



UNIVERSITE
Abdelhamid Ibn Badis
MOSTAGANEM

République Algérienne Démocratique et Populaire

Université Abdelhamid Ibn Badis Mostaganem

Faculté Des Sciences de La Nature et de La Vie

Département de Biologie

UNIVERSITE
Abdelhamid Ibn Badis
MOSTAGANEM

Mémoire

Présenté pour l'obtention du diplôme de

MASTER EN SCIENCES BIOLOGIQUES

Spécialité : Microbiologie Fondamentale

Par

Adjed Aya

Benyehia Khadidja Ikram

Thème

Les aptitudes technologiques des bactéries lactiques isolées à partir de produits laitiers artisanaux

Soutenu le : 03 - 07 - 2023

Devant le jury composé de :

Président	BAHRI FOUAD	Pr	Université de Mostaganem
Encadrant	CHERIGUENE ABDERRAHIM	Pr	Université de Mostaganem
Examinateur	BOUZNAD AHCENE	MCB	Université de Mostaganem
Co-encadrant	BOUCHIBANE Malika	Dr	Université de Mostaganem

Année Universitaire : 2022/2023

Remerciement

Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude envers Allah le Tout-Puissant, qui nous a guidés tout au long de nos études et qui nous a donné la force et le courage nécessaires pour accomplir ce modeste travail.

Nous sommes également infiniment reconnaissantes envers nos précieux parents pour leur soutien et leurs précieux conseils avisés qui ont été une source de force et de motivation tout au long de notre parcours académique.

*Nous sommes honorées d'avoir pu bénéficier de l'expérience de M. **Cheriguene Abderrahim** notre encadrant pendant la période de notre mémoire. Son dévouement, sa passion pour la recherche et ses conseils éclairés ont été une véritable inspiration pour nous. Nous tenons également à remercier chaleureusement.*

*Mlle. **Bouchibane Malika** pour son soutien précieux dans le co-encadrement de notre mémoire. Grâce à son expertise complémentaire, son regard critique et sa disponibilité, nous avons pu approfondir nos recherches et fournir un travail solide.*

*Nous tenons à remercier **Dr Bahri F.** pour nous avoir fait l'honneur d'accepter la*

Présidence du jury.

*Nos remerciements s'adressent aussi à **Dr Bouznad A.** d'avoir accepté d'examiner ce travail.*

Enfin, nous souhaitons remercier toutes les personnes qui ont contribué, de près ou de loin, à la réalisation de notre mémoire de master. Leurs idées, leur soutien moral et leur engagement ont été une grande source d'enrichissement et de développement académique pour nous.

Dédicaces

Avec l'aide précieuse de Dieu, j'ai pu réaliser ce modeste travail que je dédie à :

À ma très chère mère, dont l'amour inconditionnel, les sacrifices consentis et les précieux conseils ont été les piliers de ma réussite. Ta présence dans ma vie a été une source d'inspiration et de soutien inébranlable. Que Dieu t'accorde une longue vie comblée de bonheur et de prospérité.

À mon cher père, dont les précieux conseils, l'encouragement constant et le soutien indéfectible ont été les fondements de ma réussite. Ta présence bienveillante a été un pilier solide dans mon parcours. Aucune dédicace ne saurait exprimer l'amour, l'estime et le respect que j'ai pour toi. Que Dieu te comble de bénédictions et de réussite dans tous les aspects de ta vie.

À mes sœurs, Fatima et Soumia, qui ont toujours été là pour moi avec leur soutien inconditionnel et leur amour sincère. Votre présence et vos encouragements ont été d'une importance capitale. Que Dieu vous guide vers la réussite et le bonheur dans tout ce que vous entreprenez.

À mes frères, Hamid, Majid et Abd El Ghani, dont le soutien et l'affection m'ont donné la force de persévérer. Votre présence et votre soutien ont été une source de motivation et de détermination. Que Dieu vous accorde le succès dans tous vos projets.

À mes copines proches, Houyam et Rabia, qui ont été là pour moi dans les moments de doute et de découragement. Votre amitié sincère et votre soutien indéfectible ont été d'une valeur inestimable. Que la vie vous réserve une réussite éclatante et une supériorité incontestable.

À mes amies d'université, Fatima, Wiam, Mahjouba et Houda, qui ont partagé avec moi cette aventure académique. Votre présence et votre soutien mutuel ont été d'une importance capitale. Que vos parcours soient couronnés de succès et d'accomplissements remarquables.

À tous ceux que j'aime et qui m'aiment, merci du fond du cœur pour votre soutien constant. Votre amour et votre présence bienveillante ont été une source d'inspiration et de force dans la réalisation de ce travail. Merci infiniment !

AYA

Dédicaces

Avec une profonde gratitude, je dédie ce travail à ma mère et à mon père, qui ont été mes piliers et mes sources d'inspiration. Votre amour inconditionnel, vos encouragements constants et vos sacrifices ont été les fondements de ma réussite. Que Dieu vous comble de bénédictions et vous accorde une vie pleine de bonheur et de santé.

À mes chères frères et sœurs, vous avez toujours été là pour moi, me soutenant et me motivant à poursuivre mes objectifs. Votre présence et votre soutien indéfectibles ont été d'une valeur inestimable. Que Dieu vous guide vers le succès dans toutes vos entreprises.

À mon mari, Amine, je te suis infiniment reconnaissante pour ton amour, ton soutien inconditionnel et ta compréhension tout au long de ce parcours. Tu es ma source de force et de motivation, et je suis bénie de t'avoir à mes côtés. Que notre amour continue de grandir et de prospérer.

À ma fille, Ryme, tu es ma plus grande fierté et ma plus grande motivation. Ta présence illumine ma vie et me pousse à donner le meilleur de moi-même. Que tu grandisses dans la réussite, la santé et le bonheur.

Je souhaite également exprimer ma reconnaissance à tous ceux qui m'ont soutenu de près ou de loin, mes proches, mes amis et mes collègues. Vos encouragements, votre soutien et vos conseils précieux ont été essentiels pour la réalisation de ce travail.

Enfin, je remercie Dieu pour toutes les bénédictions et les opportunités qu'Il a mises sur mon chemin. Que Sa guidance continue de m'éclairer dans toutes mes entreprises.

Merci du fond du cœur à tous ceux qui ont contribué à ma réussite et qui ont été présents à mes côtés. Votre soutien a été inestimable.

Merci !

Ikram

LISTE DES FIGURES

Figure 1. Principales voies assurant le transport et le métabolisme du glucose par les bactéries lactiques (KANDLER, 1983)	11
Figure 2. Principales voies de la lipolyse (SIEGUMFELDT et al. 2000)	12
Figure 3. Système protéolytique des bactéries lactiques (KUNJI et al. 1996).....	13
Figure 4. Les enzymes protéolytiques des bactéries lactiques et leurs actions (Kieliszek et al., 2021).....	21
Figure 5. Trouble retrouvés après relance des souches lactiques utilisées	35
Figure 6. Aspect macroscopique des souches lactiques	35
Figure 7. Aspect microscopique des souches lactiques	36
Figure 8. Absence d'activité lipolytique	39
Figure 9. Production d'arôme par la souche 108.....	40
Figure 10. Les principales étapes du métabolisme du citrate	41
Figure 11. absence d'activité texturant 1 l'absence d'activité lipolytique sur les milieux (MSE et MRS hypersacharosé).....	42

LISTE DES TABLEAUX :

Table 1. Présentation des familles et des genres des bactéries lactiques	6
Table 2. Les valeurs de température optimale de croissance des principaux genres des BL	8
Table 3. pH optimal de croissance des bactéries lactiques et probiotiques	9
Table 4. Besoins en acides aminés des lactobacilles	15
Table 5. Correspondance entre certaines vitamines, coenzymes, et réactions métaboliques chez les bactéries lactiques (Monnet et al., 2008)	16
Table 6. Caractéristiques des principaux genres des bactéries lactiques	18
Table 7. La quantité d'EPS produite par certaines espèces de BL.....	24
Table 8. Les noms et abréviations de bactéries lactiques étudiées	28
Table 9. Équipement et appareillage	30
Table 10. Résultats des activités technologiques des souches lactiques.....	43

Liste des abréviations

BL : bactéries de l'acide lactique

EPS: exopolysaccharides

MRS: Man Rogosa Sharp

MSE:Mayeux, Sandine et Elliker

YMA:Yeast Milk Agar

GRAS: Generally Recognized As Safe

PCA: Plate Count Agar

VP:Voges-Proskauer

SOMMAIRE

LISTE DES FIGURES

LISTE DES TABLEAUX

LISTE DES ABRIVIATIONS

INTRODUCTION 1

Introduction 2

CHAPITRE I : GENERALITES

I. Généralités sur les bactéries lactiques..... 5

I.1. Classification 7

I.2. Facteurs influençant la croissance des bactéries lactiques 7

I.2.1. Milieu de culture 7

I.2.2. La température 8

I.2.3. Le pH 8

I.2.4. Le potentiel redox 9

I.3. Métabolisme des bactéries lactiques 10

I.3.1. La glycolyse 10

I.3.2. La lipolyse 11

I.3.3. La protéolyse 12

I.4. Principales voies fermentaires des bactéries lactiques 13

I.5. Besoins nutritionnels des bactéries lactiques 14

I.5.1. Exigences en acides aminés 14

I.5.2. Exigences en vitamines 16

I.5.3. Exigences en bases azotés 16

I.5.4. Influence des cations 17

I.6. Rôle technologique 17

I.6.1. Applications des probiotiques 18

I.6.1.1. Traitement des diarrhées 19

I.6.1.2. Traitements gastriques	19
I.7. Les caractères bioindustrielles des bactéries lactiques	19
I.8. Aptitudes technologiques des bactéries lactiques	19
I.8.1. Activité protéolytique	19
I.8.2. Activité lipolytique	22
I.8.3. Activité texturante.....	23
I.8.4. Activité aromatisante	24
I.9. Applications industrielles des bactéries lactiques.....	25

CHAPITRE II : MATERIELS ET METHODES

II Matériels et méthodes.....	28
II.1 Objectif	28
II.2 Lieu et durée du travail	28
II.3 Origine des souches	28
II.4 Matériel.....	29
II.5 Milieux de culture.....	29
II.6 Méthodes	30
II.6.1 Revivification et purification des bactéries lactiques	30
II.6.2 Etude de caractères morphologiques	31
II.6.3 Caractérisation microscopique	31
II.6.4 Coloration de Gram	31
II.6.5 Recherche de la catalase	32
II.7 Évaluation des aptitudes technologiques chez les souches lactiques	32
II.7.1 Le Pouvoir protéolytique	32
II.7.2 Le Pouvoir lipolytique	32
II.7.3 Le Pouvoir texturant	32
II.7.4 Potentiel aromatisant	32

CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSIONS

III Résultats et discussions	35
III.1 Résultats de la purification des souches	35
III.1.2 Examen macroscopique.....	35
III.1.3 Résultats de l'examen microscopique	36
III.2 Résultats des aptitudes technologiques des bactéries lactiques	36
III.2.1 Résultats du pouvoir protéolytique.....	36
III.2.2 Résultats du pouvoir lipolytique.....	38
III.2.3 Pouvoir aromatisant.....	39
III.2.4 Pouvoir texturant.....	41
1 Conclusion	45
2 Liste des Références	47
3 Annexe	53

RESUME

INTRODUCTION

INTRODUCTION

Les bactéries lactiques sont très répandues dans la nature et sont considérées comme un groupe de micro-organismes technologiquement fondamental (**Abhyankar et al., 2022**). Leur activité métabolique, en particulier la production d'acide lactique, est essentielle dans la fabrication d'aliments fermentés. De plus, ces bactéries sont réputées pour leur capacité à coaguler et acidifier le lait, leur pouvoir protéolytique, leur activité aromatisante, leur production de polysaccharides, leur activité antimicrobienne et leur statut GRAS (Generally Recognized As Safe) (**Abhyankar et al., 2022**).

L'utilisation des bactéries lactiques dans l'industrie alimentaire a suscité un intérêt croissant, et de nombreuses recherches ont été menées pour mieux comprendre leurs propriétés et exploiter leur potentiel (**Dahou et al., 2021 ; Benamara et al., 2016 ; Patil et al., 2015**). Ces études approfondies ont permis de sélectionner les souches les plus adaptées afin d'améliorer la productivité, la qualité et la sécurité des produits alimentaires fermentés.

Les bactéries lactiques présentent un large éventail d'aptitudes technologiques, ce qui en fait des acteurs clés dans l'industrie alimentaire. Leur capacité à sécréter des exopolysaccharides, par exemple, contribue à la viscosité, à la texture et à la stabilité des produits alimentaires fermentés (**Abhyankar et al., 2022**). De plus, leur pouvoir protéolytique leur permet de dégrader les protéines, ce qui est bénéfique pour la production de certains produits fermentés. Le pouvoir lipolytique des bactéries lactiques est également important, car il contribue à la texture et à la saveur des produits alimentaires. Par ailleurs, leur activité aromatisante est recherchée pour améliorer la qualité sensorielle des aliments fermentés.

Il est également crucial de noter que les bactéries lactiques sont généralement considérées comme sûres pour la consommation humaine et sont classées comme GRAS (**Abhyankar et al., 2022**). Cette classification assure qu'elles ne présentent pas de risques connus pour la santé lorsqu'elles sont utilisées conformément aux bonnes pratiques.

Dans cette étude, nous avons fixé comme objectif d'évaluer les aptitudes technologiques de certaines bactéries lactiques appartenant aux genres *Lactobacillus*, isolées à partir de trois produits artisanaux spécifiques : « L'ben », « Jben » et « Zebda ». Nous examinerons notamment leur pouvoir de sécrétion d'exopolysaccharides, leur pouvoir protéolytique, leur pouvoir lipolytique et leur pouvoir aromatisant. Les résultats de cette évaluation approfondie fourniront des informations précieuses pour le développement de produits alimentaires fermentés innovants et sains, en exploitant les aptitudes technologiques

INTRODUCTION

spécifiques des bactéries lactiques étudiées (**Abhyankar et al., 2022 ; Dahou et al., 2021 ; Benamara et al., 2016 ; Patil et al., 2015**).

Chapitre I

GENERALITES

GENERALITES SUR LES BACTERIES LACTIQUES

Les bactéries lactiques sont des microorganismes omniprésents microscopique qui se trouvent dans divers habitats riches en nutriments tels que le lait, la viande, les boissons et les céréales, entre autres. Leur adaptabilité élevée leur permet d'exister dans une variété de niches écologiques, y compris les plantes, la bouche humaine, le tractus gastro-intestinal, les régions génito-urinaires et chez les animaux

Le terme "bactéries lactiques" fait référence à un groupe de bactéries, notamment des cellules procaryotes sous forme de bacilles, cocci ou coccobacilles, appartenant à l'ordre "Lactobacillales" de la classe des "bacilles" du phylum "Firmicutes". Ce groupe comprend six familles, chacune comprenant différents genres (Tableau 1). Les bactéries lactiques sont caractérisées par leur Gram positif, leur absence de sporulation, leur préférence pour des conditions microaérophiles ou anaérobies, leur réaction négative à la catalase (certaines peuvent présenter une pseudo catalase), leur immobilité pour la plupart, leur absence de réductase des nitrates ou d'oxydase des cytochromes, et une teneur en guanine-cytosine (G+C) inférieure à 50%. Elles sont considérées comme des organismes alimentaires de qualité, bénéfiques pour la santé, et sont souvent classées comme "GRAS" (Generally Recognized as Safe), ce qui signifie qu'elles peuvent être consommées en toute sécurité (Papadimitriou et al., 2016).

Les bactéries lactiques sont des microorganismes qui ont des exigences nutritionnelles complexes pour leur croissance optimale. Leur développement nécessite des nutriments variés tels que des minéraux, des glucides fermentescibles, des vitamines, des acides aminés et des acides gras. Ces bactéries jouent un rôle essentiel dans la production d'aliments fermentés, notamment dans l'industrie laitière. Elles possèdent la capacité unique de fermenter les sucres, ce qui leur permet de produire d'importantes quantités d'acide lactique. (Mokoena, 2017).

Les bactéries lactiques ont la capacité de produire de l'ATP par le biais de deux voies métaboliques distinctes. La voie Embden-Meyerhof est utilisée par certains genres tels que *Lactococcus*, *Pediococcus*, *Streptococcus* et certains *Lactobacillus*. Dans cette voie, plus de 85% de l'acide lactique est produit par fermentation du glucose, ce qui permet la production de deux moles d'ATP par molécule de glucose. On qualifie cette fermentation d'homoférentaire. D'autres genres tels que *Weisella*, *Leuconostoc* et certains *Lactobacillus* utilisent la voie des pentoses-phosphates. Cette voie métabolique conduit à une fermentation

hétérolactique, où seulement 50% de l'acide lactique est produit. Ces bactéries fermentent une mole de glucose pour une mole d'ATP, et les produits de fermentation comprennent de manière équimolaire de l'acide lactique, de l'éthanol et du CO₂. Ainsi, les bactéries lactiques peuvent synthétiser de l'ATP à travers ces différentes voies métaboliques, en produisant de l'acide lactique selon des proportions variables en fonction du genre et de la voie métabolique utilisée (Liu *et al.*, 2014 ; Sauer *et al.*, 2017).

Tableau n°1. Présentation des familles et des genres des bactéries lactiques.

1-Famille des <i>Aerococcaceae</i>		6- Famille des <i>Carnobacteriaceae</i>	
Genres	Nombre d'espèces	Genres	Nombre d'espèces
<i>Abiotrophia</i>	01	<i>Alkalibacterium</i>	09
<i>Aerococcus</i>	07	<i>Allofustis</i>	01
<i>Ignavigranum</i>	01	<i>Alloiococcus</i>	01
<i>Dolosicoccus</i>	01	<i>Atopobacter</i>	01
<i>Globicatella</i>	02	<i>Atopococcus</i>	01
<i>Facklamia</i>	06	<i>Atopostipes</i>	01
<i>Eremococcus</i>	01	<i>Bavariococcus</i>	01
2-Famille des <i>Enterococcaceae</i>		<i>Carnobacterium</i>	10
<i>Enterococcus</i>	43	<i>Desemzia</i>	01
<i>Melissococcus</i>	01	<i>Dolosigranulum</i>	01
<i>Vagococcus</i>	08	<i>Granulicatella</i>	03
<i>Tetragenococcus</i>	05	<i>Isobaculum</i>	01
<i>Pilibacter</i>	01	<i>Lactigenium</i>	01
3- Famille des <i>Lactobacillaceae</i>		<i>Marinilactibacillus</i>	02
<i>Lactobacillus</i>	169	<i>Trichococcus</i>	05
<i>Paralactobacillus</i>	01	Autres bactéries lactiques	
<i>Pediococcus</i>	11	<i>Bifidobacterium</i>	41
4- Famille des <i>Leuconostocaceae</i>			
<i>Fructobacillus</i>	05		
<i>Leuconostoc</i>	13		
<i>Oenococcus</i>	02		
<i>Weissella</i>	15		
5- Famille des <i>Streptococcaceae</i>			
<i>Lactococcus</i>	07		
<i>Lactovum</i>	01		
<i>Streptococcus</i>	27		

I.1. Classification :

La classification des bactéries lactiques en différents genres est largement basée sur la morphologie, le mode de fermentation du glucose, la croissance à différentes températures, la configuration de l'acide lactique produit et la tolérance à des concentrations élevées de sel et d'acides ou de bases. Des marqueurs chimiotaxonomiques tels que la composition en acides gras et les composants de la paroi cellulaire sont également utilisés pour la classification (Axelsson, 2004).

L'identification des espèces de LAB fait appel à d'autres caractéristiques phénotypiques et biochimiques : gamme d'hydrates de carbone fermentés, hydrolyse de l'arginine, production d'acétoïne (test de Voges-Proskauer), tolérance aux sels biliaires, type d'hémolyse, production de polysaccharides extracellulaires, besoins en facteurs de croissance, présence de certaines enzymes (p. ex. bêta-galactosidase et bêta-glucuronidase), caractéristiques de croissance dans le lait et typage sérologique (Axelsson, 2004).

Les bactéries lactiques sont classées dans l'embranchement des Firmicutes, classe des Bacilles, ordre des Lactobacillales: Bacilles, ordre des Lactobacillales, qui comprend 6 familles: Streptococcaceae, Enterococcaceae, Carnobacteriaceae, Lactobacillaceae, Leuconostocaceae et Aerococcaceae. Ces familles contiennent 38 genres, dont 10 sont considérés comme les plus associés à l'alimentation : *Lactobacillus*, *Lactococcus*, *Streptococcus*, *Enterococcus*, *Pediococcus*, *Leuconostoc*, *Oenococcus*, *Tetragenococcus*, *Carnobacterium* et *Weissella* (Vandamme et al., 2014 Papadimitriou et al., 2016).

Il existe actuellement plus de 400 espèces de bactéries lactiques, dont plus d'une centaine dans le genre *Lactobacillus*., qui est considéré comme le plus grand genre. (Papadimitriou et al., 2016 ; Mokoena, 2017).

I.2. Facteurs influençant la croissance des bactéries lactiques

I.2.1. Milieu de culture

Les bactéries lactiques LAB sont exigeantes sur le plan nutritionnel. De nombreuses études ont démontré leurs besoins en bases azotées, en vitamines en acides aminés, etc,

essentielles à la croissance, Donc La croissance de ces bactéries nécessite des milieux de culture riches et complexes (Monnet et al., 2008).

I.2.2. La température

La température a une influence majeure sur le métabolisme des bactéries car elle intervient dans la catalyse de nombreuses enzymes. Les LB comprend des espèces mésophiles avec une température optimale de croissance proche de 30°C et des espèces thermophiles avec une température optimale proche de 42°C. Le genre *Lactobacillus* comprend à la fois des espèces mésophiles (*Lactobacillus rhamnosus*, *Lactobacillus casei*, *Lactobacillus plantarum*,) et des espèces thermophiles (*Lactobacillus delbrueckii*, *Lactobacillus helveticus*...) (Monnet et al., 2008). La température optimale de croissance est généralement Au-dessous de la température de production optimale d'acide lactique (Béal et al., 1989).

Les valeurs de température optimale de croissance des principaux genres des BL sont présentées dans le tableau n°2.

Tableau n°2. Les valeurs de température optimale de croissance des principaux genres des BL

Genres ou espèces	Température optimale
<i>Carnobacterium</i>	22- 30 °C
<i>Leuconostoc</i>	18-30 °C
<i>Vagococcus</i>	25-30°C
<i>Lactococcus</i>	27-32 °C
<i>Pediococcus</i>	25-40 °C
<i>Lactobacillus</i> (mésophiles)	30-35 °C
<i>Enterococcus</i>	30-40 °C
<i>Streptococcus thermophilus</i>	42-43 °C
<i>Lactobacillus</i> (thermophiles)	40-45 °C

I.2.3. Le pH

Le pH du milieu affecte fortement la croissance de BL. Même de petits changements d'un dixième d'unité de pH à l'intérieur des LB peuvent avoir des effets majeurs sur leurs activités métaboliques, y compris le transport des nutriments, la synthèse des protéines, la glycolyse et la synthèse des acides nucléiques. La capacité des BL à réguler le pH intracellulaire est un facteur physiologique important, car au cours de leur culture, elles acidifient le milieu, entraînant une diminution de leur vitesse de croissance jusqu'à son arrêt complet, en particulier pour celles qui ne peuvent pas maintenir un pH proche de la neutralité

(Canteri, 1997). Cependant, pour les souches non protéolytiques (*Leuconostoc*, lactocoque ayant moins de protéines), l'arrêt de la croissance est souvent dû à un manque de nutriments azotés (Monnet et al., 2008).

Le contrôle du pH pendant la culture a deux objectifs principaux. Premièrement, il vise à maintenir le pH intracellulaire à une valeur supérieure à la valeur critique de la bactérie, assurant ainsi sa stabilité et son fonctionnement optimal. Deuxièmement, il permet de maintenir l'acide lactique excrété par la cellule sous une forme dissociée, limitant ainsi l'inhibition causée par sa forme non dissociée. En résumé, le contrôle du pH pendant la culture est essentiel pour maintenir le bon fonctionnement de la bactérie en stabilisant son pH interne et en minimisant l'effet inhibiteur de l'acide lactique non dissocié (Prigent, 1999 ;Béal et al, 2008).

Tableau n°3. pH optimal de croissance des bactéries lactiques et probiotiques (Béal et al., 2008).

Espèces bactériennes	pH optimal
<i>Lb acidophilus</i>	5,0 – 5,5
<i>Lb bulgaricus</i>	5,5 – 6 ,0
<i>Lb casei</i>	4,8 – 5,2
<i>Lb curvatus</i>	5.5
<i>Lb helveticus</i>	5.5
<i>Lb plantarum</i>	5,6 – 6,2
<i>Lb cremoris</i>	6,0 – 6,9
<i>Lb Lactis</i>	6,0 – 6,8
le mesenteroides	5.5
St thermophilus	6.5

I.2.4. Le potentiel redox

Les bactéries lactiques sont des microorganismes microaérophiles qui ont une tolérance limitée à l'oxygène. La présence d'oxygène et de ses dérivés tels que le peroxyde d'hydrogène et les radicaux O₂ entraîne un ralentissement ou une inhibition de la croissance en causant des dommages aux enzymes, aux lipides membranaires et à l'ADN (Piard et Desmazeaud, 1991).

L'ajout de composés tels que la catalase ou l'extrait de levure, qui ont la capacité de dégrader le peroxyde d'hydrogène, est souvent bénéfique pour améliorer la tolérance des bactéries lactiques à l'oxygène (**Monnet et al. 2008**).

Des études menées par Dave et Shah (1997) ainsi que Shah (2000) ont démontré que l'ajout d'acide ascorbique ou de cystéine réduit la quantité d'oxygène présente dans les milieux de culture, ce qui favorise la survie ultérieure des bactéries.

I.3. Métabolisme des bactéries lactiques :

I.3.1. La glycolyse

Les bactéries lactiques sont capables de synthétiser leur ATP en utilisant la voie métabolique de la fermentation lactique des glucides. Cependant, elles peuvent être distinguées en deux groupes biochimiques : les homofermentaires et les hétérofermentaires. Les bactéries lactiques homofermentaires produisent deux molécules d'acide lactique (C3) à partir d'une molécule de glucose (C6) consommée. Cela signifie que chaque molécule de glucose est convertie en deux molécules d'acide lactique. En revanche, les bactéries lactiques hétérofermentaires produisent une molécule d'acide lactique à partir du glucose, mais elles génèrent également une autre molécule en C2 (généralement de l'éthanol ou de l'acide acétique) et une molécule d'oxygène. Ainsi, dans ce cas, une partie du glucose est convertie en acide lactique, tandis qu'une autre partie est métabolisée en une molécule différente et de l'oxygène est libéré. La différence entre ces deux groupes peut être détectée par le dégagement de dioxyde de carbone (CO₂) lors de la fermentation. Les bactéries lactiques homofermentaires produisent peu ou pas de CO₂ lors de leur métabolisme, tandis que les bactéries lactiques hétérofermentaires libèrent du CO₂ en plus de l'acide lactique, de l'éthanol ou de l'acide acétique (**Bourgeois et al.,1996**).

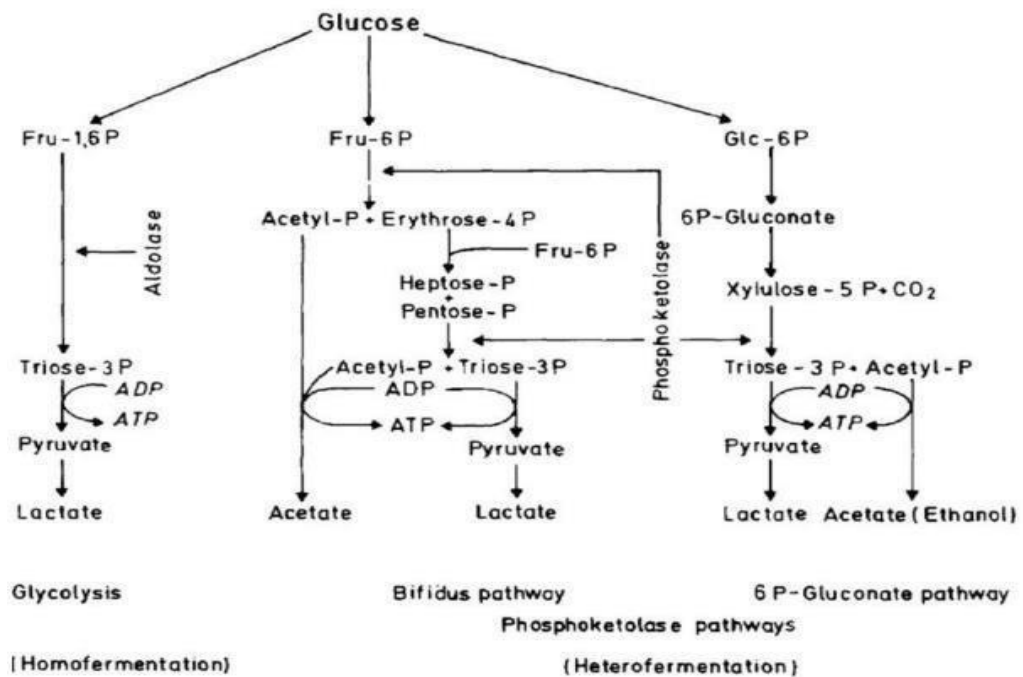


Figure 1. Principales voies assurant le transport et le métabolisme du glucose par les bactéries lactiques (Kandler, 1983).

I.3.2. La lipolyse

Les lipases bactériennes jouent un rôle important dans la production d'acides gras à longues chaînes à partir des mono- et diglycérides. Elles catalysent la réaction d'hydrolyse des lipides, libérant ainsi les acides gras à partir de leur structure glycéride. Cela conduit à la formation d'acides gras à longues chaînes. Parallèlement, les estérases bactériennes sont responsables de la libération des acides gras volatils à partir de leurs esters. Les estérases catalysent la réaction d'hydrolyse des esters d'acides gras, libérant ainsi les acides gras correspondants. Pendant l'affinage des fromages à pâte pressée cuite, la concentration d'acides gras augmente. Ces acides gras contribuent en partie à la saveur caractéristique de ces fromages. De plus, ils peuvent agir comme précurseurs pour la formation d'autres composés aromatiques tels que les méthylcétones, les alcools, les lactones et les esters. Ces composés contribuent à la complexité aromatique et à la flaveur spécifique des fromages à pâte pressée cuite (Siegumfeldt et al., 2000).

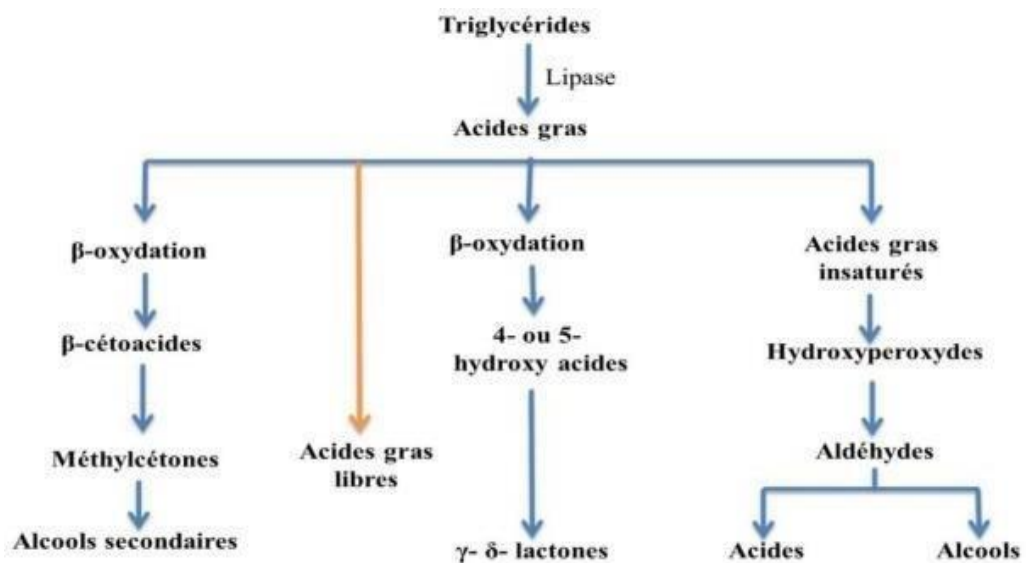


Figure 2. Principales voies de la lipolyse (Siegumfeldt et al. 2000).

I.3.3. La protéolyse

Les bactéries lactiques sont incapables de synthétiser les acides aminés nécessaires à leur propre synthèse protéique. Par conséquent, lorsque les protéines constituent la principale source d'azote dans leur environnement, elles doivent avoir un système protéolytique actif pour dégrader les protéines et obtenir les acides aminés nécessaires. Le système protéolytique des bactéries lactiques est complexe en raison du nombre et de la nature des enzymes impliquées, ainsi que de leur localisation cellulaire spécifique. Les protéases et peptidases sont les principales enzymes impliquées dans la dégradation des protéines. Dans ce système, les protéases associées à la paroi cellulaire jouent un rôle crucial. Elles sont localisées à la surface des cellules lactiques et catalysent l'hydrolyse des protéines en peptides plus petits. Ces protéases sont capables de cliver les liaisons peptidiques, conduisant ainsi à la formation de peptides contenant généralement de 7 à 16 résidus d'acides aminés. Ces peptides résultants de la digestion protéolytique sont ensuite transportés à l'intérieur de la cellule bactérienne, où ils peuvent être utilisés comme source d'azote pour la synthèse protéique (Law et Haandrikman, 1997).

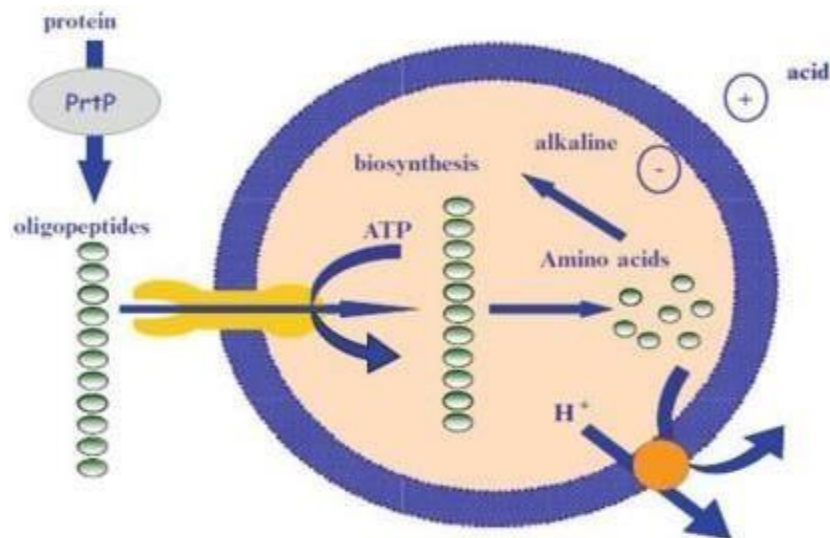


Figure 3. Système protéolytique des bactéries lactiques (Kunji *et al.* 1996).

I.4. Principales voies fermentaires des bactéries lactiques :

Pour assurer leur croissance, les bactéries lactiques ont besoin de produire de l'énergie, et elles le font par le biais de la fermentation des substrats carbonés. En tant qu'organismes hétérotrophes, elles utilisent la fermentation pour obtenir de l'énergie à partir de sources externes. Les bactéries lactiques fermentent différents types de glucides en acide lactique. Ces glucides peuvent être des monosaccharides tels que le glucose et le galactose, des pentoses tels que la xylose, le ribose et l'arabinose, des hexitols et pentitols tels que le mannitol, le sorbitol et le xylitol, ou des disaccharides tels que le lactose, le saccharose, la cellobiose et le tréhalose.

La fermentation des sucres par les bactéries lactiques se déroule généralement en trois étapes :

Transport du sucre à travers la membrane cellulaire : Les bactéries lactiques doivent d'abord transporter les sucres présents dans leur environnement à l'intérieur de leurs cellules. Ce processus implique des protéines de transport spécifiques qui facilitent le passage des sucres à travers la membrane cellulaire.

Catabolisme intracellulaire du sucre : Une fois à l'intérieur de la cellule, les sucres sont métabolisés par les voies métaboliques spécifiques des bactéries lactiques. Il existe deux voies métaboliques principales utilisées par les bactéries lactiques : la voie homofermentaire d'Embden-Meyerhof-Parnas (EMP) et la voie hétérofermentaire des pentoses-phosphates. Selon le genre ou l'espèce de bactéries lactiques, l'une de ces voies peut être prédominante.

Formation et expulsion extracellulaire des métabolites terminaux : Lors de la fermentation des sucres, les bactéries lactiques produisent de l'acide lactique en tant que métabolite terminal. Cet acide lactique est ensuite expulsé hors de la cellule, ce qui peut entraîner une acidification de l'environnement. Certaines bactéries lactiques peuvent également produire d'autres métabolites, tels que des composés aromatiques ou du CO₂.

I.5. Besoins nutritionnels des bactéries lactiques :

Les bactéries lactiques ont des difficultés à synthétiser certains composés essentiels à leur croissance, ce qui les rend dépendantes de l'apport externe de ces nutriments. Elles ont besoin de sources d'azote pour la synthèse des acides aminés et des protéines. Les sources d'azote couramment utilisées par les bactéries lactiques comprennent les peptides, les acides aminés et les composés azotés organiques présents dans le milieu de culture (**Desmazeaud, 1983**).

I.5.1. Exigences en acides aminés

Contrairement à certaines autres bactéries, les bactéries lactiques ne peuvent pas produire tous les acides aminés essentiels dont elles ont besoin pour leur métabolisme et leur croissance. Elles doivent donc obtenir ces acides aminés à partir de sources externes, en les incorporant directement dans leur milieu de culture ou en les recevant de leur environnement. (Desmazeaud, 1992). Les exigences nutritionnelles des bactéries lactiques ont été établies en étudiant leur capacité à croître dans un milieu chimiquement défini (MCD).

En utilisant un MCD, il est possible de contrôler précisément les nutriments fournis aux bactéries lactiques et d'étudier leur effet sur leur croissance. Cela permet de déterminer les composés spécifiques dont les bactéries lactiques ont besoin pour leur métabolisme et leur prolifération.

Les besoins en acides aminés des bactéries lactiques peuvent varier d'une souche à une autre. Une espèce couramment utilisée, *Streptococcus thermophilus*, est généralement considérée comme l'une des moins exigeantes en termes d'acides aminés, nécessitant au maximum six acides aminés pour sa croissance.

En revanche, les lactobacilles, qui constituent un genre important de bactéries lactiques, sont souvent auxotrophes pour un grand nombre d'acides aminés. Cela signifie qu'ils sont incapables de synthétiser ces acides aminés par eux-mêmes et doivent les obtenir à partir de sources externes pour soutenir leur croissance et leur métabolisme (**Monnet et al., 2008**).

Tableau n°4. Besoins en acides aminés des lactobacilles (Monnet et al., 2008).

Lactobacille homofermentaire	<i>Lb. acidophilus</i>		<i>Lb. delbrueckii</i>			<i>Lb. helveticus</i>			<i>Lb. hétérofermentaire obligatoire</i>		
	NCTC1899	ATCC 11506	NCDO 213	SSP <i>bulgaricus</i> CNRZ 397	SSP <i>bulgaricus</i> NCFB 2772	CRL 1062	CRL 974 ATCC 15009	CNRZ 32	<i>L.brevis</i> NCTC 8107	<i>L.buchneri</i> NCDO110	<i>L.fermentum</i> ATCC 9338
L. Acid aspartique	ND	+	ND	-	S	-	-	ND	ND	ND	-
L. Acid glutamique	+	+	+	+	S	+	+	ND	+	+	+
DL/L-Alanine	-	S		+	+		S	ND	-	-	-
L-Arginine	S	+	+	+	+	+	+	ND	+	-	+
L-Asparagine	S	-	+	-	S/+	-	-	ND	-	-	-
L-Cystéine	-	+	+	-	+	-	S	ND	-	+	-
L-Glutamine	-	-	-	-	S	-	-	ND	-	-	-
Glycine	-	S	+	-	S	-	S	ND	-	-	-
L-Histidine	-	+	+	+	+	+	+	ND	S	-	S
L-Isoleucine	S	+	-	+	+	+	+	+	+	S	+
L-Leucine	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
L-Lysine	-	S	-	-	+		+	ND	-	-	-
L-Méthionine	-	+	+	+	+	+	+	+	S	-	+
L-Phénylalanine	-	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+
L-Proline	-	+	-	+	+	+	+	+	-	-	-
L-Sérine	-	+	-	+	+	+	S	ND	-	-	-
L-Thréonine	-	+	-	-	S/+	+	+	+	-	-	-
L-Tryptophane	S	+	+	+	+	+	+	ND	+	-	+
L-Tyrosine	S	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+
L-Valine	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Auxotrophie totale	3	15	11	13	16	13	13	14*	8	5	9

+ : essentiel

- : non essentiel

ND : non déterminé

S : effet stimulant

*** : détermination incomplète**

I.5.2. Exigences en vitamines

Les bactéries lactiques sont incapables de synthétiser certaines vitamines essentielles à leur croissance. Elles dépendent donc de l'apport de ces vitamines par le milieu de culture dans lequel elles sont cultivées. Les exigences en vitamines peuvent varier considérablement, même au sein d'une même espèce de bactéries lactiques.

On distingue généralement trois catégories de vitamines en termes d'exigences pour la croissance des bactéries lactiques : les vitamines essentielles, les vitamines stimulantes et les vitamines ayant peu d'effet sur la croissance.

Tableau n°5. Correspondance entre certaines vitamines, coenzymes, et réactions métaboliques chez les bactéries lactiques (**Monnet *et al.*, 2008**).

Vitamine	Coenzyme	Réaction faisant intervenir le coenzyme
Thiamine (vitamine B1)	Thiamine pyrophosphate (TPP)	Décarboxylation, transfert de groupements carbonés
Riboflavine (vitamine B2)	Flavine mononucléotide (FMN) et flavine adénine dinucléotide (FAD)	Oxydoréductions
Niacine (vitamine B3 ou PP)	Nicotinamide adénine dinucléotide (NAD) et nicotinamide adénine dinucléotide phosphate (NADP)	Oxydoréductions
Acide pantothénique (vitamine B5)	Coenzyme A (CoA)	Transfert de groupements carbonés
Pyridoxine (vitamine B6)	Pyridoxal phosphate (PLP)	Transamination, désamination et décarboxylation d'acides aminés
Biotine (vitamine B8 ou H)	Biotine	Carboxylations
Acide folique (vitamine B9)	Acide tétrahydrofolique (THF)	Transfert de groupements monocarbonés
Cobalamine (vitamine B12)	Coenzyme B12	Réactions de réarrangements moléculaires

I.5.3. Exigences en bases azotés

Les bases azotées peuvent être stimulantes pour la croissance des bactéries lactiques en raison de l'absence d'enzymes impliquées dans le métabolisme des pyrimidines et des

purines (Monnet et al., 2008). Dans le cas des streptocoques thermophiles, leur exigence en bases azotées est absolue, notamment pour l'adénine, la guanine, l'uracile et la xanthine. Pour les lactobacilles, les exigences en bases azotées peuvent varier considérablement selon les souches. En général, les lactobacilles exigent la présence d'adénine, de cytidine, de désoxyguanosine, de guanine, de thymidine et d'uracile.

Il convient de noter que chez les lactobacilles, les exigences en bases azotées sont très variables d'une souche à une autre. Chez certaines souches, l'ajout de ces bases peut même entraîner des phénomènes d'inhibition de la croissance (Desmazeaud, 1992).

I.5.4. Influence des cations

Les bactéries lactiques ont un besoin remarquable en ions minéraux. Ces éléments jouent un rôle essentiel dans leur croissance et leurs activités enzymatiques (Foucaud et al., 1997). Certaines espèces, comme *Leuconostoc mesenteroides*, nécessitent la présence d'ions minéraux pour pouvoir se développer, ce qui indique une exigence absolue pour ces éléments. Parmi les ions minéraux, le magnésium est particulièrement important, car il est le principal cation divalent dans les cellules vivantes. Il agit comme activateur de nombreuses réactions métaboliques et est essentiel pour la croissance de certaines espèces de lactobacilles (Desmazeaud, 1992).

Le manganèse est également essentiel pour la croissance de certaines souches lactiques, en plus de son rôle de cofacteur enzymatique. Il permet à certaines espèces de mieux tolérer l'oxygène en éliminant les ions superoxydes. Le potassium, quant à lui, est un cofacteur de nombreuses enzymes et joue un rôle dans la synthèse des protéines et la régulation du pH intracellulaire (Monnet et al., 2008).

Les exigences en ions minéraux peuvent varier d'une espèce à l'autre. Par exemple, le magnésium (Mg^{2+}), le manganèse (Mn^{2+}), le sodium (Na^+), le potassium (K^+) et le chlore (Cl^-) ont été identifiés comme des composants essentiels dans le milieu de culture de *Lactobacillus plantarum* (Wegkamp et al., 2010). D'autre part, le zinc (Zn^{2+}), le fer (Fe^{2+}) et le magnésium (Mg^{2+}) ont un effet significatif sur la croissance de *Lactococcus lactis* (Zhang et al., 2009).

I.6. Rôle technologique

Les bactéries lactiques fermentent les aliments en convertissant les glucides en acides organiques, notamment en acide lactique, et en dioxyde de carbone dans des

conditions d'anaérobiose. Elles utilisent des intermédiaires organiques comme donneurs et accepteurs d'électrons dans ce processus (Von Wright et Axelsson, 2011). Dans l'industrie alimentaire, ces bactéries sont utilisées pour améliorer l'arôme, la texture et la saveur des produits fermentés. Elles produisent divers composants tels que les exopolysaccharides, l'acétate, l'éthanol, le diacétyl et l'acétaldéhyde (Badel et al., 2011).

Les bactéries lactiques acidifient les aliments, ce qui leur confère un goût acidulé d'acide lactique. Elles peuvent également avoir des activités protéolytiques et lipolytiques, ce qui entraîne la dégradation des protéines et des lipides présents dans les aliments. En conséquence, elles produisent des composés aromatiques à partir des acides aminés (van Kranenburg et al., 2002). De plus, les polysaccharides produits par ces bactéries contribuent à augmenter la viscosité et la fermeté des produits alimentaires fermentés, améliorant ainsi leur texture et réduisant la séparation de liquide (synérèse) (Leroy et De Vuyst, 2004).

Tableau n°6. Caractéristiques des principaux genres des bactéries lactiques (Von Wrighe et Axelsson, 2012).

Famille	genre	forme	CO2 à partir du glucose	Cr oissance à 10°	Croissance à 45°	Croissance à 6,5 % Nacl	Croissance à 18 % NaCl	Croissance à pH 4,4	Croissance à pH 9,6	Acide lactique
<i>Aerococcaceae</i>	<i>Aerococcus</i>	cocci	-	+	-	+	-	-	+	L
<i>Carnobactereaceae</i>	<i>Carnobacterium</i>	bâtonnet	-	+	-	ND	-	ND	-	L
<i>Enterococaceae</i>	<i>Enterococcus</i>	cocci	-	+	+	+	-	+	+	L
	<i>Tetragenococcus</i>	cocci		+	-	+	+	V	+	
	<i>Vagococcus</i>	cocci		+	-	-	-		-	
<i>Lactobacillaceae</i>	<i>lactobacillus</i>	bâtonnet	V	V	V	V	-	V	-	D,L,D L
	<i>Pediococcus</i>	cocci	-	V	V	V	-	+		L,DL
<i>Leuconostocaceae</i>	<i>Leuconostoc</i>	cocci	+	+	-	V	-	V	-	D
	<i>Oenococcus</i>		+	+	-	V	-	V	-	D
	<i>Weissella</i>		+	+	-	V	-	V	-	D,DL
<i>Streptococaceae</i>	<i>Lactococcus</i>	cocci	-	+	-	-	-	V	-	L
	<i>Streptococcus</i>		-	-	V	-	-	-	-	L

I.6.1. Applications des probiotiques

En raison de leurs propriétés nutritionnelles et thérapeutiques, les probiotiques sont souvent utilisés comme compléments dans des produits tels que les yaourts ou sous forme de gélules dans des préparations pharmaceutiques. Certaines souches bactériennes ont démontré leurs bienfaits pour la santé humaine et sont déjà commercialisées par des entreprises comme Danone, notamment la souche *Bifidobacterium lactis*.

I.6.1.1. Traitement des diarrhées

Les études ont démontré l'efficacité des souches probiotiques *Lb. acidophilus* et *Lb. casei*, présentes notamment dans le lait fermenté, dans la prévention et le traitement de la diarrhée associée à la prise d'antibiotiques en milieu hospitalier (**Penner et al., 2005**).

I.6.1.2. Traitements gastriques

Des recherches prometteuses sont actuellement en cours pour améliorer les traitements gastro-intestinaux en combinant des probiotiques avec des antibiotiques afin de limiter les infections à *Helicobacter pylori* (*H. pylori*), une bactérie impliquée dans les gastrites et les ulcères gastro-duodénaux. Cependant, l'efficacité de ce traitement reste à démontrer (**Reid et al., 2003**). Les applications des probiotiques se sont considérablement étendues ces dernières années, tant dans le domaine agroalimentaire que médical.

I.7. Les caractères bioindustrielles des bactéries lactiques

Les bactéries lactiques jouent un rôle essentiel dans la fabrication de divers produits alimentaires tels que les produits laitiers (yaourts, fromages, etc.), les produits carnés et les produits végétaux. Elles offrent également des avantages en termes de conservation de ces denrées alimentaires. Ces bactéries lactiques possèdent plusieurs propriétés bénéfiques et pouvoirs, qui les rendent précieuses dans l'industrie alimentaire.

I.8. Aptitudes technologiques des bactéries lactiques

I.8.1. Activité protéolytique

La protéolyse est une caractéristique physiologique spécifique des bactéries lactiques qui a fait l'objet de recherches approfondies. Elle joue un rôle essentiel lors de la maturation des fromages affinés. Les bactéries lactiques ont un besoin important en acides aminés libres pour leur croissance. Par exemple, *Lactococcus* présente une forte exigence en acide glutamique, glycine, leucine, isoleucine, histidine, méthionine et valine (**Gómez de Cadiñanos et al., 2019**).

En raison de la faible concentration d'acides aminés libres présents dans le lait, les bactéries lactiques ont recours à l'utilisation de peptides pour obtenir les acides aminés nécessaires à leur croissance. Ces bactéries possèdent un système protéolytique complexe comprenant des protéinases, des peptidases et des protéines spécifiques. Les polypeptides résultent de la coagulation du lait et des protéines de la paroi cellulaire bactérienne. Les protéinases sont des enzymes responsables de la coagulation du lait et de la dégradation de

la caséine, ce qui entraîne la formation de peptides. Ces peptides sont ensuite transportés à l'intérieur des cellules bactériennes. À l'intérieur des cellules, les peptidases décomposent ces peptides en peptides plus petits et en acides aminés. Ainsi, les bactéries lactiques utilisent un processus de dégradation des protéines pour obtenir des peptides et des acides aminés nécessaires à leur métabolisme et à leur croissance (Savijoki et al., 2006). Les aliments fermentés préparés à l'aide de levains lactiques riches en protéases peuvent constituer une excellente source d'acides aminés essentiels indispensables à la survie humaine (Akabanda et al., 2013).

Lors de la fermentation du lait, l'activité protéolytique des bactéries lactiques peut entraîner des modifications bénéfiques sur les propriétés nutritionnelles du lait, grâce à leur potentiel enzymatique. En effet, certaines espèces de bactéries lactiques sont capables de libérer des acides aminés libres au cours de la fermentation, ce qui contribue non seulement à la modification bénéfique des propriétés nutritionnelles du lait, mais également à l'apport de saveur caractéristique au produit final (Rodríguez-Serrano et al., 2018). Selon une étude réalisée par Rodríguez-Serrano et al. (2018), il a été observé que l'espèce *Streptococcus thermophilus* a la capacité de libérer des acides aminés aromatiques ou des peptides contenant des acides aminés aromatiques.

Dans une recherche menée par Pessione et Cirrincione (2016), il a été observé que la fermentation du lait par les espèces *Streptococcus thermophilus* et *Lactobacillus bulgaricus* enrichit le produit final en quatre acides aminés spécifiques : la cystéine, la valine, la proline et l'arginine. Les bactéries lactiques (BL) présentent une grande diversité d'activité protéolytique. Les lactobacilles montrent une activité protéolytique supérieure aux streptocoques lactiques. Parmi les espèces les plus actives sur le plan protéolytique, on retrouve *Lactococcus salivarius*, *Lactococcus lactis subsp lactis et cremoris*, *Lactobacillus casei*, *Lactobacillus bulgaricus*, *Lactobacillus helveticus*, *Lactobacillus acidophilus* et *Lactiplantibacillus plantarum*. Les enzymes protéolytiques sont largement utilisées et les applications potentielles de ces enzymes dans différentes industries, y compris l'industrie alimentaire, sont également étudiée (Fig n°1). Les enzymes protéolytiques sont généralement classées en deux catégories : les exopeptidases et les endopeptidases (ou protéases). Les exopeptidases clivent les liaisons peptidiques près de l'extrémité amino ou carboxyle du substrat, tandis que les endopeptidases clivent les liaisons peptidiques à l'intérieur des substrats. L'activité de ces enzymes varie d'une espèce à l'autre et repose sur

des mécanismes chimiques spécifiques pour catalyser l'hydrolyse des liaisons amides dans les substrats peptidiques.

Différents groupes d'exopeptidases sont identifiés, notamment :

- Les aminopeptidases, les dipeptidyl peptidases et les tripeptidyl peptidases clivent un, deux ou trois résidus d'acides aminés de l'extrémité N-terminale.
- Les enzymes qui éliminent les acides aminés terminaux des tripeptides.
- Les carboxypeptidases, notamment les métallo-carboxypeptidases, qui enlèvent un résidu d'acide aminé de l'extrémité C-terminale.
- Les dipeptidases qui hydrolysent la liaison peptidique des dipeptides.
- Les peptidyl dipeptidases qui éliminent deux résidus de l'extrémité C-terminale.
- Les oméga-peptidases qui éliminent les résidus terminaux ne présentant pas de liaison libre du groupe amino ou carboxyle (**Kieliszek et al., 2021**).

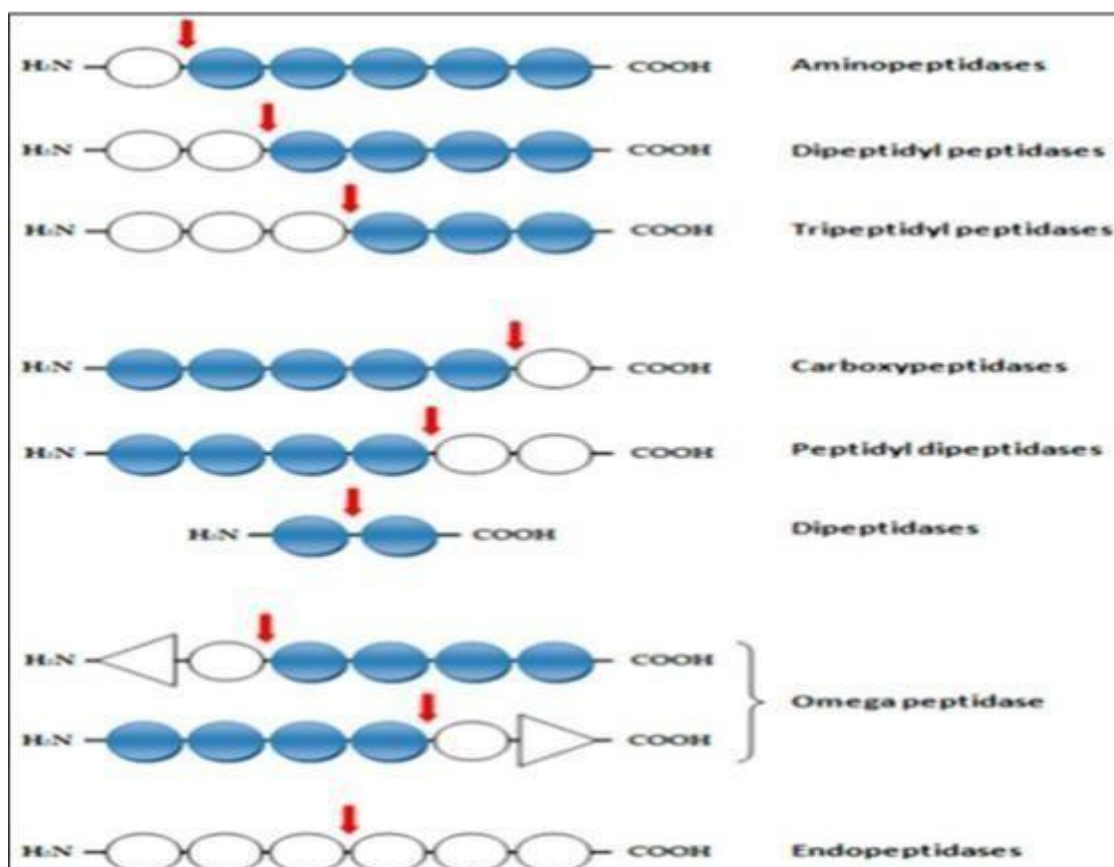






Figure 4. Les enzymes protéolytiques des bactéries lactiques et leurs actions (**Kieliszek et al., 2021**).

-  : Indiquent le site d'action de l'enzyme.
-  : Indiquent les extrémités bloquées de la chaîne polypeptidique.
-  : Les résidus d'acides aminés de la chaîne polypeptidique.
-  : Les acides aminés terminaux.

Les bactéries lactiques ne sont pas capables de produire tous les acides aminés nécessaires à la synthèse des protéines. Par conséquent, lorsque les protéines sont la principale source d'azote dans leur environnement, ces bactéries doivent activer leurs systèmes protéolytiques pour dégrader les protéines et obtenir les acides aminés dont elles ont besoin. Les systèmes protéolytiques des bactéries lactiques sont complexes en raison de la diversité des protéases et des peptidases qu'ils contiennent, ainsi que de leur répartition à l'intérieur de la cellule. En d'autres termes, les bactéries lactiques doivent utiliser des enzymes spécifiques appelées protéases et peptidases pour dégrader les protéines en peptides plus petits et en acides aminés. Ces enzymes sont présentes en différentes variétés et en différents endroits à l'intérieur de la cellule bactérienne. Cette diversité de protéases et de peptidases ainsi que leur localisation intracellulaire permettent aux bactéries lactiques de décomposer efficacement les protéines en acides aminés et de les utiliser comme source d'azote pour la synthèse des protéines (**Law et Haandrikman, 1997**).

I.8.2. Activité lipolytique

La lipolyse, le processus d'hydrolyse de la matière grasse du lait, joue un rôle crucial dans le développement de la saveur dans une gamme de produits alimentaires. Acide gras libre (GLA) et les esters dérivés de GLA sont des composés aromatiques importants dans le fromage. Les bactéries lactiques sont largement utilisées comme ferments lactiques dans la fabrication du fromage en raison de leur activité lipolytique, qui est nécessaire pour faciliter la fermentation et produire des intermédiaires tels que les acides gras libres, le glycérol et les mono- et diglycérides par l'hydrolyse du corps des triglycérides pour produire la saveur finale (**Blaya et al., 2018**).

En général, le système de lipolyse de BL est plus d'autres micro-organismes lipolytiques, mais bien que le système soit plus faible, certaines bactéries lactiques peuvent posséder des enzymes intracellulaires capables d'hydrolyser la matière grasse du lait, Tels que l'estérase et la lipase. Par exemple, la matière grasse naturelle du lait est principalement

composée de triglycérides émulsifiés, qui ne peuvent être hydrolysés que par la lipase. Cependant, les monoglycérides et les diglycérides produits par l'hydrolyse des triglycérides peuvent être hydrolysés par certaines estérases, également appelées hydrolases d'esters carboxyliques (Les estérases effectuent l'hydrolyse et la synthèse des liaisons ester et peuvent être classées en tant que lipases. L'activité BL estérase a été détectée dans *Streptococcus*, *Lactococcus* et les *Lactobacillus thermophiles* mésophiles (**Thierry et al., 2017**). Comme l'ont rapporté Dortu et Thonart (2009), les lactocoques lors de la fermentation du lait entraînent la libération d'enzymes intracellulaires dans le produit final et le développement d'arômes.

L'incorporation d'une lipase extrinsèque dans les produits fermentés a un effet notable et rapide sur la concentration en acides gras libres, réduisant ainsi la durée nécessaire pour leur maturation. Cependant, l'ajout de lipase n'entraîne pas systématiquement une amélioration du goût de ces produits. Lorsque de la lipase extrinsèque est ajoutée aux produits fermentés, elle agit sur les lipides présents, tels que les triglycérides, pour les décomposer en acides gras libres. Cela entraîne une augmentation significative de la concentration en acides gras libres dans le produit. De plus, la présence d'acides gras libres peut accélérer les réactions chimiques et enzymatiques qui contribuent à la maturation des produits fermentés, réduisant ainsi le temps nécessaire pour atteindre un stade de maturation souhaité (**Zalacian et al., 1996**).

I.8.3. Activité texturante

Dans l'industrie alimentaire, les bactéries lactiques sont largement utilisées pour la production de produits laitiers. Elles jouent un rôle essentiel dans l'amélioration des propriétés rhéologiques et sensorielles de ces produits, notamment grâce à leur capacité à produire des exopolysaccharides (EPS). Les EPS contribuent à la texture des produits laitiers, en particulier du yaourt et du fromage. L'EPS est un agent épaississant et structurant avec Un seul sucre monomère (homopolysaccharides) ou plusieurs types de monomères (hétéropolysaccharides). En règle générale, les bactéries lactiques produisent du EPS comme matrice protectrice pour résister à tous les stress associés au processus de fermentation, tels que le pH, la température et l'osmolarité (**Zeidan et al., 2017**). En fait, le BL générateur d'EPS aide à augmenter la viscosité du lait fermenté et peut limiter l'utilisation de produits chimiques et de stabilisants ajoutés qui sont souvent utilisés pour améliorer la qualité du produit.

Dans la formulation des produits laitiers, de nombreuses souches lactiques sont utilisées, certaines d'entre elles étant capables de produire des EPS (Exopolysaccharides). Le rendement de production d'EPS peut varier en fonction de la souche lactique spécifique et de sa capacité intrinsèque à synthétiser ces composés. En général, la plupart des souches lactiques produisent des quantités d'EPS inférieures à 1 g/L. Cependant, certaines espèces ont la capacité de produire des quantités supérieures à cette valeur (**Prete et al., 2021**).

Tableau n°7. La quantité d'EPS produite par certaines espèces de BL

Espèces	La quantité d'EPS produite(g/L)
<i>Lactobacillus fermentum</i>	0.75-0.85
<i>Lactobacillus brevis</i>	0.35
<i>Lactobacillus plantarum</i>	0.14-0.4
<i>Lactobacillus Lactis</i>	0.2-0.35
<i>Lactobacillus Rhamnosus RW-9595M</i>	2.8
<i>Lactobacillus reuteri</i>	4.3-5

I.8.4. Activité aromatisante

Les bactéries lactiques possèdent la capacité de produire une large gamme de composés aromatiques tels que l'a-acétolactate, l'acétaldéhyde, le diacétyl, l'acétoïne, le 2,3-butanediol, l'éthanol, l'acétate, le formiate, et bien d'autres. Ces composés aromatiques sont principalement synthétisés à partir du lactose, du citrate, des acides aminés et des matières grasses présentes dans les produits laitiers. L'activité aromatisante des bactéries lactiques est particulièrement cruciale dans la production de produits laitiers fermentés tels que les yaourts, les fromages frais, les crèmes et le beurre. Ces produits tirent leur arôme principal de l'activité microbienne des bactéries lactiques présentes lors de leur élaboration. Les composés aromatiques produits par les bactéries lactiques contribuent à la diversité sensorielle des produits laitiers fermentés, ajoutant des notes de saveur et d'arôme distinctes. L'a-acétolactate est souvent converti en acétaldéhyde, qui est un composé responsable d'arômes fruités et floraux. Le diacétyl confère des notes de beurre et de crème. L'acétate

et le formiate peuvent apporter des nuances acides et vineuses. Ces composés aromatiques participent à l'identité gustative et olfactive des produits laitiers fermentés, influençant leur attrait gustatif et leur appréciation par les consommateurs. Ainsi, la capacité des bactéries lactiques à produire des composés aromatiques joue un rôle essentiel dans la qualité sensorielle des produits laitiers, contribuant à leur profil gustatif et aromatique distinctif. C'est pourquoi la maîtrise de cette activité microbienne est un aspect important lors de la fabrication des produits laitiers, permettant de créer des produits avec des caractéristiques sensorielles spécifiques et agréables pour les consommateurs (**Bourgeois et Larpent, 1996 ; Gerrit et al., 2005 ; Cholet, 2006**).

La saveur des produits laitiers fermentés se développe en raison de la dégradation enzymatique qui se produit pendant le processus de fermentation. Outre la lipolyse (dégradation des lipides) et la glycolyse (dégradation des glucides), qui sont responsables des caractéristiques organoleptiques des produits laitiers fermentés, la protéolyse (dégradation des protéines) est également une dégradation enzymatique majeure impliquée dans ce processus. Pendant la fermentation, les enzymes protéolytiques présentes dans les bactéries lactiques dégradent les protéines du lait, libérant ainsi des acides aminés. Cette protéolyse contribue à la formation de composés aromatiques qui donnent leur caractère et leur saveur distinctive aux produits laitiers fermentés. De plus, l'acétaldéhyde, qui est un composé aromatique important dans les produits laitiers fermentés, est synthétisé à partir de deux voies principales : le pyruvate (produit de la glycolyse) et, dans une moindre mesure, la thréonine (un acide aminé). Les bactéries lactiques, y compris les deux types de bactéries présentes dans le yaourt, peuvent synthétiser de l'acétaldéhyde à des concentrations variables à partir de ces sources (**Chen et al., 2017 Farag et al., 2020**).

I.9. Applications industrielles des bactéries lactiques

Les bactéries lactiques possèdent une grande variété d'activités métaboliques et ont la capacité de s'adapter à différents environnements. Cette diversité leur permet d'avoir de nombreuses applications à grande échelle dans l'industrie (**Streit et al., 2007**).

L'industrie alimentaire tire parti de la diversité des activités métaboliques des bactéries lactiques, ce qui leur permet de s'adapter à différents environnements. Cette polyvalence ouvre la voie à de nombreuses applications à grande échelle. En particulier, l'industrie laitière est un secteur majeur qui bénéficie énormément des ferments lactiques commerciaux. Ces microorganismes sont utilisés pour convertir une grande variété de

matières premières et sont essentiels dans la production de produits tels que saucissons, laits fermentés, fromages, beurre, olives fermentées et certains vins. Leur utilisation permet de développer les caractéristiques sensorielles, la conservation et la sécurité alimentaire de ces produits, répondant ainsi aux exigences des consommateurs (**Axelsson, 2004 ;Streit et al., 2007**).

Outre leur utilisation dans l'industrie alimentaire, les bactéries lactiques sont exploitées dans d'autres secteurs industriels. Elles jouent un rôle crucial dans l'industrie chimique en contribuant à la production d'acide lactique. Par ailleurs, dans le domaine médical, elles sont utilisées notamment pour le traitement de troubles intestinaux. De plus, ces microorganismes sont employés dans l'industrie des additifs alimentaires pour la production d'exopolysaccharides. De plus, les bactéries lactiques sont également utilisées pour la production de bactériocines, qui sont des substances antimicrobiennes naturelles, ainsi que pour la production de protéines thérapeutiques (**Rodriguez et al., 2003**).

Chapitre II

Matériel et méthodes

II MATERIELS ET METHODES

II.1 Objectif :

L'objectif de notre étude est de mettre en évidence plusieurs aptitudes technologiques clés, à savoir la capacité de production d'acide lactique, le potentiel protéolytique et lipolytique, ainsi que la production d'acétoïne et d'exopolysaccharides.

II.2 Lieu et durée du travail :

Ce travail a été réalisée au laboratoire de microbiologie n° 03 de la Faculté de Science de la Nature et de la Vie, université Abdelhamid Ibn Badis, durant la période allant du mois de mars 2023 au mois de juin 2023.

II.3 Origine des souches :

Les bactéries lactiques étudiées ont été isolées à partir du trois produits laitiers "Jben, l'ben et zebda". de la région du "Blida, Naama, Médéa et Khenchla" pour étudier leurs aptitudes technologiques qui ont été isolées ,purifiées et identifiées par une technique moléculaire (Spectrométrie de masse MALDI-TOF MS) par Docteur BOUCHIBANE Malika . Les noms et abréviations de ces bactéries sont présentes dans le tableau suivant : (tableau N° :8) (**Bouchibane et al.,2022**)

Table 8. Les noms et abréviations de bactéries lactiques étudiées

Code des souches	Origine	Région	Score d'identification MALDI-TOF MS	Identification
SL101	J'ben	Blida	1,94	<i>Lactobacillus plantarum</i>
SL102			2,18	<i>Lactobacillus plantarum</i>
SL110			2,152	<i>Lactobacillus plantarum</i>
SL111			1,802	<i>Lactobacillus plantarum</i>
SL105			2,012	<i>Lactobacillus plantarum</i>

SL106		Naàma	2,189	<i>Lactobacillus plantarum</i>
SL112			2,031	<i>Lactobacillus fermentum</i>

SL109			1,859	<i>Lactobacillus fermentum</i>
SL107	Zebda	Khanchela	1,859	<i>Lactobacillus fermentum</i>
SL103			1,947	<i>Lactobacillus plantarum</i>
SL108		Médéa	1.742	<i>Lactobacillus fermentum</i>
SL104	L'ben	Blida	2,161	<i>Lactobacillus</i>

II.4 Matériel :

Pour la réalisation des différentes parties expérimentales, on s'est servi du matériel suivant :

❖ Produit :

1. Lait (candia silhouette) : a été utilisé pour l'étude de pouvoir protéolytique des bactéries lactiques ;
2. VP I et VP IIa été utilisé pour l'étude de pouvoir aromatisant ;
3. Tween 80:(source lipidique artificiel) ;
4. Vitamine ;
5. Cystéine ;
6. Cacl₂ ;
7. Lait écrémé en poudre.

II.5 Milieux de culture :

Plusieurs milieux de culture ont été utilisés au cours de ce travail :

❖ Les géloses :

- a) Gélose MRS additionnée de cystéine et de vitamine : est utilisé pour les cultures bactériennes.
- b) La gélose MRS additionné de tween 80 pour l'étude du pouvoir lipolytique. Milieu hyper saccharosé et milieu MSE : utilisé pour le test de production d'EPS.

- c) Milieux PCA additionnée de 1g lait écrémé poudre et le milieu YMA : est utilisé pour l'activité protéolytique.

❖ **Les bouillons :**

- a) Bouillon MRS additionnée de cystéine et de vitamine : pour la revivification, les repiquages ainsi que la croissance des bactéries lactiques (BAL)
 b) Bouillon Clarck et Lubs : utilisé pour le test de production d'acétoine .

Remarque : La composition par litre des différents milieux utilisés est indiquée en (Annexe I).

❖ **Produits chimiques et réactif :**

- a) Les colorants : Violet de Gentiane, fuchsine, bleu de méthylène, phénolphtaléine à 1%.
 b) Les acides et bases : NaOH, acide acétique, pour ajuster le pH des milieux utilisés.
 c) Les réactifs : Le réactif de Vogues Proskauer (VPI et VPII). Alcool et autres : lugol, eau distillée, Huile à émulsion, éthanol.

❖ **Équipements et appareillages :**

Les équipements et les appareillage utilisés durant cette étude sont présentés dans le tableau N° 9 :

Table 9. Équipement et appareillage

Équipement	Consommable	Verrerie
Anse de platine	Boîte pétri	Tubes à essai
Bec benzène	Eppendorfs	Flacon de 250ml
Microscope optique	Pipette Pasteur	Flacon de 200 ml
Micropipette (1000µl)	Lame et lamelle	Becher
Bain marie	Embouts	
Agitateur +barreau magnétique	Gants	
Étuve		

II.6 Méthodes :

II.6.1 I Revivification et purification des bactéries lactiques :

La revivification consiste à réaliser des repiquages successifs sur bouillon MRS additionnée de cystéine et du vitamine, l'incubation est faite à 37°C pendant 24h, jusqu'à l'apparition des troubles dans le milieu qui indique la croissance des souches. Pour vérifier

la pureté des souches, un ensemencement en stries sur gélose MRS et une incubation à 37° C pendant 72 h, est réalisé.

II.6.2 Etude de caractères morphologiques :**II.6.3 Caractérisation microscopique :**

L'examen microscopique a été effectué après coloration de Gram, sur une culture jeune, Elle permet de décrire la forme des cellules, leur mode d'association, après réalisation des frottis colorés.

II.6.4 Coloration de Gram :

Tout d'abord, une goutte d'eau physiologique stérile a été déposée sur une lame propre. Ensuite, une colonie provenant d'une culture a été prélevée à l'aide d'une anse de platine ou de pipettes pasteur. La lame, contenant l'échantillon, a été séchée à l'air libre puis passée à la flamme pour fixer l'échantillon. Après fixation, la lame a été placée sur un porte-objet et le processus de coloration de Gram a été effectué. La première étape consistait à recouvrir la lame de violet de gentiane et à laisser agir pendant une minute. Ensuite, la lame a été rapidement rincée à l'eau du robinet pour éliminer l'excès de colorant. La deuxième étape était d'appliquer du Lugol sur la lame et de laisser agir pendant une minute. Après cela, la lame a été de nouveau rincée rapidement à l'eau du robinet pour éliminer l'excès de Lugol. Ensuite, la lame a été recouverte d'alcool pendant 30 secondes, suivi d'un rinçage rapide à l'eau du robinet pour éliminer l'excès d'alcool. La quatrième étape consistait à recouvrir la lame de fuchsine pendant une minute. Après cela, la lame a été de nouveau rincée rapidement à l'eau du robinet pour éliminer l'excès de colorant. Enfin, la lame a été séchée, puis observée au microscope en utilisant un objectif x100 à immersion.

II.6.5 Recherche de la catalase :

La recherche de cette enzyme a été mise en évidence en déposant une colonie à étudier sur une lame additionnée d'une goutte d'eau oxygénée (10 volumes), Un dégagement de bulle de gaz indique la présence de catalase (**Idoui et al., 2009**).

II.7 Évaluation des aptitudes technologiques chez les souches lactiques :**II.7.1 Le Pouvoir protéolytique :**

Le potentiel protéolytique a été recherché par l'ensemencement en touche de 10 µl d'une culture d'une nuit de chaque souche à tester sur géloses PCA, YMA additionnées de 10% du lait écrémé stérile (candia silhouette). Les zones transparentes ou opaques entourant les points inoculés ont été mesurées après l'incubation à 37°C pendant 24 à 48h (Karakas-Sen et Karakas, 2018).

II.7.2 Le Pouvoir lipolytique :

Le potentiel lipolytique a été déterminé selon la méthode de (Ateşlier et Metin, 2006), la gélose MRS a été supplémentée par 0.1g/l de CaCl₂ et 1% de tween 80 stériles puis 10 µl de la suspension des cultures de 18h a été déposé à l'aide d'anse et ensemencé ainsi directement sur la gélose en spot. L'incubation a été faite à 37°C pendant 48 à 72h. La lipolyse a été détectée par la mesure des diamètres des zones apparues autour des spots et des disques entourés d'un dépôt.

II.7.3 Le Pouvoir texturant :

La capacité de nos souches lactiques à produire des EPS a été déterminée par l'étude de potentiel texturant et épaississant afin d'évaluer leur propriété rhéologique et leur utilisation, donc l'étude des deux potentiels texturant et épaississant a été faite en exposant les souches à tester à un milieu hypersaccharosé. Pour le potentiel texturant, un volume de 100 µl de chaque culture jeune a été ensemencé en strie sur gélose MSE ainsi sur la gélose MRS contenant différentes sources de carbone comme saccharose, fructose, mannose et lactose à raison de 5%. Après 48 h à 37 et 45°C, la production des EPS au niveau de colonie a été vérifiée par l'apparition des colonies larges et gluantes. (Kim et al., 2008).

II.7.4 Potentiel aromatisant :

La capacité des isolats lactiques à produire de l'acétoïne a été recherchée après croissance des isolats dans un bouillon clark et lubs , après incubation à 30°C pendant 24h;

deux gouttes de VPI et deux gouttes de VPII (alpha-naphthol and potassium hydroxide, réactifs I et II de Voges Proskauer) ont été ajoutés au milieu et laissés reposer. Les isolats qui ont produit un anneau rose à la surface du bouillon ont été notés positif pour la production d'acétoïne.

Chapitre III

Résultats et discussion

III RÉSULTATS ET DISCUSSION

III.1 Résultats de la purification des souches :

III.1.1 Examen macroscopique :

- Un total de 12 souches a été revivifié et purifié sur le bouillon.
- Les souches présentent un trouble qui caractérise leur croissance.

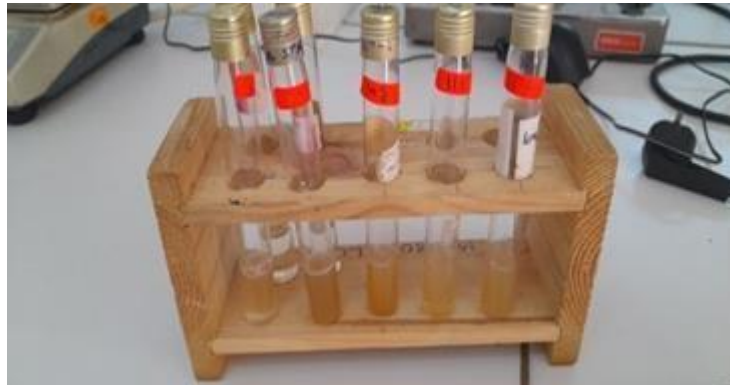


Figure 5. Trouble retrouvés après relance des souches lactiques utilisées.

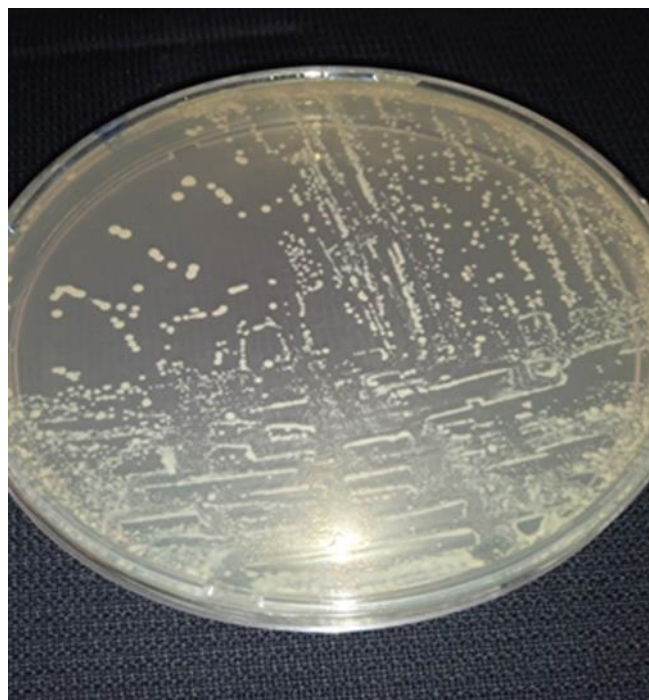


Figure 6. Aspect macroscopique des souches lactiques.

Les colonies observées sur la gélose MRS additionnée de la cystéine et de la vitamine étaient plus grandes que les précédentes et se caractérisent par une forme circulaire, blanchâtre et bombées et à un contour régulier et Irrégulier.

III.1.2 Résultats de l'examen microscopique :

L'observation microscopique a révélé que toutes les souches sont Gram positif et sous formes de cellules bacilles.

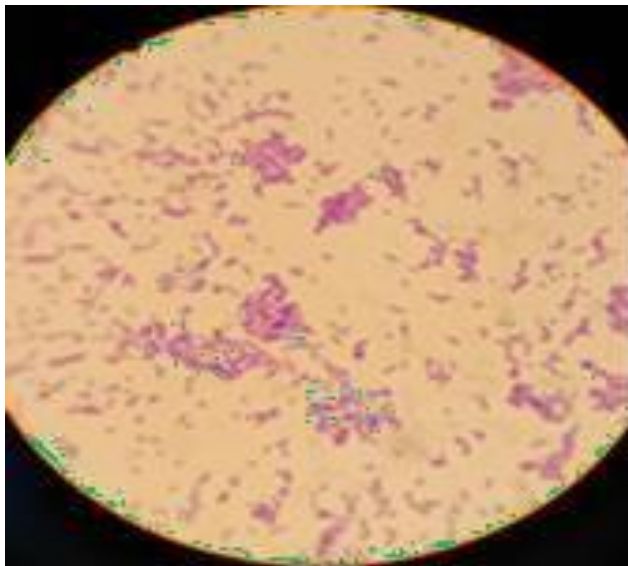


Figure 7. Aspect microscopique des souches lactiques

III.2 Résultats des aptitudes technologiques des bactéries lactiques :

III.1.2 Résultats du pouvoir protéolytique :

Les résultats obtenus ont montré une activité protéolytique des souches ; suivantes ; BLS108 ; BLS111 Sur le milieu (PCA additionné du lait écrémé) la souche (BLS111) et (BL108) ont montré une activité protéolytique avec un diamètre de la zone protéolytique de (22mm) et (19mm), ainsi que sur la gélose YMA, appartenant à des espèces de *Lactobacillus plantarum* et *Lactobacillus fermentum* .

Concernant l'activité protéolytique, nos résultats diffèrent des études antérieures. Selon Vuilleumard (1986), une souche est considérée comme protéolytique si elle présente une zone de lyse de diamètre compris entre 5 mm et 15 mm. Cependant, parmi les 12 souches que nous avons testées, seulement deux d'entre elles ont manifesté une activité protéolytique mesurable avec des diamètres de protéolyse de 21 mm et 19 mm. Ces valeurs sont nettement supérieures aux critères établis par Vuilleumard (1986), indiquant un potentiel protéolytique notable dans ces souches spécifiques."

- La divergence entre nos résultats et ceux de Latreche.,(2016) Bencharef et al (2018);

Pourrait s'expliquer par la possibilité d'avoir des caractéristiques génétiques particuliers traduisant cette activité protéolytique.

Il convient également de mentionner que notre échantillon de souches était limité à seulement 12 souches, ce qui peut ne pas être représentatif de l'ensemble de la diversité des bactéries lactiques et des substrats à partir desquels sont isolées. D'autres études avec des échantillons plus larges pourraient fournir des informations supplémentaires sur la variabilité de l'activité protéolytique chez des isolats lactiques.

Malgré ces différences, il est important de souligner que les deux souches qui ont manifesté une activité protéolytique avec des diamètres de 21mm et 19mm présentent toujours un potentiel d'intérêt biotechnologique. Ces résultats suggèrent que ces souches pourraient être explorées davantage pour leur capacité à produire d'autres enzymes protéolytiques.

L'activité protéolytique chez les bactéries lactiques est essentielle pour leur croissance dans le lait et joue un rôle clé dans le développement des propriétés organoleptiques des produits laitiers fermentés (**Axeleson, 1998**). Le système protéolytique des bactéries lactiques est composé de protéases associées à la paroi cellulaire. Les peptides issus de la protéolyse sont ensuite dégradés par des endopeptidases ou des exopeptidases en acides aminés et en courts peptides (**Yvon, 2006**). Ces processus de dégradation sont importants dans les procédés de maturation des aliments, contribuant ainsi à leurs propriétés rhéologiques (**Law et Kolstad, 1983**).

- L'activité protéolytique des bactéries lactiques est très importante, intervient dans les caractéristiques organoleptiques des produits laitiers. La dégradation de la caséine est une étape clé dans la formation des caractéristiques du fromage, car elle libère des peptides et des acides aminés qui améliorent la texture et favorisent la formation de précurseurs d'arômes. (**Campagnollo et al., 2018**)

D'autre part Bonomo et Salzano (2013) ont souligné que les souches de bactéries lactiques très actives sur le plan protéolytique ne sont pas toujours appropriées en tant que starters, car elles peuvent entraîner une dégradation excessive de la caséine, entraînant ainsi la production incontrôlée de peptides amers et d'autres substances indésirables. Cela peut avoir un impact négatif sur la texture et la qualité du produit final.

Il convient de mener des études supplémentaires pour approfondir notre compréhension des mécanismes sous-jacents à l'activité protéolytique de ces souches spécifiques et pour évaluer leur potentiel d'application dans divers domaines, tels que l'industrie alimentaire ou pharmaceutique. De plus, des investigations approfondies sur d'autres souches microbiennes pourraient fournir une image plus complète de la variabilité de l'activité protéolytique au sein de cette population microbienne.

III.2.2 Résultats du pouvoir lipolytique :

Par cette absence d'activité lipolytique notons que c'est des résultats qui diffèrent à ceux de **Tayeb, (2018) ; Bellal, (2018)**. Qui eux ont mentionnés dans leurs études que certains lactobacilles avaient une faible activité lipolytique observé sous forme d'halos clairs de faible diamètre autour des colonies.

Contrairement à ce qui était attendu, aucune des 12 souches que nous avons testées n'a manifesté une activité lipolytique, même si nous avons observé une croissance pour toutes ces souches.

Ces résultats surprenants soulèvent des questions quant à la nature des souches étudiées et à leur potentiel d'activité lipolytique. Ils contredisent les études précédentes qui ont montré qu'un certain nombre de souches de *Lactobacillus* présentent une faible activité lipolytique, caractérisée par la formation de halos clairs autour des colonies de croissance. Par exemple,

Les souches *Lactobacillus Fermentum* et *Lactobacillus plantarum* (BLS4, BLS10 et BLS11) ont été rapportées comme présentant une telle activité lipolytique positive dans certaines études (**Tayeb, 2018 ; Bellal, 2018**).

Malgré l'absence d'activité lipolytique observée dans nos souches, il est essentiel de noter que la croissance observée indique que ces souches possèdent d'autres caractéristiques métaboliques importantes.

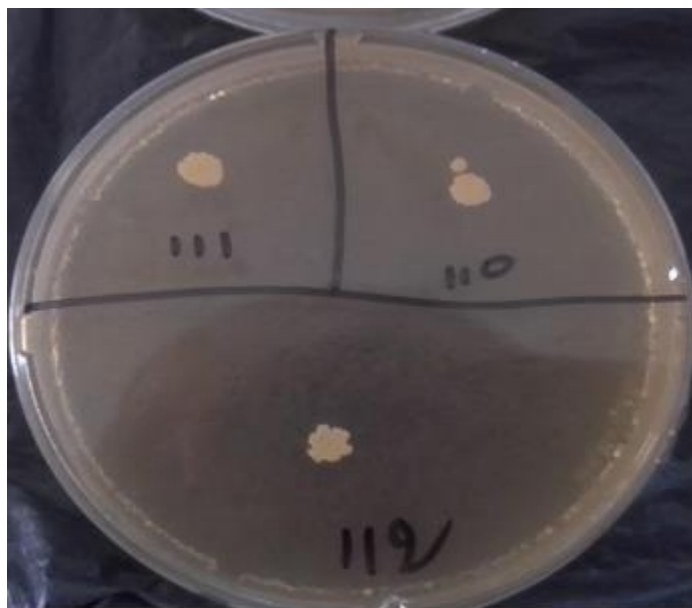


Figure 8. Absence d'activité lipolytique

III.3.2 Pouvoir aromatisant :

La production d'arômes est essentielle dans les produits laitiers fermentés.

Les bactéries lactiques sont réputées pour leur activité aromatisante, grâce à leur capacité à produire des composés volatils qui contribuent à la formation d'arômes caractéristiques dans les produits alimentaires fermentés.

Dans notre étude sur l'activité aromatisante des souches étudiées, nous avons obtenu des résultats significatifs qui méritent d'être approfondis. Parmi les 12 souches testées, seule la souche 108 a présenté un pouvoir aromatique distinctif, observé par la formation d'un anneau rouge autour du tube dans les tests réalisés dans le bouillon Clark et Lubs, suite à l'ajout des réactifs VP1 et VP2.

Ces résultats soulignent l'importance de la souche 108 en tant que productrice d'arômes potentielle.

L'observation de l'anneau rouge indique la présence de composés aromatiques spécifiques produits par cette souche. Cette capacité peut avoir des implications intéressantes dans l'industrie alimentaire, où des arômes distinctifs et attrayants sont recherchés pour améliorer les produits.

Il est également important de noter que les autres souches étudiées n'ont pas montré de pouvoir aromatique similaire à la souche 108. Cela suggère que la souche 108 possède

des caractéristiques uniques qui lui confèrent cette capacité spécifique de production d'arômes.

Ces résultats soulèvent des questions intéressantes quant aux mécanismes sous-jacents à la production d'arômes par la souche 108. Des études supplémentaires sont nécessaires pour comprendre en détail les voies métaboliques impliquées et les composés aromatiques spécifiques générés par cette souche.

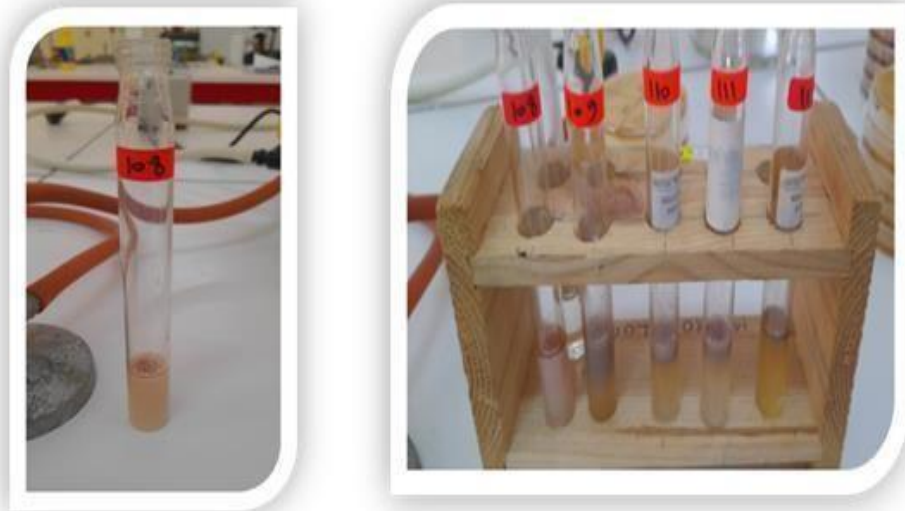


Figure 9. Production d'arôme par la souche 108

Les bactéries lactiques possèdent la capacité de synthétiser divers composés aromatiques à partir de substrats variés, tels que le pyruvate, ce qui contribue aux caractéristiques sensorielles des produits fermentés. (**Raynaud et al., 2003 ; Cholet, 2006,**).

Ces résultats se rapprochent de ceux de Montville et al., (1987), qui ont montré la production d'acétoïne par *Lb.plantarum*.

En effet selon **Hammes et Hertel (2006)**, les lactobacilles peuvent participer à la Fermentation malolactique, ils peuvent également métaboliser le citrate et le pyruvate, produisant l'acétate, le lactate et l'acétoïne.

La production de composés d'arômes est une fonctionnalité technologique importante lors de l'élaboration des produits laitiers fermentés.

Le développement d'arôme dans le lait résulte aussi des activités métaboliques des bactéries lactiques (glycolyse, lipolyse et protéolyse) (**Marilley Et Casey, 2004**).

les résultats de l'étude de Tian et al. en 2019 indiquent que *Lactobacillus plantarum*, une espèce spécifique de bactéries lactiques, a la capacité de produire des composés aromatiques importants tels que l'acétaldéhyde et le diacétyl. Ces composés contribuent à l'arôme caractéristique des produits laitiers fermentés, y compris le yaourt. Ainsi, *L.* peut jouer un rôle significatif dans le développement des arômes dans les produits laitiers fermentés, améliorant ainsi leur profil sensoriel et leur saveur.

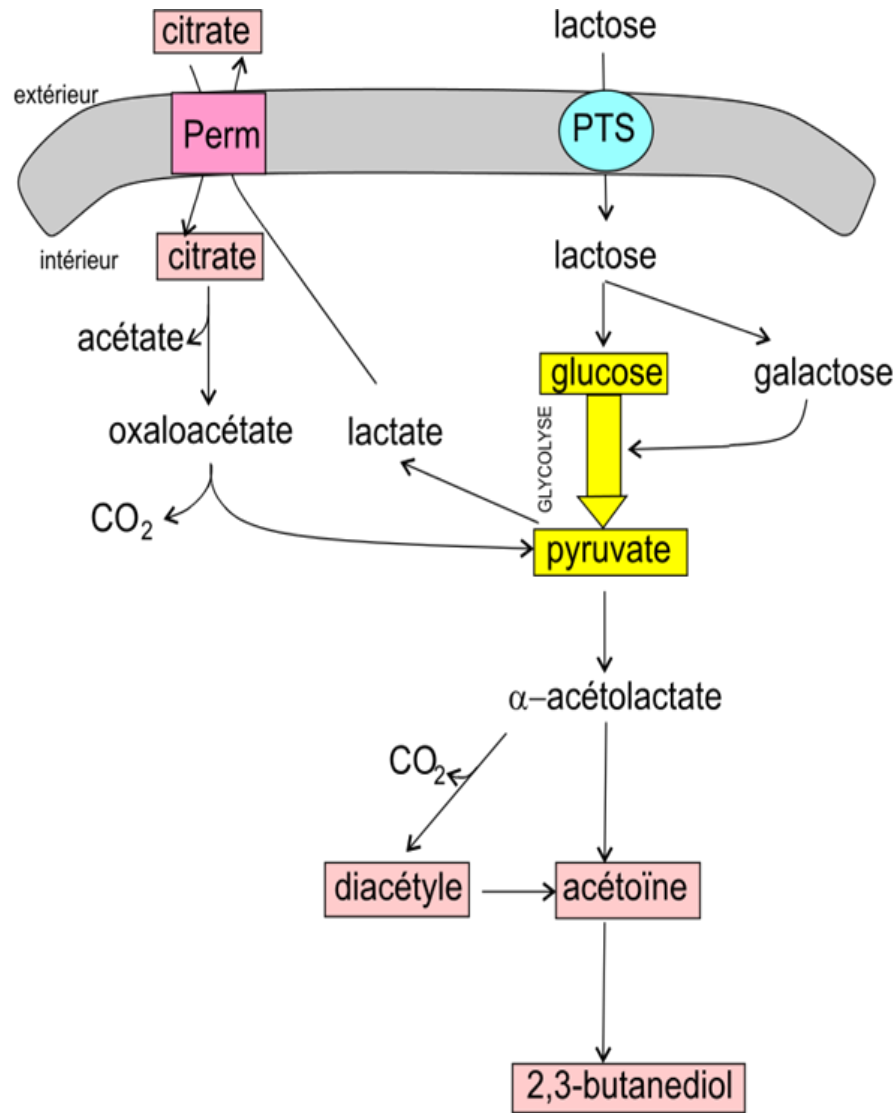


Figure 10. Les principales étapes du métabolisme du citrate.

III.4.2 Pouvoir texturant :

Les propriétés texturantes des bactéries lactiques sont principalement utilisées afin d'améliorer les caractéristiques sensorielles des produits laitiers frais fermentés.

Dans notre étude, nous avons utilisé deux milieux, la gélose hypersaccharosée et le milieu MSE, pour évaluer l'activité de production d'exopolysaccharides des 12 souches testées.

Effectivement, les résultats de notre étude sont en accord avec les observations de **Looijesteijn et al., (2001)** qui ont souligné la variabilité des capacités de production d'EPS au sein d'une même espèce de bactéries lactiques, sans que cela n'entraîne nécessairement des différences de croissance.

Les observations de **Looijesteijn et al., (2001)** mettent en évidence que certaines souches peuvent être fortement productrices d'EPS, tandis que d'autres peuvent présenter une faible ou aucune capacité de production. Cela suggère que la production d'EPS est un trait variable et dépendant de la souche au sein d'une espèce bactérienne donnée.

Nos résultats concordent avec ces observations, car nous avons également identifié des souches qui ne présentaient pas d'activité de production d'EPS sur la gélose hypersaccharosée et le milieu MSE. Malgré l'absence de production d'EPS, ces souches n'ont pas montré de disparités de croissance par rapport aux souches productrices d'EPS.

Ces résultats soulignent l'importance de considérer la diversité des souches au sein d'une espèce bactérienne et de ne pas généraliser les capacités de production d'EPS à l'ensemble de la population.

Selon (**Patel et al., (2012)**), les fromages fabriqués par utilisation de cultures productrices d'EPS deviennent lisses, crémeuses, humides et doux tandis que ceux fabriqués sans ajout de souches productrices d'EPS se trouvent sec et granuleux.



Figure 11. absence d'activité texturant l'absence d'activité lipolytique sur les milieux (MSE et MRS hypersaccharosé).

Table 10. Résultats des activités technologiques des souches lactiques

Souche	Activité Protéolytique (mm)	Activité Lipolytique	Pouvoir Aromatisant	Pouvoir Texturant
BLS108	19	Absence	Présence	Absence
BLS111	22	Absence	Absence	Absence
Autres souches	Absence	Absence	Absence	Absence

CONCLUSION

CONCLUSION

5 CONCLUSION

En conclusion, nos études ont révélé la diversité des activités enzymatiques des souches de bactéries lactiques étudiées, notamment en ce qui concerne leurs activités protéolytiques, lipolytiques, aromatisantes et texturantes. Les résultats obtenus ont mis en évidence le potentiel de la souche 108 en tant que productrice d'arômes spécifiques.

De plus, nous avons observé des différences significatives dans les activités protéolytiques des différentes souches, avec deux souches se démarquant par leur activité protéolytique notable. Cela suggère que ces souches pourraient être utilisées dans des processus de maturation des aliments ou dans la production d'enzymes protéolytiques.

Cependant, aucune des souches étudiées n'a manifesté une activité lipolytique. Malgré tout, la croissance observée pour toutes les souches suggère qu'elles possèdent d'autres caractéristiques métaboliques intéressantes à explorer dans de futures recherches.

En résumé, nos résultats soulignent le potentiel des souches de bactéries lactiques étudiées, en particulier la souche 108, dans la production d'arômes spécifiques. Ils mettent également en avant l'importance de la diversité des souches au sein d'une même espèce et encouragent à poursuivre les recherches pour mieux comprendre leurs caractéristiques métaboliques et leur potentiel dans le développement de nouveaux produits alimentaires.

Ces résultats ouvrent également la voie à plusieurs perspectives innovantes :

- L'utilisation de techniques de modification génétique pour améliorer spécifiquement ces activités et obtenir des produits laitiers aux caractéristiques désirées.
- L'exploration de la diversité des composés produits par ces souches afin de découvrir de nouvelles substances bénéfiques pour la santé.
- L'optimisation des conditions de fermentation pour maximiser ces activités et obtenir des procédés de production plus efficaces.
- L'évaluation de l'utilisation de ces souches comme probiotiques, en étudiant leurs effets positifs sur la santé humaine.

Il serait également intéressant de comprendre les mécanismes moléculaires responsables de ces activités enzymatiques afin de mieux les contrôler et de les exploiter de manière plus efficace.

Reference bibliographiques

6 LISTE DES RÉFÉRENCES

- **Abhyankar, P. S., Gunjal, A. B., Kapadnis, B. P., and Ambade, S. V. (2022).** Potential of Lactic Acid Bacteria in Plant Growth Promotion. *Bhartiya Krishi Anusandhan Patrika*, 36(4), 326- 329

- **Akabanda, F., Owusu-Kwarteng, J., Tano-Debrah, K., Glover, R. L. K., Nielsen,**
- **Ale, E. C., Perezlindo, M. J., Pavón, Y., Peralta, G. H., Costa, S., Sabbag, N., Bergamini, C., Reinheimer, J. A., & Binetti, A. G. (2016).** Technological, rheological and sensory characterizations of a yogurt containing an exopolysaccharide extract from *Lactobacillus fermentum* Lf2, a new food additive. *Food Research International* (Ottawa, Ont.), 90, 259- 267.)

- **Amrane, A. et Prigent, Y. (1999).** Differentiation of pH and free lactic acid effects on the various growth production phases of *Lactobacillus helveticus*. *J Chem Technol Biotechnol* 74: 33-40.

- **Ateşlier, Z. B. B., and Metin, K. (2006).** Production and partial characterization of a novel thermostable esterase from a thermophilic *Bacillus* sp. *Enzyme and Microbial Technology*, 38(5), 628- 635

- **Axelsson L. (2004).** Classification and physiology. In: *Lactic acid bacteria: Microbiological and functional aspects* (Salminen S, Wright AV et Ouwehand A). 3e Ed : Marcel Dekker, Inc. NewYork. 1-66)

- **Axelsson, L. (1998).** Lactic acid bacteria: Classification and physiology. In: *Lactic acid bacteria*. Ed.S.Salminen and Avon Wright, Marcel Decer.p.1-72.

- **Axelsson, L. (2004).** Lactic Acid Bacteria: classification and physiology. In: Salminen, S., von Wright, A., Ouwehand, A. (eds.). *Lactic Acid Bacteria: microbiology and functional aspects*. Marcel Dekker, Inc., New York, pp.1-66

- **Ayyash, M., Abu-Jdayil, B., Hamed, F., and Shaker, R. (2018).** Rheological, textural, microstructural and sensory impact of exopolysaccharide-producing *Lactobacillus plantarum* isolated from camel milk on low-fat akawi cheese.)

- **Badel, S., Bernardi, T. et Michaud, P. (2011).** New perspectives for lactobacilli

- **Béal, C., Louvet, P. et Corrieu, G. (1989).** Influence of controlled pH and tempera-

REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUE

- ture on the growth and acidification of pure culture of *Streptococcus thermophilus* 404 and *Lactobacillus bulgaricus* 398. *Appl Microbiol Biotechnol* 32: 148-154 .
- **Béal, C., Marin, M., Fontaine, E., Fonseca, F. et Obert, J.P. (2008)** . Production et conservation des ferments lactiques et probiotiques In Corrieu, G. et Luquet, F.M., bactéries lactiques de la génétique aux ferments. Tec & Doc, Lavoisier : 661-766.
 - **Bellal, I. (2018)** . L'activité antimicrobienne des bactéries lactiques isolées à partir du lait de chamelle vis-à-vis les souches pathogènes , Mémoire Master , Université Abdel-hamid Ibn Badis-Mostaganem , 82 P.
 - **Benamara, R. N., Gemelas, L., Ibri, K., Moussa-Boudjemaa, B., and Demarigny, Y. (2016)**. Sensory, microbiological and physico-chemical characterization of Klila, a traditional cheese made in the south-west of Algeria. *African Journal of Microbiology Research*, 10(41), 1728- 1738.
 - **Bonomo, M. G., and Salzano, G. (2013)**. Genotypic and technological diversity of *Leuconostoc mesenteroides* and *Lactobacillus paracasei* subsp. *Paracasei* strains for use as adjunct starter cultures in Pecorino di Filiano cheese. *International Journal of Dairy Technology*, 66(3), 402- 409.
 - **Bouchibane, M. (2023)**. Identification des bactéries lactiques isolées des produits laitiers artisanaux : Aptitudes technologiques et essais de fabrication d'un lait fermenté. Thèse de doctorat , UNIVERSITE ABDELHAMID IBN BADIS. MOSTAGANEM.pdf, 128p.
 - **Bourgeois CM et Larpent JP. (1996)**. Microbiologie alimentaire : Aliments fermentés et fermentations alimentaires. Tec & Doc. Lavoisier, Paris, 432-704.
 - **Campagnollo, F. B., Margalho, L. P., Kamimura, B. A., Feliciano, M. D., Freire, L., Lopes, L. S., Alvarenga, V. O., Cadavez, V. A. P., Gonzales-Barron, U., Schaffner, D. W., and Sant'Ana, A. S. (2018)**. Selection of indigenous lactic acid bacteria presenting anti-listerial activity, and their role in reducing the maturation period and assuring the safety of traditional Brazilian cheeses.
 - **Canteri G. (1997)**. Les levain lactiques In Eck, A. et Gillis, J.C., le fromage : de la science à l'assurance qualité. Lavoisier . p 192.
 - **Chen, C., Zhao, S., Hao, G., Yu, H., Tian, H., and Zhao, G. (2017)**. Role of lactic acid bacteria on the yogurt flavour : A review. *International Journal of Food Properties*, 20(sup1), S316- S330

REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUE

- **Cholet O, (2006).** Etude de l'écosystème fromager par une approche biochimique et moléculaire. Institut National Agronomique Paris-Grignon. Ecole Doctorale ABIES.UMR de Génie et Microbiologie des Procédés Alimentaires INRA, INA.16.
- **D. S., and Jespersen, L. (2013).** Taxonomic and molecular characterization of lactic acid bacteria and yeasts innunu, a Ghanaian fermented milk product. *Food Microbiology*, 34(2), 277- 283.
- **Dave, R.I. et Shah, N.P. (1997).** Effectiveness of ascorbic acid as an oxygen scavenger in improving viability of probiotic bacteria in yoghurts made with commercial star-ter culture. *Int Dairy J* 7: 435-443 .
- **Dahou, A. A., Bekada, A. A., and Homrani, A. (2021).** Identification of a *Lactococcus lactis* Isolated from a Fresh Local Cheese of the Western Algerian Steppe "J'ben of Naâma". *Asian Journal of Dairy and Food Research*, 40(1), 5
- **Desmazeaud, M. (1983).** l'état de connaissance en matière de nutrition des bactéries lactiques. *Le lait*. p 271, 286-290.
- **Desmazeaud, M. (1992).** Les bactéries lactiques in Hernier, J., Lenoir, J. et Webert , *Les groupes microbiens d'intérêt laitier*. Lavoisier. p 9-57.
- **Dortu, C., and Thonart, P. (2009).** Les bactériocines des bactéries lactiques : Caractéristiques et intérêts pour la bioconservation des produits alimentaires. Undefined.
- exopolysaccharides. *Biotechnology Advances* 29(1): 54-66.
- **Farag, M. A., El Hawary, E. A., and Elmassry, M. M. (2020).** Rediscovering acidophilus milk, its quality characteristics, manufacturing methods, flavor chemistry and nutritional value. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 60(18), 3024- 3041.
- **Foucaud, C., Francois, A., et Richard, J. (1997).** Development of a chemically defined medium for the growth of *Leuconostoc mesenteroides*. *Applied and Environmental Microbiology*, 63(1), 301-304.
- **Gerrit S, Bart AS et Wim JME. (2005).** Flavour formation by lactic acid bacteria and biochemical flavour profiling of cheese products. *FEMS. Microbiol. Rev.* 29: 591-610.
- **Gómez de Cadiñanos, L. P., García-Cayuela, T., Martínez-Cuesta, M. C.,Peláez, C., and Requena, T. (2019).** Expression of amino acid converting enzymes and production of volatile compounds by *Lactococcus lactis* IFPL953. *International Dairy Journal*, 96, 29- 35.

REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUE

- **Hammes, W.P. And Hertel, C. (2006).** The genera lactobacillus and carnobacterium. chap. 2.10. In prokaryotes. 4: 320-403
- **Idoui, Tayeb, and Essaid Leghouchi. (2009).** Lactic acid bacteria from Jijel's traditional butter : Isolation, identification and major technological traits. Grasas y Aceites, 59(4), 361- 367.
- **Kandler, O., (1983).** Carbohydrate metabolism in lactic acid bacteria. Antonie van Leeuwenhoek 49: 209-224.
- **Karakas-Sen, A., and Karakas, E. (2018).** Isolation, identification and technological properties of lactic acid bacteria from raw cow milk. Bioscience Journal, 985- 999.
- **Kieliszek, M., Pobiega, K., Piwowarek, K., and Kot, A. M. (2021).** Characteristics of the Proteolytic Enzymes Produced by Lactic Acid Bacteria. Molecules (Basel, Switzerland), 26(7), 1858.
- **Kim, M. J., Seo, H. N., Hwang, T. S., Lee, S. H., and Park, D. H. (2008).** Characterization of exopolysaccharide (EPS) produced by Weissella hellenica SKkimchi3 isolated from kimchi. Journal of Microbiology (Seoul, Korea), 46(5), 535- 541.
- **Kunji E.R., Mierau I., Hagting A., Poolman B. and Konings W.N., (1996).** The proteolytic system of lactic acid bacteria. Antonie Van Leeuwenhoek 70:187–221.
- **Law B.A. And Kolstad J. (1983).** Proteolytic systems in lactic acid bacteria. Antonie van leeuwenhoek 49 : 225-245.
- **Law J. et Haandrikman A. (1997).** Proteolytic enzymes of lactic acid bacteria. Int. Dairy J. 7: 1-11.
- **Latreche, B. (2016).** Caractérisation des bactéries lactiques isolées du beurre cru, évaluation de leurs aptitudes technologiques et leur utilisation dans la fabrication de la crème sure. Thèse de magister, Université Des Frères Mentouri Constantine Institut De La Nutrition, De L'alimentation Et Des Technologies Agro-Alimentaires (I.N.A.T.A.A.), 150p.
- **Leroy, F. et De Vuyst, L. (2004).** Lactic acid bacteria as functional starter cultures for the food fermentation Industry. Trends in Food Science & Technology 15: 67–78.
- **Liu, W., Pang, H., Zhang, H., and Cai, Y. (2014).** Biodiversity of Lactic Acid Bacteria. In H. Zhang & Y. Cai (Éds.), Lactic Acid Bacteria : Fundamentals and Practice (p. 103-203). Springer Netherlands
- **Looijesteijn P.J., Trapel L., De Vries E., Abee T. Et Hugenholtz J. (2001).** Physio-logical function of exopolysaccharides produced by lactococcus lactis. Int. J.

REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUE

Food microbiol 64 : 71- 80.

- **Marilley L. And Casey M.G. (2004).** Review article: flavours of cheese products: metabolic pathways, analytical tools and identification of producing strains. International journal of food microbiology 90 : 139– 159.
- **Mokoena, M. P. (2017).** Lactic Acid Bacteria and Their Bacteriocins: Classification, Biosynthesis and Applications against Uropathogens: A Mini-Review. Molecules (Basel, Switzerland), 22(8), 1255
- **Monnet, C., Latrille, E., Béal, C. et Corrieu, G. (2008).** Croissance et propriétés fonctionnelles des bactéries lactiques In Corrieu, G. et Luquet, F.M., bactéries lactiques de la génétique aux ferments. Tec & Doc, Lavoisier. p : 511, 593.
- **Montville T.J., Meyer M.E., Hsu a.h.M. and Huang G.T.C., (1987).** High pressure liquid chromatography and wide bore capillary gas-liquid chromatography methods for quantification of acetoin and diacetyl from bacterial cultures. Journal of Microbiological Methods 7: 1- 8.
- **Papadimitriou, K., Alegría, Á., Bron, P. A., de Angelis, M., Gobbetti, M., Kleerebezem, M., Lemos, J. A., Linares, D. M., Ross, P., Stanton, C., Turroni, F., van Sinderen, D., Varmanen, P., Ventura, M., Zúñiga, M., Tsakalidou, E., and Kok, J. (2016).** Stress Physiology of Lactic Acid Bacteria. Microbiology and Molecular Biology Reviews, 80(3), 837- 890.
- **Patel S., Majumder A. and Goyal A., (2012).** Potentials of Exopolysaccharides from Lactic Acid Bacteria. Indian J Microbiol. 52(1):3–12.
- **Patil, P., Wadehra, A., Munjal, K., and Behare, P. (2015).** Isolation of exopolysaccharides producing lactic acid bacteria from dairy products. Asian Journal of Dairy and Food Research, 34(4).
- **Pessione, E., and Cirrincione, S. (2016).** Bioactive Molecules Released in Food by Lactic Acid Bacteria : Encrypted Peptides and Biogenic Amines. Frontiers in Microbiology, 7.
- **Piard, J.C. et Desmazeaud, M. (1991).** Inhibiting factors produced by lactic acid bacteria..oxygen metabolites and catabolism end-product. Lait 71: 525-541.
- **Prete, R., Alam, M. K., Perpetuini, G., Perla, C., Pittia, P., and Corsetti, A. (2021).** Lactic Acid Bacteria Exopolysaccharides Producers : A Sustainable Tool for Functional Foods. Foods, 10(7), Art.
- **Raynaud S, Perrin R, Cocaign-Bousquet M et Loubière P. (2003).** Metabolic and

REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUE

- transcriptomic adaptation of *Lactococcus lactis* subsp. *lactis* biovar *diacetylactis* in response to auto acidification and temperature downshift in skim milk. *Appl. Environ. Microbiol.* 71(12), 8016-8023.
- **Reid, G. et Burton, J. (2002).** Use of *Lactobacillus* to prevent infection by pathogenic bacteria. *Microbes and Infection* 4: 319-324.
 - **Rodriguez JM, Martínez MI, Horn N et Dodd HM. (2003).** Heterologous production of bacteriocins by lactic acid bacteria. *Int. J. Food Microbiol.* 80, 101-116.
 - **Rodríguez-Serrano, G. M., García-Garibay, M., Cruz-Guerrero, A. E., Gómez-Ruiz, L., Ayala-Niño, A., Castañeda-Ovando, A., and González-Olivares, L. G. (2018).** Proteolytic System of *Streptococcus thermophilus*. *Journal of Microbiology and Biotechnology*, 28(10), 1581- 1588.
 - **Sauer, M., Russmayer, H., Grabherr, R., Peterbauer, C. K., and Marx, H. (2017).** The EfficientClade: Lactic Acid Bacteria for Industrial Chemical Production. *Trends in Biotechnology*, 35(8),
 - **Savijoki, K., Ingmer, H., and Varmanen, P. (2006).** Proteolytic systems of lactic acid bacteria. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 71(4), 394- 406.
 - **Shah, N.P. (2000).** Probiotic bacteria : selective enumeration and survival in dairy foods. *J Dairy Sci* 83: 894-907.
 - **Siegmund H., Rechinger K.B. et Jakobsen M. (2000).** Dynamic changes of intracellular pH in individual lactic acid bacterium cells in response to a rapid drop in extracellular pH. *Appl. Environ. Microbiol.* 66: 2330-2335.
 - **Streit F, Corrieu G et Béal C. (2007).** Acidification improves cryotolerance of *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* CF11. *J. Biotechnol.* 128, 659-667
 - **Tayeb, C. (2018).** ETUDE DES APTITUDES TECHNOLOGIQUES DE SOUCHES LACTIQUES ISSUES DU J'BEN DE CHEVRE, Master, Université Abdelhamid Ibn Badis-Mostaganem, 90 p.
 - **Thierry, A., Collins, Y. F., Abeijón Mukdsi, M. C., McSweeney, P. L. H., Wilkinson, M. G., and Spinnler, H.E. (2017).** Lipolysis and Metabolism of Fatty Acids in Cheese. In *Cheese, Chemistry, Physics and Microbiology*, 4ième édition (p. 1302 p.). Academic Press - Elsevier.
 - **van Kranenburg, R., Kleerebezem, M., van Hylckama Vlieg, J., Ursing, B. M.,**

REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUE

- Boekhorst, J., Smit, B. A., Ayad, E. H. E., Smit, G., et Siezen, R. J.** (2002). Flavour formation from amino acids by lactic acid bacteria: predictions from genome sequence analysis. *International Dairy Journal* 12: 111–121.
- **Vandamme, P., De Bruyne, K., Pot, B.** (2014). Phylogenetics and systematics. In: Holzappel, W.H., Wood, B.J.B. (Eds). *Lactic acid bacteria: biodiversity and taxonomy*. John Wiley & Sons, Ltd, Chichester, United Kingdom. pp. 31–44.
 - **Veullemand J.C.,** (1986). *Microbiologie des aliments. Evolution de l'activité protéolytique des bactéries lactiques*. Tec & Doc, Lavoisier. Paris. 3 : 1-65.
 - **Von Wright, A. et Axelsson, L.** (2012). Lactic acid bacteria: An introduction. In Lahtinne, S., Salminen, S., Von Wright, A. et Ouwehand, A., *Lactic acid bacteria: microbiological and functional aspects*. CRC Press:1-17
 - **Wegkamp, A., Teusink, B., de Vos, W.M. et Smid, E.J.** (2010). Development of a minimal growth medium for *Lactobacillus plantarum*. *Letters in Applied Microbiology* 50 : 57–64.
 - **Yilmaz, M. T., Dertli, E., Toker, O. S., Tatlisu, N. B., Sagdic, O., and Arici, M.** (2015). Effect of in situ exopolysaccharide production on physicochemical, rheological, sensory, and microstructural properties of the yogurt drink ayran : An optimization study based on fermentation kinetics. *Journal of Dairy Science*, 98(3), 1604- 1624.),
 - **Yvon, M.** (2006). Key enzymes for flavor formation by lactic acid bacteria *Australian Journal of Dairy Technology*, vol. 61, n°2, p. 89-96.
 - **Zalacian, I., Zapelena, M.J., Astiasaran, I., BeLLO, J.** (1996). Addition of lipase from *Candida cylindracea* to a traditional formulation of a dry fermented sausage. *Meat science*, 42: 155-163.
 - **Zeidan, A. A., Poulsen, V. K., Janzen, T., Buldo, P., Derkx, P. M. F., Øregaard, G., and Neves, A. R.** (2017). Polysaccharide production by lactic acid bacteria : From genes to industrial applications. *FEMS Microbiology Reviews*, 41(Supp_1), S168- S200.
 - **Zhang, G., Mills, D.A. et Block, D.E.** (2009). Development of chemically defined media supporting high-cell-density growth of Lactococci, Enterococci, and Streptococci. *Applied and environmental microbiology* 75 (4): 1080–1087.

ANNEXES

ANNEXES

7 ANNEXE

Milieux de culture utilisés

<p><u>Gélose MRS</u> Peptone 10 g Extrait de viande 10 g Extrait de levure 5 g Glucose 20 g Tween 80 1 ml Phosphate dipotassique 2 g Acétate de sodium 5 g Citrate triammonium 2 g Sulfate de magnésium 0,20 g Sulfate de manganèse 0,05 g Cystéine 0,5g 6 gouttes de vitamine Eau distillée qsp 1000 ml PH 6,2. Stériliser par autoclavage 120°C pendant 15min</p>	<p><u>Gélose YMA (Yeast Milk Agar)</u> Peptone 5g Extrait de levure 3g Lait écrémé 1g Agar 15g Eau distillée qsp 1000ml pH7,1. Stériliser par autoclavage 120°C pendant 15min.</p>
<p><u>Milieu PCA</u> Tryptone 5g Extrait de levure 2.5g Glucose 1g Poudre de lait écrémé(0%) 1g Agar 15g Stériliser par autoclavage 120°C pendant 15min.</p>	<p><u>Milieu MSE (Mayeux, Sandine et Elliker)</u> Tryptone 10 g Extrait de levure 5 g Saccharose 100 g Citrate de sodium 1 g Glucose 5 g Gélatine 2,5 g Azothydrate de sodium 0,075 g Eau distillée 1000 ml pH 6,5 Autoclavage 121°C, 15 minutes.</p>

ANNEXES

Milieu hyper saccharosé	Clark et lubs
gélose MRS contenant différentes sources de carbone comme saccharose, mannose et lactose à raison de 5%.	peptone 5g glucose 5g hydrogénophosphate de potassium 5g eau distillée. 1000ml pH 7,5

المخلص :

في هذه الدراسة المتعمقة، أجرينا تقييماً شاملاً للقدرة التكنولوجية الشبني عشرة سلالات بكتيرية لكتيرية متميزة، معزولة عن ثلاثة منتجات ألبان حربية، وهي «بن وجبين وزبدا». كانت منتجات الألبان هذه مصنوعة من حليب البقر الخام، مما يوفّر سياقاً أصلياً لدراسة السلالات البكتيرية اللبنيّة. تمّ إجراء اختبار تحديد السلالات البكتيرية التكنولوجية. ركزنا على خصائص انحلال البروتين وتحليل الدهون والجلبان MALDI-TOF MS بواسطة تقنية الزكدة، حيث تلعب هذه الخصائص دوراً أساسياً في إنتاج الغذاء. كشفت النتائج التي تم الحصول عليها عن تنوع ملحوظ في القدرات التكنولوجية للسلالات البكتيرية اللبنيّة التي تمّت دراستها. من بين السلالات الشبني عشر التي تمّ فحصها، أظهرت سلالتان فقط، تمّ تحديدهما على أنهما سلالتان 108 و111، نشاطاً وطاقاً لتحليل البروتين، مع أقطار منطقة تثبيط 21 مم و19 مم على التوالي. من اللافت للنظر أن السلالة 108 كانت إيجابية أيضاً من حيث نشاط الزكدة. ومع ذلك، لم نلاحظ أي

من السلالات التي تمّت دراستها نشاطاً يبرّج أو تحلل الدهون. تؤكد هذه النتائج على الأهمية الحاسمة لاختبار السلالات الحساسية بعناية ونقياً للخصائص المحددة المطلوبة في صناعة الأغذية، لا سيما فيما يتعلق بملبس وزكدة ورائحة المنتجات النهائية

الكلمات المفتاحية: قدرات تكنولوجية، إحصاء، سلالات بكتيرية لكتيرية، زكدة، رائحة، قوة تحليل البروتين

Résumé

Dans cette étude approfondie, nous avons entrepris une évaluation exhaustive des aptitudes technologiques de douze souches bactériennes lactiques distinctes, isolées à partir de trois produits laitiers artisanaux, à savoir "L'ben, Jben et Zebda". Ces produits laitiers étaient préparés à base de lait cru de vache, offrant ainsi un contexte authentique pour l'étude des souches bactériennes lactiques.

Les souches bactériennes ont été identifiées par la technique MALDI-TOF MS, puis revivifiées et purifiées avant de procéder aux tests de leurs aptitudes technologiques. Nous nous sommes concentrés sur leur pouvoir protéolytique, lipolytique, texturant et aromatisant, car ces caractéristiques jouent un rôle essentiel dans la production alimentaire.

Les résultats obtenus ont révélé une diversité marquée dans les capacités technologiques des souches bactériennes lactiques étudiées. Parmi les douze souches examinées, seules deux d'entre elles, désignées souches 108 et 111, ont manifesté une activité protéolytique, avec des diamètres de zone d'inhibition mesurant respectivement 21mm et 19mm. De manière remarquable, la souche 108 s'est également révélée positive en termes d'activité. Cependant, aucune des souches étudiées n'a présenté d'activité texturante ou lipolytique.

Résumé

aromatisante.

Cependant, aucune des souches étudiées n'a présenté d'activité texturante ou lipolytique.

Résumé

Ces résultats soulignent l'importance cruciale de sélectionner avec soin les souches appropriées en fonction des caractéristiques spécifiques recherchées dans l'industrie alimentaire, notamment en ce qui concerne la texture, la saveur et l'arôme des produits finaux.

Mots clés : Aptitudes technologiques, revivification, souches bactériennes lactiques, saveur, arôme, pouvoir protéolytique.

Abstract

In this in-depth study, we undertook a comprehensive assessment of the technological capabilities of twelve distinct lactic bacterial strains, isolated from three artisanal dairy

Résumé

products, namely "ben, jben and zebda". These dairy products were made from raw cow's milk, providing an authentic context for the study of lactic bacterial strains.

The bacterial strains were identified by the MALDI-TOF MS technique, then revived and purified before testing their technological abilities. We focused on their proteolytic, lipolytic, texturing and flavouring properties, as these characteristics play an essential role in food production.

The results obtained revealed a marked diversity in the technological capacities of the lactic bacterial strains studied. Of the twelve strains examined, only two, identified as strains 108 and 111, exhibited proteolytic activity, with inhibition zone diameters of 21mm and 19mm, respectively. Remarkably, strain 108 was also positive in terms of flavouring activity.

However, none of the strains studied exhibited textural or lipolytic activity. These results underline the crucial importance of carefully selecting the appropriate strains according to the specific characteristics sought in the food industry, particularly with regard to the texture, flavour and aroma of the final products.

Keywords: Technological properties, revivification, lactic bacterial strains, flavor, aroma, proteolytic power