

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA

FACULTE DES SCIENCES

DEPARTEMENT DE MICROBIOLOGIE & BIOCHIMIE

N°:



DOMAINE : SCINCES DE LA NATURE ET DE LA VIE

FILIERE : SCIENCE BIOLOGIQUE

OPTION : MICROBIOLOGIE APPLIQUEE

Mémoire présenté pour l'obtention

Du diplôme de Master Académique

Par : **CHADI Abdennour**

TERCHI Hamza

Intitulé

Etude bibliographique sur les bactéries lactiques

Soutenu devant le jury composé de :

Dr. ARIECH Mounira	Université Mohamed Boudiaf M'sila	Président
Dr. MEDJEKAL Samir	Université Mohamed Boudiaf M'sila	Examineur
Dr. GUETOUACHE Mourad	Université Mohamed Boudiaf M'sila	Encadreur

Année universitaire : 2022 /2023

DEDICACE

Avec l'expression de ma reconnaissance, je dédie ce modeste travail

A mes chers parents

Quoi que je dise ou que je fasse, je n'arriverai jamais à vous remercier comme il se doit. C'est grâce à vos encouragements, votre bienveillance et votre présence à mes côtés, que j'ai réussi ce respectueux parcours.

A ma chère femme et mon enfant Najmuddin qui est la lumière de ma vie

A mes chers frères et à ms sœurs

Merci pour votre soutien moral, votre confiance et vos précieux conseils, qui m'ont aidé dans les moments difficiles.

Je vous souhaite le bonheur et la réussite dans vos vies.

A toute mes frères et sœurs

À travers ses lignes je ne peux pas vous décrire tous mes sentiments d'amour, le seul mot que je peux dire est merci, vraiment merci beaucoup à toute personne qui a contribué à la réalisation de ce mémoire.

CHADI Abdennour

*Avant tous, mes profonds remerciements s'adressent à **ALLAH** qui m'a aidé et donné le courage et la patience pour effectuer ce travail.*

J'ai le grand plaisir de dédier ce modeste travail à :

Mes très chers parents et mes sœurs pour leur patience, leur soutien et leurs encouragements

Que le bon Dieu vous garde en bonne santé

Ma chère femme pour sa gentillesse et sa compréhension

Mon fis Ahmed Wassim

Ma famille et ma belle famille

Tous ceux qui m'aiment

TERCHI Hamza

REMERCIEMENTS

Au terme de ce travail, qu'il nous soit permis de témoigner à toutes les personnes qui nous ont aidé à faire aboutir ce modeste travail nos plus vifs remerciements

*Nous remercions tout d'abord **ALLAH** de nous avoir donné le courage, la patience et la volonté pour arriver à ce niveau d'étude et réaliser ce modeste travail.*

Nous parents qui ont donné tout au long de notre formation, tout ce que nous avons besoinet particulièrement leurs amours et tendresses, ainsi que nos frères, sœurs et amis.

Nous tenons à remercier tout particulièrement :

*À notre dirigeant (Encadreur) Monsieur : **GUETOUACHE Mourad**, pour sa patience, son aide et son encouragement d'avoir ennobli de diriger ce travail malgré ses lourdes charges, que nous à orienter durant tous nos recherches vers le bon chemin et le bon travail.*

*À monsieur le chef de département : **RAHALI A.**, à tous les enseignants du département de microbiologie et biochimie et le corps administratif.*

À tous nos collègues de Microbiologie.

À toutes les personnes pour leur aide.

À tous les étudiants de Master Microbiologie de la promotion 2021 / 2023.

À tous :

Nous vous disons, merci

Sommaire

Résumé	i
Liste des abréviations	ii
Liste des figures	iii
Listes des tableaux	iv
Introduction	1
Chapitre I. Généralité sur les bactéries lactiques.....	2
I.1. Historique :	2
I.2. Habitat :	2
I.3. Définition et caractères généraux :	2
I.4. Classification des bactéries lactiques :	3
I.5. Les principaux genres de bactéries lactiques :.....	4
I.5.1. Genre <i>Lactobacillus</i> :	4
I.5.2. Le genre <i>Streptococcus</i> :	6
I.5.3. Le genre <i>Lactococcus</i> :.....	7
I.5.4. Le genre <i>Leuconostoc</i> :	7
I.5.5. Le genre <i>Bifidobacterium</i> :.....	8
I.5.6. Le genre <i>Enterococcus</i> :	9
I.5.7. Le genre <i>Pediococcus</i> :	9
I.5.8. Le genre <i>Aeorococcus</i> et <i>Tetragenococcus</i> :.....	10
I.5.9. Les genres <i>Oenococcus</i> et <i>Weissella</i> :.....	10
I.6. Génétique des bactéries lactiques :	10
I.7. Culture des bactéries lactiques :	10
Chapitre II. Métabolismes, Applications et activités des bactéries lactiques	12
II.1. Métabolisme des bactéries lactiques :	12
II.1.1. Métabolisme des sucres :.....	12
II.1.1.1. Voie homofermentaire (EMP) ou la glycolyse :.....	13

II.1.1.2.	Voie hétérofermentaire ou voie des pentoses phosphate :	13
II.1.1.3.	Voie bifide ou FPC (Fructose 6- phospho-cétolase) :.....	13
II.1.2.	Métabolisme du citrate :	13
II.1.3.	Métabolisme azoté :	14
II.2.	Application des bactéries lactiques :	14
II.2.1.	Domaine alimentaire :	14
II.2.1.1.	L'activité aromatisant :	15
II.2.1.2.	L'activité acidifiante :	15
II.2.1.3.	L'activité lipolytique :	15
II.2.1.4.	L'activité texturant :	15
II.2.1.5.	L'activité protéolytique :	16
II.2.2.	Domaine thérapeutique :	16
II.2.3.	Domaine cosmétique :	16
II.2.4.	Domaine Industrielle :	16
II.3.	Les activités antimicrobiennes des bactéries lactiques :	16
II.3.1.	Les acides organiques :	17
II.3.2.	Les acides gras :	17
II.3.3.	Le Peroxyde d'hydrogène (H ₂ O ₂) :	17
II.3.4.	Le dioxyde de carbone (CO ₂) :	17
II.3.5.	Le diacétyl (C ₄ H ₆ O ₂) :	17
II.3.6.	La reutéline (3-hydroxypropionaldéhyde) :	18
II.3.7.	Les bactériocines:	18
Chapitre III.	Bactériocines des bactéries lactiques	19
III.1.	Définition et nomenclature :	19
III.2.	Classification des bactériocines :	19
III.2.1.	Bactériocine de classe I : lantibiotiques	19
III.2.2.	Bactériocines de classe II : les peptides non modifiés.....	20

III.2.3.	Bactériocines de classe III : Bactériolysines	20
III.2.4.	Bactériocines de Classe IV : Bactériocine complexe	20
III.3.	Mode d'action de bactériocine :	21
III.4.	Applications potentielles des bactériocines:	22
III.4.1.	Application alimentaire :	22
III.4.1.1.	Produits laitiers :	23
III.4.1.2.	Produits carnés :	23
III.4.1.3.	Produits végétaux :	24
III.4.1.4.	Produits d'aquaculture :	24
III.4.2.	Domaine cosmétique :	24
III.4.3.	Domaine industrielle.....	24
III.4.4.	Domaine thérapeutique.....	25
III.4.5.	Applications médicales:.....	25
Chapitre IV.	Les Probiotiques des bactéries lactiques	26
IV.1.	Historique :	26
IV.2.	Définition :	26
IV.3.	Principaux genres probiotiques de bactéries lactiques :	28
IV.4.	Applications des probiotiques :	28
IV.5.	Les critères utilisés pour la sélection des souches probiotiques :	29
IV.6.	Effets bénéfiques des probiotiques :	30
Conclusion.....	32
Références bibliographiques		

الملخص

بكتيريا حمض اللبن أو البكتيريا اللبنية هي كائنات مجهرية ظهرت منذ حوالي 3 مليار عام وقد تم عزلها من الحليب لأول مرة من طرف ميتشنيكوف سنة 1904، هي بكتيريا موجبة الغرام على شكل كريات او عصيات، تضم 13 جنس تقوم بتخمير و تحويل السكريات إلى حمض اللبن وكذلك الأحماض العضوية الأخرى، كما لها استخدامات عديدة في المجال الغذائي و العلاج وصناعة مواد التجميل كما تلعب دور مهم ضد الكائنات المجهرية الأخرى و ذلك من خلال إنتاج العديد من المستقلبات مثل الباكترينوسين و الاحماض العضوية و الدهنية و غيرها والتي تقوم بدور أساسي في الحفاظ على الصفات الغذائية والحسية للمنتجات الغذائية وتعمل على زيادة مدة الصلاحية، كما أن هناك أجناس بروبيوتيك لها فوائد لصحة المستهلك.

Abstract

Lactic acid bacteria are microorganisms that appeared about 3 billion years ago. It was isolated from milk for the first time by Metchnikoff in 1904, are Gram+ positive bacteria in the form of shells or rods. It includes 13 kinds capable of fermenting and transforming sugars into lactic acid but also other organic acids. It also has many uses in the field of food, therapeutic and cosmetic industry. It also plays an important role in the fight against other microorganisms by producing many metabolites such as bacteriocin, organic and fatty acids, and others which plays an essential role in preserving the nutritional and organoleptic qualities of food products and helps to increase the shelf life. Also, there are probiotic genera that have health benefits for consumers.

Résumé

Les bactéries lactiques sont des micro-organismes apparus il y a environ 3 milliards d'années, il a été isolé du lait pour la première fois par Metchnikoff en 1904, sont des bactéries à Gram positif sous forme de coques ou de bâtonnets. Il comprend 13 genres capables de fermenter et de transformer les sucres en acide lactique mais aussi d'autres acides organiques. Il a également de nombreuses utilisations dans le domaine de l'industrie alimentaire, thérapeutique et cosmétique. Il joue également un rôle important dans la lutte contre d'autres micro-organismes en produisant de nombreux métabolites tels que la bactériocine, les acides organiques et gras, et autres qui jouent un rôle essentiel dans la préservation des qualités nutritionnelles et organoleptiques des produits alimentaires et contribue à augmenter la durée de conservation. Il existe aussi des genres probiotiques qui présentent des bénéfices pour la santé des consommateurs.

Liste des abréviations

% : pour Cent.

ADN : Acide désoxyribonucléique.

ARN : Acide Ribonucléique.

ARNr : Acide Ribonucléique ribosomal.

AW : Activity water.

BL : Bactérie Lactique.

C° : Degré Celsius.

CO₂ : Dioxyde de carbone.

C₄H₆O₂ : Le diacétyl.

E. coli : *Escherichia coli*.

EMP : Embden-Meyerhof-Parnas.

EPS : Exopolysaccharides.

FAO : Food and Agriculture Organization of the United Nations.

FDP : Fructose 1-6 Diphosphate Aldolase.

FPC : Fructose 6- Phospho- Cétolase.

g : gramme.

GRAS : Generally Recognized As Safe.

G+C : le ratio guanine + cytosine.

H₂O₂ : Peroxyde d'hydrogène.

KDa : kilo dalton.

NaCl : Chlorure de Sodium.

OMS : l'organisation Mondiale de la Santé.

PH : Potentiel d'hydrogène.

Sp : Espèce.

WHO: World Health Organization.

µm : micromètre.

Liste des figures

Figure 1: Arbre phylogénétique basé sur l'analyse comparative du gène ARN-16S.....	4
Figure 2 : <i>Lactobacillus casei</i> au microscope électronique	5
Figure 3: <i>Streptococcus thermophilus</i> au microscope électronique.....	6
Figure 4 : <i>Lactococcus lactis</i> au microscope électronique.....	7
Figure 5 : <i>Leuconostoc mesenteroides</i> au microscope électronique.	7
Figure 6 : <i>Bifidobacterium</i> sp au microscope électronique.....	8
Figure 7: <i>Enterococcus faecalis</i> au microscope électronique	9
Figure 8: <i>Pediococcus acidilactici</i> au microscope électronique	9
Figure 9 : Différents types de fermentation	12
Figure 10: Structure de la reutérine, 3-hydroxypropanal	18
Figure 11 : Classification universelle des bactériocines	21
Figure 12 : Mode d'action des bactériocines.	22
Figure 13: Exemples d'application des bactériocines	23

Listes des tableaux

Tableau 1: Principaux genres de bactéries lactiques.....	3
Tableau 2: Critères différentiels des trois groupes de Lactobacilles	6
Tableau 3 : Principaux produits issus de la fermentation des bactéries lactiques	14
Tableau 4: Certaines descriptions et définitions des probiotiques citées au cours des années	27
Tableau 5: les bactéries lactiques considérés comme des probiotiques.....	28
Tableau 6 : Principaux critères utilisés pour la sélection des souches probiotiques.....	29
Tableau 7: Critères de sélections utilisés aux laboratoires pour le screening des probiotiques ..	30
Tableau 8: Principaux effets bénéfiques associés à la prise de probiotiques et mécanismes supposés	30

Introduction

Introduction

Les bactéries lactiques (BL) sont considéré comme l'un des plus anciens organismes microscopiques sur la face de cette planète, car son apparition remonte à plus de 3 milliards d'années, et il est donc considéré comme plus anciens que les cyanobactéries, nos ancêtres l'utilisaient il y a des milliers d'années pour fermenter les aliments (le lait pour la production de yaourt traditionnel et autres dérivés, Pâte pour la fabrication du pain et ses dérivés, Raisins pour la production de vins...etc.), sans comprendre la nature de ces micro-organismes ni leur mécanisme d'action.

Décrites pour la première fois par Orla-Jensen au début du XXe siècle (1919), les bactéries lactiques constituent un groupe hétérogène, qui n'est pas clairement défini du point de vue taxonomique. Il a donné une définition précise des (BL), les décrivant comme des micro-organismes bénéfiques pour l'homme, et elles participent également à l'élaboration de nombreux produits alimentaires fermentés. Ils jouent également un rôle important en donnant, caractéristiques organoleptiques, nutritionnelles et sanitaires de l'aliment (**Pilet et al, 1998**).

Elles sont des Gram positif, immobiles asporulés, oxydase négative, catalase négative, anaérobies facultatifs. Les exigences nutritionnelles complexes pour les acides aminés, les peptides, les vitamines, les sels, les acides gras et les glucides fermentescibles (**Hogg, 2005**).

En plus du rôle des (BL) dans la fermentation des aliments, il a un rôle tout aussi important dans la préservation des aliments grâce à ses capacités antimicrobiennes, cette propriété est due aux métabolites antimicrobiens qu'il sécrète comme : les bactériocines, les acides organiques surtout l'**acide lactique**, le peroxyde d'hydrogène, le dioxyde de carbone, le diacétyl, la reutérine (**Ammor et al, 2006**). La plupart des bactéries probiotiques qui existent aujourd'hui sont des bactéries lactiques, et plus précisément, elles sont des genres *lactobacillus* et *bifidobacterium* qui joue un rôle important dans la santé du système digestif et sa protection contre les maladies (**Heyman et al, 2006**).

Chapitre I.

Généralité sur les bactéries

lactiques

Chapitre I. Généralité sur les bactéries lactiques

I.1. Historique :

Les (BL) sont des micro-organismes très anciens dont les ancêtres auraient pu apparaître il y a trois milliards d'années. Il existait sur la planète avant les cyanobactéries photosynthétiques qui ont contribué à la transformation de l'ancienne atmosphère sans oxygène de la terre en une atmosphère propice à la vie (**Driider et Prévost, 2009**). Les humains utilisent des bactéries lactiques pour fermenter les aliments depuis 40 siècles. Mais à la fin du XIXe siècle, à l'ère du développement des découvertes en microbiologie, certains chercheurs parviennent à isoler des streptocoques (**Poulain ,1994**).

I.2. Habitat :

Les (BL) sont ubiquistes, très fréquentes dans la nature. Elles se trouvent généralement associées à des aliments riches en sucres simples. Elles peuvent être isolées du lait, du fromage, de la viande, des végétaux ou des aliments ensemencés par les végétaux. Elles se développent avec la levure dans le vin, la bière et le pain. Quelques espèces colonisent le tube digestif de l'homme et des animaux (**Leveau et Bouix 1993, Hassan et Frank ,2001**).

I.3. Définition et caractères généraux :

Les (BL) sont des cellules vivantes, procaryotes, en forme de coques ou de bâtonnets, gram-positives, hétérotrophes et chimioorganotrophes. Elles sont le plus souvent immobiles, jamais sporulées, oxydase négative, catalase négative, nitrate réductase négative, micro-aérophiles, anaérobies facultatives, mésophiles (capables de croître à des températures comprises entre 10°C et 45°C), Elles se développent généralement à pH compris entre 4 - 4,5, capable de vivre dans des milieux à faible activité d'eau (AW), résister l'éthanol (10 – 15 %) et au CO₂, la teneur en guanine et cytosine (G+C) est inférieure à 50% (**Konig et Frohlich, 2009 ; Pringsulka et al., 2011**). Les exigences nutritionnelles des bactéries lactiques sont complexes pour les acides aminés, les peptides, les vitamines, les sels, les acides gras et les glucides fermentescibles (**Dellaglio et al, 1994 ; Hogg, 2005**).

Les (BL) encore appelées bactéries de l'acide lactique sont caractérisées par leur aptitude à fermenter les glucides en produisant de l'acide lactique, mais il existe des autres bactéries produisant de l'acide lactique mais qui ne sont pas considérées comme faisant partie du groupe des bactéries lactique c'est le cas par exemple *Bacillus* et *Sporo-lactobacillus* (**Axelsson ,2004**).

Selon les produits de fermentation, on peut distinguer trois types de bactéries lactiques. D'abord le groupe de fermentation homogène qui produit principalement de l'acide lactique (90% des produits de fermentation), ensuite le groupe de fermentation facultatif qui produit soit de l'acide

lactique, soit de l'acide lactique et de l'acide acétique, et enfin le groupe hétérogène strict qui produit de l'acide lactique, soit de l'acide acétique ou l'éthanol et le dioxyde de carbone (**Leveau et Bouix 1993**). Les bactéries lactiques de qualité alimentaire sont non pathogènes et sont classées comme qualificatif anglo-saxon pour GRAS sauf pour certaines pathogènes de genres *Streptococcus* et *Enterococcus* (**Aguirre et Collins 1993**).

I.4. Classification des bactéries lactiques :

ORLA-JENSEN en 1919 a divisé les bactéries lactiques en deux groupes : homofermentaire et hétérofermentaire, selon des critères morphologiques et physiologiques ces deux familles sont ensuite subdivisées en sous-familles. En 1974, selon le Bergey's manual, les bactéries lactiques dissociées en deux familles : celle des *Streptococcacea* et celle des *Lactobacillacea*. Mais en 1985, Schleifer et al, ont proposé la division des streptocoques en 04 genres génétiquement distincts : *Streptococcus*, *Enterococcus*, *Vagococcus* et *Lactococcus*, deux derniers regroupant les streptocoques lactiques (**Dellaglio et al, 1994**).

La morphologie est considérée comme la caractéristique clé pour décrire et classer les genres des bactéries lactiques. De ce fait, les bactéries lactiques peuvent être divisées arbitrairement en bacilles (*Lactobacillus* et *Carnobacterium*) et coques (tous les autres genres).

Le genre *Weissella*, récemment décrit, est le seul genre qui comporte à la fois des bacilles et des coques (**Collinset al, 1993**). Le tableau 01 présente les principaux genres de bactéries lactiques et leur caractéristique physiologique.

Tableau 1: Principaux genres de bactéries lactiques (**Matamoros, 2008**).

Genre	Forme de cellule	fermentation	l'acide lactique	Espèce
<i>Aerococcus</i>	Coques	Homofermentaire		<i>A.vridans</i>
<i>Carnobacterium</i>	Bacilles	Hétérofermentaire	L(+)	<i>C.divergens</i>
<i>Enterococcus</i>	Coques	Homofermentaire	L(+)	<i>E.faecalis</i>
<i>Lactobacillus</i>	Bacilles	Homo ou hétérofermentaire	D(-) ou L(+) ou D/L	<i>L.delbrueckii</i>
<i>lactococcus</i>	Coques	Homofermentaire	D(-)	<i>L.lactis</i>
<i>Leuconostoc</i>	Coques	Hétérofermentaire	D(-)	<i>L.mesenteroides</i>
<i>Oenococcus</i>	Coques	Hétérofermentaire	L(+) ou D/L	<i>O.oeni</i>
<i>Pediococcus</i>	Coques	Homofermentaire	L(+)	<i>P.damosus</i>
<i>Streptococcus</i>	Coques	Homofermentaire	L(+)	<i>S.salivarius</i>
<i>Tetragenococcus</i>	Coques	Homofermentaire	L(+)	<i>T.halophilus</i>
<i>Vagococcus</i>	Coques ovoïdes	Homofermentaire		<i>V.fluvialis</i>
<i>Weissella</i>	Petits bacilles	Hétérofermentaire	D/L ou D(-)	<i>W.viridescens</i>

I.5. Les principaux genres de bactéries lactiques :

Les (BL) sont regroupées en **13** genres, sont *Streptococcus*, *Lactococcus*, *Enterococcus*, *Leuconostoc*, *Pediococcus*, *Aerococcus*, *Lactobacillus*, *Bifidobacterium*, *Carnobacterium*, *Tetragenococcus*, *Oenococcus*, *Vagococcus* et *Weissella* (Horvath et al, 2009).

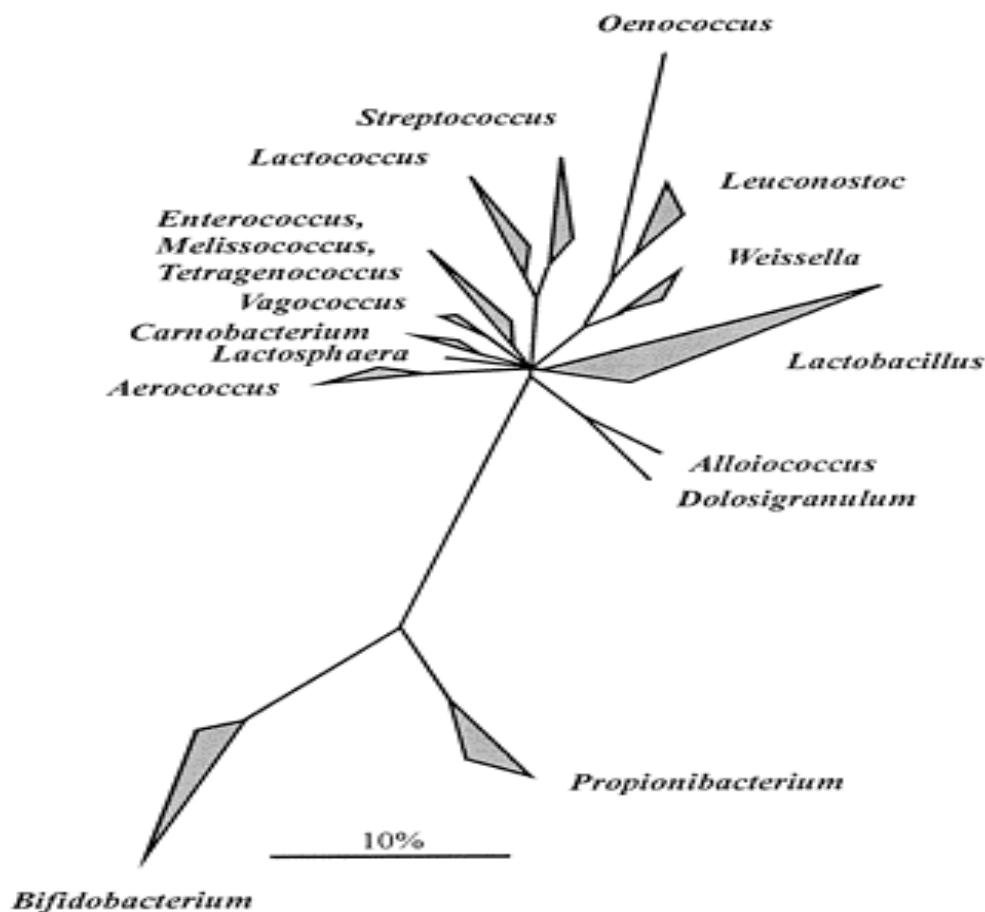


Figure 1: Arbre phylogénétique basé sur l'analyse comparative du gène ARN-16S. Montrant les principaux groupes phylogénétiques de bactéries lactiques avec le pourcentage G+C dans l'ADN et les bactéries Gram + du genre *Bifidobacterium*, *Propionibacterium* (Holzapfel et al, 2001).

I.5.1. Genre *Lactobacillus* :

Il est considéré comme le genre principal de la famille des *Lactobacillaceae* et contient plus de 100 espèces, dont la plupart sont associées à l'homme ou utilisées pour la fermentation industrielle de produits laitiers et d'autres produits alimentaires. Il s'agit de bacilles longs et fins (parfois incurvés) souvent groupés en chaînes, immobiles, asporulés, catalase négative, se développent à un optimum de température situé entre 30 et 40°C (figure 2). Ils ont des exigences nutritionnelles très complexes en acides aminés, en vitamines, en acides gras, en nucléotides, en glucides et en minéraux (Khalid et Marth, 1990 ; Leclerc et al, 1994).



Figure 2 : *Lactobacillus casei* au microscope électronique (Corrieu et Luquet, 2008).

Le pourcentage de GC est compris entre 32 et 53 %. Du fait de leur diversité, on les retrouve dans des environnements très divers comme le lait fermenté et le kéfir, la viande fraîche ou fermentée, les légumes fermentés comme la choucroute, l'ensilage ou le vin, ainsi que les systèmes digestifs de l'homme et des animaux (Guiraud, 2003 ; Galvez et al, 2008).

- **Groupe I** : également appelé **Thermobacterium**. Ils comprennent des lactobacilles stricts et thermophiles, ils ne sont pas capables de fermenter les pentoses et les gluconates. Ces bactéries fermentent les hexoses par la voie d'Embden-Meyerhof, en produisant exclusivement de l'acide lactique, elles se développent à 45°C mais pas à 15°C. Leurs cellules sont longues, droites souvent en palissades (Bottazzi, 1988).
- **Groupe II** : également appelé **Streptobacterium**. Rassemble les lactobacilles hétérofermentaires facultatifs et mésophiles qui se développent à 15°C. Les hexoses sont fermentés par la voie d'Embden-Meyerhof, en produisant exclusivement de l'acide lactique (mais pour certaines souches : du lactate, de l'acétate, de l'éthanol et du formiate), celle des pentoses et du gluconate peuvent être dégradés par la voie hétérofermentaire avec une production d'acide lactique et d'acide acétique par une phosphokétolase inductible. Leurs cellules sont courtes, souvent arrangées en filaments (Bottazzi, 1988).
- **Groupe III** : également appelé **Betabacterium**. Ces espèces ont un métabolisme strictement hétérofermentaire. La fermentation des hexoses produit de l'acide lactique, de l'acide acétique (ou de l'éthanol) et du CO₂, celle des pentoses, de l'acide lactique et de l'acide acétique. Ces bactéries possèdent une phosphokétolase (tableau (I) 4). C'est un groupe qui rassemble des espèces relativement hétérogènes, surtout mésophiles. Les cellules sont courtes, droites et séparées (Bottazzi, 1988).

Tableau 2: Critères différentiels des trois groupes de Lactobacilles (Sharpe, 1981 ; Kandler et Weiss, 1986).

Caractéristiques	Groupe I, homofermentaires Obligatoires	Groupe II, hétérofermentaires Facultatifs	Groupe III, hétérofermentaires Obligatoires
Fermentation des pentoses	-	+	-
CO ₂ à partir du glucose	-	-	+
CO ₂ à partir du gluconate	-	+	+
FDP aldolase	+	+	-
Phosphokétolase	-	+	+
Les espèces les plus fréquentes	<i>Lb. acidophilus</i> <i>Lb. delbrueckii</i> <i>Lb. helveticus</i> <i>Lb. salivarius</i>	<i>Lb. casei</i> <i>Lb. curvatus</i> <i>Lb. plantarum</i> <i>Lb. Sakei</i>	<i>Lb. Brevis</i> <i>Lb. buchneri</i> <i>Lb. Fermentum</i> <i>Lb. reuteri</i>

FDP : Fructose 1-6 Diphosphate Aldolase.

I.5.2. Le genre *Streptococcus* :



Figure 3: *Streptococcus thermophilus*, au microscope électronique (Corrieu et Luquet, 2008).

Les cellules de ce genre sont sphériques ou ovoïdes, immobiles, qui ont un diamètre inférieur à 2µm avec une disposition en paires ou en chaînes longues. La formation de chaîne est plus clairement observée dans des cultures liquides, aéro-anérobie facultatives. Elles croissent à 45°C mais non à 15°C et la plupart des souches survivent après un chauffage à 65°C pendant 30 minutes. Elles ne peuvent pas résister à une concentration de 0.1% de bleu de méthylène ni à un pH de 9.6. Leur croissance est variable à 2% d'NaCl mais aucune souche ne peut se développer à 3%, et sur une base morphologique il est difficile de distinguer ce genre des *Enterococcus*, *Leuconostoc* et *Lactococcus* (Wijtzes et al, 1997 ; De Vos et al, 2009).

En technologie alimentaire la seule espèce utilisée Après l'avoir isolé du lait pasteurisé ou de la pâte fermentée est *Streptococcus thermophilus* et les autres espèces est associé à de nombreuses maladies humaines et animales (Hols et al, 2005),

Toutes les souches de *S. thermophilus* exigent les vitamines de groupe B et quelques acides aminés pour leur développement. Elles sont incapables d'hydrolyser l'esculine, les caséines, la

gélatine, l'hippurate et l'arginine. Certaines souches peuvent hydrolyser l'amidon. Elles produisent de l'acétoïne (réaction de Voges-Proskauer), la β . galactosidase et la leucine arylamidase. Mais elles ne peuvent pas synthétiser plusieurs enzymes comme l'uréase, DNase, α . galactosidase, etc. (De Vos et al, 2009).

I.5.3. Le genre *Lactococcus*:



Figure 4 : *Lactococcus lactis* au microscope électronique (Corrieu et luquet, 2008).

Le genre *lactococcus* comprend 5 espèces mésophiles homofermentaire : *lactococcus garvieae*, *L.piscium*, *L.plantarum*, *L.raffinolactis* et *L.lactis* lui-même divisé en 3 sous espèces : *cremoris*, *hordniae* et *lactis* (Corrieu et Luquet, 2008).

Pour leur isolement, une variété des milieux complexes est utilisée (gélose au sang, le milieu Elliker, M17...). Après une incubation qui dure de 1 à 2 jours, des colonies petites, translucides à blanchâtres, lisses et circulaires sont formées, Les cellules de *Lactococcus* sont sphériques ou ovoïdes, isolées, en paires ou en chaines. Elles sont non hémolytiques, aéro-anaérobies facultatives à micro aérophiles, Leur température optimale de croissance s'étend de 10 à 40°C, Ils croissent bien à des valeurs proches de la neutralité dans les milieux tamponnés, mais ils s'arrêtent de croître lorsque le pH atteint 4.5, Elles se développent, généralement, à 4% d'NaCl à l'exception de *Lc. lactis* subsp.*cremoris* qui tolère seulement 2% de sel (De Vos et al, 2009).

I.5.4. Le genre *Leuconostoc*:

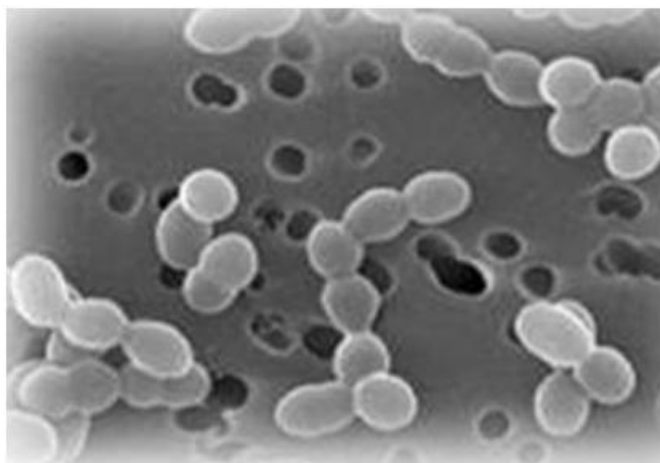


Figure 5 : *Leuconostoc mesenteroides* au microscope électronique. (Wallace et al, 2003).

Le terme vient du mot « Nostoc » qui est une algue bleue mucilagineuse et «Leuco» veut dire blanc, Sont définis pour la 1ere fois par Vantieghem (1878), Les *Leuconostocs* sont des bactéries à Gram positif, immobiles, asporulées, dépourvus d'oxydase et de catalase , anaérobies facultatifs avec une forme ovoïde, associées en paire ou en chaines courtes, elles sont exigeantes du point de vue nutritionnel et leur croissance est toujours lente, dont leurs optimums de croissance est de 20 à 30 °C caractérisées par un métabolisme hétérofermentaire, ils produisent de l'acide lactique, du CO₂ et de l'éthanol (Bjorkroth et al, 2009).

I.5.5. Le genre *Bifidobacterium* :

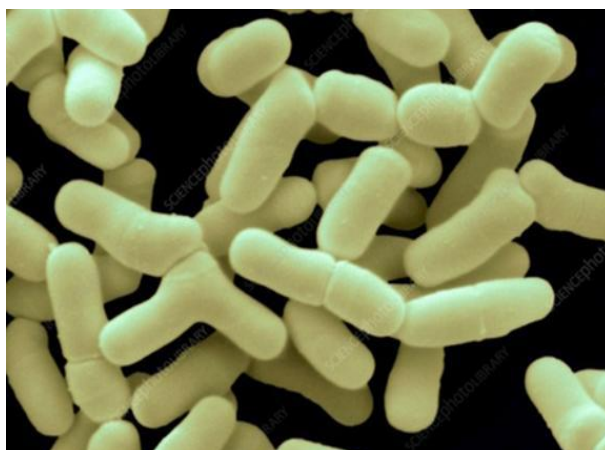


Figure 6 : *Bifidobacterium* sp (wallace et al, 2003).

Habituellement, les bifidobactéries sont souvent également considérées comme des bactéries lactiques en raison de leurs caractéristiques physiologiques et biochimiques similaires et du fait qu'elles partagent certaines niches écologiques communes aux bactéries lactiques telles que le tractus gastro-intestinal (Klein et al, 1998).

Elles ont généralement le PH optimal de croissance est de 6.5 à 7 et la température de croissance comprise entre 37°C et 41°C, leur contenu G+C supérieur à 50%. Elles ont la forme irrégulière d'un V ou une morphologie bifide en forme de Y (**figure 06**). Elles ont hétérofermentaires et dégradent les hexoses en produisant de l'acide lactique et acétique. (Gomez et al, 1998 ; Leahy et al, 2005). Il se caractérise par sa tolérance à 6,5% de NaCl, au pH 9,6 et par la croissance à 10°C et 45°C avec une température optimale de croissance de 35°C à 37°C (Zhang et Cai, 2014).

I.5.6. Le genre *Enterococcus* :



Figure 7: *Enterococcus faecalis* au microscope électronique (Wallace et al, 2003).

Les entérocoques sont des aéro-anaérobies facultatives, forme des coques, groupés ou isolés, en paire, en chaînettes ou en amas, Sa forme change selon les conditions du culture, capable d'être mobiles, homofermentaires, généralement différenciés par la fermentation de l'arabinose et le sorbitol, La température optimale de leur croissance est 37°C, dépourvues de la catalase et du nitrate (Guirand et al, 2004 ; Ho et al, 2007). Plusieurs entérocoques sont commensaux ou parasites de l'homme et des animaux et certaines sont hautement pathogènes (Guirand et al, 2004).

I.5.7. Le genre *Pediococcus* :

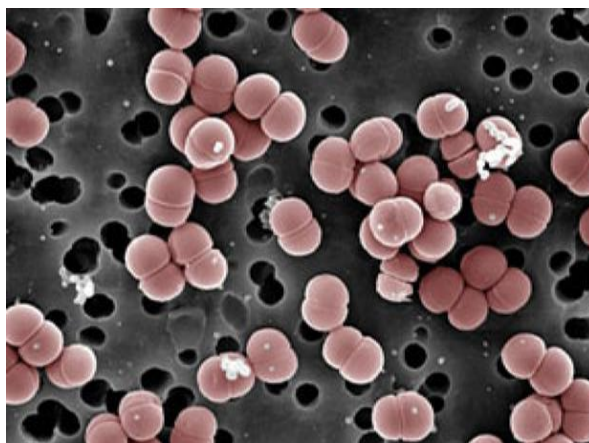


Figure 8: *Pediococcus acidilactici* au microscope électronique (Wallace et al, 2003).

En raison du rôle des espèces du genre *pediococcus* dans la détérioration de la bière, elle est considérée comme l'une des premières bactéries étudiées par Louis Pasteur. Il a été reconnu très tôt en raison de sa forme sphérique et la formation de tétrades. Précédemment, ils étaient la seule bactérie lactique divisée en deux plans pour produire des tétrades ou paires (figure 08). Cependant, des changements taxonomiques plus récents ont augmenté le nombre de tétrades formant des genres à trois. Dans le manuel de bactériologie systématique de Bergey, seules 8

espèces ont été reconnues dans ce genre mais maintenant 11 espèces peuvent être distinguées les unes des autres en fonction de leurs caractéristiques physiologiques (**Zhang et Cai, 2014**).

Les *Pediococcus* sont des bactéries Gram positif sphérique, catalase négative et oxydase négative, anaérobie facultatives, fermentation hétérolactique immobiles, ne forment pas de spores ou de capsules, le pourcentage de GC % varie entre 34% à 44%. Il est souvent isolé du matériel végétal (*Pediococcus acidilactici*, *Pediococcus parvulus*, *Pediococcus inopinatus* et *Pediococcus lolii*), des boissons fermentées, de la viande et des produits laitiers (**Philippon et Poyart, 2008 ; Dicks et Endo, 2014**).

I.5.8. Le genre *Aeorococcus* et *Tetragenococcus* :

Ce sont des cellules groupées en tétrades sous forme sphérique, Ce genre contient cinq espèces et est considéré comme le moins utilisé dans l'industrie alimentaire par rapport à d'autres genres. Cependant, il est utilisé dans le verdissement des produits carnés cuits (**Peirson et al, 2003**).

I.5.9. Les genres *Oenococcus* et *Weissella* :

Les genres *Oenococcus* et *Weissella* sont parmi les plus proches du genre *Lactobacillus*, ce sont des Gram positif anaérobies facultatifs, catalase négative, Il existe en deux types de formes Des bacilles et des coques de forme ovoïde (**Björkroth et Holzapfel, 2003**).

I.6. Génétique des bactéries lactiques :

Les bactéries lactiques contiennent un matériel génétique organisé en deux structures : long filament d'ADN très replié sur lui-même dit **le chromosome**, et des petites molécules circulaires d'ADN indépendantes des chromosomes dit **les plasmides**, pouvant se répliquer de façon autonome. Dans les conditions de milieu défavorables (température élevée, privation nutritionnelles) La bactérie peut perdre spontanément les plasmides ou éliminés par des traitements chimiques. Perte des plasmides des plasmides Montrer la différence des propriétés technologique, due à l'apparition de variantes ayant et perdu certaines fonction métabolique parce que perdu certain gènes, Si le plasmide a été perdu est le plasmide codant pour la protéase de paroi Les bactéries deviennent peu protéolytique Ce qui provoque un ralentissement de la croissance bactérienne et une acidification faible du lait , Il y a aussi des fonctionnalités codé par des gènes portés par des plasmides comme la capacité d'utilisation le lactose, le métabolisme de précurseurs d'arômes, la production de la nisine chez certaine souches, des résistances aux bactériophages (**Stackebrandt et Tubera, 1988 ; Kandler et Weiss, 1986**).

I.7. Culture des bactéries lactiques :

La culture des bactéries lactiques a besoin d'un environnement pauvre en oxygène et riche en divers nutriments pour leur croissance comme les sucres, les acides aminés, les acides gras, les

sels, les vitamines (**Hammes et Hertel, 2006**). Les bactéries lactiques cultivées dans le milieu MRS, Le MRS ; est un milieu riche, qui offre aux bactéries, à culture difficile, différentes sources de carbone et d'azote, telles que les peptones, le glucose et le Tween 80, (Le Tween 80 ; était initialement, utilisé comme, émulsifiant, dans la préparation des milieux de culture, avant d'être considéré comme source de carbone pour les bactéries) (**De Man et al, 1960**).

Chapitre II.

Métabolismes, applications et activités antimicrobienne des bactéries lactiques

Chapitre II. Métabolismes, applications et activités des bactéries lactiques

II.1. Métabolisme des bactéries lactiques :

La production d'énergie est nécessaire pour la croissance, les (BL) ne possèdent pas un système respiratoire fonctionnel donc elles doivent obtenir leur énergie par phosphorylation au niveau du substrat. Les (BL) sont des micro-organismes capables de fermenter et de transformer les sucres en acide lactique mais aussi d'autres acides organiques (acide acétique, acide formique).

Les sucres peuvent être des monosaccharides tels que les hexoses (glucose, galactose), des pentoses (xylose, ribose, arabinose), des hexitols ou des pentitols (mannitol, sorbitol, xylitol) ou des disaccharides (lactose, saccharose, cellobiose, maltose, tréhalose). La capacité à métaboliser les sucres est fonction des souches considérées (Axelsson, 2004).

II.1.1. Métabolisme des sucres :

La fermentation du sucre doit passer par trois étapes :

- Le transport du sucre à travers la membrane cellulaire ;
- Le catabolisme intracellulaire du sucre ;
- La formation et expulsion extracellulaire des métabolites terminaux.

Selon l'espèce des bactéries lactiques utilisent principalement l'une des deux voies du métabolisme des sucre, voie homofermentaires Embden-Meyerhof-Parnas (EMP) et hétérofermentaire (voies des pentoses-phosphates).

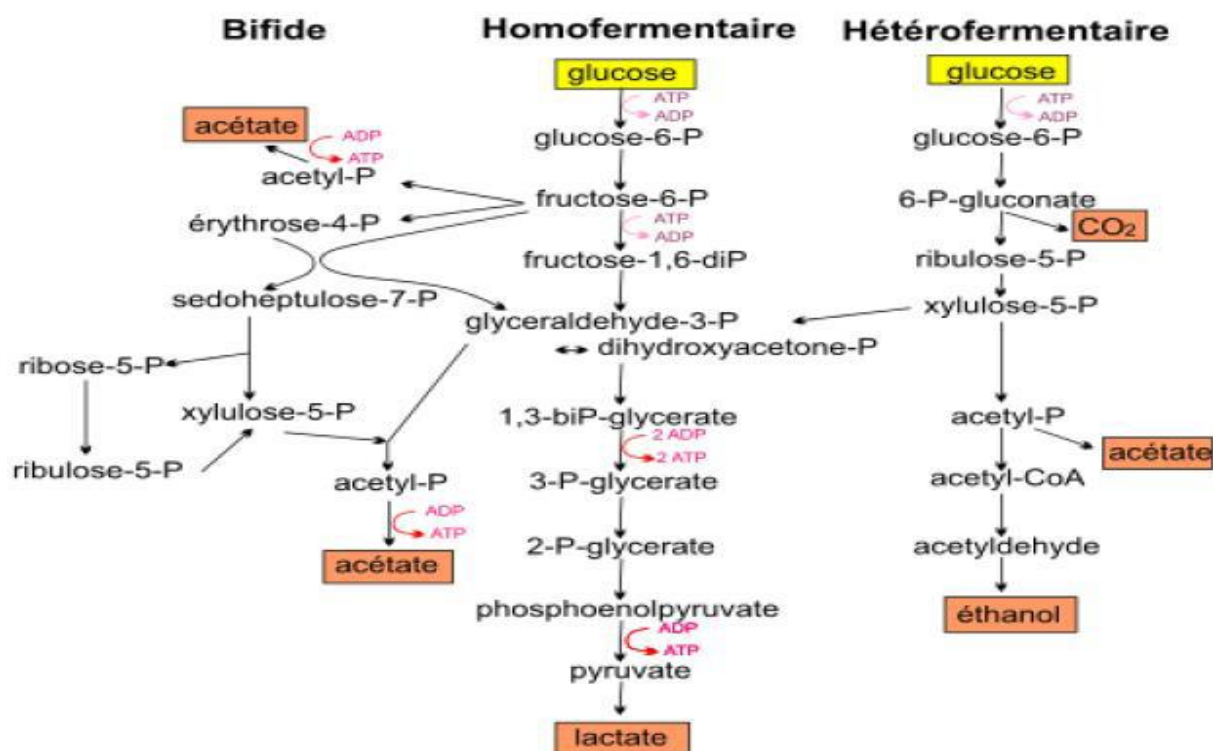


Figure 9 : Différents types de fermentation (Axelsson, 2004).

II.1.1.1. Voie homofermentaire (EMP) ou la glycolyse :

Dans la voie homofermentaire produise deux molécules d'acide lactique (C3) et deux molécules ATP par glucose (C6) consommé (Tompson et Gentry-Weeks, 1994). Certaines espèces de lactocoques et pédiocoques, et certains lactobacilles sont des (BL) homofermentaires (Tompson et Gentry-Weeks, 1994).

II.1.1.2. Voie hétérofermentaire ou voie des pentoses phosphate :

Dans la voie hétérofermentaire produisent une seule molécule d'acide lactique est produite à partir du glucose, en plus de l'acide lactique (moins de 1.8 moles par mole de glucose), de l'acétate, de l'éthanol et du CO₂ (Tompson et Gentry-Weeks, 1994).

La voie hétérofermentaire, aussi appelé voie des pentoses phosphate (transcétolases) On le retrouve chez ces espèces, *Lactobacillus*, telles que *Lactobacillus brevis*, *Lactobacillus fermenti* et chez *Leuconostoc*, telles que *Leuconostoc mesenteroides* et *Leuconostoc pentosaceus*. Ces bactéries dégradent les hexoses avec formation quasi stoechiométrique d'une molécule d'acide lactique, d'une molécule de CO₂ et d'une molécule d'éthanol. Les sucres à cinq atomes de carbone ou pentoses, peuvent parfois être fermentés et donnent alors une molécule d'éthanol et une molécule d'acide lactique. Outre ces produits, qui représentent plus de 80% des métabolites obtenus, on obtient également de l'acide acétique et du glycérol (Tompson et Gentry-Weeks, 1994).

II.1.1.3. Voie bifide ou FPC (Fructose 6- phospho-cétolase) :

Cette voie est liée aux bactéries du genre *Bifidobacterium*, ce qui nous permet d'obtenir 1.5 molécules d'acétate et 2.5 molécules d'ATP à partir d'une molécule d'hexose consommée. (Tompson et Gentry-Weeks, 1994).

II.1.2. Métabolisme du citrate :

Plusieurs espèces utilisent de l'acide citrique, par exemple : *Streptococcus thermophilus*, *Lactococcus Lactis*, *Enterococcus faecium*, *Leuconostoc cremoris*, *Lactobacillus plantarum*, *Lactobacillus casei*. Mais pour qu'il se dégrader, il faut qu'il existe avec lui un substrat fermentescible et d'une source d'azote (Leveau et Bouix, 1993). La citrate-perméase transporte le citrate à l'intérieur des cellules où il est divisé en acétate et en oxaloacétate par le complexe enzymatique citrate-lyase. Puis l'oxaloacétate décarboxylase converti l'oxaloacétate converti en pyruvate et en CO₂. Et après transformations successives du pyruvate, il donne finalement de composés aromatisants et le produit fini est le 2,3-butylen-glycol (2,3-butanediol) (Cogan et al, 1982).

II.1.3. Métabolisme azoté :

Les (BL), dans leur croissance et leur développement, ont besoin d'acides aminés car elles sont incapables de les fabriquer. Le lait ne contient également qu'une petite quantité d'acides aminés libres, ce qui ne permet pas une meilleure croissance des bactéries lactiques, mais ils s'y adaptent bien tant qu'il y a un apport en protéines, grâce à un système protéolytique complexe (**Larpent, 1991**). En cas de manque de nutriments dans le milieu, les bactéries lactiques ont recours au catabolisme des acides aminés et à la formation de molécules aromatiques (alcool, aldéhydes, acides organiques, ...) et l'utiliser comme source d'énergie (**Wililams et al, 1996**). Grâce aux ions Ca^{2+} qui réalise la première étape de processus de dégradation des protéines le système protéolytique des bactéries lactiques (Lactobacilles, Lactocoques) met en œuvre une protéase liée à la paroi cellulaire, par différents peptidases membranaires et cytoplasmiques les peptides résultants seront hydrolysés en acides aminés après leur transport dans le cytoplasme (**Monnet, 2009**).

II.2. Application des bactéries lactiques :

Grace à leur effet bénéfique, les (BL) jouent un rôle important dans plusieurs domaines, notamment :

II.2.1. Domaine alimentaire :

L'humanité utilise la fermentation depuis longtemps, diverses transformations du lait nécessitent l'intervention de bactéries lactiques, par exemple : laits fermentés comme le yaourt, crème maturée, fromages frais et affinés, et aussi dans l'industrie du vin, production de viande salée, la fermentation des végétaux comme la choucroute et ensilages et aussi en boulangerie normal (**Desmazeaud, 1998**).

Tableau 3 : Principaux produits issus de la fermentation des bactéries lactiques (**Penaud, 2006**).

Genre	Substrat	Exemples de produits
<i>Bifidobacterium</i>	Lait	Laits fermentés
<i>Lactobacillus</i>	Viande Lait Végétaux Céréales	Yaourts, laits fermentés, kéfirs, fromages Saucissons secs, jambons secs, choucroute, olives, "yaourts" au lait de soja pain au levain, bières
<i>Lactococcus</i>	Lait	Fromages, kéfirs
<i>Leuconostoc</i>	Lait Végétaux	Choucroute, olives, vin Fromages, kéfirs
<i>Pediococcus</i>	Végétaux Viande	Choucroute saucisses Semi – séchées
<i>Oenococcus</i>	Végétaux	Vin
<i>Streptococcus</i>	Lait	Yaourts, laits fermentés, fromages

II.2.1.1. L'activité aromatisant :

On peut obtenir plusieurs composés aromatiques à partir des bactéries lactiques, ces composés sont causés par le catabolisme des acides aminés, ces composés sont classés selon leur nature chimique en cinq catégories : les alcools, les acides, les aldéhydes, les thiols et leurs dérivés et divers autres molécules (**François, 2008**). Ce sont quelques-uns des composés aromatiques : l'acétolactate, l'acétaldéhyde, le diacétyl, l'acétoïne et 2,3-butanediol, l'éthanol, l'acétate, le formiate, ...etc., cette propriété est très importante pendant de la production de lait fermenté, de fromage frais, de crèmes et de beurre qui ont un arôme associé à cette activité bactérienne (**Bourgeois et Larpent, 1996 ; Gerrit et al., 2005**).

II.2.1.2. L'activité acidifiante :

L'acidification est l'une des activités les plus importantes des bactéries lactiques utilisées dans l'industrie alimentaire. L'acidification est représentée par la production d'acide lactique à partir de la fermentation au cours de la croissance bactérienne. Il a plusieurs objectifs :

- L'acide lactique joue un rôle important dans la saveur des aliments fermentés.
- L'acide lactique joue un rôle important dans l'abaissement du pH des milieux de culture et des matrices alimentaires.
- Minimiser les risques de croissance des germes pathogènes et détruire les produits finaux.
- Déstabilisation des micelles de caséines, coagulation des laits et participation à la synérèse (**Béal et al, 2008**).

II.2.1.3. L'activité lipolytique :

La fonction **lipolytique** est faible dans les bactéries lactiques, les lactocoques sont les plus lipolytiques que *Streptococcus thermophilus* et les lactobacilles, Cependant, il a l'avantage de l'utiliser dans l'industrie fromagère (**Béal et al, 2008**). Lors de l'autolyse des bactéries au cours du processus de fabrication, les enzymes **lipases** (les lipases hydrolysent les triglycérides) et **estérase** (les estérases hydrolysent les esters d'alcools, de phénol et d'acides gras) sont activées résultant en une propriété lipolytique (**Atlan et al, 2008**).

II.2.1.4. L'activité texturisante :

Cette aptitude consiste en la synthèse et la production des exopolysaccharides (**EPS**) qui joue un rôle actif dans la consistance et la rhéologie des produits transformés plusieurs bactéries lactiques peuvent produire ces polymères comme : *lactocoques*, *streptocoques*, *lactobacilles*, *leuconostoc*, Certains espèces de bactéries lactiques produisant les **EPS** tels que : *Lb. dalbrueckii* ssp. *Bulgaricus* et *Streptococcus thermophilus*, qui sont utilisés dans la fabrication des yaourts comme starters fonctionnel, et aussi qui joue un rôle important dans l'amélioration de la texture, et

éviter la synérèse et augmenter la viscosité des produits **finis (Leroy et De Vuyst, 2004; Ho et al., 2007).**

II.2.1.5. L'activité protéolytique :

Les (BL) sont incapables de synthétiser les acides aminés essentiels, mais elles contiennent un système protéolytique composé de protéases liées à la paroi cellulaire, qui active l'hydrolyse des protéines en un polypeptide contenant de 7 à 16 résidus aminés dit : **La protéolyse primaire** qui permet l'hydrolyse précoce des caséines du lait, Ensuite, **La protéolyse secondaire** où les endopeptidases ou exopeptidases décomposent ces peptides en unités transportables d'acides aminés et de petits peptides (**Lynch et al, 1997 ; Lane et Fox, 1996 ; González, 2010**). Le processus de protéolyse est d'une grande importance dans l'affinage des fromages en agissant aussi bien sur la texture que sur les arômes des produits fins (**González, 2010**).

II.2.2. Domaine thérapeutique :

Les bactéries lactiques jouent un rôle positif pour son hôte en créant un équilibre des bactéries intestinales dans le tube digestif, il joue également un rôle actif dans la maturation du système immunitaire (**Yateem et al, 2008**). Certains types de lactobacilles, tels que les *Lactobacillus crispatus*, sont utilisés dans le traitement des infections des voies urinaires et du col de l'utérus, en les utilisant comme suppositoires pour prévenir l'infection des voies urinaires et reproducteur (**Uehara et al, 2006**). Les bactéries jouent un rôle efficace dans la prévention de la diarrhée et sont également utilisées dans le traitement de plusieurs types de diarrhée, aussi, grâce à la capacité protéolytique des bactéries lactiques il joue un rôle efficace dans la réduction des allergies à certains aliments (**Mkrtchyan et al, 2010, El-Ghaish et al, 2011**).

II.2.3. Domaine cosmétique :

L'acide lactique produit par les (BL) est utilisé comme hydratant dans l'industrie cosmétique en raison de sa propriété de retenue l'eau, le lactate d'éthyle. Il est utilisé comme traitement efficace dans les préparations anti-acné (**Wee et al, 2006**).

II.2.4. Domaine Industrielle :

L'acide lactique est inclus dans de nombreux produits industriels tels que : agent de détartrage, dissolvant, nettoyant, mouillant...etc. Surtout avec l'exacerbation du problème de la propagation des déchets plastiques et les efforts déployés par tous les gouvernements du monde pour rechercher des produits alternatifs biodégradables (**Reddy et al, 2008**).

II.3. Les activités antimicrobiennes des bactéries lactiques :

Les (BL) possèdent une propriété antibactérienne joue un rôle important dans la préservation des qualités nutritionnelles et organoleptiques des produits alimentaires et travailler pour augmenter la durée de conservation, cette capacité est due à la production de plusieurs métabolites

aux propriétés antimicrobiennes tels que les acides organiques, les acides gras, le peroxyde d'hydrogène, le dioxyde de carbone, le diacétyl, la reutéline et les bactériocines (**Ammor et al, 2006**).

II.3.1. Les acides organiques :

Les (BL) produisent des acides organiques pendant le processus de fermentation de divers aliments pour rendre le PH de milieu acide afin d'empêcher la croissance microbienne indésirable. Ces acides organiques tels que l'acide lactique, l'acide acétique ou l'acide propionique, la forme non dissociée de l'acide lactique et l'acide acétique traversent passivement la membrane cytoplasmique, et pour de fortes concentrations d'acides, le milieu intracellulaire peut s'acidifier à un point tel, que les fonctions cellulaires sont inhibées et le potentiel membranaire est annulé (**Ammor et al, 2006**).

II.3.2. Les acides gras :

Possède des acides gras insaturés une activité antimicrobienne contre les bactéries à Gram+, et aussi les acides gras ont la capacité antifongique. Mais elle est liée à plusieurs facteurs tels que : pH, la composition, de la concentration du milieu (**Gould, 1991**).

II.3.3. Le Peroxyde d'hydrogène (H₂O₂) :

Le Peroxyde d'hydrogène est une molécule neutre diffuse librement à travers la membrane cellulaire, Il affecte plusieurs composants cellulaires importants tels que : l'ADN, les protéines et les lipides, provoquant la mort cellulaire, donc le peroxyde d'hydrogène a un effet inhibiteur sur la croissance des micro-organismes ne possédant aucun système de défense adéquat comme les catalases (**Touati, 2000**).

II.3.4. Le dioxyde de carbone (CO₂) :

Pendant le processus de fermentation hétérolactique le dioxyde de **carbone** est produit et crée un environnement anaérobie qui inhibe les microorganismes aérobies. Le dioxyde de carbone Accumulez dans la bicouche lipidique peut provoquer un dysfonctionnement de la perméabilité, le CO₂ empêche la croissance de plusieurs germes d'altération surtout les germes psychrotrophes à Gram négatif (**Ammor et al, 2006**).

II.3.5. Le diacétyl (C₄H₆O₂) :

Plusieurs genres de (BL) peuvent produire **Le diacétyl (C₄H₆O₂)** tels que : *Lactococcus* sp., *Leuconostoc* sp., *Lactobacillus* sp et *Pediococcus* sp. Est un des composants aromatiques essentiels du beurre. Il a des propriétés antimicrobiennes surtout les bactéries Gram-négatif, les levures, et les bactéries Gram-positif non lactiques mais avec peu d'effet (**El Ziney et al, 1998**).

II.3.6. La reutérine (3-hydroxypropionaldéhyde) :

Pendant la fermentation anaérobie du glycérol par l'espèce *Lactobacillus reuteri*, une substance antimicrobienne qui est produite comme métabolite intermédiaire dit la reutérine (ou 3-hydroxypropionaldéhyde), la reutérine a un effet puissant contre de nombreux micro-organismes tels que : les procaryotes (Gram-positif ou Gram-négatif), les champignons, les virus, les eucaryotes et les protozoaires. La reutérine a la capacité d'interférer avec la réplication de l'ADN. Il a de nombreuses utilisations dans l'industrie alimentaire et dans le domaine médical (Vollenweider, 2004).

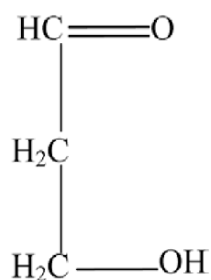


Figure 10: Structure de la reutérine, 3-hydroxypropanal (Axelsson, 2004).

II.3.7. Les bactériocines:

On peut définir les bactériocines comme des protéines, ou complexes de protéines, avec une activité bactéricide contre des espèces proches de la souche productrice. Les bactériocines représentent une large classe de substances antagonistes qui varient considérablement du point de vue de leur poids moléculaire, de leurs propriétés biochimiques, de leur spectre d'action et de leur mode d'action (Klaenhammer, 1988).

Chapitre III.

**Bactériocines des bactéries
lactiques**

Chapitre III. Bactériocines des bactéries lactiques

III.1. Définition et nomenclature :

La première bactériocine a été découverte en 1925 par Gratia, qui a observé l'inhibition d'*Escherichia coli* et par *E. coli* V (Riley et Chavan, 2007). La colicine est la première bactériocine produite à partir d'*Escherichia coli* V et présente une activité inhibitrice contre *E. coli* S (Bharti et al, 2015). La bactériocine a été définie comme ayant un spectre bactéricide étroit avec une biosynthèse létale, une activité intra spécifique, et une fixation à des récepteurs cellulaires spécifiques (Lundström, 2012). Parmi les bactéries productrices de bactériocine, les principaux producteurs sont les bactéries lactiques Gram-positives (LAB) (Khochamit et al, 2014). Plusieurs types de bactériocines provenant de LAB ont été identifiés et caractérisés, dont les plus importants sont Nisin, Diplococcin, Acidophilin, Bulgarican, Helveticins, Lactacinset Plantaricins (Jaya Chitra et Siva Kumar, 2018).

La nomenclature des bactériocines en général est une notion surjective car elle est basée sur l'ajout du suffixe "cin" pour le genre ou l'espèce, nom pour désigner l'activité bactériocinogènes (Djadouni, 2013). La nomenclature des bactériocines est basée sur le générique du genre ou de l'espèce productrice. Par exemple *Escherichia coli* produit une bactériocine nommée colicine. L'espèce *Pediococcus* produit une bactériocine nommée pediocine (Mameche, 2008).

III.2. Classification des bactériocines :

Les bactériocines diffèrent entre elles par leur structure primaire, tridimensionnelle, mode d'export et leur mécanisme d'action. Ces critères permettent de classer les bactériocines en quatre classes comme proposé par Klaenhammer (1993).

Ces classes sont :

III.2.1. Bactériocine de classe I : lantibiotiques

Les lantibiotiques, c'est-à-dire des petits peptides cationiques, hydrophobes et thermostables qui contiennent des acides aminés inhabituels (Thio éther aminoacides lanthionine et / ou méthyl lanthionine) qui sont formés post-traductionnellement. Protéines de poids moléculaire inférieur à 10 kDa avec modifications post-traductionnelles comprend des protéines susceptibles de subir certaines modifications par leur biosynthèse, en raison de la présence d'une séquence de peptides signaux cela permettra la reconnaissance, le transport et le maintien du peptide inactif. Cette classe I peut être divisée en 3 sous-classes Ia, Ib et Ic selon la charge des peptides : Ia cationiques hydrophobes avec 34 acides aminés, Ib globulaires chargés négativement ou sans charge contenant jusqu'à 19 acides aminés et Ic leur structure cyclique formés de 2 peptides agissant en synergie (Mekri, 2016 ; Gonzalez-perez et al, 2018).

III.2.2. Bactériocines de classe II : les peptides non modifiés

Cette classe regroupe les bactériocines ne possédant pas de cycles lanthionine. Leur taille n'excède pas en général 10 kDa et elles sont thermostables. Ce type de bactériocines ne subit aucune modification post-traductionnelle. Leur mode d'action consiste dans la majorité des cas à perméabiliser la membrane interne, ce qui induit une fuite des métabolites intracellulaires et in fine la mort bactérienne. Ces bactériocines sont de natures variées et appartiennent à différentes sous-classes (**Cherier, 2017**) : Les bactériocines de **la Classe IIa** posséder un 2^{ème} pont disulfure dans leur partie C terminale ce qui stabilise leur structure tertiaire. Ensuite **la Classe IIb** nécessitant l'association de 2 peptides pour être actives, de type E « Enhancing » où l'association des 2 peptides augmente mutuellement leur activité, ou S « Synergie » où ils sont complémentaires. **La Classe IIc** se compose des bactériocines qui ne peuvent pas être rangées dans **les sous-classes IIa** et **IIb** (plantaricine A, lactococcine A, lactococcine 972...) (**Dillenseger, 2019**).

III.2.3. Bactériocines de classe III : Bactériolysines

Les bactériocines de **la classe III** sont des protéines de taille supérieure à 30 kDa et sensibles à la chaleur qui sont essentiellement des endopeptidases. La structure et le mode d'action des bactériocines de **la classe III** se différent complètement des autres bactériocines produites par les bactéries lactiques. Cette classe renferme quatre bactériocines : l'helveticin, l'enterolysin A, lazoocin A, la millericin B produites par *Lactobacillus helveticus*, *Streptococcus zooepidemicus*, *Streptococcus milleri* (**Djelloul, 2021**).

III.2.4. Bactériocines de Classe IV : Bactériocine complexe

La Classe IV est constituée des peptides nécessitant une partie lipidique ou carbohydrates pour avoir leur activité. A ce jour, aucune bactériocine de cette classe n'a été décrite (**Makhloufi, 2012**).

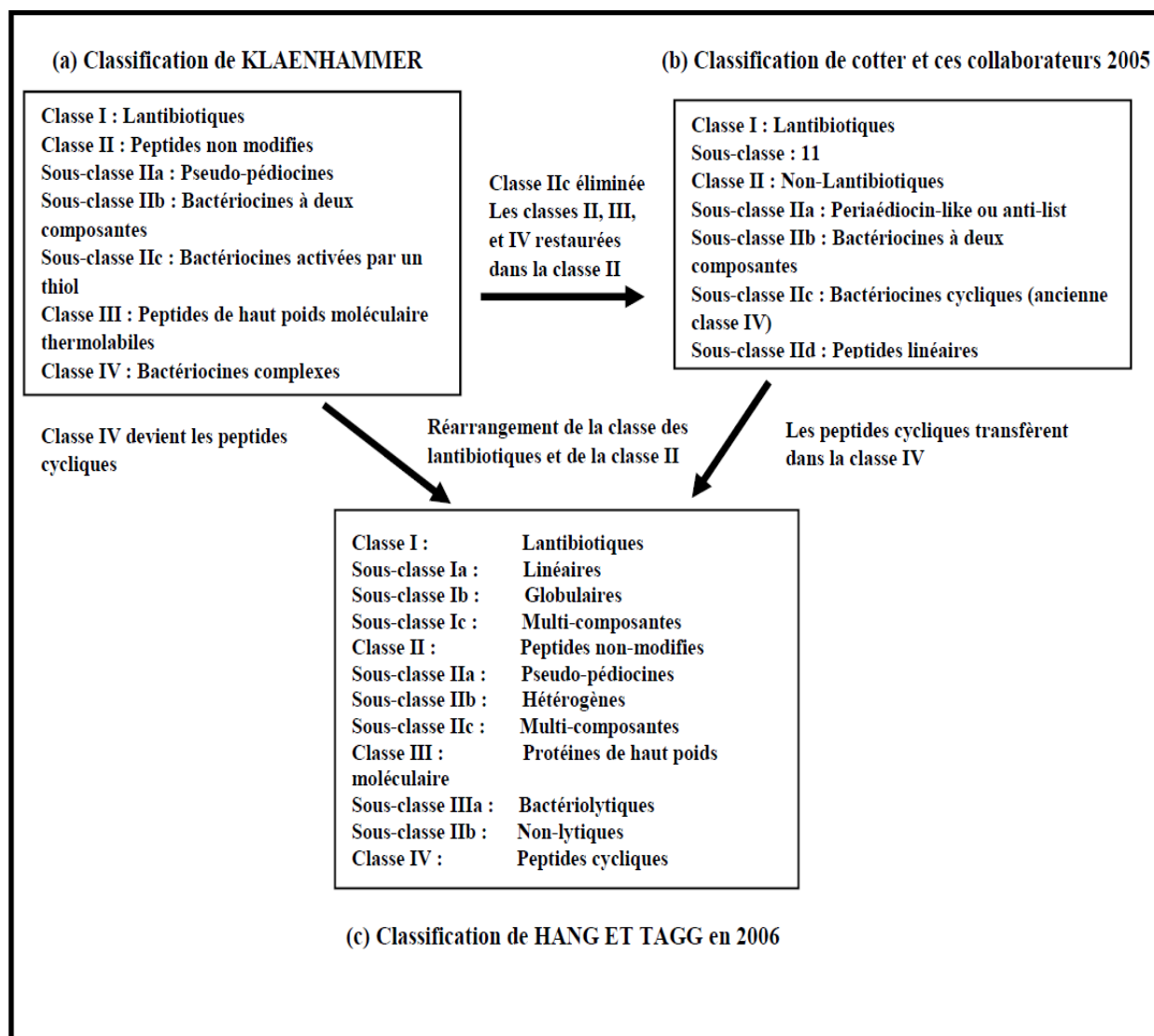


Figure 11 : Classification universelle des bactériocines (TAALE, 2016).

III.3. Mode d'action de bactériocine :

Les bactériocines ont des mécanismes d'action distincts et peuvent être divisés en ceux qui favorisent un effet bactéricide, avec ou sans lyse cellulaire, et bactériostatiques, inhibant la croissance cellulaire. Les bactériocines altèrent la perméabilité membranaire des bactéries, soit inhibent la synthèse de leurs peptidoglycanes, soit encore agissent en détruisant les liaisons peptidiques entre les peptidoglycanes (Nes *et al*, 2011). Les lantibiotiques (bactériocines de classe I), interagissent avec les membranes cellulaires par interaction électrostatique ou par liaison à des récepteurs spécifiques. Ces interactions permettent de former des pores larges et non-spécifiques à la surface des cellules cibles, causant un efflux rapide des composés cytoplasmiques (ions, ATP, acides aminés, ...).

Elles détruisent donc les bactéries en augmentant leur perméabilité membranaire. Les bactériocines de Classe II agissent de la même manière, en provoquant la perméabilisation de la membrane, ce qui conduit à la mort cellulaire. Pour la Classe III, le mode d'action est complètement différent. En effet, elles agissent par hydrolyse des liens peptidiques entre les peptidoglycanes de la membrane des bactéries sensibles. Selon le nombre de bactéries sensibles, le spectre d'action des bactériocines est plus ou moins large (étroit pour la zoocine A, large pour l'entérolysine A et la millericine B) (Bali *et al*, 2016 ; Tenea et Yépez, 2016).

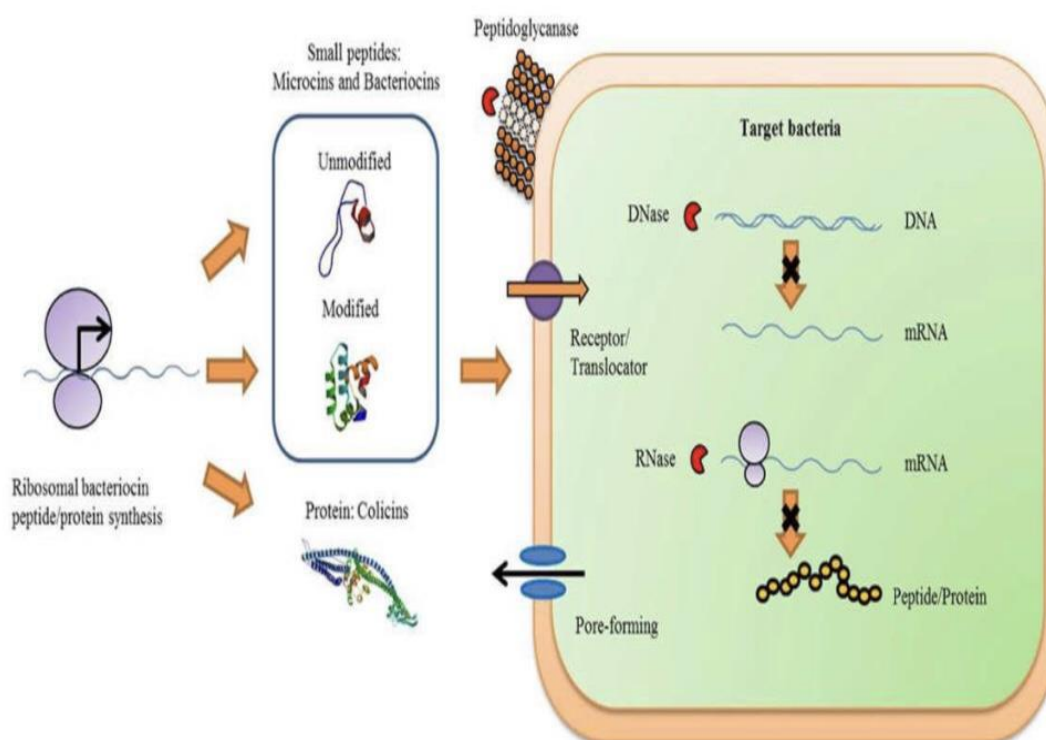


Figure 12 : Mode d'action des bactériocines. (Yang *et al*, 2014).

III.4. Applications potentielles des bactériocines :

III.4.1. Application alimentaire :

Conformément à (Álvarez *et al*, 2019), les bactériocines sont incolores, inodore et sans saveur, et par conséquent, ne nuisent pas à l'acceptabilité de l'alimentation si elle est utilisée comme supplément (figure 13). D'un autre côté, elles peuvent facilement être dégradées par les enzymes protéolytiques de l'hôte : donc les fragments de bactériocine ne demeurent pas longtemps dans l'hôte ou dans l'environnement, ce qui réduit la possibilité d'interaction de ces fragments dégradés avec les souches cibles et les chances le développement de la résistance.

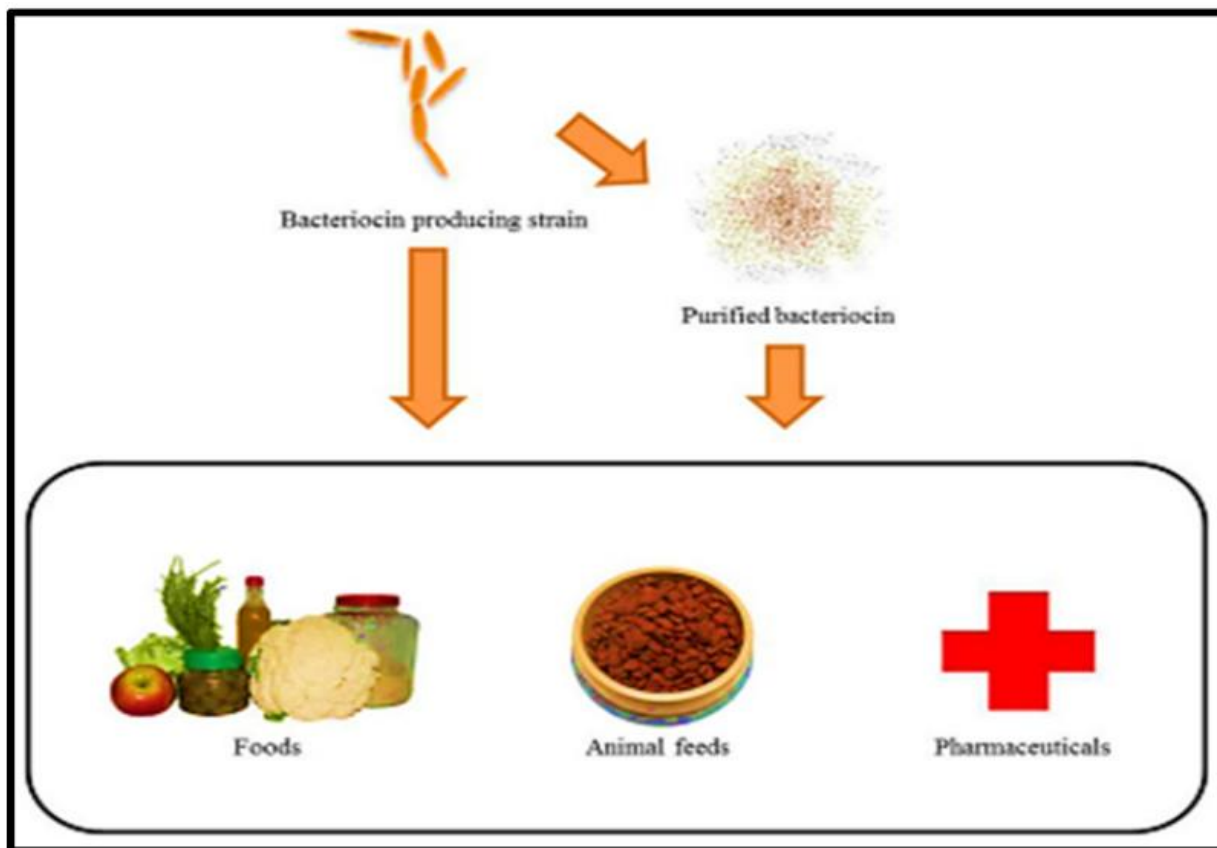


Figure 13: Exemples d'application des bactériocines (Alvarez et al, 2018).

Les consommateurs exigent des aliments sains avec une longue durée de conservation, mais expriment également une préférence pour les produits peu transformés qui ne contiennent pas de conservateurs chimiques. Les bactériocines ont une option intéressante qui peut fournir au moins une partie de la solution. Elles sont produites par des organismes GRAS, généralement stables à la chaleur et peuvent inhiber de nombreux organismes pathogènes. Ces molécules peuvent être utilisées sous diverses formes : purifiées ; semi-purifié comme conservateur alimentaire ou comme préparations de souches bactériennes inoculées dans les aliments comme cultures de départ, auxiliaires ou de protection (Cotter et al, 2005).

III.4.1.1. Produits laitiers :

Plusieurs chercheurs ont démontré l'efficacité de souches productrices de nisine contre des bactéries pathogènes telles que *C. butulinum* et *L. monocytogenes* dans les fromages (le camembert) (Loessner et al, 2003).

III.4.1.2. Produits carnés :

Les bactériocines les plus étudiées dans la viande et les produits carnés comprennent la nisine, l'entéroisine et la lactocine. Ces bactériocines sont également combinées avec des traitements physicochimiques, des conditionnements sous atmosphère modifiée, haute pression

hydrostatique (HHP), chaleur et conservateurs chimiques, comme obstacle supplémentaire pour contrôler la prolifération de *L. monocytogenes* et d'autres agents pathogènes (Vignolo et al, 2000).

III.4.1.3. Produits végétaux :

L'utilisation des bactériocines dans les produits végétaux comprennent la nisine dans les légumes et jus de fruits en conserve, la pédiocine dans les salades et les jus de fruits et l'entérocinine contre *B. cereus* dans le riz et les légumes et contre d'autres agents pathogènes tels que *S. aureus* et la bactérie d'altération *Alicyclobacillus acidoterrestris* (Molinos et al, 2005).

III.4.1.4. Produits d'aquaculture :

La détérioration du poisson frais est généralement causée par des microorganismes ; cependant, dans les poissons et les fruits de mer frais emballés sous vide, des organismes pathogènes tels que *C. botulinum* et *L. monocytogenes* peuvent également causer des problèmes. La nisine Z, plantaricine et l'entérocinine ont la capacité d'inhiber la croissance de plusieurs pathogènes (Wang et al, 2019). L'utilisation des bactériocines dans le domaine alimentaire est devenue très intéressante grâce à leur potentiel d'assurer une sécurité microbienne et une bonne qualité du produit alimentaire. L'utilisation des bactériocines comme additifs naturels dans les aliments a suscité l'intérêt du consommateur qui cherche à minimiser l'utilisation des additifs chimiques artificiels dans les produits alimentaires. Plusieurs études ont montré l'efficacité de la nisine en tant qu'agent de conservation dans les aliments comme la truite fumée, les produits à base d'œufs liquides pasteurisés, les fromages et d'autres produits laitiers. En effet, la nisine est la plus étudiée des bactériocines et la seule utilisée commercialement dans les produits alimentaires (Egan et al, 2016).

III.4.2. Domaine cosmétique :

La capacité de retenue d'eau de l'acide lactique le rend approprié à l'usage comme produit hydratant dans les formulations cosmétiques. Le lactate d'éthyle est un ingrédient actif dans plusieurs préparations anti-acné. L'occurrence naturelle de l'acide lactique dans le corps humain fait qu'il est très utile comme substance active dans les produits cosmétiques (Wee et al, 2006).

III.4.3. Domaine industrielle

L'acide lactique est utilisé dans divers procédés industriels, comme : agent de détartrage, dissolvant, nettoyant, mouillant, ...etc. En raison de l'augmentation des quantités de déchets plastiques dans le monde entier, des efforts considérables de recherches et de développement ont été consacrés afin de substituer les thermoplastiques conventionnels par des matériaux biodégradables, à une seule utilisation (Reddy et al, 2008).

III.4.4. Domaine thérapeutique

L'action des bactéries lactiques sur la santé était dans le cadre des probiotiques. En 2001 un comité d'experts de l'Organisation des Nations pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) et l'organisation Mondiale de la Santé (OMS) définissait les probiotiques comme des micro-organismes vivants qui lorsqu'ils sont consommés en quantité suffisante dans l'alimentation (**Boumediene, 2013 ; Yan et Min, 2014 ; Shehata et al, 2016**). Parmi les avantages exercés par les probiotiques sur la santé de l'hôte : la réduction de l'intolérance au lactose, des allergies, du cholestérol, la pression artérielle et la prévention du cancer du côlon...etc. Tous ces effets bénéfiques se font spécialement grâce au contact direct entre les cellules, à la sécrétion de diverses molécules et/ou à l'alimentation microbienne croisée (**Gómez et al, 2016**).

III.4.5. Applications médicales :

L'augmentation des agents pathogènes multi-résistants est devenue un problème sérieux et il est de plus en plus important de développer une nouvelle génération des agents antimicrobiens. Les bactériocines des bactéries lactiques sont des protéines inhibitrices de nature non toxique avec une haute spécificité d'action. Leur importance médicale est qu'elles peuvent être utiles pour (**El Issaoui et al, 2020**) :

- Traiter les infections causées par des bactéries résistantes aux antibiotiques (**Mkrtchyan et al, 2010**).
- Traiter les infections des voies respiratoires ; certaines études ont rapporté la capacité de la nisine à empêcher la croissance de *S. aureus* et *Streptococcus* dans les voies respiratoires (**De Kwaadsteniet et al, 2009**).
- Les bactériocines sont capables d'agir de manière sélective contre les cellules cancéreuses, probablement en raison des différences distinctives dans les membranes (**Ahmadi et al, 2017**).
- Elles ont aussi des effets bénéfiques sur l'hôte en donnant un équilibre de la microflore intestinale et joue également un rôle important dans la maturation du système immunitaire (**El Issaoui et al, 2020**).

Chapitre IV.
Les probiotiques des
bactéries lactiques

Chapitre IV. Les Probiotiques des bactéries lactiques

IV.1. Historique :

La première hypothèse pour prolonger la vie dans les temps modernes (en 1900) a été formulée par l'immunologiste russe, le professeur Ellie Metchnikoff, Ce qui était probable que la raison de la longue durée de vie moyenne des peuples et des tribus des Bulgares, des Turcs et des Arméniens (plus de 100 ans) est due à leur système alimentaire, qui comprend la consommation quotidienne de lait fermenté, deux espèces de bactéries lactiques (*Streptococcus thermophilus* et *Lactobacillus bulgaricus*) présents dans le lait fermenté ont été identifiés, auxquels on attribue cette *longue durée de vie* (**Metchnikoff E., 1907**). En 1906, Henry Tissier un pédiatre français a remarqué que les enfants en bonne santé avaient plus de bifidobactéries dans leurs selles que les enfants souffrant de diarrhée. Puis il a conclu qu'il était possible de transférer ces bactéries des personnes en bonne santé aux patients pour les aider à restaurer des microbiotes intestinaux sains (**FAO/WHO, 2001**).

Le terme *probiotique* a été utilisé pour la première fois dans la littérature par Ferdinand Vergin en 1954 (**Vergin, 1954**). En 1965, les chercheurs Lilly DM et Stillwell RH publient les résultats de leurs recherches, qui énoncent que les probiotiques sont capables de sécréter des facteurs capables de stimuler la croissance d'autres micro-organismes (**Lilly et Stillwell, 1965**). En 1989, **Fuller** redéfinit les probiotiques comme des « compléments alimentaires qui ont un effet bénéfique sur l'animal hôte en améliorant son équilibre microbien intestinal » (**Burns et Rowland, 2000**).

Aujourd'hui la plupart des bactéries probiotiques sur le marché international, sont généralement des bactéries lactiques et plus particulièrement des *bifidobactéries* ou des *lactobacilles*. Les souches de probiotiques (*lactobacilles* et *bifidobactéries*) introduites dans l'alimentation sous forme de produits lactés fermentés ou de suppléments alimentaires (dans les produits non-fermentés) et qui vont s'implanter dans le tube digestif, peuvent interagir avec la flore intestinale, les cellules épithéliales intestinales et dans une moindre mesure les cellules immunitaires (**Heyman et al, 2006**).

IV.2. Définition :

Le terme « probiotique » issu des termes grecs « pros » et « bios », signifie « pour la vie » (**Faure et al, 2013**). En 2002, l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (Food and Agriculture Organization of the United Nations, **FAO**) et l'Organisation Mondiale de la Santé (**OMS**) ont adopté la définition suivante « Les probiotiques sont des micro-organismes vivants qui, lorsqu'ils sont ingérés en quantité suffisante, exercent un effet bénéfique sur la santé de l'hôte » (**Xiao et al, 2014**).

Le tableau ci-dessous résume la plupart des définitions des probiotiques avec le temps.

Tableau 4: Certaines descriptions et définitions des probiotiques citées au cours des années (V Guirand *et al.*, 2004).

Année	Description	Source
1953	Probiotics are common in vegetable food as vitamins, aromatic substances, enzymes and possibly other substances connected with vital processes	Kollath
1954	Probiotics are opposite of antibiotic	Vergin
1955	Deleterious effect of antibiotics can be prevented by probiotics therapy	Kolb
1956	A Substance secreted by one microorganism which stimulates the growth of another	Lilly and Stillwell
1971	Tissue extracts which stimulate microbial growth	Sperti
1973	Compounds that build resistance to infection in the host but do not inhibit the growth of microorganisms in vitro	Fujii and Cook
1974	Organisms and substances that contribute to intestinal microbial balance	Parker
1992	Live microbial feed supplement which beneficially effects the host animal by improving microbial balance	Fuller
1992	Viable mono- or mixed of live microorganisms which applied to animals or man have a beneficial effect on the host by improving the proprieties of the indigenous microflora	Havenaar and Huis int'veld
1996	Live microbial culture or cultured dairy product which beneficially influences the health and nutrition of the host	Salminen
1996	Live microorganisms which, upon ingestion exerts benefits beyond inherent basic nutrition	Schaafsma
1999	Microbial cell preparations or components of microbial cells that have a beneficial effect on the health and well-being of the host	Salminen, Ouwehand, Benno and Lee
2001	A preparation of or a product containing viable, defined microorganisms in sufficient number which alter the microflora (by implantation or colonization) in a compartment of the host and by that exert beneficial health effect in this host	Scherezemair and de Vrese
2002	Live microorganisms that when administrated in adequate amount confer health benefit on the host	FAW/WHO

IV.3. Principaux genres probiotiques de bactéries lactiques :

La plupart des bactéries probiotiques utilisées dans le monde sont des bactéries lactiques en particulier les genres : *bifidobactéries* ou des *lactobacillus*, il existe aussi d'autres genres, mais moins importantes, comme : *Enterococcus* et *Streptococcus*, ces genres probiotiques (*bifidobactéries* et *lactobacillus*) sont introduits dans le système digestif par le lait fermenté et les suppléments nutritionnels qui font partie de l'alimentation (Heyman et al, 2006).

Le tableau ci-dessous résume la plupart des espèces probiotiques des bactéries lactiques des genres : *Lactobacillus*, *Bifidobacterium*, *Enterococcus*, *Leuconostoc*, *Lactococcus* et *Pedicoccus*.

Tableau 5: les bactéries lactiques considérés comme des probiotiques (Hozalpfel et al. 1998).

<i>Lactobacillus</i>	<i>Bifidobacterium</i>	Autres bactéries lactiques
<i>L.acidophilus</i>	<i>B. adolescentis</i>	<i>Enterococcus faecalis</i>
<i>L.amylovirus</i>	<i>B. animalis</i>	<i>Enterococcus faecium</i>
<i>L.brevis</i>	<i>B. bifidum</i>	<i>Leuconostoc mesenteroides</i>
<i>L.casei</i>	<i>B. breve</i>	<i>Lactococcus lactis</i>
<i>L.cellobius</i>	<i>B. infantis</i>	<i>Pedicoccus acidilactici</i>
<i>L.crispatus</i>	<i>B. lactis</i>	<i>Sporolactobacillus inulinus</i>
<i>L.curvatus</i>	<i>B. longum</i>	<i>Streptococcus thermophilus</i>
<i>L.delbrueckii</i>	<i>B. thermophilum</i>	<i>Streptococcus diacetylactis</i>
<i>L.farciminis</i>		<i>Streptococcus intermedius</i>
<i>L.fermentum</i>		
<i>L.gallinarum</i>		
<i>L.gasseri</i>		
<i>L.johnsonii</i>		
<i>L.paracasei</i>		
<i>L.plantarum</i>		
<i>L.reuteri</i>		
<i>L.rhamnosus</i>		

IV.4. Applications des probiotiques :

Tous les produits probiotiques au niveau du marché sont soit (produits dits monosouches). Ce qui signifie qu'il se compose d'un seul microorganisme ou (produits dits pluri-souches) ce qui signifie qu'il se compose d'une association de plusieurs espèces, il existe 03 types de produits probiotiques commercialisés :

- Pour les aliments et les boissons à base de produits laitiers, de fruits et de céréales, ajouté à cela un concentré de culture.
- Produit ajouté à un aliment à base de lait ou de soja pour afin d'atteindre une concentration élevée par fermentation.
- Il existe aussi des produits sous forme : des cellules séchées, concentrées, en poudre, en capsule ou en comprimés.

Les probiotiques sont souvent lié aux produits laitiers de culture, les produits qui incluent des probiotiques dans le processus de production sont : les fromages, des crèmes glacées et des yaourts glacés de même que des aliments et des boissons non laitiers (**Patterson, 2008**).

IV.5. Les critères utilisés pour la sélection des souches probiotiques :

Plusieurs critères spécifiques, sont pris en considération pour permettre aux espèces et aux souches de bactéries lactiques d'être probiotiques doivent posséder certaines propriétés fonctionnelles, sécuritaires et technologiques (**FAO/WHO, 2002**).

Tableau 6 : Principaux critères utilisés pour la sélection des souches probiotiques (**FAO/WHO, 2002**).

<p>Critères de sécurité</p>	<ul style="list-style-type: none"> -Historique de non pathogénicité (GRAS) -Souche d'origine humaine ou alimentaire -Souche caractérisée par des méthodes phénotypiques et génotypiques -Souche déposée dans une collection de culture internationale -Aucune possibilité de transmission de gènes de résistance aux antibiotiques -Pas de deshydroxylation des sels biliaires
<p>Critères fonctionnels</p>	<ul style="list-style-type: none"> -Tolérance à l'acidité -Tolérance à la bile -Antagonisme vis-à-vis des pathogènes et production de substances antimicrobiennes -Adhésion à diverses lignées de cellules intestinales et/ou au mucus -Stimulation du système immunitaire
<p>Critères technologiques</p>	<ul style="list-style-type: none"> -Stabilité au cours des procédés de production et dans le produit fini -Conservation des propriétés probiotiques après production

Autre Critères de sélections utilisés aux laboratoires pour le screening des probiotiques comme la résistance aux : l'acidité, sels biliaires, l'acidité, et la d'acide (à partir du glucose et de lactose) et de substances antimicrobiennes, et l'adhésion au mucus et/ou aux cellules épithéliales humaines, ces critères sont résumés dans le tableau ci-dessous :

Tableau 7: Critères de sélections utilisés aux laboratoires pour le screening des probiotiques (Nousiainen et al, 2004).

Critères	But recherché
Résistance à l'acidité	Survie pendant le passage par l'estomac et le duodénum
Résistance aux sels biliaires	Survie pendant le passage par l'intestin grêle
Production d'acide (à partir du glucose et de lactose)	Production « de barrière acide » efficace dans l'intestin
Adhésion au mucus et/ou aux cellules épithéliales humaines	Colonisation efficace, réduction des sites d'adhésion des pathogènes à la surface
Production de substances antimicrobiennes	Inhibition du développement des germes pathogènes
Résistance à l'acidité	Survie pendant le processus de transformation
Bonnes propriétés technologiques	Stabilité, croissance sur une large échelle, survie dans le produit, résistance aux bactériophages.

IV.6. Effets bénéfiques des probiotiques :

Les bactéries lactiques probiotiques jouent un rôle important dans la protection contre les pathogènes intestinaux, ainsi qu'il facilite également la digestion du lactose, il a également un effet anticancéreux, il est également utilisé pour lutter contre l'hypercholestérolémie et l'hypertension les infections à *Helicobacter pylori*, et aussi utilisé pour Amélioration des rendements nutritionnels, il joue également un rôle dans la modulation du système immunitaire (Nagpal, et al, 2012). Les effets bénéfiques des probiotiques et leur mécanisme d'action sont résumés dans le tableau ci-dessous :

Tableau 8 : Principaux effets bénéfiques associés à la prise de probiotiques et mécanismes supposés d'après (Nagpal, et al, 2012).

Effets sur la santé	Mécanismes supposés
Protection contre les pathogènes entériques	<ul style="list-style-type: none"> • Activité antagoniste (compétition pour les nutriments et les récepteurs, production de composés antimicrobiens). • Stimulation du système immunitaire systémique. • Résistance à la colonisation et diminution de l'accès aux pathogènes (modification du pH, production de bactériocines, de peptides anti-microbiens et de métabolites toxiques).
Aide à la digestion du lactose	<ul style="list-style-type: none"> • Les lactases bactériennes permettent le clivage du lactose en glucose et galactose assimilables.
Effet anti-cancéreux	<ul style="list-style-type: none"> • Activité antimutagène. • Altération de l'activité enzymatique pro-cancéreuse de microorganismes du côlon. • Neutralisation de carcinogènes alimentaires.
Lutte contre l'hypercholestérolémie	<ul style="list-style-type: none"> • Assimilation du cholestérol par les enzymes bactériennes. • Diminution de l'activité des hydrolases de sels biliaires. • Effet antioxydant.

<p>Lutte contre l'hypertension</p>	<ul style="list-style-type: none"> • L'action de peptidases bactériennes sur les protéines du lait engendre des tripeptides anti-hypertensifs • Des composants de l'enveloppe bactérienne agissent comme inhibiteur de l'enzyme de conversion de l'angiotensine.
<p>Lutte contre les infections à <i>Helicobacter pylori</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> • l'Inhibition compétitive pour les sites de colonisation.
<p>Amélioration des rendements nutritionnels</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Production de vitamines et absorption de minéraux.
<p>Modulation du système immunitaire</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Renforcement de l'immunité spécifique et non-spécifique contre les infections et tumeurs par l'immunomodulation des tissus lymphoïdes associés au tractus. • Modulation de l'activité des macrophages et lymphocytes • Stimulation de la production de cytokines pro- et antiinflammatoires. • Augmentation de la production d'anticorps.

Conclusion

Conclusion

Les bactéries lactiques sont parmi les plus anciens microorganismes microscopiques présents à la surface de cette planète bleue, datant de près de trois milliards d'années. L'homme a pu utiliser ces bactéries depuis des milliers d'années et dans toutes les civilisations sans connaître la nature de ces micro-organismes ni comprendre leurs caractéristiques. Néanmoins, ils ont été très bénéfiques pour nos ancêtres. Ils servaient à fermenter des aliments tels que la fermentation et la transformation du lait et l'extraction de ses dérivés, la fermentation de la pâte à pain ou la fermentation du raisin pour produire des boissons alcoolisées, et avec le début de la renaissance scientifique et technologique au cours des derniers siècles, ces bactéries ont été isolées pour la première fois du lait par Metchnikoff. Après cela, ses propriétés ont été reconnues, et il est devenu largement utilisé dans de nombreuses industries alimentaires, en produisant beaucoup d'aliments fermentés. Il est également utilisé pour prolonger la durée de conservation des produits, augmenter de la valeur nutritive et améliorer de la qualité organoleptique des aliments grâce à leur métabolisme et grâce à son activité antimicrobienne qui est la synthèse et la production de plusieurs métabolites comme les bactériocines et le peroxyde d'hydrogène et le dioxyde de carbone et le diacétyl qui jouent un rôle actif dans la protection contre les organismes pathogènes et ceux responsables de la détérioration des aliments. Il a également de nombreuses utilisations dans le domaine de l'industrie alimentaire, médicale et cosmétique.

Certaines bactéries lactiques sont des microorganismes probiotiques qui ont un effet bénéfique sur la santé qui joue un rôle important pour la santé et la sécurité du système digestif, en prévenant les micro-organismes pathogènes et en protégeant le corps contre les maladies.

Références

Bibliographiques

Références bibliographiques

- A. Philippon, C. Poyart. (2008).** Autres coques à Gram positif catalase négative d'intérêt médical : *Aerococcus*, *Leuconostoc*, *Pediococcus*. *EMC - Biologie Médicale*. 3(1): 1.
- Aguirre, Met Collins, M.D. 1992.** Phylogenetic analysis of some *Aerococcus*-like organisms for urinary tract infections: description of *Aerococcus urinae* sp. nov. *J. Gen. Microbiol.*,
- Ahmadi, S., Ghollasi, M., & Hosseini, H. M. (2017).** The apoptotic impact of nisin as a potent bacteriocin on the colon cancer cells. *Microbial Pathogenesis*, 111, 193-197.
- Alvarez-Sieiro, P., Redruello, B., Del Rio, B., Martin, M. C., Fernandez, M., Ladero, V., et Alvarez, M. A. (2018).** *Lactobacillus rossiae* strain isolated from sourdough produces putrescine from arginine. *Scientific reports*, 8(1), 1-10.
- Ammor, S., Tauveron, G., Dufour, E. et Cevallier I. (2006).** Antibacterial activity of lactic acid bacteria against spoilage and pathogenic bacteria isolated from the same small-scale facility. *F Contr*, 17: 454-461.
- Atlan, D., Béal, C., Champonier-Vergès, M.C., Chapot-Chartier, M.P., Chouayekh ,H.,Cocaign- Bousquet ,M., Deghorain, M., Gadu, P., Gilbert, C., Goffin ,P., Guédon ,E.,Guillouard, I., Guzzo, J., Juillard ,V., Ladero ,V., Lindley ,N., Lortal ,S., Loubière ,P.,Maguin, E., Monnet, C., Monnet ,V., Rul ,F., Tourdot-Maréchal ,R., Yvon ,M., (2008).** Métabolisme et ingénierie métabolique. In : Bactéries lactiques de la génétique aux ferments (Corrieu, G., Luquet F-M.). *Tec & Doc, Lavoisier*. Paris, 271-44.
- Axelsson L ,2004.** Classification and physiology in: lactic acid bacteria: microbiological and functional aspects.
- Bali, V., Panesar, P. S., Bera, M. B., et Kennedy, J. F. (2016).** Bacteriocins: recent trends and potential applications. *Critical reviews in food science and nutrition*, 56(5), 817-834.
- Béal, C., Marin, M., Fontaine, E., Fonseca, F., et Obert., J.P., (2008).** Production et conservation des ferments lactiques et probiotiques. In : Bactéries lactiques, de la génétique aux ferments (Corrieu G. et Luquet F.M.). *Tec & Doc, Lavoisier*. Paris.661-765.
- BHARTI, V., MEHTA, A., SINGH, S., JAIN, N., AHIRWAL, I., & MEHTA, S.. (2015).** Bacteriocin: A novel approach for preservation of food. *International Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences*,7(9),20-29.
- Björkroth J. et Holzapfel W. 2003.** Genera *Leuconostoc*, *Oenococcus* and *Weissella*. In: The Prokaryotes: An Evolving Electronic Resource for the Microbiological Community. Ed: Springer-Verlag, New York.

- Björkroth J. et Holzapfel W. 2003.** Genera *Leuconostoc*, *Oenococcus* and *Weissella*. In *The prokaryotes: An Evolving Electronic Resource for Microbiological Community*. Edited by M. Dworkin. New York, Springer-Verlag. Epub March 28.
- Bottazzi V., 1988.** An introduction to rod-shaped lactic bacteria, *Biochimie*, 70: 303-315
- Boumediene, K. (2013).** *Recherche des bactéries lactiques productrices des bactériocines et l'étude de leur effet sur des bactéries néfastes* (Mémoire de Magister, Université Abou Bekr Belkaïd-Tlemcen).
- Bourgeois, C.M., et Larpent, J.P., (1996).** Microbiologie alimentaire : Aliments fermentés et fermentations alimentaires. Tec bacteria in food & Doc, Lavoisier. Paris.432-704.
- Burns, A. J., & Rowland, I. R. (2000).** Anti-carcinogenicity of probiotics and prebiotics. *Current Issues in Intestinal Microbiology*, 1(1), 13-24.
- Carr F.J., Chill D., Maida N., 2002.** The Lactic Acid Bacteria: A Literature Survey Critical Reviews in microbiology,
- Cherier, D. (2017).** Caractérisation biochimique et structurale de bactériocines ciblant le métabolisme du peptidoglycane bactérien, alternative potentielle aux antibiotiques (Doctoral dissertation, Université Paris-Saclay).
- Cogan, T.M. (1982).** Acetoin production and citrate metabolism in *Streptococcus lactis sub sp. lactis*. *Journal of Food Science and Technology*, 6, pp: 69-78.
- COLLINS M.D., FARROW J.A.E. and JONES D., 1986.** *Enterococcus mundtii* sp. nov. *Int J.*
- Corrieu, G., Luquet, F. M. (2008).** *Bactéries lactiques : de la génétique au ferment*. Paris: Edition Tec et Doc Lavoisier p, 153; p. 849.
- Cotter, P. D., Hill, C., & Ross, R. P. (2005).** Bacteriocins: developing innate immunity for food. *Nature Reviews Microbiology*, 3(10), 777-788.
- De Freire Bastos, M. D. C., Coelho, M. L. V., et Da Silva Santos, O. C. (2015).** Resistance to bacteriocins produced by Gram-positive bacteria. *Microbiology*, 161(4), 683-700.
- De Kwaadsteniet, M., Doeschate, K. T., & Dicks, L. M. T. (2009).** Nisin F in the treatment of respiratory tract infections caused by *Staphylococcus aureus*. *Letters in Applied Microbiology*, 48(1), 65-70.
- De Man J.C., Rogosa M. & Sharpe M.E. (1960).** A medium for the cultivation of *Lactobacillus* sp. *Jo. Appl. Bacteriol*, 23, Pp: 130-135.
- De Vos, P., Garrity, G. M., Jones, D., Krieg, N. R., Ludwig, W., Rainey, F. A., Schleifer, K. H., Whitman, W. B. (2009).** *Bergey's manual of Systematic Bacteriology Second Edition Volume Three: The Firmicutes*. Springer Dordrecht Heidelberg, USA.

- Delesa, D. A. (2017).** Bacteriocin as an advanced technology in food industry. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 4(12), 178-190.
- DELLAGLIO F., DE ROISSARD H., TORRIANI S., CURK M.C. et JANSSENS D., 1994.** Caractéristiques générales des bactéries lactiques. In : Bactéries lactiques (De Roissard H. et Luquet F.M.). *Lorica, Uriage*.
- Dellaglio F., De Roissard H., Torriani S., CURK M.C. et JANSSENS D., 1994.** Caractéristiques générales des bactéries lactiques. In : Bactéries lactiques (De Roissard H. et Luquet F.M.).Ed., *Lorica, Uriage*.
- Desmazeaud, M. (1998)** Bactéries lactiques et qualité des fromages. Laboratoire de recherches laitières, INRA Jouy-en-Josas. France.
- Devriese L.A. et Pot, B. (1993).** The genus Enterococcus. In *The Genera of lactic Acid Bacteria*, Edited by wood B. j.B et Holzapfel W.H. London : Blackie academic et Professional .pp .327-367.
- Dillenseger, H. (2019).** Les bactériocines : en alternative aux traitements antibiotiques (Thèse de doctorat, Université de Bordeaux).
- DJADOUNI, F. (2013).** *Evolution de l'activité antimicrobienne des isolats des bactéries lactiques et détermination des spectres d'action de leurs bio peptides vis-à-vis des germes d'altération*. Thèse doctorat microbiologie non publiée, Université d'Oran, Oran.
- Djelloul, D, S. (2021).** *Isolement et identification des bactéries antagonistes vis-à-vis des souches pathogènes multirésistantes* (Thèse de doctorat, Université de Djilali Liabes de Sidi bel Abbes).
- Drider. D ; Prévost. H. 2009.** Bactéries lactiques : physiologie, métabolisme, génomique et applications industrielles Edition : Economica
- Egan, K., Field, D., Rea, M. C., Ross, R. P., Hill, C., et Cotter, P. D. (2016).** Bacteriocins: novel solutions to age old spore-related problems? *Frontiers in microbiology*, 7, 461
- El Issaoui, K., Senhaji, N. S., Zinebi, S., Zahli, R., Haoujar, I., Amajoud, N., ... & Khay, E. O. (2020).** Potential application of bacteriocin produced from lactic acid bacteria. *Microbiology and Biotechnology Letters*, 48(3), 237-251.
- El-Ziney, M.G., Uyttendaele, M., Debevere, J., Jakobsen, M. (1998).** Characterization of the locus responsible for the bacteriocin production in *Lactobacillus plantarum* C11. *Journal of bacteriology*.178(15).4472-83.
- FAO/WHO (2002).** Guidelines for the evaluation of probiotics in food, Food and Agriculture Organization of the United Nations/World Health Organization, London, UK.
- Faure, S., Pubert, C., Rabiller, J., Taillez, J., & Yvain, A. L. (2013).** Que savons-nous des probiotiques ? *Actualités pharmaceutiques*, 52(528), 18-21.

- Gálvez A., Lopez R.L., Abriouel H., Valdivia E. & Omar N.B. (2008).** Application of bacteriocins in the control of food borne pathogenic and spoilage bacteria. *Critical Reviews in Biotechnology*, 28: 125-135
- Gerrit, S., Bart, A.S., et Wim, J.M.E., (2005).** Flavour formation by lactic acid bacteria and la bioconservation des produits alimentaires. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.*, 13: 143-154.
- Gomez Zavaglia, A, Kociubinski, G, Perez, P. (1998)** Isolation and characterization of *Bifidobacterium* strains for probiotic formulation. *Journal of Food Protection* 61: 865–873.
- Gómez, N. C., Ramiro, J. M., Quecan, B. X., et de Melo Franco, B. D. (2016).** Use of potential probiotic lactic acid bacteria (LAB) biofilms for the control of *Listeria monocytogenes*, *Salmonella Typhimurium*, and *Escherichia coli* O157: H7 biofilms formation. *Frontiers in microbiology*, 7, 863.
- González, L., Sacristán, N., Arenas, R., Fresno, J-M., & Tornadijo, M-E. (2010).** Enzymatic activity of lactic acid bacteria (with antimicrobial properties) isolated from a traditional Spanish cheese. *Food microbiology*, 27(5), 592-597.
- González-Pérez, C. J., Aispuro-Hernández, E., Vargas-Arispuro, I., et Martínez-Téllez, M. A. (2018).** Induction of bacteriocins from lactic acid bacteria; a strategy to improve the safety of fresh fruits and vegetables. *Agricultural Research Technology Open Access Journal*, 14(4).
- Gould G.W. 1991.** Antimicrobial compound. In: *Biotechnology and Food Ingredients* eds. Goldberg I. et Williams R. Van Nostrand Reinhold, New York. pp. 461-483.
- Guiraud, J.P. (2003).** *Microbiologie alimentaire*. Dunod. Paris.
- Guiraud, P, Rosec, P. (2004).** *Pratique des normes en microbiologie alimentaire*. Ed, Afnor. p:238-241.
- Hammes W. P. & Hertel C. (2006).** The genera *Lactobacillus* and *Carnobacterium*. In: Dworkin, M., Falkow, S., Rosenberg, E., Schleifer, K.-H., & Stacke brandt, E. (Eds). *The prokaryotes*, Vol. (4). *Springer Science and Business Media*. New York, USA, Pp: 320-40.
- HASSAN A.N. and FRANK J.F., 2001.** Starter Cultures and their use. In: *Applied Dairy Microbiology* (Marth E.H. et Steele J.L.) 2e Ed., Marcel Dekker, Inc. New York.
- Heyman, M. et Heuvelin, E. (2006).** Micro-organismes probiotiques et régulation immunologique le paradoxe. *Nutrition clinique et métabolisme*, 20 : 85-99.
- Ho, T.N.T., N. Tuan, N., Deschamps, A., et Caubet, R., (2007).** Isolation and identification of lactic acid bacteria (LAB) of the Nem Chua fermented meat product of Vietnam. *Int. Workshop on Food Safety and Processing Technology*. 134-142.
- HOGG S. 2005.** *Essentiel Microbiology*. Ed., John Wiley et Son, Chichester, England, pp 99- 100.

- Holzappel, W. H., Haberer, P., Geisen, R., Björkroth, J., & Schillinger, U. (2001).** Taxonomy and important features of probiotic microorganisms in food and nutrition. *The American journal of clinical nutrition*, 73(2), 365s-373s.
- Horvath P., Coute-Monvoisin AC., Romero DA., Boyaval P., Fremaux C., Barrangou R. 2009.** Comparative analysis of CRISPR loci in lactic acid bacteria genomes. *Int J Food Microbiol*, vol. 131, p. 62–70.
- JAYACHITRA, J., & SIVAKUMAR, K. (2018).** Antimicrobial activity of bacteriocin from lactic acid bacteria against food borne bacterial pathogens. *International Journal of Current Research in Life Sciences*,7(4),1528-1532.
- Kandler O, Weiss N. (1986).** Genus *Lactobacillus* Beijerinck 1901, 212AL. In: *Bergey's Manual of Systematic Bacteriology*. Williams Wilkins, Baltimore. 2.pp: 1209-1234.
- Kandler O., Weiss N., 1986.** Regular, non-sporing gram-positive rods **In** *Bergey's Manual of Systematic Bacteriology*. Sneath P.H.A., Mair N.S., Sharpe M.E., Holt J.G., Williams and Wilkins (Eds), Baltimore, 2: 1208-1234
- KHALID N.M. and MARTH E.H., 1990.** Lactobacilli, their enzymes and role. In: Ripening and spoilage of cheese. *Rev. Dairy Sci.* 73: 158-167.
- KHOCHAMIT, N., SIRIPORNADULSIL, S., SUKONB, P., & SIRIPORNADULSIL, W. (2014).** Antibacterial activity and genotypic–phenotypic characteristics of bacteriocin-producing *Bacillus subtilis* KKU213: Potential as a probiotic strain. *Microbiological Research* ,170,36–50.
- KLAENHAMMER, T.R., (1988).** Bacteriocins of lactic acid bacteria. *Biochimie.*, 70: 337-349
- Klein G., Pack A., Bonaparte C., Reuter G. 1998.** Taxonomy and physiology of probiotic lactic acid bacteria. *Int. J. Food Microbiol.*41 :103-125
- Konig H., Frohlich J. 2009.** Biology of microorganisms on grapes, in must and in wine. Ed
- L. Dicks, A. Endo (2014).** The Family Lactobacillaceae: Genera Other than *Lactobacillus*. *The Prokaryotes*. 203–212.
- LANE C.N. and FOX P.F., 1996.** Contribution of starter and adjunct lactobacilli to proteolysis in Cheddar cheese during ripening. *International Dairy Journal*.6, 7, 715-728.
- LARRENT J.P.(1991).** Les ferments microbiens dans les Industries Agro-Alimentaires : produits laitiers et carnés. Technique et Documentation, Lavoisier, Paris.
- Leahy SC, Higgins DG, Fitzgerald GF, van Sinderen D (2005)** Getting better with bifidobacteria. *J Appl Microbiol* 98 : 1303–1315.
- Leclerc, H., Gaillard, F.L. et Simonet, M. (1994).** Les grands groupes de bacteries. In : *Microbiologie générale : La bactérie et le monde microbien*. DOIN. Paris.445p

- Leroy F. et De Vuyst L., (2004).** Lactic acid bacteria as functional starter cultures for the food fermentation industry. *Trends Food Science and Technology*, 15 :67–78.
- LEVEAU J.Y. et BOUIX M., 1993.** Microbiologie industrielle : les microorganismes d'intérêt industriel. *Tec &Doc, Lavoisier*. Paris
- LILL Y D.M., STILL WELL R.H.,1965.** Probiotics: growth promoting factors produced by micro-organisms. *Science*, 33(4):253-255.
- Loessner, M., Guenther, S., Steffan, S., & Scherer, S. (2003).** A pediocin-producing *Lactobacillus plantarum* strain inhibits *Listeria monocytogenes* in a multispecies cheese surface microbial ripening consortium. *Applied and Environmental Microbiology*, 69(3), 1854-1857.
- LUNDSTRÖM, S. (2012).** *Characterization of a Bacillus licheniformis gene cluster required for functional expression of a bacteriocin.* Thèse doctorat Bacterial Gene Technology non publiée, Université COPENHAGEN, COPENHAGEN.
- Luquet François M 2008.** Bactéries lactiques : de la génétique aux ferments / coordonnateurs Georges Corrieu, François-Marie Luquet, Paris : Tec & Doc, DL Lavoisie
- LYNCH C.M., MC SWEENEY P.L.H., FOX P.F., COGAN T.M. and DRINAN F.D., 1997.** Contribution of starter lactococci and non-starter lactobacilli to proteolysis in Cheddar cheese with a controlled microflora. *Lait* 77, 441-459.
- Makhloufi, K. M. (2011).** *Caractérisation d'une bactériocine produite par une bactérie lactique Leuconostoc pseudomesenteroides isolée du boza* (Thèse de doctorat, Université Pierre et Marie Curie-Paris VI).
- MAMECHE, A. (2008).** *Purification et caractérisation de bactériocines produites par des bactéries lactiques autochtones isolées.* Thèse doctorat science alimentaires non publiée, Université d'Alger, Alger.
- MATAMOROS S., 2008.** Caractérisation de bactéries lactiques psychrotrophes en vue de leur utilisation dans la biopréservation des aliments. Étude physiologique et moléculaire des mécanismes d'adaptation au froid. *Thèse de Doctorat en Microbiologie.* Université de Nantes. *Syst Bacteriol.*
- Mekri, M. (2016).** *Effet de synergie des bactériocines issues des bactéries lactiques et pseudo lactiques et des huiles essentielles d'Inula viscosa contre les germes pathogènes* (Thèse de doctorat, Université de Djilali Liabes de Sidi bel Abbès).
- METCHNIKOFF E., 1907.** The production of life in: "*optimistic studies*" (Heinemann W., Ed), pp.1-100. G.P, Putnam and Sons, London, UK.1-100.
- Mkrtchyan, H., Gibbons, S., Heidelberger, S., Zloh, M., & Limaki, H. K. (2010).** Purification, characterisation and identification of acidocin LCHV, an antimicrobial peptide produced by

Lactobacillus acidophilus nv Er 317/402 strain Narine. *International Journal of Antimicrobial Agents*, 35(3), 255-260.

Molinos, A. C., Abriouel, H., Omar, N. B., Valdivia, E., López, R. L., Maqueda, M., ... & Gálvez, A. (2005). Effect of immersion solutions containing enterocin AS-48 on *Listeria monocytogenes* in vegetable foods. *Applied and Environmental Microbiology*, 71(12), 7781-7787.

Monnet V. 2009. Métabolisme des bactéries lactiques : les acides aminés. In Drider, D. et Prévost, H., *Bactéries lactiques : physiologie, métabolisme, génomique et applications industrielles*. Economica : 15-26.

Nagpal, R., 2012. Probiotics, their health benefits and applications for developing healthier foods: a review. *FEMS microbiology letters*, 334(1), pp. 1-15.

Nes, I. F., Kjos, M., et Diep, D. B. (2011). Antimicrobial components of lactic acid bacteria. *Lactic Acid Bacteria: Microbiological and Functional Aspects* (4th Ed). *Chemical Rubber Company Press, Boca Raton, FL*, 66(1), 285-329.

Nousiainen J., Javanainen P., Setälä J. et Wright A.V., (2004). Lactic acid bacteria as animal probiotics. In : *Lactic acid bacteria: microbiological and functional aspects* (Salminen S., Wright A.V. et Ouwehand A.). 3e Ed., Marcel Dekker, Inc. New York. 547-560.

Patterson, C.A. (2008). Probiotiques : bienfaits au-delà des fonctions nutritionnelles de base. AAFC. 1-4.

Peirson, M.D., Guan, T.Y., Holley, R.A. (2003). Aerococci and carnobacteria cause discoloration in cooked cured bologna. *Food Microbiology*. 2003, 149 - 158.

Penaud, S. (2006). Analyse de la séquence génomique et Etude de l'adaptation à l'acidité de *Lb. Delbrueckii* SSP. *bulgaricus* ATCC11842. Thèse de Doctorat de l'Institut National Agronomique de Paris-Grignon, France.

PILET M. F., MAGRAS C. et PEDERIGHI M., 1998 - Bactéries lactiques ; in : « Manuel de Bactériologie Alimentaire ». Ed. POLYTECHNICA. Paris.219.

Poulain H. 1994. Evaluation de la préparation commerciale des ferments lactiques les bactéries lactiques T1. Aspects fondamentaux et technologiques. Ed. Loriga. Lavoisier

Pringsulaka O., Thongam N., Suwannasai N., Atthakor W., Pothivejkul K. and Rangsiruji A., 2011. Partial characterization of bacteriocins produced by lactic acid bacteria isolated from Thai fermented meat and fish products. *Food Control*, and functional aspects. *Marcel Dekker. Inc.*, U.S.A

Reddy, G., Altaf, M. D., Naveena, B. J., Venkateshwar, M., et Kumar, E. V. (2008). Amylolytic bacterial lactic acid fermentation—a review. *Biotechnology advances*, 26(1), 22-34.

- RILEY, M. A., & Chavan, M. A. (Eds.). (2007).** Bacteriocins: Ecology and Evolution. Springer Science & Business Media, 148.
- Salminen S., Wright A.V. and Ouwehand A., 2004.** Lactic acid bacteria. Microbiological.
- Sharpe M.E., 1981.** The genus *Lactobacillus* In *The Prokaryotes. A Handbook on Habitats, Isolation and Identification of Bacteria.* Starr M.P., Stolp H., Truper H.G., Balows A., Schlegel H.G., Springer-Verlag (Eds) Berlin, 1653-1674
- Shehata, M. G., El Sohaimy, S. A., El-Sahn, M. A., et Youssef, M. M. (2016).** Screening of isolated potential probiotic lactic acid bacteria for cholesterol lowering property and bile salt hydrolase activity. *Annals of Agricultural Sciences*, 61(1), 65-75.
Springer-Verlag., Berlin Heidelberg.
- Stackebrandt E and Teuber M. (1988).** Molecular taxonomy and phylogenetic position of lactic acid bacteria. *Biochimie.* 70.pp: 317-324.
- TAALE ESSODOLOM, THESIS · FEBRUARY (2016) :** Bioactive molecules from bacteria strains: biochemical and molecular characterization of bacteriocins producing strains isolated from Soumbala, Bikalga and some yoghurt consumed
in...<https://www.researchgate.net/publication/299338438>.
- Tahlaiti, H. (2019).** *Étude des propriétés technologiques et inhibitrices de bactéries lactiques isolées à partir de blé fermenté* (Thèse de doctorat, Université de Mostaganem-Abdelhamid Ibn Badis).
- Tailliez P., 2001.** Mini-revue : les bactéries lactiques, ces êtres vivants apparus il y a près de 03 milliards d'années.
- Tamime, A.Y. (2002).** Microbiology of starter cultures. In: *dairy microbiology handbook* (robinson r.k). 3e ed. john wiley and sons, inc ., new york. 261-366.
- Tenea, G. N., et Yépez, L. (2016).** Bioactive compounds of lactic acid bacteria. Case study: Evaluation of antimicrobial activity of bacteriocin-producing *lactobacillus* isolated from native ecological niches of Ecuador. *Probiotics and prebiotics in Human Nutrition and Health*, 149-167.
- Tompson J., Gentry-Weeks C.R. 1994.** Métabolisme des sucres par les bactéries lactiques. In : *Bactéries lactiques* (De Roissart H et Luquet F.M). Loriga. Uriage. 1: 239-290.
- Touati, D. (2000).** Iron and oxidative stress in bacteria. *Archives of Biochemistry and Torulaspora delbrueckii-Saccharomyces cerevisiae culture on high-suger fermentation.* Jof Food Microbiol. 122: 312-320
- Uehara, S., Monden, K., Nomoto, K., Seno, Y., Kariyama, R., Kumon, H. (2006).** A pilot study UMR de Génie et Microbiologie des Procédés Alimentaires INRA,INA.16. Université PARIS V.

- Vasiljevic, T., Shah, N.P., 2008.** Probiotics—From Metchnikoff to bioactives. *International Dairy Journal*, Milestone Achievements in Dairy Science Research and their Current and Future Industrial Applications. Proceedings of a Symposium marking the retirement of Professor Paul Jelen from active service at University of Alberta, Canada 18, 714–728. doi:10.1016/j.idairyj.2008.03.004
- Vignolo, G., Palacios, J., Farías, M. E., Sesma, F., Schillinger, U., Holzapfel, W., & Oliver, G. (2000).** Combined effect of bacteriocins on the survival of various *Listeria* species in broth and meat system. *Current microbiology*, 41(6), 410-416.
- Vollenweider S., 2004.** 3-hydroxypropionaldehyde: applications and perspectives of biotechnological production. *Appl. Microbiol. Biotech.*, 64: 16-27
- Wallace, T. D., Bradley, S., Buckley, N. D. & Green-Johnson, J. H. (2003).** Interactions of lactic acid bacteria with human intestinal epithelial cells: Effects on cytokine production. *Journal of Food Protection* 2003. Vol. 66 (3) : 466-472
- Wang, J., Zhang, S., Ouyang, Y., & Li, R. (2019).** Current developments of bacteriocins, screening methods and their application in aquaculture and aquatic products. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 22, 101395.
- Wee, Y. J., Yun, J. S., Kim, D., et Ryu, H. W. (2006).** Batch and repeated batch production of L(+)-lactic acid by *Enterococcus faecalis* RKY1 using wood hydrolyzate and corn steep liquor. *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology*, 33(6), 431.
- Wijtzes T., Bruggeman M., Nout M., Zwietering M. 1997.** A computerised system for the identification of lactic acid bacteria. *J Food Microbiol*, vol. 38, n°1, p. 65–7.
- Williams P., Pot B., Gillis M., Devos P., Kersters K. ET Swings J., 1996.** Polyphasic taxonomy, a consensus approach to bacterial systematic. *Microbiol. Rev.* 60 : 407.
- Xiao, J., Zhang, Y., & Yang, Z. (2014).** Lactic acid bacteria in health and disease. In *Lactic Acid Bacteria* (pp. 303-374). Springer, Dordrecht.
- Yang S.C, Lin C.H, Sung C.T, et Fang J.Y. (2014).** Antibacterial activities of bacteriocins: application in foods and pharmaceuticals. *Frontiers in microbiology* 5 : 241.
- Yateem, A., Balbam, T., Al-Surrayai, T, T, T., Al-Mutairi, B., Al-Daher, R. (2008).** Isolation of lactic acid bacteria with probiotic potential from camel milk. *Int. J. Dairy Sci.* 3:194-199.
- Zhang H. et Cai Y. (2014).** *Lactic acid bacteria fundamentals and practice*. Ed: Springer Dordrecht Heidelberg. New York London. 536.

*La fin du
mémoire*