complémentaires telles que la PCR spécifique, le séquençage génomique complet (WGS) et la spectrométrie de masse MALDI-TOF permettent une caractérisation plus fine des souches et une meilleure compréhension de leur diversité génétique (**Duar et al., 2017**).

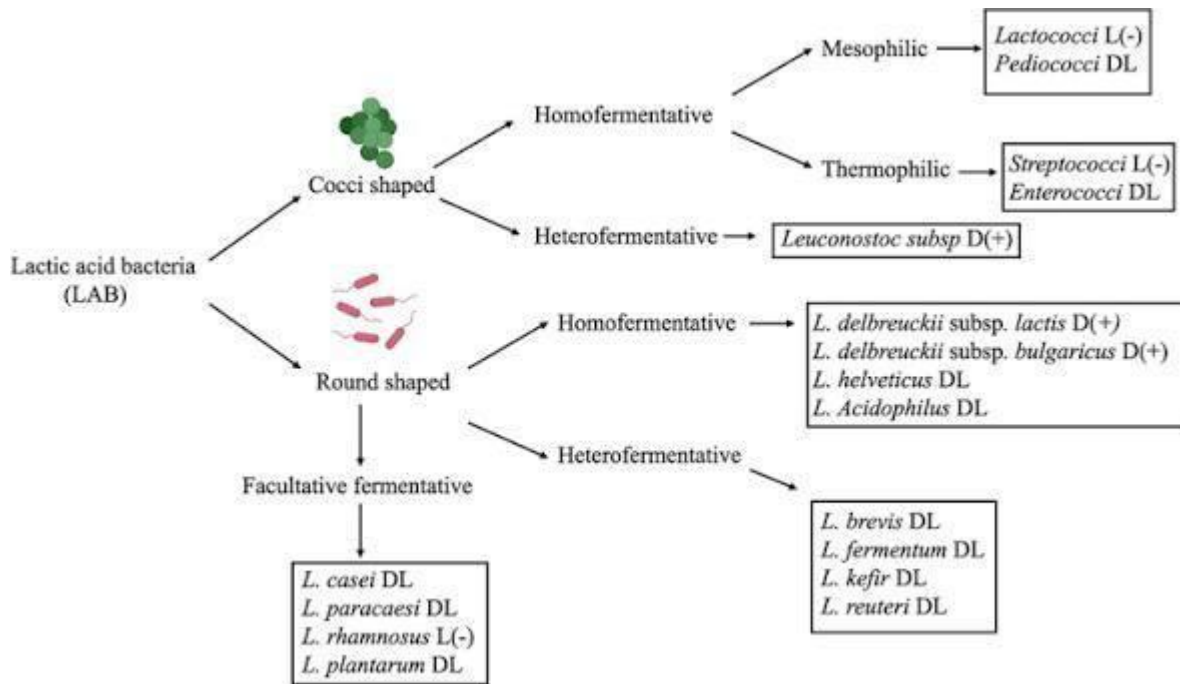


Figure 1. Classification des bactéries lactiques selon leur morphologie et leur type de fermentation (Atlan et al., 2008)

1.2. Habitat et diversité dans les produits laitiers

Les bactéries lactiques sont largement distribuées dans les environnements naturels, notamment dans les produits alimentaires fermentés, les surfaces végétales et les microbiotes animaux. Dans les produits laitiers, elles jouent un rôle central en tant que flore naturelle ou cultures starters utilisées dans les procédés de fermentation.

Elles proviennent principalement du lait cru, de l'environnement de transformation ainsi que des équipements utilisés, ce qui influence leur présence et leur diversité dans les produits finis (Settanni & Moschetti, 2016).

La diversité des bactéries lactiques dans les produits laitiers dépend de plusieurs facteurs, notamment l'origine géographique, les conditions hygiéniques, les pratiques technologiques et les conditions de stockage.

Les genres les plus fréquemment rencontrés incluent *Lactococcus*, *Lactobacillus*, *Leuconostoc* et *Streptococcus*, qui participent activement aux processus fermentaires.

Cette diversité microbienne contribue au développement des propriétés organoleptiques telles que la texture, l'arôme et la saveur des produits laitiers fermentés, tout en assurant leur stabilité microbiologique (**Holzapfel & Wood, 2019**)

2. Les produits laitiers locaux/traditionnels

2.1. Types de produits (lait cru, Jben, Smen, Leben, etc.)

Les produits laitiers traditionnels occupent une place importante dans les habitudes alimentaires de nombreuses régions, notamment en Afrique du Nord.

Parmi ces produits, le lait cru constitue la matière première principale, souvent consommé directement ou transformé de manière artisanale sans traitement thermique.

Le lait cru est caractérisé par une flore microbienne diversifiée issue de l'environnement, de l'animal et des conditions de traite, ce qui influence directement sa qualité microbiologique et sa stabilité.

Les produits dérivés tels que le leben (lait fermenté) , le Jben (fromage frais traditionnel) et le Smen (beurre fermenté et affiné) résultent de procédés de fermentation spontanée ou contrôlée impliquant principalement les bactéries lactiques.

Le leben est obtenu par fermentation naturelle du lait, entraînant une acidification due à la production d'acide lactique. Le Jben est un fromage frais issu de la coagulation du lait, généralement par acidification ou action enzymatique, tandis que le Smen est un produit lipidique fermenté caractérisé par des transformations biochimiques complexes impliquant des microorganismes et des enzymes endogènes (**Tamime, 2017**).

2.2. Importance socio-économique et culturelle

Les produits laitiers traditionnels jouent un rôle socio-économique et culturel majeur dans les sociétés rurales et urbaines. Ils représentent non seulement une source importante de nutriments essentiels tels que les protéines, les lipides, les vitamines et les minéraux, mais également une composante du patrimoine alimentaire local. Leur production est souvent liée à des savoir-faire traditionnels transmis de génération en génération, contribuant ainsi à la préservation des pratiques culturelles.

Sur le plan économique, la production artisanale de ces produits constitue une source de revenus pour de nombreux producteurs locaux. Elle favorise également l'autonomie alimentaire et la valorisation des ressources locales.

Par ailleurs, ces produits bénéficient d'une demande croissante en raison de leur authenticité, de leurs caractéristiques organoleptiques spécifiques et de leur association à des modes de production naturels **(Bintsis, 2018)**.

2.3. Microflore indigène associée aux produits laitiers traditionnels

La microflore indigène des produits laitiers traditionnels est caractérisée par une grande diversité de micro-organismes, principalement dominée par les bactéries lactiques. Cette microflore provient du lait cru, de l'environnement de transformation et des conditions de fabrication artisanales.

Contrairement aux produits industriels, ces produits ne subissent généralement pas de standardisation microbienne, ce qui favorise le développement de communautés microbiennes complexes et spécifiques à chaque région.

Les genres les plus fréquemment rencontrés incluent *Lactococcus*, *Lactobacillus*, *Leuconostoc* et *Enterococcus*. Ces micro-organismes participent activement aux processus de fermentation en produisant de l'acide lactique, des composés aromatiques et des exopolysaccharides.

Cette microflore indigène joue un rôle essentiel dans le développement des caractéristiques sensorielles, la texture et la conservation des produits **(Settanni & Moschetti, 2016 ; Leroy & De Vuyst, 2018)**.

Chapitre 02. Aptitudes technologiques d'intérêt des bactéries lactiques.

1. Caractérisation spécifique du *Lactobacillus delbrueckii*

1.1. Caractéristiques

Lactobacillus delbrueckii subsp. lactis est une bactérie lactique thermophile largement utilisée dans les fermentations laitières, notamment dans la production de yaourt en association avec *Streptococcus thermophilus*.

Cette espèce se caractérise par une croissance optimale à des températures relativement élevées (environ 42–45°C), ce qui la rend particulièrement adaptée aux procédés industriels de fermentation du lait. Elle possède également une forte capacité à fermenter le lactose, principal sucre du lait, en acide lactique.

Sur le plan technologique, cette bactérie présente des aptitudes essentielles telles que l'acidification rapide du milieu et la production de métabolites contribuant à la coagulation du lait.

Son activité synergique avec d'autres bactéries lactiques permet d'améliorer la texture, la stabilité et les propriétés sensorielles des produits fermentés.

Ces caractéristiques font de *L. delbrueckii* une souche clé dans les cultures starters utilisées en industrie laitière (Hutkins, 2018).

1.2. Aptitudes technologiques spécifiques

1.2.1. Aptitude à l'acidification

L'aptitude à l'acidification constitue l'une des propriétés technologiques les plus importantes des bactéries lactiques. Elle correspond à la capacité des souches à fermenter les sucres, principalement le lactose, pour produire de l'acide lactique.

Cette production entraîne une diminution progressive du pH du milieu, favorisant ainsi la coagulation des protéines du lait, notamment la caséine.

La cinétique d'acidification varie selon la souche et dépend de plusieurs facteurs tels que la température, la composition du milieu et la disponibilité des nutriments. Une acidification rapide est particulièrement recherchée dans l'industrie laitière, car elle permet de limiter le développement de micro-organismes indésirables tout en assurant une transformation efficace du lait.

En plus de l'acide lactique, certaines bactéries lactiques peuvent produire d'autres acides organiques, contribuant à la complexité du profil acide des produits fermentés **(FAO, 2016)**.

1.2.2. Aptitude protéolytique

L'aptitude protéolytique des bactéries lactiques correspond à leur capacité à hydrolyser les protéines du lait, en particulier la caséine, grâce à des enzymes protéolytiques spécifiques. Ce processus joue un rôle essentiel dans la maturation des produits laitiers fermentés et fromagers, en libérant des peptides et des acides aminés qui contribuent au développement des arômes.

Chez certaines souches, cette activité est relativement limitée mais suffisante pour compléter l'action des enzymes coagulantes. Les peptides issus de la protéolyse peuvent également servir de précurseurs pour la formation de composés aromatiques volatils. Ainsi, l'activité protéolytique participe directement à l'amélioration des propriétés sensorielles des produits laitiers, notamment le goût et l'odeur **(Bintsis, 2018)**.

1.2.3. Aptitude lipolytique

L'aptitude lipolytique désigne la capacité des bactéries lactiques à hydrolyser les lipides présents dans le lait, en particulier les triglycérides, par l'action d'enzymes lipolytiques. Bien que cette activité soit généralement faible chez les bactéries lactiques, elle joue néanmoins un rôle important dans le développement des caractéristiques aromatiques des produits fermentés. Les acides gras libres issus de la lipolyse peuvent être transformés en composés volatils responsables de notes gustatives spécifiques.

Dans certains fromages, cette activité contribue à la complexité aromatique et à l'amélioration de la qualité sensorielle globale.

Toutefois, une lipolyse excessive peut entraîner des défauts de goût, ce qui nécessite un contrôle précis des souches utilisées **(Hutkins, 2018)**.

1.2.4. Production de composés d'arômes et de texture

Les bactéries lactiques produisent divers composés impliqués dans le développement des arômes et de la texture des produits laitiers fermentés. Parmi ces composés figurent le diacétyl et l'acétaldéhyde, qui contribuent respectivement aux notes beurrées et fraîches caractéristiques de certains produits comme le yaourt.

En outre, certaines souches sont capables de produire des exopolysaccharides (EPS), qui améliorent la viscosité, la texture et la stabilité des produits fermentés. Les EPS jouent un rôle important dans l'augmentation de la rétention d'eau et la réduction de la synérèse, ce qui améliore la qualité globale des produits laitiers.

Ces propriétés sont particulièrement recherchées dans le développement de produits à texture onctueuse et stable (Marco *et al.*, 2017).

1.2.5. Aptitude à la bioprotection et activité antimicrobienne

Les bactéries lactiques possèdent également des propriétés antimicrobiennes qui leur confèrent un rôle important dans la bioprotection des aliments. Elles sont capables de produire des substances inhibitrices telles que les bactériocines, le peroxyde d'hydrogène et certains acides organiques.

Ces composés permettent d'inhiber la croissance de micro-organismes pathogènes ou d'altération. Les bactériocines sont des peptides antimicrobiens capables d'agir contre des bactéries étroitement liées ou d'autres espèces indésirables. Cette activité contribue à améliorer la sécurité microbiologique des produits laitiers et à prolonger leur durée de conservation. Ainsi, l'utilisation de bactéries lactiques dans les fermentations alimentaires constitue une stratégie naturelle de bioconservation largement reconnue dans l'industrie agroalimentaire (FAO, 2016).

1.2.6 Bioprotection et activité antimicrobienne

Outre leur rôle technologique, les BAL possèdent des propriétés antimicrobiennes qui leur confèrent une fonction de bioprotection dans les aliments. Elles produisent des substances inhibitrices telles que les bactériocines, le peroxyde d'hydrogène et certains acides organiques.

Les bactériocines sont des peptides antimicrobiens capables d'agir contre des bactéries étroitement liées ou contre des espèces pathogènes, contribuant ainsi à la sécurité microbiologique des produits laitiers.

Le peroxyde d'hydrogène et les acides organiques, quant à eux, modifient l'environnement en réduisant le pH et en créant des conditions défavorables à la croissance des microorganismes indésirables.

Cette activité antimicrobienne permet non seulement de prolonger la durée de conservation des produits, mais aussi de réduire le recours aux additifs chimiques, répondant

Chapitre 02. Aptitudes technologiques d'intérêt des bactéries lactiques
ainsi à une demande croissante pour des aliments plus naturels et plus sûrs **(FAO, 2016)**.
L'utilisation des BL dans les fermentations alimentaires constitue donc une stratégie de
bioconservation largement reconnue dans l'industrie agroalimentaire.

Partie 2. Etude expérimentale

Matériels et méthodes

1. Objectif de l'étude

Cette étude a pour objectif l'isolement, l'identification et la caractérisation des aptitudes technologiques de souches de *Lactobacillus delbrueckii subsp. lactis* isolées à partir de produits laitiers locaux. Les isolats obtenus ont été soumis à différents tests morphologiques, physiologiques, biochimiques et technologiques afin d'évaluer leur potentiel d'utilisation dans la fabrication des produits laitiers fermentés.

❖ Présentation de lieu de travail

Cette étude a été réalisée au niveau du Laboratoire des Sciences et Techniques de Production Animale (LSTPA), situé au sein de l'exploitation agricole de Hassi Mamèche, affiliée à l'Université Abdelhamid Ibn Badis de Mostaganem. L'ensemble des manipulations expérimentales a été effectué dans des conditions aseptiques afin d'éviter toute contamination microbiologique.

2. Matériel biologique

Le matériel biologique utilisé dans cette étude est un lait fermenté traditionnel élaboré à partir de lait de brebis de race Hamra, collecté dans la wilaya de Naâma. L'échantillon a été fourni par le responsable de laboratoire LSTPA, Dr DAHOU A. et conservé à 4 °C jusqu'à ses analyses physicochimiques et microbiologiques.

3. Analyses physicochimiques

3.1. Analyse par Lactoscan

Les paramètres physicochimiques de l'échantillon étudié ont été déterminés à l'aide d'un appareil Lactoscan (**Figure 04**). Cette analyse a permis de mesurer différents paramètres, notamment la matière grasse, les protéines, le lactose, l'extrait sec ainsi que d'autres caractéristiques physicochimiques du lait étudié.

3.2. Détermination du pH

Le pH de l'échantillon a été mesuré à l'aide d'un pH-mètre préalablement étalonné. La mesure a été réalisée directement sur l'échantillon à température ambiante (**Guiraud, 2003**).

3.3. Détermination de l'acidité titrable

L'acidité titrable a été déterminée par titration à l'aide d'une solution de NaOH en présence de phénolphthaléine comme indicateur coloré. Les résultats ont été exprimés en degrés Dornic (°D) (**Alais, 1984 ; Guiraud, 2003**)

3.4. Test de lactofermentation

Le test de lactofermentation a été réalisé dans des tubes contenant environ 5 mL de lait stérile. Après ensemencement, les tubes ont été incubés à 37 °C pendant 24 heures.

Après incubation, les tubes ont été observés afin d'évaluer la capacité fermentaire des bactéries présentes dans l'échantillons étudiés.

La formation d'un coagulum ainsi que l'aspect du gel obtenu ont été pris en considération.

Un gel homogène et lisse a été considéré comme un résultat positif traduisant une bonne activité fermentaire. (Tamime & Robinson, 2019).

4. Analyses microbiologiques

Les analyses microbiologiques ont été réalisées afin d'évaluer la qualité hygiénique et la stabilité du lait fermenté. Elles reposent sur la méthode des dilutions décimales successives et sur l'utilisation de milieux sélectifs adaptés, conformément aux normes internationales (ISO 7218:2007 ; ISO 6887-1:2017 ; ISO 4833-1:2013).

4.1. Préparation des dilutions décimales

Une prise d'essai de 1 mL de l'échantillon a été introduite aseptiquement dans 9 mL d'eau physiologique stérile (NaCl à 0,9 %), correspondant à la dilution 10^{-1} . Après homogénéisation, les dilutions ont été poursuivies jusqu'à 10^{-8} , conformément aux recommandations de l'ISO 6887-1:2017.

4.2. Technique d'ensemencement

Un volume de 0,1 mL de chaque dilution a été ensemencé en surface sur les milieux PCA, MRS et M17, à l'aide d'un râteau stérile confectionné à partir d'une pipette Pasteur. Les boîtes de Pétri ont été incubées à 37 °C pendant 48 heures, selon les prescriptions de l'ISO 7218:2007.

- **Milieu PCA – Flore totale**

Le milieu PCA (Plate Count Agar) a été utilisé pour le dénombrement de la flore totale en aérobiose et en anaérobiose, permettant d'évaluer la qualité microbiologique globale du produit (Guiraud, 2003).

- **Milieu MRS – Bactéries lactiques**

Le milieu MRS (de Man, Rogosa, Sharpe) a été employé pour favoriser le développement des bactéries lactiques en conditions d'anaérobiose.

L'anaérobiose a été obtenue par la méthode de la bougie dans une enceinte hermétique (Holzapfel & Wood, 2018).

- **Milieu M17 – *Streptocoques lactiques***

Le milieu M17 a été utilisé en conditions d'aérobiose afin de favoriser la croissance des streptocoques lactiques présents dans l'échantillon (Guiraud, 2003).

4.3. Incubation et dénombrement

Après incubation, les colonies développées sur les boîtes présentant un nombre exploitable ont été dénombrées selon la méthode de l'ISO 4833-1:2013 (figure 02).

Les résultats ont été exprimés en unités formant colonies (UFC/g).

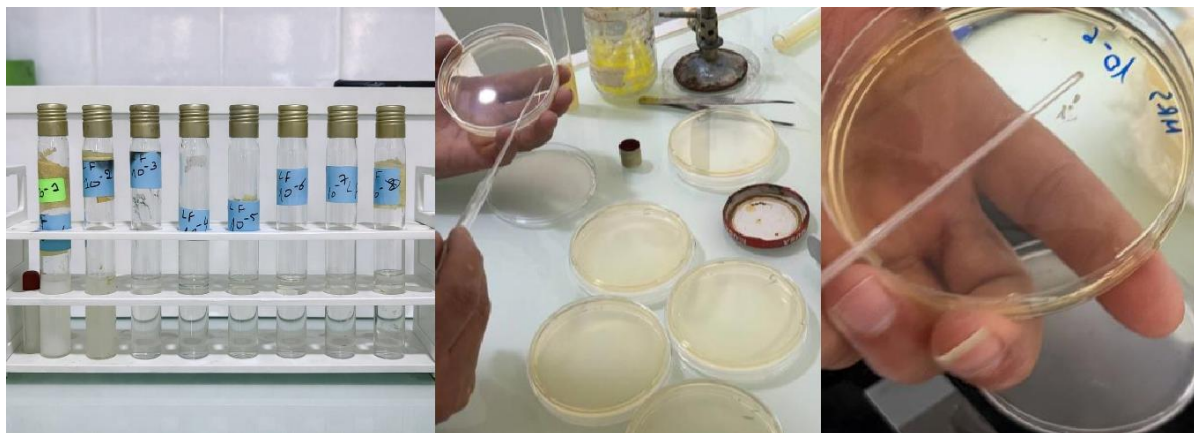


Figure 02. Analyses microbiologiques

5. Identification des isolats

Après incubation des boîtes de culture, des colonies présentant des morphologies différentes ont été sélectionnées pour les analyses microbiologiques. Les colonies isolées ont été soumises à plusieurs tests d'identification microbiologique.

5.1. Test de catalase

Le test de la catalase a été réalisé par addition d'une goutte de peroxyde d'hydrogène (H_2O_2) sur une colonie bactérienne fraîche. L'absence de formation de bulles a été considérée comme une réaction négative caractéristique des bactéries lactiques (Bourgeois & Larpent, 2017) (Figure 03).

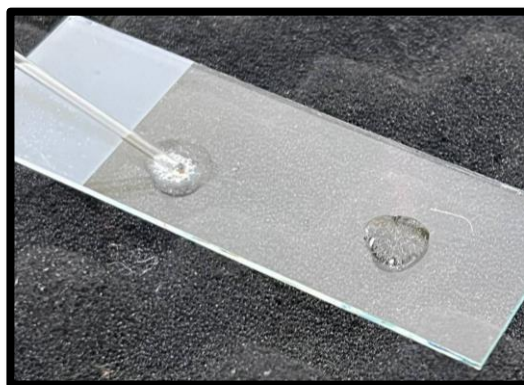


Figure 03. Test de catalase (photo originale)

5.2. Coloration de Gram

La coloration de Gram a été réalisée afin d'observer la morphologie bactérienne et la réaction au Gram. Un frottis bactérien a été préparé sur une lame propre puis fixé à la chaleur avant coloration successive au violet de gentiane, au lugol, à l'alcool puis à la fuchsine.

L'observation microscopique (bacille ou coque) a permis de déterminer la forme des bactéries ainsi que leur caractère Gram positif ou Gram négatif (**Benson, 2015**) (**Figure 04**).

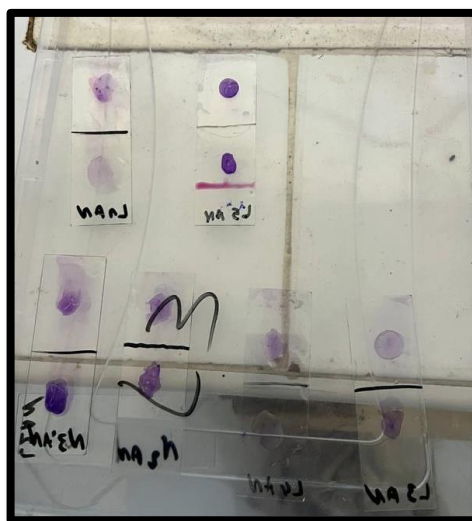


Figure 04. Coloration du Gram (photo originale)

6. Conservation des isolats

Après identification microbiologique, les isolats sélectionnés ont été conservés dans des tubes Eppendorf contenant du glycérol (**Figure 05**) afin d'assurer leur maintien et leur utilisation ultérieure dans les différents tests des aptitudes technologiques.

Les isolats conservés ont ensuite été repiqués sur milieu MRS en boîtes de Pétri avant la réalisation des différents tests technologiques (**Guiraud, 2003 ; Holzapfel & Wood, 2018**).



Figure 05. Conservation des isolats (photo originale)

7. Caractérisation des aptitudes technologiques

Les isolats sélectionnés ont été soumis à différents tests technologiques afin d'évaluer leurs capacités d'adaptation à différentes conditions de culture ainsi que leur potentiel d'utilisation dans les fermentations laitières.

7.1. Test de thermorésistance

La thermorésistance des souches a été évaluée dans des tubes contenant environ 10 mL de bouillon MRS inoculé par les isolats sélectionnés. Les tubes ont été soumis à une température de 63,5 °C pendant 30 minutes, puis incubés à 37 °C afin d'observer la reprise éventuelle de la croissance bactérienne (Carr et al., 2002) (Figure 06).

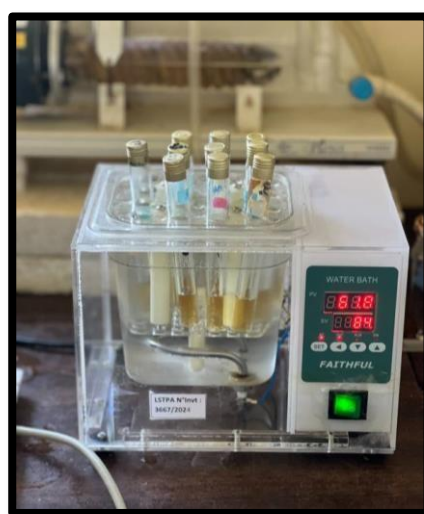


Figure 06. Test de thermorésistance (photo originale)

7.2. Croissance à différentes températures

La capacité des souches à croître à différentes températures a été étudiée dans du milieu MRS incubé à 15 °C et 45 °C. Après incubation, la croissance bactérienne a été évaluée par observation du trouble du milieu (Leroy & De Vuyst, 2020).

7.3. Tolérance au NaCl

La tolérance des souches au NaCl a été étudiée dans des milieux MRS contenant respectivement 4 % et 6,5 % de NaCl. Après incubation à 37 °C, les tubes ont été observés afin d'évaluer la croissance bactérienne des isolats (Carr et al., 2002).

7.4. Tolérance au pH

La tolérance des souches aux variations du pH a été étudiée dans des milieux MRS ajustés à pH 4,5 et pH 9,6. Après incubation à 37 °C, la croissance bactérienne a été observée visuellement (Puniya et al., 2016).

7.5. Détermination du type fermentaire

Le type fermentaire des souches a été étudié sur milieu Clark à l'aide de cloches de Durham afin de mettre en évidence une éventuelle production de gaz après incubation à 37 °C pendant 24 à 48 heures (Holzapfel & Wood, 2018).

7.6. Détermination du profil aromatique

Le profil aromatique des souches a été évalué par addition de quelques gouttes des réactifs VP1 et VP2 après incubation des cultures bactériennes afin de révéler la production de composés aromatique

7.7. Activité protéolytique

L'activité protéolytique des souches a été étudiée sur un milieu contenant de la caséine afin d'évaluer la capacité des isolats à hydrolyser les protéines du lait. Des puits ont été réalisés à la surface du milieu de culture puis inoculés par les souches sélectionnées (Figure 07). Les boîtes ont ensuite été incubées à 37 °C pendant 24 à 48 heures.

Après incubation, les boîtes ont été observées afin de mettre en évidence la présence éventuelle de zones claires autour des puits traduisant une hydrolyse de la caséine (Khemariya et al., 2017 ; Leroy & De Vuyst, 2020).

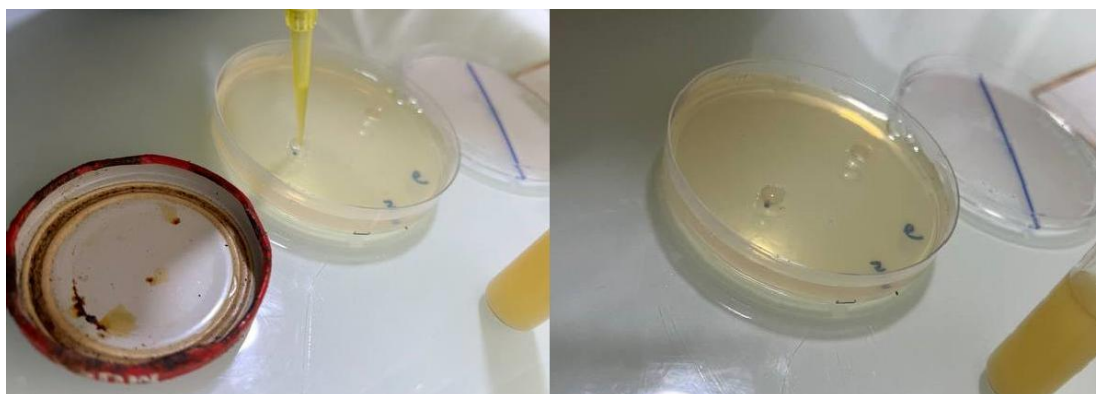


Figure 07. Test protéolytique (photo originale)

7.8. Activité lipolytique

L'activité lipolytique des souches a été évaluée sur un milieu contenant un substrat lipidique afin d'étudier la capacité des isolats à hydrolyser les lipides. Des puits ont été réalisés à la surface du milieu de culture puis inoculés par les souches sélectionnées. Les boîtes ont été incubées à 37 °C pendant 24 à 48 heures.

Après incubation, les boîtes ont été examinées afin d'observer l'apparition éventuelle de zones d'hydrolyse autour des puits, indiquant une activité lipolytique positive (**Sharma et al., 2017 ; Patel et al., 2021**).

7.9. Test d'acidification

L'activité acidifiante des souches étudiées a été évaluée dans du lait stérile afin d'apprécier leur aptitude à acidifier le milieu par production d'acide lactique. Cette propriété constitue un critère technologique important des bactéries lactiques utilisées dans les procédés de fermentation des produits laitiers.

Pour ce faire, les dix souches étudiées ont été inoculées séparément dans des pots contenant du lait stérile. Les cultures ont ensuite été incubées à 37 °C dans une étuve bactériologique. Deux essais indépendants ont été réalisés afin d'évaluer la reproductibilité des résultats obtenus. Le premier essai a permis de déterminer les caractéristiques initiales du lait après inoculation, tandis que le second essai a été effectué après 2 heures d'incubation à 37 °C.

L'activité acidifiante a été déterminée par la mesure du pH et de l'acidité titrable exprimée en degrés Dornic (°D). Le pH a été mesuré à l'aide d'un pH-mètre préalablement étalonné. L'acidité titrable a été déterminée par titrage à l'aide d'une solution d'hydroxyde de sodium (NaOH) en présence de quelques gouttes de phénolphtaléine comme indicateur coloré, jusqu'à l'apparition d'une coloration rose pâle persistante.

Les mesures du pH et de l'acidité Dornic ont été réalisées avant et après incubation. Les variations observées ont permis d'évaluer la capacité des différentes souches à acidifier le lait et à produire de l'acide lactique (**Alais & Linden, 1997 ; Vignola, 2002**).

8. Essai technologique

8.1. Activation des souches de *Lactobacillus delbrueckii subsp. lactis*

L'activation des souches de *Lactobacillus* a été réalisée afin de rétablir leur activité métabolique après conservation.

Les cellules ont été repiquées dans un lait reconstitué stérile, puis incubées à 42 °C pendant 6h.

Cette étape permet la reprise de la croissance, l'augmentation de la viabilité cellulaire et la production initiale d'acide lactique, garantissant ainsi une inoculation efficace lors des essais technologiques.

Une fois activées, les souches de *L. delbrueckii* ont été associées à *Streptococcus thermophilus* pour constituer un ferment mixte. Ce dernier a été fourni comme culture de départ pour la fabrication du yaourt expérimental. L'activation préalable assure une synchronisation optimale entre les deux espèces, favorisant la cinétique d'acidification et la stabilité du produit fini.

8.2. Préparation du yaourt

Le yaourt a été préparé à partir d'un mélange de 135 g de lait en poudre de la marque algérienne LOYA et de 880 mL d'eau minérale.

Le mélange a été homogénéisé à l'aide d'un agitateur puis pasteurisé à 92 °C pendant 3 minutes.

Après refroidissement, les ferments lactiques ont été ajoutés aseptiquement au mélange.

Un sirop de datte a ensuite été incorporé à raison de 8 g afin d'aromatiser le produit.

Le mélange obtenu a été réparti dans des pots stériles puis incubé à 42 °C pendant environ 6 heures jusqu'à l'obtention d'un coagulum.

Après incubation, les yaourts obtenus ont été conservés à 4 °C avant la réalisation de l'analyse sensorielle (Tamime & Robinson, 2019 ; Leroy & De Vuyst, 2020).

9. Analyse sensorielle

L'analyse sensorielle des yaourts obtenus a été réalisée au niveau du laboratoire des sciences et techniques de production animale (LSTPA).

L'évaluation a été effectuée par un groupe composé d'étudiants, des membres du laboratoire ainsi que de l'enseignant

Les échantillons ont été soumis à une dégustation afin d'évaluer leurs caractéristiques organoleptiques à l'aide d'une fiche d'analyse sensorielle comparative.

Les paramètres évalués portaient principalement sur les caractères visuels (aspect, surface, texture et couleur), les caractères olfactifs (arômes) ainsi que les caractères gustatifs (saveur, acidité, douceur et sensation en bouche).

Chaque dégustateur a attribué une note d'appréciation selon les caractéristiques observées afin d'évaluer l'acceptabilité globale du produit étudié.

Résultats et discussions

1. Analyses physicochimiques

Les analyses physicochimiques ont été réalisées afin d'évaluer les principales caractéristiques du lait étudié et de déterminer ses aptitudes technologiques. Les résultats obtenus sont présentés dans le **tableau 01**.

Tableau 1 : Résultats des analyses physicochimiques de l'échantillon étudié

Paramètres	Valeurs obtenues
Matière grasse (%)	3,32 %
Extrait sec total (%)	14,20 %
Protéines (%)	4,37 %
Lactose (%)	6,47 %
Densité	47,80
Ph	6,5
Acidité titrable (°D)	19 °D

Les résultats des analyses physicochimiques montrent que l'échantillon étudié présente des caractéristiques compatibles avec celles généralement rapportées pour le lait fermenté de brebis.

La teneur en protéines obtenue (4,37 %) traduit une richesse nutritionnelle importante du produit analysé. Cette richesse protéique favorise les propriétés technologiques du lait, notamment la coagulation et l'amélioration de la texture des produits fermentés. La teneur en extrait sec total (14,20 %) indique également une composition relativement riche, caractéristique des laits de brebis.

La matière grasse obtenue (3,32 %) contribue aux qualités organoleptiques du produit, notamment l'onctuosité et la texture. La teneur en lactose observée constitue un substrat favorable au développement des bactéries lactiques responsables de la fermentation.

Les valeurs du pH (6,5) et de l'acidité titrable (19 °D), dont le pH varie habituellement entre 6,5 et 6,8 et l'acidité titrable entre 18 et 22 °D. Ces résultats traduisent une qualité physicochimique satisfaisante du produit étudié.

Par ailleurs, les valeurs physicochimiques obtenues sont compatibles avec les caractéristiques généralement rapportées pour le lait de brebis destiné à la transformation

laitière. Les teneurs en matière grasse, en protéines ainsi que les valeurs de pH et d'acidité titrable observées se situent dans les intervalles habituellement décrits pour ce type de lait, traduisant une qualité favorable aux procédés de fermentation et à l'élaboration de produits laitiers fermentés (FAO, 2013 ; Codex Alimentarius, 2018).

2. Test de lactofermentation

Le test de lactofermentation a été réalisé afin d'évaluer l'activité fermentaire des bactéries présentes dans l'échantillon étudié. (Tableau 02).

Tableau 02. Résultats du test de lactofermentation

Paramètres observés	Résultats obtenus
Formation du coagulum	Positive
Aspect du gel	Homogène
Texture	Ferme
Exsudation du sérum	Faible

La **figure 08** illustre le résultat du test de lactofermentation réalisé sur l'échantillon étudié.

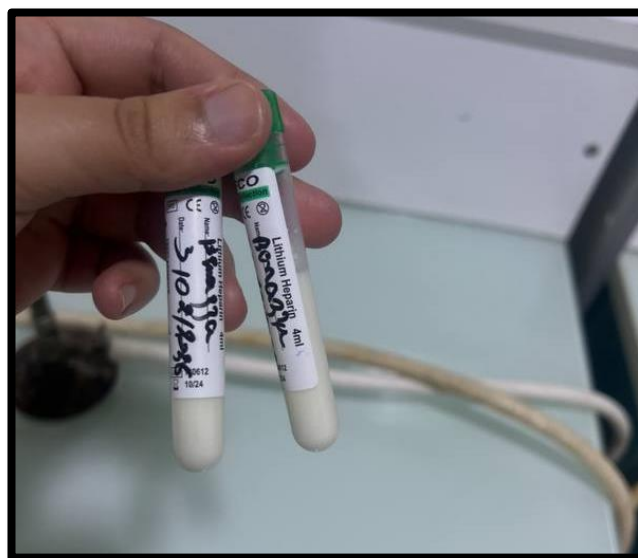


Figure 08. Résultat du test de lactofermentation du lait fermenté étudié.

La formation d'un coagulum après incubation traduit une activité fermentaire des bactéries lactiques présentes dans l'échantillon étudié. L'aspect homogène du gel ainsi que la faible exsudation du sérum indiquent une bonne capacité de coagulation du lait.

La texture relativement ferme observée peut être liée à la richesse du lait en protéines et en extrait sec, paramètres favorisant la formation d'un réseau protéique stable lors de la fermentation. Ces caractéristiques représentent des critères technologiques importants dans la fabrication des produits laitiers fermentés.

3. Analyses microbiologiques

Les analyses microbiologiques ont été réalisées afin d'évaluer la charge microbienne ainsi que la présence des bactéries lactiques dans l'échantillon de lait fermenté traditionnel de brebis étudié. Après incubation sur les différents milieux de culture utilisés, les colonies développées ont été dénombrées afin de déterminer l'abondance des microorganismes présents dans l'échantillon.

Le calcul des unités formant colonies (UFC/mL) a été effectué selon la formule suivante :

$$\text{UFC/mL} = N / D$$

Avec :

N : nombre de colonies comptées

D : dilution considérée

Les résultats obtenus après incubation sur les différents milieux de culture sont présentés dans le **tableau 03** et la **figure 09**.

Tableau 03. Dénombrement des microorganismes sur les différents milieux de culture

Dilution	PCA aérobie (UFC/mL)	PCA anaérobie (UFC/mL)	MRS anaérobie (UFC/mL)	M17 aérobie (UFC/mL)
10^{-3}	3×10^4	2×10^4	1.5×10^5	7.7×10^4
10^{-4}	2.8×10^5	3×10^4	1×10^4	3.5×10^5
10^{-5}	5×10^5	2×10^5	0	3.3×10^6
10^{-6}	0	0	1×10^7	3×10^6
10^{-7}	0	0	0	0
10^{-8}	0	0	0	0

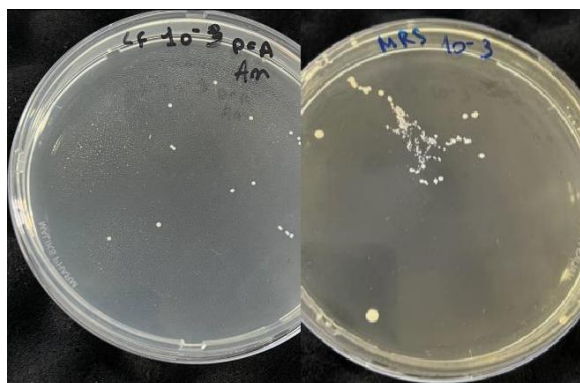


Figure 09. Les résultats des analyses microbiologiques.

Les résultats du dénombrement microbiologique montrent une charge importante en microorganismes dans le lait fermenté traditionnel de brebis étudié.

Le milieu MRS incubé en anaérobiose a présenté les valeurs les plus élevées, traduisant une abondance des bactéries lactiques dans l'échantillon analysé.

Le milieu M17 a également montré une croissance importante des microorganismes lactiques, notamment aux dilutions 10^{-3} , 10^{-4} et 10^{-5} .

En revanche, les milieux PCA incubés en aérobiose et en anaérobiose ont présenté des charges microbiennes relativement plus faibles.

Une diminution progressive du nombre de colonies a été observée avec l'augmentation des dilutions, ce qui confirme la validité des résultats obtenus lors du dénombrement microbiologique.

Par ailleurs, les résultats obtenus révèlent une prédominance des bactéries lactiques dans l'échantillon étudié. La forte croissance observée sur les milieux MRS et M17 confirme l'abondance de cette flore fermentaire, reconnue pour son rôle essentiel dans l'acidification du milieu, l'amélioration des caractéristiques technologiques et la conservation des produits laitiers fermentés. Ces observations sont en accord avec les données rapportées dans la littérature concernant les laits fermentés traditionnels, où les bactéries lactiques constituent la microflore dominante (Ayivi & Ibrahim, 2022 ; Coelho et al., 2022).

4. Pré-identification des bactéries lactiques

La pré-identification des bactéries lactiques isolées a été réalisée par le test de la catalase ainsi que par la coloration de Gram et l'observation microscopique (**Tableau 04**) (**Figure 10**).

Tableau 04. Résultats de la pré-identification des isolats.

Codes des isolats	Catalase	Gram	Aspect microscopique
MRS 3-4	—	+	Bacilles
MRS 15-16	—	+	Bacilles
MRS 7-8	—	+	Bacilles
N2AN	—	+	Bacilles
M17 23-24	—	+	Coques
M17 25-26	—	+	Coques

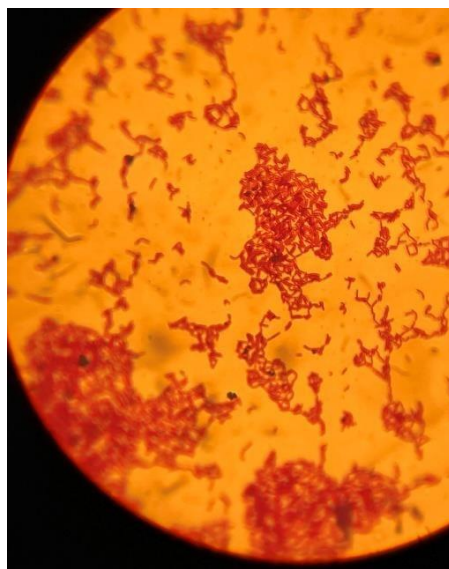


Figure 10. L'aspect microscopique des différents isolats après coloration de Gram.

Les résultats obtenus lors de la pré-identification montrent que l'ensemble des isolats étudiés présentent une réaction négative au test de la catalase ainsi qu'une coloration Gram positive. Ces caractéristiques sont généralement associées aux bactéries lactiques présentes dans les produits laitiers fermentés.

L'observation microscopique a révélé la présence de bacilles au niveau des isolats obtenus sur milieu MRS, tandis que les isolats provenant du milieu M17 présentaient une forme coccique. Ces résultats sont cohérents avec les caractéristiques des bactéries lactiques généralement rencontrées dans les laits fermentés traditionnels.

L'ensemble des résultats obtenus suggère la présence probable de bactéries lactiques impliquées dans les phénomènes de fermentation du lait fermenté traditionnel étudié.

Après l'isolement initial, les souches sélectionnées ont été soumises à trois repiquages successifs sur milieu MRS afin d'obtenir des cultures pures. Une homogénéisation progressive de la morphologie des colonies a été observée au cours des différents essais de purification. À l'issue du troisième repiquage, les colonies présentaient des caractéristiques homogènes, indiquant l'obtention de cultures pures.

Cette étape est indispensable pour éliminer les contaminations éventuelles et garantir la fiabilité des tests d'identification et de caractérisation technologique réalisés par la suite. Les différentes étapes de purification sont présentées en **annexe 2**.

La pré-identification morphologique et biochimique de ces isolats est cohérente avec les travaux de **Zheng et al. (2020)**, qui insistent sur l'importance d'une approche polyphasique (morphologie, biochimie, génétique) pour une identification fiable des lactobacilles après leur reclassification taxonomique.

5. Test de thermorésistance

Le test de thermorésistance a été réalisé afin d'évaluer la capacité des isolats à résister aux températures élevées (**Tableau 05**) (**Figure 11**).

Tableau 05. Résultats du test de thermorésistance

Codes des isolats	Thermorésistance
LB1	—
LB2	—
LB3	+
LB4	+
LB5	—
LB6	±
LB7	—
LB8	—
LB9	+

**Figure 11.** Résultats du test de thermorésistance

Les résultats obtenus montrent une variabilité de la résistance thermique entre les différents isolats étudiés. Certains isolats, notamment LB3, LB4 et LB9, ont présenté une résistance aux températures élevées, tandis que les autres isolats ont montré une sensibilité au traitement thermique.

L'isolat LB6 a présenté une réaction intermédiaire ($\pm$), traduisant une faible résistance thermique. Cette différence de comportement peut être liée aux caractéristiques physiologiques propres à chaque souche bactérienne.

Les résultats ont montré que la souche étudiée résiste aux températures élevées. Cela rejoint les observations de **Ayivi & Ibrahim (2022)**, qui décrivent *L. delbrueckii* comme une souche thermophile adaptée aux fermentations à 42–45 °C.

6. Croissance à différentes températures

Le test de croissance à différentes températures a été réalisé afin d'évaluer la capacité des isolats à se développer à 15 °C et à 45 °C (**Tableau 06**).

Tableau06. Résultats du test de croissance à différentes températures

Codes des isolats	15 °C	45 °C
LB1	+	—
LB2	+	—
LB3	±	±
LB4	+	+
LB5	—	—
LB6	+	±
LB7	+	—
LB8	+	—
LB9	+	±
LB10	—	—

L'étude de la croissance des isolats à 15°C et 45°C a révélé une variabilité physiologique importante entre les différentes souches étudiées.

À 15°C, la majorité des isolats ont présenté une croissance positive, traduite par l'apparition d'une turbidité dans le milieu de culture, tandis que certaines souches ont montré une croissance faible ou une absence totale de développement.

À 45°C, seules quelques souches ont conservé une capacité de croissance, alors que plusieurs isolats n'ont présenté aucun développement visible.

Les différences observées entre les isolats peuvent être liées à l'hétérogénéité de la flore microbienne présente dans le lait fermenté traditionnel « Hamra ».

En effet, ce type de produit artisanal renferme généralement une diversité de bactéries lactiques présentant des comportements physiologiques différents vis-à-vis de la température.

Les souches capables de croître à 45°C peuvent être considérées comme thermotolérantes et présentent des caractéristiques proches des bactéries lactiques thermophiles.

En revanche, les isolats ne présentant aucune croissance à cette température semblent moins adaptés aux températures élevées.

La croissance observée à plusieurs températures confirme l'adaptation de la souche. **Hutkins (2018)** rapporte que *L. delbrueckii* présente une croissance optimale à haute température et agit en synergie avec *Streptococcus thermophilus* dans la fabrication du yaourt.

7. Détermination du type fermentaire des souches

Après incubation sur le milieu Clark, les résultats obtenus lors de la détermination du type fermentaire des souches étudiées ont permis de mettre en évidence la présence ou l'absence de production de gaz (**Tableau 07**) (**Figure 12**).

Tableau 07. Les résultats de détermination du type fermentaire des souches isolées sur milieu Clark

Souches	Production de gaz	Type fermentaire
LB1	-	Homofermentaire
LB2	-	Homofermentaire
LB3	-	Homofermentaire
LB4	-	Homofermentaire
LB5	-	Homofermentaire
LB6	-	Homofermentaire
LB7	-	Homofermentaire
LB8	-	Homofermentaire
LB9	-	Homofermentaire
LB10	-	Homofermentaire

(+) : production de gaz

(-) : absence de production de gaz.



Figure 12. Les résultats de détermination du type fermentaire des souches isolées sur milieu Clark

Les résultats obtenus montrent une absence de production de gaz chez l'ensemble des souches étudiées sur le milieu Clark muni de cloches de Durham. Cette absence de dégagement gazeux traduit un métabolisme homofermentaire.

Les souches de *Lactobacillus delbrueckii* étudiées fermentent principalement les glucides en produisant essentiellement de l'acide lactique sans formation significative de CO₂. Ce caractère homofermentaire constitue une propriété technologique importante des bactéries lactiques utilisées dans les fermentations alimentaires.

L'absence de production de gaz dans tes essais confirme le caractère homofermentaire de la souche. Les directives de la **FAO (2016)** précisent que les souches homofermentaires produisent principalement de l'acide lactique, garantissant une fermentation stable.

8. Détermination du profil aromatique des souches

Après incubation sur le milieu Clark et addition des réactifs VP1 et VP2, les résultats obtenus lors de la détermination du profil aromatique des souches étudiées ont permis de mettre en évidence la production éventuelle de composés aromatiques (**Tableau 08**) (**Figure 13**).

Tableau 08. Les résultats de détermination du profil aromatique des souches étudiées sur milieu Clark

Souches	Réaction VP	Profil aromatique
LB1	+	Positif
LB2	-	Négatif
LB3	+	Positif
LB4	+	Positif
LB5	+	Positif
LB6	-	Négatif
LB7	-	Négatif
LB8	-	Négatif
LB9	+	Positif
LB10	-	Négatif

(+) : production de composés aromatiques

(-) : absence de production de composés aromatiques

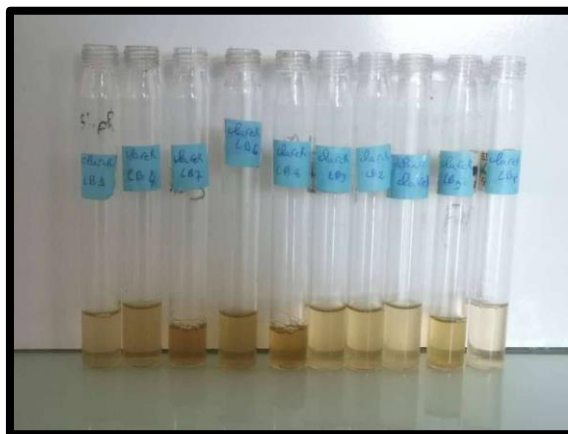


Figure 13. Les résultats de détermination du profil aromatique des souches étudiées sur milieu Clark

Les résultats obtenus montrent que certaines souches de *Lactobacillus delbrueckii* ont présenté une capacité à produire des composés aromatiques après addition des réactifs VP1 et VP2, tandis que d'autres souches ont montré une réaction négative.

Les réactions positives observées se traduisent par l'apparition d'une légère coloration rosée à orangée, indiquant la production de composés aromatiques tels que l'acétoïne. Cette substance est issue du métabolisme fermentaire de certaines bactéries lactiques et participe au développement des caractéristiques organoleptiques des produits fermentés.

En revanche, les souches ayant présenté une réaction négative n'ont montré aucun changement notable de coloration, traduisant une absence ou une faible production de composés aromatiques.

Tes tests ont montré la capacité de la souche à produire des composés aromatiques. **Marco et al. (2017)** expliquent que les bactéries lactiques génèrent des métabolites tels que le diacétyle et l'acétaldéhyde, responsables des profils aromatiques caractéristiques des produits fermentés, confirmant tes observations.

L'absence de ces métabolites suggère que la souche locale possède un potentiel sensoriel limité par rapport aux souches industrielles.

9. Activité acidifiante des souches étudiées

Afin d'évaluer le pouvoir acidifiant des souches étudiées, le pH et l'acidité Dornic du lait ont été mesurés avant et après 2 heures d'incubation à 37 °C. Les valeurs initiales correspondent à la moyenne de deux essais indépendants (**Tableau 09**)(**Figure 14**)(**Annexe 5**).

Tableau 09. Évolution du pH et de l'acidité Dornic du lait inoculé par les différentes souches après 2 heures d'incubation

Souches	pH initial moyen	Acidité initiale moyenne (°D)	pH après 2 h	Acidité après 2 h (°D)
LB1	6,94	21,5	4,71	90
LB2	6,98	21,5	4,84	91
LB3	6,96	21,5	4,76	102
LB4	6,99	22,5	4,81	80
LB5	6,95	21	4,82	115
LB6	6 ,94	21	4,67	130
LB7	7	19	4,64	112
LB8	7,02	19	4,58	95
LB9	6,97	21	4,55	105
LB10	6,98	21	4,53	114

pH = potentiel hydrogène

°D = degré Dornic.

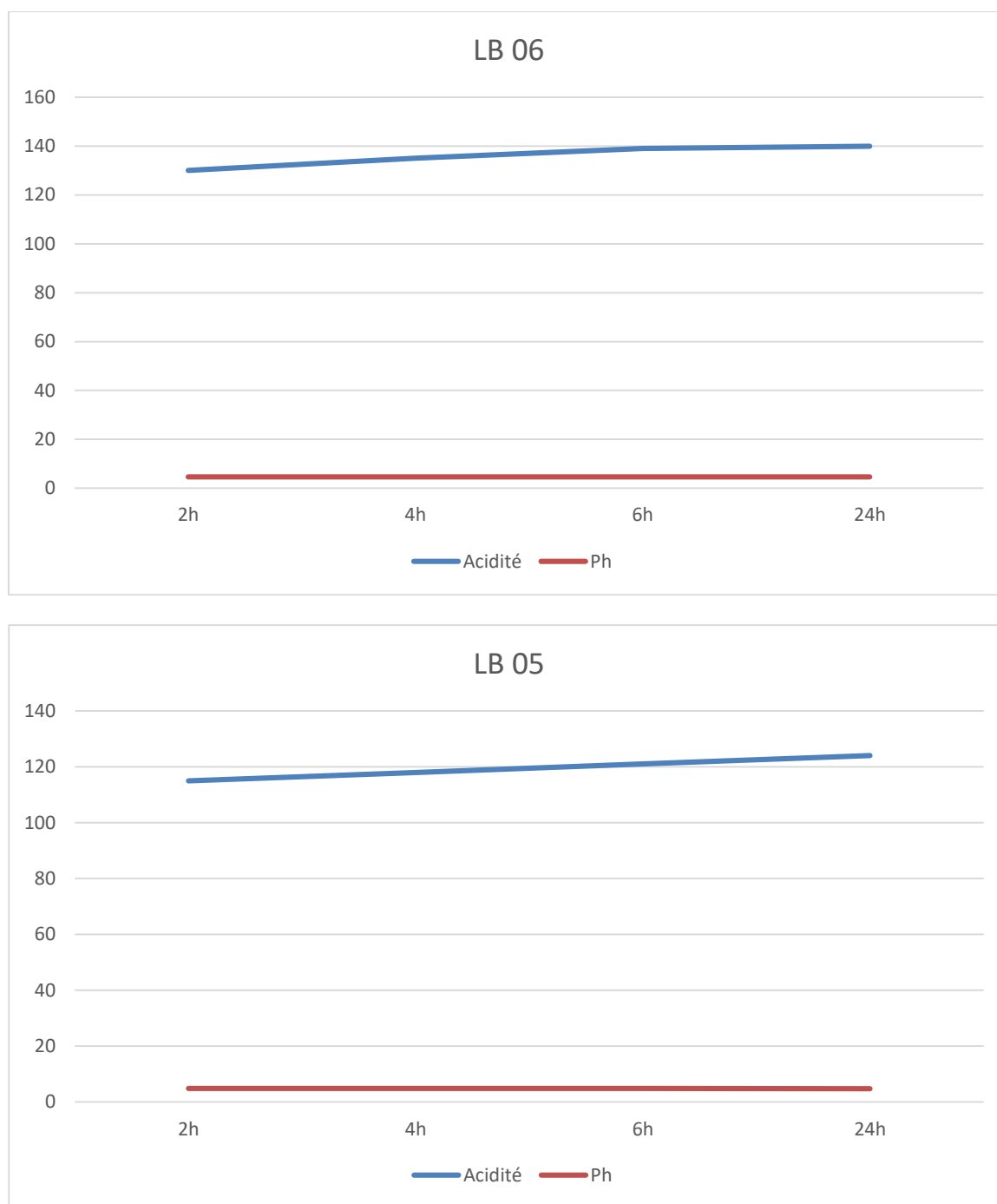


Figure 14. Courbes d'acidification des souches LB 6 ET 5

Les résultats obtenus montrent une diminution importante du pH ainsi qu'une augmentation marquée de l'acidité Dornic après 2 heures d'incubation pour l'ensemble des souches étudiées.

Cette évolution traduit une activité acidifiante élevée des souches de *Lactobacillus delbrueckii*, résultant de la fermentation du lactose et de la production d'acide lactique.

Les valeurs de pH, initialement comprises entre 6,94 et 7,02, ont diminué pour atteindre des valeurs comprises entre 4,53 et 4,84 après incubation. Parallèlement, l'acidité

Dornic a considérablement augmenté, passant de valeurs initiales comprises entre 19 et 22,5 °D à des valeurs variant entre 80 et 130 °D. Ces résultats mettent en évidence une bonne aptitude des souches étudiées à acidifier le lait en un temps relativement court.

Parmi les souches analysées, LB6 a présenté l'acidité Dornic la plus élevée (130 °D), tandis que LB10 a enregistré la valeur de pH la plus faible (4,53). Les souches LB7, LB9 et LB5 ont également montré une activité acidifiante importante, caractérisée par des valeurs élevées d'acidité associées à une diminution notable du pH. À l'inverse, la souche LB4 a présenté l'acidité finale la plus faible (80 °D), indiquant une capacité d'acidification relativement moins prononcée.

La capacité d'acidification observée constitue une aptitude technologique essentielle des souches de *Lactobacillus delbrueckii*. En effet, la production d'acide lactique favorise la coagulation du lait, contribue à l'amélioration de la qualité microbiologique des produits fermentés en inhibant le développement des microorganismes indésirables et participe au développement des caractéristiques organoleptiques des produits laitiers. Les différences observées entre les souches peuvent être attribuées à des variations de leur activité métabolique et de leur vitesse de fermentation du lactose.

Parmi l'ensemble des souches étudiées, la souche LB6 a présenté la meilleure activité acidifiante, avec la valeur d'acidité Dornic la plus élevée (130 °D), traduisant une forte capacité de fermentation du lactose et une production importante d'acide lactique, ce qui confirme son intérêt technologique potentiel dans les procédés de fermentation laitière.

10. Tolérance des isolats aux variations du NaCl et du pH

Afin d'évaluer les caractéristiques physiologiques des bactéries lactiques isolées, des tests de tolérance aux différentes concentrations de NaCl ainsi qu'aux variations du pH ont été réalisés (**Tableau 10**) (**Annexe 3**).

Tableau 10. Les résultats de tolérance des isolats aux différentes concentrations de NaCl et aux variations du pH

Isolats	NaCl 4 %	NaCl 6,5 %	pH 4,5	pH 9,6
LB1	+	±	+	+
LB2	+	+	+	+
LB3	±	+	—	+
LB4	+	+	±	+
LB5	+	+	+	+
LB6	+	±	+	+
LB7	±	+	+	+
LB8	+	±	+	+
LB9	+	+	±	+
LB10	+	+	+	+

(+) croissance positive

(—) absence de croissance

(±) faible croissance

Les résultats obtenus montrent que les isolats étudiés présentent des comportements variables vis-à-vis des concentrations de NaCl et des variations du pH. La majorité des souches ont montré une croissance positive à 4 % et à 6,5 % de NaCl, indiquant une bonne capacité d'adaptation aux conditions de stress osmotique.

Toutefois, certaines souches ont présenté une croissance plus faible à 6,5 % de NaCl, notamment les isolats LB1, LB6 et LB8. Cette diminution de croissance pourrait être liée à une sensibilité partielle à l'augmentation de la concentration saline.

Concernant la tolérance au pH, la majorité des isolats ont montré une croissance positive à pH 4,5, traduisant une bonne résistance aux conditions acides. Cependant, l'isolat LB3 n'a présenté aucune croissance dans ces conditions, alors que les isolats LB4 et LB9 ont montré une faible croissance, indiquant une tolérance plus limitée à l'acidité.

À pH 9,6, l'ensemble des isolats a présenté une croissance positive, ce qui témoigne d'une bonne capacité d'adaptation aux conditions alcalines.

La résistance des isolats aux variations de sel et de pH rejoint les conclusions de **Settanni & Moschetti (2016)**, qui soulignent la capacité des bactéries lactiques locales à s'adapter aux conditions stressantes, garantissant leur efficacité dans des environnements variés.

11. Activité protéolytique

L'activité protéolytique des souches étudiées a été évaluée par la mesure des halos d'hydrolyse formés autour des puits sur milieu à base de caséine après incubation. Les diamètres des zones d'hydrolyse obtenus pour les différentes souches sont présentés dans le **tableau 11** et **figure 15**.

Tableau 11. Diamètres des halos d'hydrolyse de la caséine

Souche	Diamètre du halo (mm)
LB1	10
LB2	10
LB3	22
LB4	18
LB5	19
LB6	20
LB7	29
LB8	26
LB9	24
LB10	23

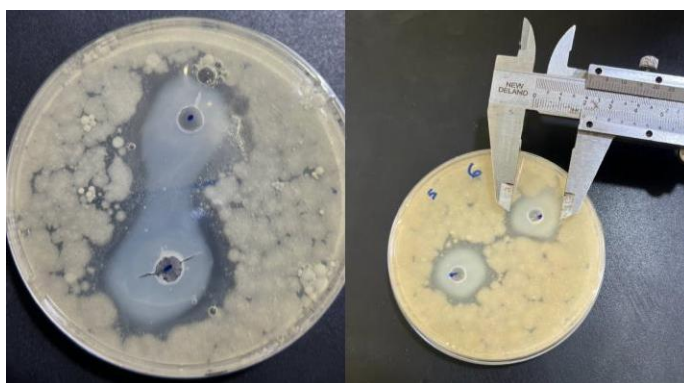


Figure 15. Halos d'hydrolyse observés autour des puits sur milieu à base de caséine

Les résultats montrent une variabilité de l'activité protéolytique entre les différentes souches étudiées. Les souches LB1 et LB2 ont présenté les plus faibles diamètres d'hydrolyse (10 mm), indiquant une faible capacité à dégrader la caséine. En revanche, les souches LB7, LB8, LB9 et LB10 ont montré les halos les plus importants, avec des diamètres compris entre 23 et 29 mm, traduisant une activité protéolytique plus élevée.

La souche LB7 a présenté le diamètre d'hydrolyse le plus important (29 mm), ce qui suggère une forte production d'enzymes protéolytiques. Les souches LB3, LB4, LB5 et LB6 ont quant à elles montré une activité intermédiaire. Ces différences peuvent être attribuées à la variabilité métabolique et enzymatique des souches étudiées.

L'activité protéolytique constitue une aptitude technologique importante des souches de *Lactobacillus delbrueckii*, car elle permet l'hydrolyse des protéines du lait et la libération de peptides ainsi que d'acides aminés nécessaires à la croissance bactérienne. Cette propriété contribue également au développement de la texture, de la saveur et des caractéristiques organoleptiques des produits laitiers fermentés. Les résultats obtenus suggèrent ainsi que les souches LB7, LB8, LB9 et LB10 possèdent un potentiel technologique particulièrement intéressant.

Les résultats d'hydrolyse de la caséine sont en accord avec **Lima et al. (2024)**, qui montrent que *L. delbrueckii* libère des peptides aromatiques et des acides aminés, améliorant la texture et le goût des produits fermentés.

12. Résultats de l'essai technologique

L'essai technologique réalisé à partir de la souche étudiée associée à *Streptococcus thermophilus* a permis l'obtention d'un yaourt présentant une coagulation satisfaisante après incubation à 42 °C pendant environ 6 heures.

Le produit obtenu présentait un aspect homogène, une surface lisse et brillante ainsi qu'une texture ferme et compacte. Aucune synérèse importante n'a été observée après la fermentation et le stockage à 4 °C. La couleur du yaourt était blanc-crème avec une légère coloration au niveau de la couche de sirop de datte incorporée au fond du conditionnement **(Figure 16)**.

L'obtention d'un coagulum stable et d'une texture appréciable témoigne de la bonne aptitude technologique de la souche étudiée pour la fabrication de produits laitiers fermentés.



Figure 16. Yaourt obtenu après fermentation du lait par la souche étudiée associée à *Streptococcus thermophilus* et additionné de sirop de datte.

La réussite de l'essai technologique confirme les aptitudes fonctionnelles de la souche étudiée mises en évidence lors des tests préliminaires. La forte activité acidifiante observée précédemment a favorisé l'abaissement du pH et la coagulation des protéines du lait, conduisant à la formation d'un gel stable caractéristique du yaourt.

La texture ferme obtenue peut également être reliée à l'activité protéolytique de la souche, qui participe à la transformation des constituants protéiques du lait et contribue au développement des propriétés rhéologiques du produit final.

L'absence de défauts majeurs tels qu'une synérèse excessive ou une texture cassante indique une bonne adaptation de la souche aux conditions de fermentation utilisées. Ces résultats suggèrent que la souche étudiée possède un potentiel intéressant pour une valorisation dans la fabrication de laits fermentés et de yaourts.

13. Analyse sensorielle du yaourt obtenu

L'analyse sensorielle du yaourt élaboré à partir de la souche étudiée associée à *Streptococcus thermophilus* a été réalisée par un panel composé de 23 dégustateurs comprenant des étudiants, des membres du laboratoire ainsi que l'enseignant encadrant. L'évaluation a porté sur les caractéristiques visuelles, olfactives et gustatives du produit ainsi que sur son acceptabilité globale. La fiche d'analyse sensorielle utilisée lors de l'évaluation est présentée en **annexe1**.

Les notes attribuées par les dégustateurs variaient entre 7 et 9 sur 10, avec une moyenne générale d'environ 8/10. La majorité des évaluateurs ont accordé des notes comprises entre 8 et 9 sur 10, traduisant une appréciation favorable du produit.

Tableau 12. Résultats globaux de l'analyse sensorielle du yaourt obtenu

Paramètres	Résultats
Nombre de dégustateurs	23
Note minimale	7/10
Note maximale	9/10
Note moyenne	≈ 8/10
Acceptabilité globale	Bonne à très bonne

Les résultats de l'analyse sensorielle ont montré une bonne acceptabilité du yaourt obtenu à partir de la souche étudiée. La majorité des dégustateurs ont attribué des notes élevées, comprises entre 8 et 9 sur 10, indiquant une appréciation favorable des caractéristiques organoleptiques du produit.

Sur le plan visuel, le yaourt présentait un aspect homogène, une surface lisse et une texture ferme, caractéristiques généralement recherchées dans les produits laitiers fermentés.

L'évaluation olfactive a révélé la présence d'un arôme lactique agréable et typique du yaourt. Sur le plan gustatif, les dégustateurs ont apprécié l'équilibre entre la douceur apportée par le sirop de datte et l'acidité développée au cours de la fermentation.

Les observations recueillies lors de la dégustation ont également mis en évidence une bonne sensation en bouche, caractérisée par une texture crémeuse et une saveur jugée

agréable par la majorité du panel. L'enseignant évaluateur a notamment qualifié le produit d'excellent produit », confirmant ainsi la qualité sensorielle du yaourt obtenu.

La note moyenne d'environ 8/10 témoigne d'une acceptabilité élevée du produit et met en évidence le potentiel technologique de la souche étudiée pour la fabrication de yaourts. Ces résultats sont en accord avec les performances observées lors des tests technologiques précédents, notamment la forte activité acidifiante et la capacité protéolytique des souches étudiées, qui ont contribué à l'obtention d'un produit présentant des caractéristiques sensorielles satisfaisantes.

Conclusion et perspectives

Conclusion et perspectives

Le présent travail a porté sur la caractérisation des aptitudes technologiques de souches de *Lactobacillus delbrueckii* isolées à partir de produits laitiers locaux, dans le but d'évaluer leur potentiel d'utilisation dans la fabrication de produits laitiers fermentés.

L'étude a débuté par la caractérisation physicochimique du lait de brebis de race Hamra utilisé comme matière première. Les résultats obtenus ont révélé des caractéristiques favorables au développement des bactéries lactiques et à la valorisation technologique de ce lait. Le test de lactofermentation a confirmé la capacité fermentaire de la flore étudiée à travers la formation d'un coagulum homogène et stable.

La caractérisation technologique des souches a montré une bonne capacité d'adaptation aux différentes conditions de culture. Les essais de croissance à différentes températures, de tolérance au NaCl et aux variations de pH ont révélé des aptitudes physiologiques intéressantes.

Les souches étudiées ont également présenté un profil homofermentaire, une activité acidifiante importante ainsi qu'une activité protéolytique variable, témoignant de leur intérêt pour les procédés de fermentation laitière. L'étude du profil aromatique a montré que certaines souches possèdent la capacité de produire des composés contribuant aux qualités organoleptiques des produits fermentés. Par ailleurs, l'essai technologique réalisé en association avec *Streptococcus thermophilus* a permis d'obtenir un yaourt présentant une bonne coagulation, une texture satisfaisante et une bonne acceptabilité sensorielle auprès du panel de dégustateurs.

Bien que les résultats obtenus aient permis de mettre en évidence des aptitudes technologiques intéressantes des souches étudiées, des investigations complémentaires restent nécessaires afin d'approfondir leur caractérisation. Une identification moléculaire basée sur des techniques telles que la PCR et le séquençage du gène ARNr 16S permettrait de confirmer avec précision leur appartenance à l'espèce *Lactobacillus delbrueckii*.

Par ailleurs, il serait intéressant d'évaluer leur potentiel probiotique à travers des essais de résistance aux conditions gastro-intestinales simulées (acidité gastrique et sels biliaires) ainsi que leur capacité à survivre et à se maintenir dans le tractus digestif. Ces études permettraient de déterminer leur éventuelle contribution à la santé du consommateur.

Enfin, les essais réalisés dans cette étude ont été effectués à l'échelle du laboratoire. Des travaux complémentaires pourraient porter sur l'utilisation de ces souches dans des procédés de fabrication à plus grande échelle afin d'évaluer leur comportement en conditions industrielles, leur stabilité au cours du stockage ainsi que leur influence sur la qualité microbiologique, technologique et sensorielle des produits laitiers fermentés.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

A

AFNOR. (1999). *Recueil de normes françaises : Analyse microbiologique des aliments*. Paris, France : Association Française de Normalisation (AFNOR).

Alais, C. (1984). *Science du lait : Principes des techniques laitières* (4e éd.). Paris, France : SEPAIC.

Alais, C., & Linden, G. (1997). *Biochimie appliquée : Bases biochimiques et biologiques de la technologie laitière* (3e éd.). Paris, France : Masson.

Ayivi, R. D., & Ibrahim, S. A. (2022). Lactic acid bacteria: An essential probiotic and starter culture for the production of yoghurt. *International Journal of Food Science and Technology*, 57(11), 7008–7025. <https://doi.org/10.1111/ijfs.16076>

B

Benson, H. J. (2015). *Microbiological applications: Laboratory manual in general microbiology* (14th ed.). New York, United States : McGraw-Hill Education.

Bintsis, T. (2018). Lactic acid bacteria as starter cultures: An update in their role in food production. *AIMS Microbiology*, 4(4), 665–684. <https://doi.org/10.3934/microbiol.2018.4.665>

Bourgeois, C. M., & Larpent, J. P. (2017). *Microbiologie alimentaire*. Paris, France : Tec & Doc Lavoisier.

C

Carr, F. J., Chill, D., & Maida, N. (2002). The lactic acid bacteria: A literature survey. *Critical Reviews in Microbiology*, 28(4), 281–370. <https://doi.org/10.1080/10408410290006184>

Codex Alimentarius Commission. (2018). *Codex Standard for Fermented Milks (CXS 243-2003, revised in 2018)*. Rome, Italy : Food and Agriculture Organization (FAO) & World Health Organization (WHO).

Coelho, M. C., Malcata, F. X., & Silva, C. C. G. (2022). Lactic acid bacteria in raw-milk cheeses: From starter cultures to probiotic functions. *Foods*, 11(15), Article 2276.
<https://doi.org/10.3390/foods11152276>

D

Duar, R. M., Lin, X. B., Zheng, J., Martino, M. E., Grenier, T., Pérez-Muñoz, M. E., Leulier, F., Gänzle, M., & Walter, J. (2017). Lifestyles in transition: Evolution and natural history of the genus *Lactobacillus*. *FEMS Microbiology Reviews*, 41(Suppl_1), S27–S48. <https://doi.org/10.1093/femsre/fux030>

F

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2013). *Milk and dairy products in human nutrition*. Rome, Italy : FAO. ISBN 978-92-5-107863-1.

G

Guiraud, J. P. (2003). *Microbiologie alimentaire*. Paris, France : Dunod.

H

Holzappel, W. H., & Wood, B. J. B. (2019). *Lactic acid bacteria: Biodiversity and taxonomy*. Oxford, United Kingdom : Wiley-Blackwell.

Hutkins, R. W. (2018). *Microbiology and technology of fermented foods* (2nd ed.). Chichester, United Kingdom : Wiley-Blackwell.

I

International Organization for Standardization (ISO). (2013). *ISO 4833-1: Microbiology of the food chain — Horizontal method for the enumeration of microorganisms — Part 1: Colony count at 30°C by the pour plate technique*. Geneva, Switzerland : ISO.

K

Khemariya, P., Singh, S., Jaiswal, N., & Chaurasia, S. N. S. (2017). Isolation and characterization of proteolytic lactic acid bacteria from dairy products. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 6(5), 1750–1758. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2017.605.190>

L

Leroy, F., & De Vuyst, L. (2018). Lactic acid bacteria as functional starter cultures for fermented foods. *Current Opinion in Food Science*, 2, 73–78. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2018.03.002>

Leroy, F., & De Vuyst, L. (2020). Lactic acid bacteria as functional starter cultures for the food fermentation industry. *Trends in Food Science & Technology*, 98, 168–177. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.02.008>

Lima, L. C. (2024). Health-promoting effects and safety aspects of *Lactobacillus delbrueckii*: A food industry species. *Trends in Food Science & Technology*, 150, Article 104605. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2024.104605>

M

Marco, M. L., Heeney, D., Binda, S., Cifelli, C. J., Cotter, P. D., Foligné, B., Gänzle, M., Kort, R., Pasin, G., Pihlanto, A., Smid, E. J., & Hutkins, R. (2017). Health benefits of fermented foods: Microbiota and beyond. *Current Opinion in Biotechnology*, 44, 94–102.

<https://doi.org/10.1016/j.copbio.2016.11.010>

Meilgaard, M., Civille, G. V., & Carr, B. T. (2016).

P

Patel, M., Siddiqui, A. J., Hamadou, W. S., Surti, M., Awadelkareem, A. M., Ashraf, S. A., & Adnan, M. (2021). Inhibition of bacterial adhesion and antibiofilm activities of a glycolipid biosurfactant from *Lactobacillus rhamnosus* with its physicochemical and functional properties. *Antibiotics*, 10(12), Article 1546.
<https://doi.org/10.3390/antibiotics10121546>

Puniya, A. K., Singh, R., & Kamra, D. N. (2016). *Lactic acid bacteria: Biodiversity and applications in food processing*. New Delhi, India : Springer.

S

Settanni, L., & Moschetti, G. (2016). Non-starter lactic acid bacteria used to improve cheese quality and provide health benefits. *Food Microbiology*, 59, 11–22. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2016.04.008>

Sharma, R., & Sharma, N. (2017). Assessment of probiotic attributes of food grade lactic acid bacteria isolated from a novel traditional fermented product (Luske) of Northern Himalayas. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 6(7), 2481–2490. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2017.607.352>

Stone, H., & Sidel, J. L. (2004). *Sensory evaluation practices* (3rd ed.). San Diego, California, United States : Elsevier Academic Press.

T

Tamime, A. Y. (2017). *Dairy fats and fermented dairy products*. Oxford,

United Kingdom : Wiley-Blackwell.

Tamime, A. Y., & Robinson, R. K. (2019). *Tamime and Robinson's yoghurt: Science and technology* (4th ed.). Cambridge, United Kingdom : Woodhead Publishing.

V

Vignola, C. L. (2002). *Science et technologie du lait : Transformation du lait*. Montréal, Canada : Presses Internationales Polytechnique.

Z

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

<https://doi.org/10.1099/ijsem.0.004107>

ANNEXES

Annexe 1

Figure 01. La fiche de dégustation

Fiche d'analyse sensorielle comparative des Yaourts (F.I.L 2018)

Date :

Nom du dégustateur :

Fonction :

Lieu :

Type du fromage :

Examen	Nom du produit	Points à examiner	Vocabulaire
1/ Visuel		Etat de la surface	Surface : lisse, sèche, humide Couleur : blanche, crème, jaune
		Pâte	Elasticité : Souple, ferme, cassante Homogénéité : homogène, crevasse
2/ Olfactif		Arômes	Lactique : lait frais, naturel, Autres : diacétyl, fermenté, synthétique
		Intensité	Forte, fade, typée, piquante
3/ Gustatif		Saveurs	Description de la saveur : Sucrée, acide, salée, amer Description des sensations : Douceur, piquant, crémeux, fondant, onctueux Description de la finale bouche : Agréable, très typique, riche en arôme, intense et persistante, plutôt courte

Observation aux dégustateurs :

Mettre une croix sur l'appréciation accordée au produit dégusté

Prestation finale : appréciable acceptable désagréable Indifférent

Note d'appréciation sur 10 points à évaluer en fonction des commentaires des dégustateurs :

1) Etat de la Surface :

Surface : lisse : 1 **Couleur :** blanche : 1 Humide : 0.25 Crème : 0.5
Sèche : 0 Jaune : 0

2) Pâte :

Elasticité : Souple : 1 **Homogénéité :** Homogène : 1 Ferme : 0.25 Crevasse : 0
Cassante : 0

3) Arômes :

Lactique : Lait frais : 1 **Autres :** Diacétyl : 1 Naturel : 0.5 Fermenté : 0.5
Synthétique : 0
Intensité : typée : 1
Forte : 0,25
Fade : 0
Piquante : 0

4) Saveurs :

Description de la Saveur : Sucrée : 0 **Description des sensations :** Douceur : 1 Acide : 0.5
Crémeux : 0,5
Salée : 0 Onctueux : 0,25
Amer : 0 Fondant : 0.15
Piquant : 0

5) Description de la finale à la bouche

Agréable : 1 Riche en arôme : 0.25 Plutôt courte : 0
Très typique : 0.5 Intense et persistance : 0.15

Annexe 2



Figure 01. Le 1^{er} essai de purification



Figure 02. 2eme essai de purification



Figure 03. 3eme essai de purification

Annexe 3



Figure 01. Les résultats de tolérance des isolats aux différentes concentrations de variations du pH 9,6



Figure 02. Les résultats de tolérance des isolats aux différentes concentrations de variations du pH 4,5

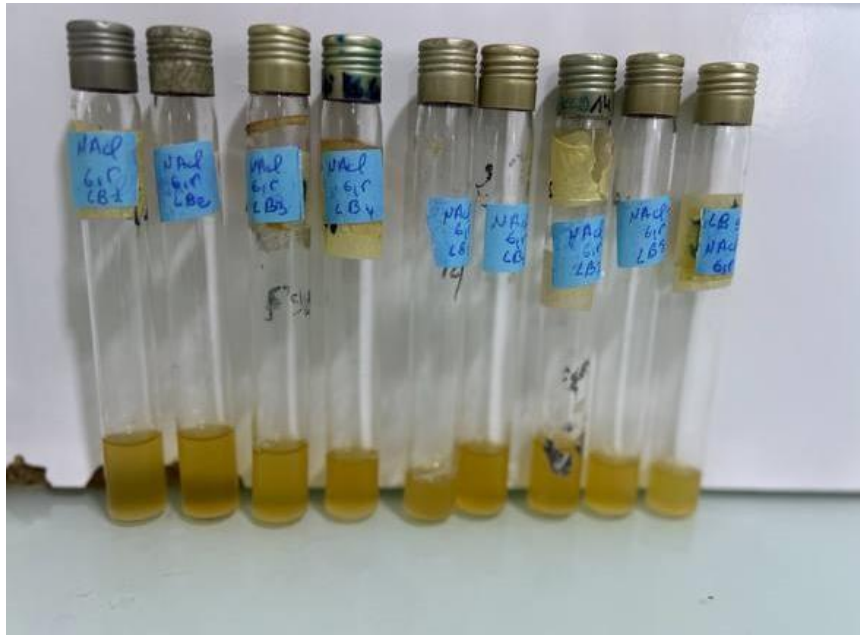


Figure 03. Les résultats de tolérance des isolats aux différentes concentrations de NaCl 6,5%



Figure 04. Les résultats de tolérance des isolats aux différentes concentrations de NaCl 4%

Annexe 4

Composition des milieux de culture

Tableau: Milieu PCA (Plate Count Agar) (pH 6,3)

Composition	Quantité g/L
Tryptone	5
Extrait de levure	2,5
Glucose	1
Agar	18
Eau distillée	1000 ml

Tableau : Milieu MRS (Man, Rogosa et Sharpe) (pH 5,6)

Composition	Quantité g/L
Peptone	10
Extrait de viande	10
Extrait de levure	5
Glucose	20
Tween 80 I ml	2
Phosphate dipotassique	2
Acétate de sodium	5
Citrate d'ammonium	2
Sulfate de magnésium, 7 H ₂ O	0,2
Sulfate de magnes, 4 H ₂ O	0,5
Agar	18
Eau distillée	1000 ml

Tableau : Milieu M17 (pH 6,3)

Composition	Quantité g/L
Tryptone	2,5
Peptone pepsique de viande	2,5
Peptone papainique de soja	5
Extrait de viande	5
Extrait autolytique de levure	2,5
Acide ascorbique	0,5
Glycérophosphate de sodium	19
Sulfate de magnésium	0,25
Eau distillée	1000 ml

Stérilisation des milieux par autoclavage à 120°C pendant 15 min.

Tableau: Eau peptonée

Composition	Quantité g/L
NaCl	8,5
Peptone	1
Eau distillée	1000 ml

Tableau : Eau physiologie

Composition	Quantité g/L
NaCl	9 g
Eau distillée	1000 ml

Tableau 1 : Milieu Clark et Lubs

Composition	Quantité g/L
Peptone	10
Phosphate di potassique	2
Glucose	5
Eau distillée	1000 ml

Sterilisation du milieu par autoclavage à 120°C pendant 20min.

Annexe 5

Les courbes d'acidification des souches

