

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de L'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة محمد الصديق بن يحيى - جيجل -



Faculté : Sciences de la Nature et de la Vie

كلية علوم الطبيعة و الحياة

Département : Microbiologie Appliquée

قسم الميكروبيولوجيا التطبيقية

et Sciences Alimentaires

وعلوم التغذية

Mémoire de Master

Filière : Sciences Biologiques

Option : Microbiologie Appliquée

Thème

**Rôle des substances antimicrobiennes des bactéries lactiques
dans la bioconservation des aliments**

Membres du Jury :

Présidente : Dr. S Akroum

Examinatrice : Mme. N Benhamada

Encadreur : Dr. A Bouchefra

Présenté par :

M^{lle}. S Boulkhiout

M^{lle}. A Merizek

M^{lle}. A Mender

Année Universitaire : 2020-2021

Numéro d'ordre (bibliographique) :.....



Remerciements

Au début et avant tout, nous remercions Allah le tout puissant qui nous a donné le courage et la santé pour finaliser ce travail.

*Nous remercions notre promotrice **Dr. Bouchefra Amina**, pour ses encouragements, ses conseils, et pour sa patience durant la réalisation de ce mémoire.*

Nos remerciements les plus chaleureux et fraternels aux membres de jury :

***Dr. Akroum Souad** de nous faire l'honneur de présider le jury.*

***Mme. Benhamada Nabila** d'avoir accepté d'examiner et de juger ce mémoire.*

*C'est également un grand honneur pour nous d'être jugé par vous «**Soyez profondément remerciés**».*

*Nous adressons nos remerciements profondément à nos précieuses **familles** pour leur soutien et leur encouragement*

J'adresse aussi mes remerciements à tous mes collègues de promos

ˆMicrobiologie Appliquée 2020/2021ˆ

Je tiens plus à exprimer mes reconnaissances à toutes les personnes qui m'ont apporté leurs soutient et qui ont contribués de prés ou de loin à la réalisation de ce travail.

Merci

Samira Amel Asma





Dédicace

C'est grâce à Dieu, le tout puissant qui m'a donné le courage et la volonté pour achever ce modeste travail.

Je dédie : ma chère Maman "Oumsaad", et mon très cher Papa "Ahmed" pour leurs sacrifices, leurs amours inestimables, leurs tendresses, leurs encouragements tout au long de mes études. Je vous remercie pour tout ce que vous avez fait pour moi et ce n'est jamais suffisant. Je vous aime très fort et j'espère que vous êtes fières de moi.

« A mon chère frère : "Sidal" que dieu le protégé »

A mes belles sœurs : "Houria", "Fatima" et à mon adorable petite sœur "Nesrine" Que Dieu les protégé et leurs offre la chance et le bonheur. A tous mes oncles et mes tantes, spécialement "faiza" Que Dieu leur donne une longue et joyeuse vie. A tous mes enseignants qui nous ont fait l'honneur de nous prodiguer cette formation et je remercie infiniment notre encadreur Mme; Bouchefra, pour leur aide.

Mes remerciements chaleureuses a Mme; Akroum pour votre encouragement et leurs conseils pendant trois années, j'espère qu'elle trouve ici l'expression de mes sincères sentiments de gratitude et de respect ;

Je remercie mon trinôme "Asma" et "Amel" pour ce modeste travail et mes amies de la promotion

MASA.

«Merci pour tous je vous aime très fort »

- Samira-



Dédicace

C'est grâce à Dieu, le tout puissant qui m'a donné le courage et la volonté pour achever ce modeste travail.

Je dédie : ma chère Maman "Nacera", et mon très cher Papa "Fatah" appelé "Azedinne" pour leurs sacrifices, leurs amours inestimables, leurs tendresses, leurs encouragements tout au long de mes études. Je vous remercie pour tout ce que vous avez fait pour moi et ce n'est jamais suffisant. Je vous aime très fort et j'espère que vous êtes fières de moi.

« A mes chères sœurs: "Amira", "Ratiba" et "Nadjiba" Que Dieu les protégé et leurs offre la chance et le bonheur ».

A m'étoile grande mère "Zohra" et à ma deuxième mère ma tante "Noura" et mon petit frère "Houssam" que Dieu leur fasse miséricorde et leur pardonne.

A ma belle fleur et lune ma perle "Rania" meilleure amie et sœur de ma vie.

A ma belle papillon "Rihab" Seigneur garde et protège-la.

A ma belle Poppée "Ahlem".

A tout mes oncles et mes tantes, spécialement "Fatima" Que Dieu leur donne une longue et joyeuse vie.

A tous mes enseignants qui nous ont fait l'honneur de nous prodiguer cette formation.

Mes remerciements à Ms; Khennouf pour leur encouragement et leur conseils pendant trois années.

A tous qui aide moi spécialement "Yassin" (étudiant à l'école supérieur de la pharmacie Saad Dahleb -Blida-) grand merci, "Zinedinne et Azedinne" Ksira, "Soufiane" et "Imad" mes salutations.

Je remercie mon trinôme "Asma" et "Samira" pour ce Modest travail et mes amies de la promotion MASA

«Merci pour tous je vous aime très fort»

- Amel-



Dédicace

Avec l'aide d'Allah

J'ai pu réaliser ce modeste travail que je dédie À :

*A ma mère **"Salima"***

Tu représentes pour moi le symbole de la bonté par excellence.

*La source de tendresse aucune dédicace ne saurait être assez éloquente pour exprimer ce que tu mérites
pour tous les sacrifices que tu n'as cessé de me donner.*

*A mon père **"Mohamed"***

*Aucune dédicace ne saurait exprimer l'amour, l'estime, le dévouement et le respect que j'ai toujours eu
pour vous rien au monde ne vaut les efforts fournis jour et nuit pour mon éducation et mon bien être et
qui m'a toujours encouragée et donné envie d'aller plus loin.*

*A mes très chers frères, spécialement **"Abd Arrahim"** et **"Tahar"***

*A mes deux cousines **"Amina"** et **"Zineb"***

*Et sans oublier celle qui m'a été d'une aide précieuse mon amie **"Zineb"***

***"Nada"** et **"Aïcha"** Seigneur garde et protège-les.*

*A mon Trinôme **"Samira"** et **"Amel"** et toutes mes amies*

*A tous la famille **"Mender"** et **"Tibigui"***

*A tous mes enseignants qui nous ont fait l'honneur de nous prodiguer cette formation et je remercie
infiniment notre encadreur Mme; **Bouchebra**, pour leur aide. Mes remerciements a Ms; **Khennouf** pour
leur encouragement et leur conseils. A tous mes amies et l'ensemble des étudiants de la promotion
master microbiologie appliquée de l'année 2020 /2021*

Table de matières

Liste de tableaux

Liste de figures

Abréviations

Introduction 1

Synthèse bibliographique

I. Bactéries lactiques et substances antimicrobiens	3
I.1. Historique.....	3
I.2. Définition des bactéries lactiques	3
I.3. Habitat	3
I.4. Classification	4
I.4.1. Classification phénotypique.....	4
I.4.2. Classification génotypique.....	4
I.4.2.1. Genre <i>Lactobacillus</i>	5
I.4.2.2. Genre <i>Bifidobacterium</i>	5
I.4.2.3. Genre <i>Enterococcus Lactococcus</i> et <i>Streptococcus</i>	5
I.4.2.4. Genre <i>Leuconostoc Oenococcus</i> et <i>Weissella</i>	6
I.4.2.5. Genre <i>Pediococcus</i>	7
I.4.2.6. Genre <i>Tetragenococcus</i>	7
I.5. Caractères immunologiques des bactéries lactiques	7
I.6. Métabolisme des bactéries lactiques	8
I.6.1. Métabolisme glucidique.....	8
I.6.1.1. Bactéries lactiques Homo-fermentaires	8
I.6.1.2. Bactéries lactiques Hétéro-fermentaires	8
I.6.2. Métabolisme azoté	8
I.6.3. Métabolisme des lipides.....	9
I.7. Exigences nutritionnelles	10
I.7.1. Exigence en carbone: glucides et acides organiques	10
I.7.2. Exigence en vitamine	11
I.7.3. Exigence en base azotées	11
I.7.4. Exigence en cations.....	11
I.8. Aptitude technologique des bactéries lactiques	11
I.8.1. Aptitude protéolytique	11
I.8.2. Aptitude lipolytique	12
I.8.3. Aptitude aromatique.....	12
I.8.4. Aptitude texturante.....	12
I.8.5. Formation de biofilm par les bactéries lactiques	12
I.9. Mécanismes antimicrobiens des bactéries lactiques	13
I.9.1. Compétition nutritionnelle et pour l'espace.....	14
I.9.2. Métabolites antimicrobiens non peptidiques	14
I.9.2.1. Peroxyde d'hydrogène H ₂ O ₂	14
I.9.2.2. Acides organiques.....	14
I.9.2.3. Dioxyde de carbone	14
I.9.2.4. Retérine	15

I.9.2.5. Diacétyle	15
I.9.2.6. Biosurfactants	15
I.9.2.7. Acides gras	15
I.9.3. Bactériocines	16
I.10. Classification des bactériocines	16
I.10.1. Classe I : Les lantibiotiques	17
I.10.2. Classe II : Les non-lantibiotiques	18
I.10.3. Classe III : Bactériocines à haut poids moléculaire	19
I.10.4. Classe IV : Bactériocines complexes	19
I.11. Mode d'action des bactériocines	19
I.11.1. Mode d'action des lantibiotiques	19
I.11.2. Mode d'action des non-lantibiotiques	20
I.11.3. Mode d'action de Classe III	21
I.12. Biosynthèse et régulation de bactériocines	22
I.13. Condition optimales de production de bactériocines par les bactéries lactiques	23
I.13.1. pH	23
I.13.2. Température	23
I.13.3. La composition de milieu de culture	23
I.13.4. Le temps d'incubation	24
I.14. Propriétés des bactériocines utiles en bioconservation	24
I.15. Conditionnement des bactériocines	24
II. Bio-conservation des aliments par les bactéries lactiques	
II.1. Micro-organisme dans l'industrie agro-alimentaire	25
II.2. Facteurs influençant la multiplication des micro-organismes dans les aliments	25
II.2.1. Substances nutritive	25
II.2.2. Activité d'eau	26
II.2.3. Température	26
II.2.4. pH	27
II.3. Conséquences de la dégradation microbienne	27
II.4. Définition de la bioconservation	27
II.4.1. Définition de culture protectrice	28
II.5. Critères de sélection des microorganismes bioprotecteurs et mécanismes d'action	28
II.5.1. Critères de sélections	28
II.5.2. Mécanisme d'action	28
II.5.2.1. Déplacement /Exclusion	29
II.5.2.2. Concurrence pour les nutriments et l'espace	29
II.5.2.3. Production de métabolites	29
II.6. Méthode de l'application des bactéries lactiques en bioconservation	29
II.6.1. Méthodes <i>in situ</i>	29
II.6.1.1. Culture pure	29
II.6.1.2. Bactéries lactiques mésophiles	30
II.6.2. Méthodes <i>ex situ</i>	30
II.6.2.1. Préparation de bactériocines	30
II.6.2.2. Substances pure antagonistes ou semi pure	30

II.7. Bioconservation par l'utilisation des bactériocines	30
II.7.1. Bactériocines purifiées ou semi purifiées	31
II.7.2. Bactériocines concentrées.....	31
II.7.3. Bactériocines immobilisées	31
II.7.4. Bactéries productrice de bactériocines	31
II.8. Fermentation des aliments	31
II.9. Exemple de bioconservation dans aliments.....	32
II.9.1. Produits laitiers	32
II.9.2. Produits carnés.....	33
II.9.3. Produits végétaux (fruits et légumes)	34
II.9.4. Produits céréaliers.....	35
II.9.5. Produits de la mer	36
II.10. Utilisation des cultures protectrices pour lutter contre les biofilms alimentaires....	36
II.11. Avantages de culture bio-protectrice	37
II.12. Nouvelles approches	37
Conclusion	39
Références bibliographiques	40

*Liste des figures et des
tableaux*

Liste de figures :

Figure 1 : Dendrogramme consensus reflétant les relations phylogénétiques de l'ordre des «Lactobacillales» au sein de la classe « Bacilli »	4
Figure 2 : Système protéolytique des bactéries lactiques.....	9
Figure 3 : Principales voies de la lipolyse.....	10
Figure 4 : Etapes du développement des biofilms sur une surface solide.....	13
Figure 5 : Séquence protéique et structure d'un lantibiotique de type A (la nisine), B (la Mersacidine), de la lacticine 481	18
Figure 6 : Mode d'action d'un exemple de lantibiotique, la nisine	20
Figure 7 : Mode d'action d'une bactériocine non-lantibiotique de la classe IIa, la Sakacine	21
Figure 8 : Mode d'action d'une bactériocine de la classe III, l'Entérollysine A	22

Liste de tableaux :

Tableau 1: Classification des bactériocines 17

Tableau 2: La différence entre le taux d'humidité et l'activité de l'eau 26

Abréviations

Abréviations

AMP : Anti-Microbiens Peptides.

ARN : Acide ribonucléotide.

a_w : activity water.

CIP : Cold induced proteins.

EPS : Exopolysaccharides.

Fe²⁺ : Ion de Fer.

GAP : Glycéraldéhyde phosphate.

GRAS : Generally Recognized As Safe.

HPLC : High Performance Liquid Chromatography.

HSV-1 : Herpès simplex virus.

LC-QTOF : Liquid Chromatography-quadrupole time-of-flight.

NADH : Nicotinamide adénine dinucléotide.

NSLAB : Bactéries Lactiques Adventives Non Starter.

PDLA-PEO : Poly D-Lactic Acid-Polyéthylène oxyde.

pH : Potentiel d'Hydrogène.

PLA : En poly lactic acid.

PVA : Poly vinyle alcool.

TMAO : Triméthylamine N-Oxyde.

Introduction

Les bactéries lactiques sont généralement reconnues comme étant des microorganismes sains, de statut GRAS (Generally Recognized As Safe), elles ont toujours occupé une place importante parmi les auxiliaires de fermentation et de conservation alimentaire, que ce soit en tant que microflore naturelle comme culture ajoutée sous des conditions contrôlées (**Marouf et Tremblin, 2021**).

La fermentation des hydrates de carbone, et la dégradation des protéines et des lipides par les bactéries lactiques mènent à la synthèse d'une large gamme de composés, tels que les acides organiques, les peptides, les composés antimicrobiens et aromatiques et d'autres substances. Ces métabolites peuvent contribuer aux caractéristiques organoleptiques, technologiques et nutritionnelles des aliments fermentés (**Paranaw et al., 2021**).

La contamination et la détérioration des produits alimentaires par les microorganismes sont un problème qui n'est pas encore sous contrôle malgré la disponibilité d'une panoplie de techniques de conservation fiables et adéquates. Soucieux de résoudre ce problème tout en se conformant à la demande des consommateurs qui refusent les aliments préparés avec des agents conservateurs d'origine chimique, les fabricants de produits alimentaires se penchent de plus en plus sur des techniques de préservation beaucoup plus douces. Ces techniques douces de préservation conduisent à l'obtention d'aliments présentant un aspect beaucoup plus naturel avec une meilleure qualité nutritive (**Sing, 2018**).

Ces techniques sont notamment basées sur l'activité antimicrobienne naturelle des bactéries lactiques qui agissent comme des cultures protectrices (**Savadojo et al., 2016**).

Ces bactéries ont une longue tradition en matière de sécurité alimentaire et de nombreuses applications potentielles en tant qu'agents de conservation par production de nombreux métabolites aux propriétés antimicrobiennes tels que les acides organiques, le peroxyde d'hydrogène, le dioxyde de carbone, la reutérine, le diacétyl et les bactériocines (**Rajanikar et al., 2021**).

Les cultures protectrices regroupent un ensemble d'espèces hétérogènes dont le trait commun est la production de substances antimicrobiennes. Ces cultures exercent une action antagoniste sur la croissance des microorganismes indésirables et pathogènes tout en préservant la qualité sanitaire et sans modification des propriétés organoleptiques d'un produit alimentaire (**Mrid et al., 2021**).

De ce fait l'objectif de ce travail vise à démontrer l'utilisation des cultures protectrices et leurs rôles dans la bioconservation des aliments vis-à-vis des flores d'altération.

Afin d'atteindre ce objectif, l'étude englobe deux aspects dont le premier aspect une synthèse bibliographique reprenant les connaissances actuelles sur les bactéries lactiques et leurs substances antimicrobiennes. Le second aspect du manuscrit est consacré à l'application des cultures protectrices des bactéries lactiques en tant qu'agents bio-protecteurs pour la conservation des produits alimentaires.

I.1. Historique

Les bactéries lactiques ont été utilisées depuis plus de 4000 ans pour la fermentation des aliments sans pour autant comprendre la base scientifique de leur utilisation, mais tout en essayant de produire des aliments de meilleure conservation et de meilleure qualité. Ce n'est qu'à la fin du 19^{ème} siècle, l'époque des grandes découvertes de la microbiologie, que certains chercheurs ont pu isoler un streptocoque (**Benkerroum et Tamine, 2004 ; Peng et al., 2020**).

Le groupe des bactéries lactiques ou bactéries de l'acide lactique a été défini pour la première fois par « Orla-Jensen » en 1919, et réunit plusieurs genres caractérisés par leur capacité à fermenter les glucides en produisant l'acide lactique (**Peng et al., 2020**).

I.2. Définition des bactéries lactiques

Les bactéries lactiques constituent un groupe hétérogène de microorganismes caractérisé par la production de l'acide lactique comme produit final à partir de la fermentation des carbohydrates. (**Mozzi et al., 2010**).

Elles sont sous forme de cocci ou des bâtonnets à Gram positif, elles sont asporulantes, généralement immobiles, dépourvues de catalase et d'oxydase, aéroanaérobies facultatives et acidotolérantes. Toutefois, leurs caractéristiques peuvent être changées sous certaines conditions de stress exemple, le pH, l'acidité et la température (**König et Fröhlich, 2009 ; Lin et al., 2020**). Elles exigent des carbohydrates fermentescibles, des acides aminés, et des vitamines pour leur croissance (**Corrieu et al., 2008**).

I.3. Habitat

Les bactéries lactiques se trouvent dans la matière végétale et les fruits en décomposition, dans les produits laitiers, les viandes, les poissons fermentés, les céréales, les betteraves, les légumes marinés, les pommes de terre, les levains, les ensilages, les boissons fermentées, les jus, les eaux usées et dans les cavités des humains et des animaux (**Sowmya et al., 2016 ; Duar et al., 2017**).

Chez l'homme, les bactéries lactiques habitent particulièrement la cavité buccale, l'iléon, le côlon et sont les organismes dominants dans le vagin (**Zhang et al., 2015**).

I.4. Classification

I.4.1. Classification phénotypique

La classification phénotypique des bactéries lactiques est largement basée sur la morphologie, le mode de fermentation de glucose, la croissance à différentes températures, la capacité de croissance à de hautes concentrations de sel (6.5%, 18%), la tolérance aux pH acides, la configuration de l'acide lactique produit à partir de glucose, l'hydrolyse de l'arginine, la formation d'acétoïne, etc. Les marqueurs chimiotaxonomiques comme la composition en acides gras et les constituants de la paroi cellulaire peuvent aussi être utiles dans la classification (König et Fröhlich, 2009).

I.4.2. Classification génotypique

L'analyse comparative des séquences d'ARN ribosomal 16s a entraînée des changements importants dans la taxonomie des bactéries lactiques (Salminen et al., 2004). Les bactéries lactiques sont classées dans le phylum des *Firmicutes*, la classe des *Bacilli* et l'ordre des *Lactobacillales* qui renferme six familles avec 35 genres (figure 1) (De -Vos et al., 2009).

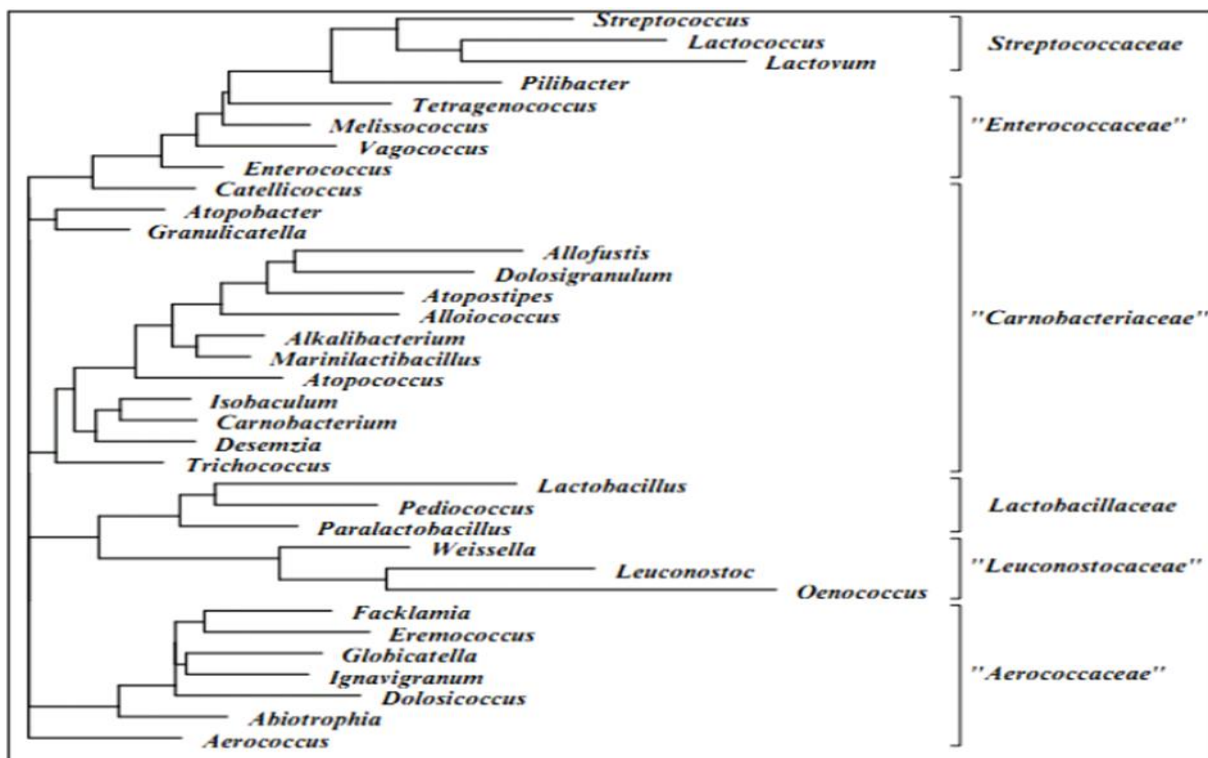


Figure 1: Dendrogramme consensus reflétant les relations phylogénétiques de l'ordre des «*Lactobacillales*» au sein de la classe «*Bacilli*» (De -Vos et al., 2009).

I.4.2.1. *Lactobacillus*

Au sein des bactéries lactiques, les lactobacilles forment un ensemble très disparate. Ils appartiennent au groupe des *Firmicutes*, à la classe des *Bacilli*, à l'ordre des *Lactobacillales* et à la famille des *Lactobacillaceae* (Axelsson, 2004). Les lactobacilles appartiennent à la flore normale de la cavité buccale, urogénitale et du tractus gastro-intestinal. Ils représentent le groupe le plus important des bactéries lactiques, contenant 261 espèces et 20 sous espèces. Ce nombre évolue régulièrement, 13 nouvelles espèces ont été proposées en 2005, 9 en 2006 et 7 autres en 2007 (Zheng et al., 2015).

I.4.2.2. *Bifidobacterium*

Le genre *Bifidobacterium* est considéré comme faisant partie du groupe des bactéries lactiques grâce à la similarité de ses propriétés physiologiques et biochimiques et à sa présence dans le même habitat écologique, tel que le tube gastro-intestinal (Axelsson, 2004).

Les *Bifidobacterium* sont des bâtonnets, Gram positifs, asporulés, immobiles, ont des formes variées (incurvées, rarement ramifiées), celles qui ont des formes bâtonnets peuvent généralement être isolées ou en amas et en paires ou en forme de V, X ou Y dont Y est la plus caractéristique ressemblent à des branches mais pouvant être coccoides. Les *Bifidobacterium* sont anaérobies, saccharolytiques, fermentent les glucides en donnant de l'acide acétique et l'acide lactique sans production de dioxyde de carbone (Rodriguez et al., 2017). Ils ont un pH optimal autour de 6.5 à 7 et une température comprise entre 37C° et 41C° (Axelsson, 2004 ; Modesto et al., 2015).

I.4.2.3. *Enterococcus*, *Lactococcus* et *Streptococcus*

Enterococcus, *Lactococcus* et *Streptococcus* étaient regroupés en un seul genre qui est *Streptococcus*. Ils sont très fréquents dans l'industrie alimentaire comme contaminants et surtout comme agents de fermentation homolactique (Salminen et al., 2004).

a. Enterococcus

Ce genre comprend des cellules ovoïdes isolées, en paires ou en courtes chaînes, homofermentaires (Franz et al., 2010 ; Buron-Moles et al., 2019). Quelques espèces sont mobiles par des petits flagelles et d'autres possèdent une pseudocatalase. Ce genre 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 (García-Solache et Rice, 2019).

b. Lactococcus

Les cellules de ce genre sont sphériques ou ovoïdes isolés, en paires, ou en chaînes (Yu et al., 2017). De type mésophiles, leur température optimale varie de 10 à 40°C mais sont incapables de se développer à 45°C. Celles-ci se développent généralement à 4% de NaCl et au pH proche de la neutralité, leur croissance s'arrêtant lorsque le pH du milieu atteint 4,5 (Mofredj et al., 2007 ; Yu et al., 2017 ; Kim, 2019). Ce genre est un habitant typique des plantes, des animaux et de leurs produits (Odamaki et al., 2001).

c. Streptococcus

Les cellules de ce genre sont immobiles, sphériques ou ovoïdes qui ont un diamètre inférieur à 2 µm avec une disposition en paires ou en chaînes longues. La fermentation des carbohydrates produit principalement de l'acide lactique mais sans production de gaz (Patel et Gupta, 2018 ; Park et al., 2019). Le peptidoglycane est du groupe A et leur température optimale de croissance est 37°C. Elles sont incapables de se développer à 15°C et à pH 9.6 (Badis et al., 2005). Beaucoup d'espèces sont commensales ou des parasites de l'homme et des animaux et certaines sont hautement pathogènes. *Streptococcus thermophilus* est la seule espèce utilisée en technologie alimentaire (Chandan et al., 2017).

I.4.2.4. *Leuconostoc, Oenococcus et Weissella*

Leuconostoc, Oenococcus et *Weissella* forment un groupe des genres apparentés des bactéries lactiques. Ils sont tous hétérofermentaires (Bjorkroth et Holzappel, 2006).

a. Leuconostoc

Ce genre comprend 10 espèces fastidieuses dans leurs exigences nutritionnelles, les cellules sont ellipsoïdales à sphériques généralement allongées qui s'arrangent en paires ou en chaînes, les *Leuconostocs* sont des hétérofermentaires obligatoires (Bjorkroth et Holzappel, 2006 ; Yehia et al., 2017) non acidophiles avec un pH optimum de croissance égal à 6.5. Néanmoins, certains *Leuconostocs* peuvent croître même à un pH de 4.5, la température optimale est comprise entre 20°C et 30°C mais la croissance peut aussi avoir lieu même à 5°C (Janget al., 2002 ; Cholakov et al., 2019). Sur un milieu concentré en saccharose, certaines souches produisent des dextrines extracellulaires (Zarour et al., 2013).

b. Oenococcus

Les cellules sont immobiles, asporulantes de forme ellipsoïdale à sphérique, avec un arrangement en paires ou en chaînes, non hémolytiques et généralement non protéolytiques (Mokoena, 2017). Elles exigent un milieu riche en acides aminés et en facteurs de croissance,

leur pH optimum étant de 6 à 6.8 et la température optimale de 20°C à 30°C (Axelsson, 2004).

c. Weissella

Les cellules de ce genre sont ovoïdes ou de courts bâtonnets à extrémités rondes qui s'associent en paires ou en courtes chaînes. Elles sont immobiles et hétérofermentaires (Jang et al., 2002 ; Fusco et al., 2015). La température optimale de croissance est de 15°C, mais quelques espèces peuvent croître entre 42°C et 45°C (Fusco et al., 2015).

I.4.2.5. *Pediococcus*

Ce genre est représenté par neuf espèces ayant un métabolisme homofermentaire. Il rassemble des cellules immobiles de forme sphérique parfois ovoïdes, isolées ou en paires qui se divisent dans deux directions perpendiculaires formant ainsi les tétrades mais jamais les chaînes (Buron-Moles et al., 2019). Certaines espèces produisent une catalase ou une pseudocatalase. Les cellules sont acidophiles mais non halophiles et croissent à pH 5 mais pas à pH 9, la température optimale de croissance varie de 25°C à 35°C (Holzapfel et al., 2006).

I.4.2.6. *Tetragenococcus*

Ce genre rassemble des cellules immobiles, sphériques ou ovoïdes avec un diamètre de 0.5-1.0 µm formant des tétrades après leur division dans deux directions perpendiculaires et peut s'isoler en paire. Le métabolisme des *tétragenocoques* est homofermentaire. Ils ne produisent pas de CO₂ à partir de glucose comme ils sont incapables de réduire les nitrates ni d'hydrolyser l'arginine. Leur température de croissance se situe entre 25°C et 35°C et ne peuvent pas croître à 10°C et à 45°C (Buron-Moles et al., 2019).

I.5. Caractères immunologiques des bactéries lactiques

Les bactéries lactiques peuvent être sensibles à leurs propres substances de défense comme les bactériocines, elles se prémunissent à l'aide d'une protéine qualifiée «d'immunité» (Plavec et Berlec, 2020). C'est une lipoprotéine d'immunité codée par le gène LanI, Cette protéine s'attache à la surface externe de la membrane et interagit avec la bactériocine afin d'empêcher son insertion dans la membrane et ainsi former des pores. La structure de ces protéines est très variable (Ringø et al., 2020).

I.6. Métabolisme des bactéries lactiques

I. 6.1. Métabolisme glucidique

I.6.1.1. Bactéries lactiques homofermentaires

Toutes les bactéries lactiques à l'exception des genres : *Leuconstoc*, *Oenococcus*, *Weissella* et certains membres du genre *Lactobacillus* entravent la voie de la glycolyse pour dégrader les hexoses (glucose). Après son transfert vers la cellule, le glucose subit une phosphorylation pour se transformer en fructose qui est à son tour phosphorylé en fructose 1-6 di-phosphate puis clivé en dihydroxyacétone phosphate et glycéraldéhyde phosphate (GAP), ces deux derniers sont convertis en pyruvate. Le pyruvate est dans une dernière étape réduit en acide lactique qui est le produit unique, c'est la fermentation homolactique. Dans les conditions défavorables telle que la limitation du glucose, ces bactéries produisent également l'acide formique, l'acide acétique, l'éthanol et/ou le CO₂ par la voie de fermentation des acides mixtes (Mozzi et al., 2010).

I.6.1.2. Bactéries lactiques hétérofermentaires

Ce groupe de bactéries lactiques utilise la voie des pentoses phosphate (ou 6-phosphogluconate) qui consiste à une déshydrogénation du glucose, après sa phosphorylation, pour donner le 6-phosphogluconate qui subira une décarboxylation. Le pentose résultant est clivé en glycéraldéhyde phosphate (GAP) qui suit la voie de la glycolyse donnant l'acide lactique et l'acétyl phosphate qui sera réduit en éthanol. En raison de la production de CO₂, d'éthanol ou de l'acétate en plus de l'acide lactique, cette fermentation est appelée hétérolactique (Gaenzle, 2015).

I.6.2. Métabolisme azoté

La protéolyse est sans aucun doute le processus biochimique le plus important chez les bactéries lactiques, celle-ci confère aux aliments fermentés leur saveur et leur texture (figure 2). La dégradation des caséines par les protéinases et les peptidases de la membrane cellulaire conduit à l'accumulation des petits peptides et des acides aminés libres (Teusink et Molenaar, 2017). La conversion des acides aminés en alcools, aldéhydes, acides et des composés esters peut jouer un rôle aussi dans le développement des saveurs spécifiques (Bintsis, 2018).

Trois grandes étapes peuvent être distinguées dans ce processus, la protéolyse extracellulaire, le transport des acides aminés et des peptides dans la bactérie et la protéolyse intracellulaire (Filannino et al., 2018). Les acides aminés présents dans le cytoplasme après transport et protéolyse vont être utilisés tels quels pour la synthèse protéique, où vont être catabolisés

(Yang et al., 2020). Ce catabolisme va soit fournir de l'énergie à la bactérie soit aboutir dans certains cas, à la formation de molécules aromatiques (aldéhydes, acides et alcools) (Buron-Moles et al., 2019).

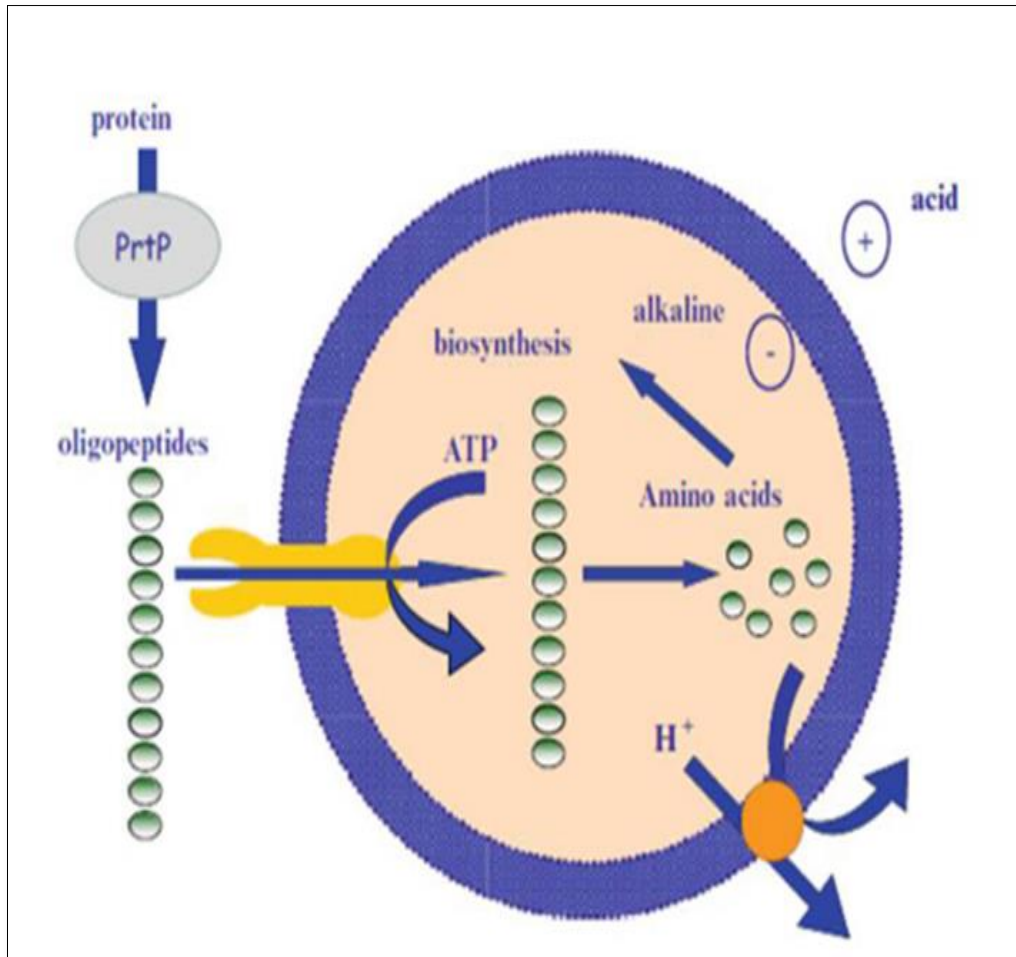


Figure 2: Système protéolytique des bactéries lactiques (Kassas, 2017).

I.6.3. Métabolisme des lipides

Les bactéries lactiques sont considérées comme faiblement lipolytiques par rapport aux autres bactéries telles que *Pseudomonas*, *Bacillus* et *Achromobacter* (Bintsis, 2018). Les bactéries lactiques peuvent effectuer des réactions de transformation d'acides gras comprenant l'isomérisation, l'hydratation, la déshydratation, la saturation et des activités d'hydrolyse des esters. Les estérases de *Lactococcus lactis* sont capables d'hydrolyser la matière grasse du lait une fois que celle-ci a été pré hydrolysée par d'autres lipases ou estérases (Gaenzle, 2015). Les lipases bactériennes catalysent en partie la production des acides gras à longue chaîne à partir des mono et di glycérides, alors que les estérases permettent la libération des acides gras volatiles. Les acides gras, dont la concentration augmente pendant l'affinage, seraient

responsable en partie de la flaveur typique des fromages à pâte pressée cuite. Ils sont également des précurseurs pour la formation de métylcétones, alcools, lactone et esters (Bintsis, 2018). La **figure 3** représente les différentes voies conduisant à la formation de ces composés.

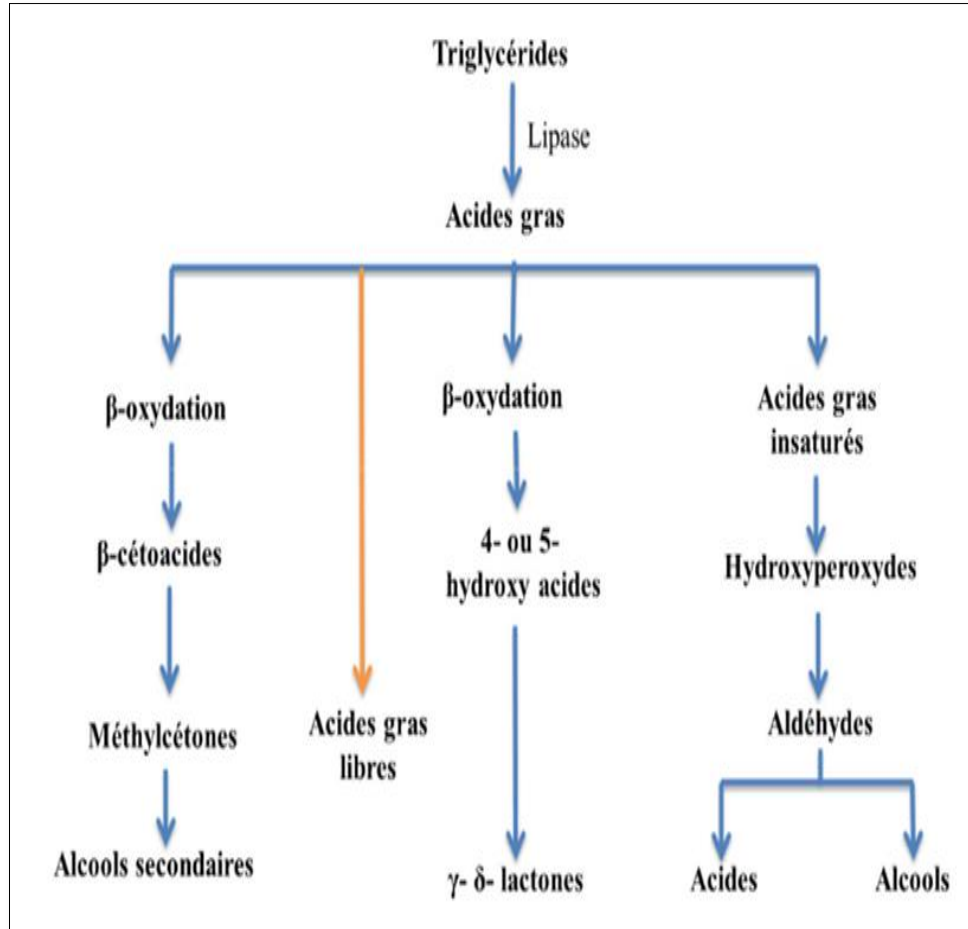


Figure 3: Principales voies de la lipolyse (Siegumfeldt et al., 2000).

I.7. Exigences nutritionnelles

Les bactéries lactiques sont considérées comme l'un des groupes bactériens le plus exigeant du point de vue nutritionnelle, c'est parce qu'elles requièrent non seulement des substrats complexes carbonés, azoté, phosphatés, et soufrés, mais aussi des facteurs de croissance comme les vitamines et les oligoéléments (Nikita et Hemangi, 2012).

I.7.1. Exigences en sources de carbone : glucides et acides organiques

Le glucose et le fructose sont les premières sources énergétiques. Les bactéries lactiques utilisent aussi d'autres monosaccharides (arabinose, mannose, galactose, xylose...), des polysaccharides et des composés de la glycolyse. C'est d'ailleurs en métabolisant ces derniers qu'elles libèrent des précurseurs d'arômes exemple le citrate. Les bactéries récupèrent de

l'énergie à partir des principaux acides, d'abord malique puis tartrique (**Kapustian et al., 2018**).

I.7.2. Exigences en vitamines

Les bactéries lactiques ont besoin de plusieurs vitamines du groupe B, en particulier l'acide pantothénique (B5), la biotine (B8), la thiamine (B1), la niacine (B3) et la cobalamine (B12) (**Bhushan et al., 2016**). La déficience en vitamine B12 pouvant provoquer une diminution de la synthèse de l'ADN où monument de la division cellulaire ce qui entrainera un changement de la morphologie des cellules qui deviennent filamenteuse (**Bhushan et al., 2016 ; Li et al., 2017 ; Kaprasob et al., 2018 ; Hati et al., 2019**).

I.7.3. Exigences en bases azotées

Dans des milieux synthétiques, et pour une croissance énorme les lactobacilles exigent la présence de l'adénine, la cytosine, la guanine, la thymidine et d'uracile, cependant ces exigences sont variables selon les espèces (**Devlieghere et al., 2000 ; Verluoyten et al., 2003**). Mais chez certaines souches autotrophes l'addition de ces composés peut créer une inhibition de la croissance (**Solval et al., 2019**).

I.7.4. Exigences en cations

Les ions Mg^{2+} , Mn^{2+} ou Fe^{2+} sont nécessaires pour la croissance des *lactobacilles* (**Letrot et Juillard, 2001**). Le Mg^{2+} est un activateur de nombreuses réactions métaboliques (la division cellulaire, stabilisation des acides nucléiques ou peptidiques), de même le Mn^{2+} est nécessaire pour la détoxification des cellules en présence d'oxygène, la structure et le fonctionnement des enzymes (**Leroy et De-Vuyst, 2004**). Les lactobacilles sont dépourvus de sidérophores pour séquestrer le fer alors que leur croissance est similaire avec ou sans fer (**Parmanand et al., 2019**).

I.8. Aptitudes technologiques des bactéries lactiques

L'utilisation des bactéries lactiques pour une application industrielle donnée est déterminée par les propriétés fonctionnelles et technologiques (**Rodrigues et al., 2021**).

I.8.1. Aptitude protéolytique

La croissance jusqu'à des densités cellulaires permettant aux bactéries lactiques d'assurer les fonctions de fermentation repose sur un système protéolytique capable de satisfaire tous les besoins en acides aminés en hydrolysant les protéines. Les bactéries lactiques démontrent des potentialités différentes, liées à leur équipement enzymatique, pour l'utilisation de la fraction

azotée. Les Lactobacilles présentent généralement une activité protéolytique plus prononcée qui joue un rôle crucial dans la texture (Donkor et al., 2007 ; Saidi et al., 2020).

I.8.2. Aptitude lipolytique

Les Lactocoques sont considérés comme plus lipolytiques que *Streptococcus thermophilus* et les Lactobacilles. Elles peuvent présenter un intérêt pour certaines applications fromagères (Béal et al., 2008 ; Serhan et al., 2009). D'une manière générale on distingue les estérases qui hydrolysent de façon préférentielle les esters formés avec les acides gras à chaîne courte (C2-C8) et les lipases qui sont actives sur des substrats émulsifiés contenant des acides gras à chaîne longue (>C8), ces enzymes sont impliquées dans l'hydrolyse de mono, di, et triglycérides (Bintsis, 2018). Les estérases provenant des bactéries lactiques peuvent être impliquées dans le développement d'arômes fruités dans les aliments (Dellali et al., 2020).

I.8.3. Aptitude aromatique

Durant la fermentation, les bactéries lactiques donnent au produit ces caractéristiques sensorielles spéciales, y compris le développement des saveurs. Les composés aromatiques sont formés par divers procédés par les bactéries lactiques, tel que la conversion du lactose et du citrate dans la glycolyse et le métabolisme du pyruvate (Kalam, 2019 ; Silva et al., 2019). Les composés aromatiques sont aussi les produits de la conversion d'une partie du pyruvate en diacétyle responsable de l'arôme de beurre, acétoïne, acétyladéhyde et l'acide acétique, dont certains en quantité adéquate et équilibrée contribuent positivement aux saveurs typiques des aliments fermentés (Liu et al., 2020).

I.8.4. Aptitude texturante

La capacité des bactéries lactiques à synthétiser des exopolysaccharides (EPS) joue un rôle important pour la consistance et la rhéologie des produits transformés. Les *Lb. Delbrueckii ssp. bulgaricus* et *Streptococcus thermophilus* produisant des EPS sont utilisés dans la fabrication des yaourts, ceci afin d'améliorer la texture, éviter la synérèse et augmenter la viscosité des produits finis. L'utilisation des EPS produits par les souches *Lc .lacti sssp. cremoris* est très prometteuse pour la structure et la viscosité des produits laitiers fermentés (Silva et al., 2019).

I.8.5. Formation de biofilm par les bactéries lactiques

La formation de biofilms par certaines bactéries lactiques a été rapportée par de nombreux chercheurs (Kubota et al., 2008 ; Gómez et al., 2016 ; Fan et al., 2020). Elle est considérée

comme une forme de protection et de résistance contre les conditions de stress exemple : haute température et l'acidité (**figure 4**). C'est une forme d'immobilisation « naturelle » des cellules bactériennes, et comme propriété technologique peut rentrer dans plusieurs applications, notamment, dans le contrôle du développement de *Listeria monocytogenes* dans des emballages alimentaires (**Benítez-Cabello et al., 2019**). Néanmoins, l'adhésion des bactéries lactiques sur une surface dépend des caractéristiques physicochimiques de la surface, comme la charge, l'hydrophobicité, le pH, la température et la teneur en nutriments (**Benmouna et al., 2020**).

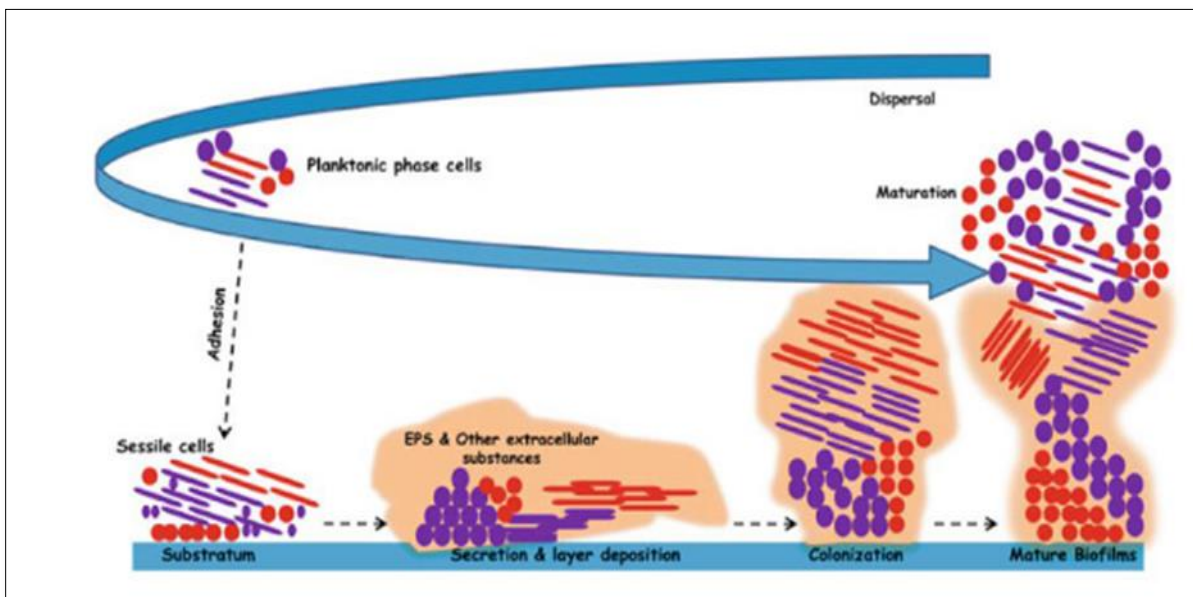


Figure 4: Etapes du développement des biofilms sur une surface solide
(**Sharma et al., 2016**).

I.9. Mécanismes antimicrobiens des bactéries lactiques

Les bactéries lactiques sont utilisées habituellement en tant que ferments pour développer certaines caractéristiques organoleptiques, peuvent également avoir un rôle comme agent de préservation des aliments. Le pouvoir antimicrobien des bactéries lactiques peut être attribué à divers facteurs :

- La compétition nutritionnelle et pour l'espace.
- La production d'un ensemble de métabolites possédant des propriétés antimicrobiennes. Ces métabolites sont des acides organiques (principalement l'acide lactique), le peroxyde d'hydrogène, le dioxyde de carbone, le diacétyle (le 2,3-butanedione), la reutérine et les bactériocines (**Ammor et al., 2006 ; Dalié et al., 2010**).

I.9.1. Compétition pour les nutriments et l'espace :

Lorsque plusieurs souches sont mises en culture dans un même milieu, elles entrent nécessairement en compétition, si elles utilisent le même substrat. C'est ce qui se passe avec les bactéries lactiques utilisant le lactose (Castellano *et al.*, 2008).

Les bactéries lactiques envahissent complètement le milieu. Elles limitent alors la multiplication des autres colonisateurs. De plus, les cellules d'une même espèce possèdent des systèmes de communication (Gram *et al.*, 2002). Lorsqu'une certaine densité cellulaire est atteinte par le système «Quorum Sensing», des signaux sont envoyés d'une cellule à l'autre pour réguler l'expression de certains gènes et orienter le métabolisme (Tabasco *et al.*, 2014). La compétition pour les nutriments sélectionne les microorganismes les plus capables de récupérer les composés limitants et l'élimination d'une flore particulière par une flore envahissante est appelée l'effet Jameson (Vieco-Saiz, 2019).

I.9.2. Métabolites antimicrobiens non peptidiques

I.9.2.1. Peroxyde d'hydrogène H₂O₂

La catalase, enzyme nécessaire à la dégradation du peroxyde d'hydrogène en oxygène et en eau, est absente chez les bactéries lactiques. Il en résulte une accumulation de ce composé qui peut être inhibiteur de différents micro-organismes (Zala *et al.*, 2005).

Le peroxyde d'hydrogène présente un effet antimicrobien par la production des radicaux libres capable d'endommager l'ADN bactérien exemple de la bactéries cible, *Listeria monocytogenese* (Kalam., 2019 ; Silva *et al.*, 2019).

I.9.2.2. Acides organiques

Qu'elles soient homofermentaires ou hétérofermentaires, les bactéries lactiques produisent différents types d'acides organiques et les acides propioniques qui acidifient l'environnement et peuvent ainsi inhiber la croissance et les activités métaboliques d'autres microorganismes (Sanni *et al.*, 2013 ; Salvucci *et al.*, 2016). Plus intéressant encore, les bactéries lactiques vaginales maintiennent un pH vaginal faible par la production d'acides organiques qui protègent cet écosystème des pathogènes potentiels, les espèces prédominantes de *Lactobacillus* produisent surtout d'acide lactique (Bouridane *et al.*, 2016).

I.9.2.3. Dioxyde de carbone

Le dioxyde de carbone CO₂ est principalement formé pendant la fermentation des hexoses suivant la voie hétérofermentaire. Le pouvoir antimicrobien du dioxyde de carbone produit

par les bactéries lactiques s'explique par la création d'une atmosphère anaérobie qui inhibe la croissance de certains microorganismes aérobies tels que la flore d'altération psychrophiles à Gram négatif exemple de *pseudomonas*. De plus, l'accumulation du dioxyde de carbone dans la membrane lipidique de la cellule cible pourrait modifier sa perméabilité (Ammor et al., 2006).

I.9.2.4. Reutéline

La reutéline est produite par *Lactobacillus reuteri*, une espèce hétérofermentaire dans la niche écologique est l'appareil gastrointestinal des humains et des animaux. C'est un métabolite intermédiaire qui possède un effet antimicrobien contre les champignons les spores et les virus par l'inhibition de la réplication de l'ADN. Il est produit lors de la fermentation anaérobie du glycérol par certaines espèces de *Lactobacillus* ainsi que par d'autres genres bactériens non lactiques (Kalam, 2019).

I.9.2.5. Diacétyle

Le diacétyle (2,3-butanédione) est un produit de la dégradation du citrate, il est synthétisé par différentes espèces de bactéries lactiques appartenant à plusieurs genres comme *Lactobacillus*, *Lactococcus*, *Leuconostoc* et *Pediococcus*. Il présente des propriétés antimicrobiennes contre les levures, les bactéries Gram négatif et les bactéries Gram positif non lactiques. La concentration nécessaire à l'obtention d'une inhibition dépend essentiellement du microorganisme cible (Dortu et Thonart, 2009 ; Kalam, 2019).

I.9.2.6. Biosurfactants

Les biosurfactants sont des métabolites amphiphiles produits par des bactéries lactiques qui sont amphiphiles aux propriétés très intéressantes, antibactériennes, antifongiques, antivirales, antiadhésives etc qui confèrent une protection aux tractus intestinal et vaginal (Gomez et al., 2016 ; Dong et al., 2019 ; Ghasemi et al., 2019). Elles ont des structures chimiques variables selon la souche productrice. Il existe des lipopeptides, des glycopeptides, des polysaccharides, des lipopolysaccharides, et des lipoprotéines (Matei et al., 2019 ; Ghasemi et al., 2019).

I.9.2.7. Acides gras

Les acides gras possèdent des capacités antimicrobiennes et antifongiques, on pense que les acides gras antifongiques partagent les bicouches des membranes fongiques entraînant une perte de l'intégrité de la membrane. Une fluidité accrue provoque la perméabilité de la membrane entraînant une libération incontrôlée d'électrolytes et de protéines intracellulaires,

conduisaient finalement à une désintégration cytoplasmique des cellules fongiques. Certains acides gras peuvent agir en synergies avec d'autres métabolites inhibiteurs et s'est révélé être responsables de l'arrêt de la croissance des espèces de *Penicillium* et d'*Aspergillus* (**Dellali et al., 2020**).

I.9.3. Bactériocines

Les bactériocines sont des peptides antimicrobiens synthétisés par voie ribosomique, modifiée ou non post-traductionnelle et sécrétées dans le milieu extracellulaire. Elles sont douées d'une activité antimicrobienne envers des espèces microbiennes phylogénétiquement proches de l'espèce productrice (**Baptista et al., 2020**). Peuvent tuer ou nuisent les souches bactériennes étroitement liées ou non aux bactéries productrices, mais ne nuira pas aux bactéries elles-mêmes grâce à des protéines immunitaires spécifiques (**Casaburi et al., 2016**). Leur spectre d'activité varie d'une bactériocine à une autre mais elles ont une activité dirigée principalement contre les bactéries à Gram positif. Les bactéries à Gram négatif sont plus résistantes aux bactériocines car elles sont protégées par leur membrane externe qui empêche les bactériocines d'atteindre la membrane interne, siège de leur activité (**Dortu et Thonart, 2009**). D'une manière générale, les bactériocines sont thermostables, solubles et actives à pH acide, non toxiques pour les cellules eucaryotes et sensibles aux enzymes protéolytiques du tractus gastrointestinal, ce qui permet d'éviter les interférences avec la microflore intestinale. De plus, d'un point de vue physicochimique, elles sont généralement cationiques, amphiphiles. La bactériocine la plus connue est la nisine produite par *Lactococcus lactis* (**Casaburi et al., 2016 ; Baptista et al., 2020**).

I.10. Classification des bactériocines

Les bactériocines sont classées sur la base de leur structure primaire, leur poids moléculaire, leur modification post traductionnelle ou non et leurs caractéristiques génétiques (**Dortu et Thonart, 2009**). Les bactériocines sont divisées en quatre classes (**tableau 1**).

Tableau 1 : Classification des bactériocines (Reis et al., 2012).

Classes	Caractéristiques principales	Stabilité thermique	Exemple
Classe I Lantibiotiques	-Cycles thioesther dans la séquence. -Poids moléculaire < 5KDa.	Stable	Nisin Lactacine 481 Carnocine U149 Lactocine S
Classe II Peptide anti- <i>Listeria</i>	-IIa : poids moléculaire <10KDa -IIb : association de 2 peptides pour l'activité, poids moléculaire <10KDa	Stable Stable	Lactococcine MMF2 Sakacine G Lactococcine G Lactacine F
Classe III	-Poids moléculaire <30 KDa	Sensible	Helvéticine J Helvéticine V-1829 LactacineAet B
Classe IV	-Mélange identifié de protéines, lipides et charbohydrate	Stable	Plantaricine S Leuconocine S Lactocine 27 Pediocine SJ1

I.10.1. Classe I: les lantibiotiques

Les lantibiotiques sont des petits peptides (<5 KDa) et thermostables. Ils contiennent des acides aminés inhabituels car modifiés tels que la lanthionine, la β -méthyllanthionine, la déhydrobutyrine et la déhydroalanine (Dortu et Thonart, 2009). Cette classe de bactériocines est subdivisée en deux sous-classes basées sur la localisation des ponts établis entre les acides aminés modifiés (figure 5). La classe Ia (type A) qui comprend les peptides cationiques linéaires (ex. la nisine) et la classe Ib (type B) qui contient les peptides globulaires chargés négativement ou sans charge nette (ex. la Mersacidine) (Casarotti et al, 2017).

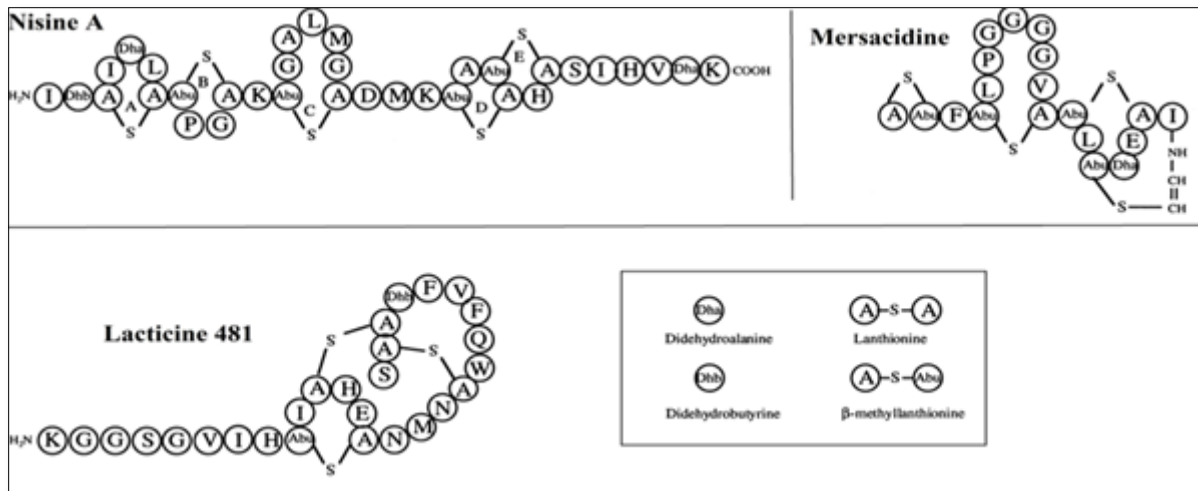


Figure 5 : Séquence protéique et structure d'un lantibiotique de type A (la nisine), B (la Mersacidine), de la lacticine 481 (Mcauliffe et al., 2000).

I.10.2. Classe II: Les non-lantibiotiques

Cette classe renferme les bactériocines dont le poids moléculaire n'excède pas 10 KDa, thermorésistantes, et qui ne possèdent pas des acides aminés inhabituels, elles ne subissent pas de modifications post-traductionnelles (Hang et Tagg, 2006). Cette classe est subdivisée en 3 sous classes :

- **Sous classe IIa:** Ces bactériocines font partie de la famille des pédiocines, qui présentent une partie N terminale conservée, à activité anti-*Listeria*. Grâce à cette qualité, plusieurs chercheurs se sont intéressés à l'isolement des bactériocines qui appartiennent à cette sous classe (Alvarez-Sieiro et al., 2016).
- **Sous classe IIb:** Regroupe les bactériocines contenant deux peptides, l'activité de ces peptides permet de distinguer deux types, le type E (Enhancing), ou l'un des deux peptides sert à stimuler l'activité de l'autre peptide et le type S (Synergy) ou les activités des deux peptides sont complémentaires. La lactacine F produite par *Lactobacillus johnsonii* est une bactériocine de la sous classe IIb (Kumariya et al., 2019).
- **Sous classe IIc:** Ces bactériocines ne peuvent pas être classées dans les sous classes IIa et IIb. L'acidocine B est une bactériocine de cette sous classe, produite par *Lactobacillus acidophilus* (El-Issaoui et al., 2020).

I.10.3. Classe III: bactériocines à haut poids moléculaire

Cette classe rassemble les bactériocines de poids moléculaire supérieur à 30 KDa, sensibles à la chaleur, ce qui limite leur utilisation possible dans l'industrie agroalimentaire. La helveticine J, une bactériocine de cette classe, est produite par *Lactobacillus helveticus* (Dortu et Thorant, 2009).

I.10.4. Classe IV: bactériocines complexes

Cette classe renferme les bactériocines qui possèdent une ou plusieurs molécules de nature non protéique, mais lipidiques et/ou glucidiques, ces dernières sont nécessaires à leur activité. L'activité de la plantaricine S est affectée par les enzymes lipolytiques et glycolytiques (Dortu et Thonart., 2009).

I.11. Mode d'action des bactériocines

I.11.1. Mode d'action des lantibiotiques

Le mode d'action général des lantibiotiques comporte deux étapes (**figure 6**). Dans un premier temps, les lantibiotiques vont interagir avec la membrane cytoplasmique du microorganisme cible par des interactions électrostatiques ou par liaison à des récepteurs spécifiques, les lipides II (composants de la membrane plasmique et précurseurs des peptidoglycanes) (Deegan et al., 2006). Suite à cette liaison, les lantibiotiques peuvent former des pores larges et non spécifiques dans la membrane cytoplasmique. La formation des pores cause le passage rapide de certains composés cytoplasmiques (les ions, les acides aminés, ...) du cytoplasme vers le milieu extérieur de la cellule (Dortu et Thonart, 2009). Engendrant l'arrêt des activités cellulaires et la mort de la cellule (Gillor et al., 2008).

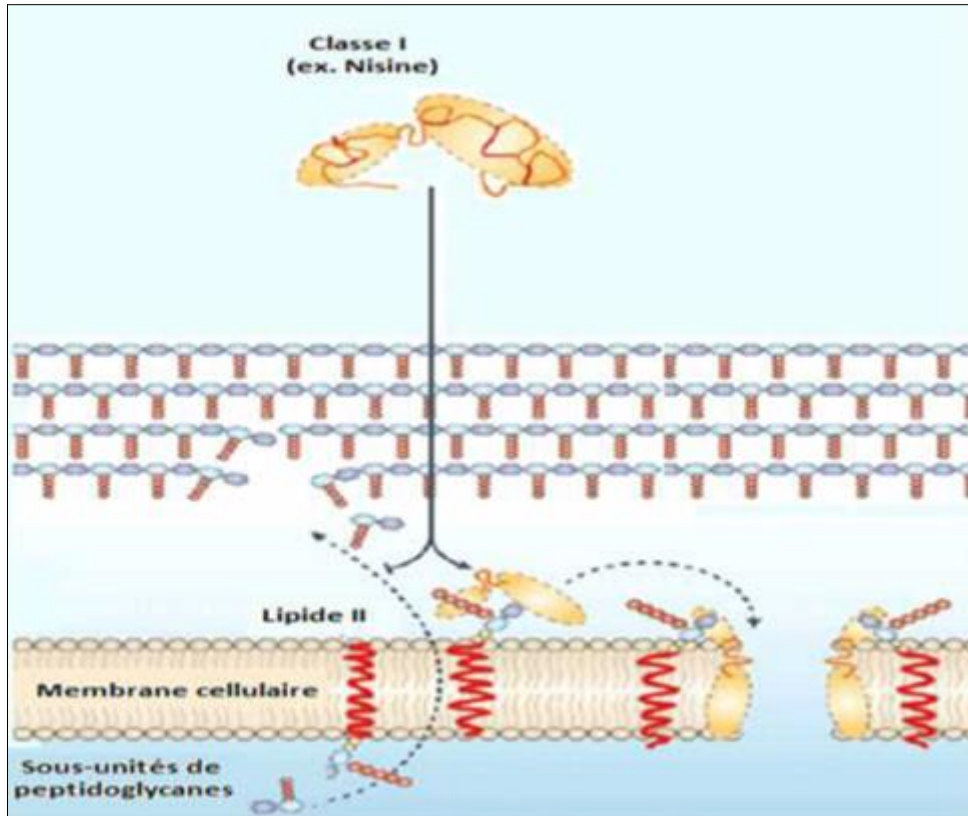


Figure 6: Mode d'action d'un exemple de lantibiotique, la nisine (Cotter et al., 2005).

I.11.2. Mode d'action des non-lantibiotiques

Les bactériocines non-lantibiotiques interagissent avec la membrane de la cellule cible ou au niveau d'un récepteur bien spécifique, la mannose perméase (système mannose-phosphotransférase, Man-PTS) (Castellano et al., 2007). Par la suite, elles forment des pores au niveau de la membrane plasmique, impliquant une modification de la force protomotrice, pour finalement causer la mort de la cellule (figure 7) (Dortu et Thonart, 2009).

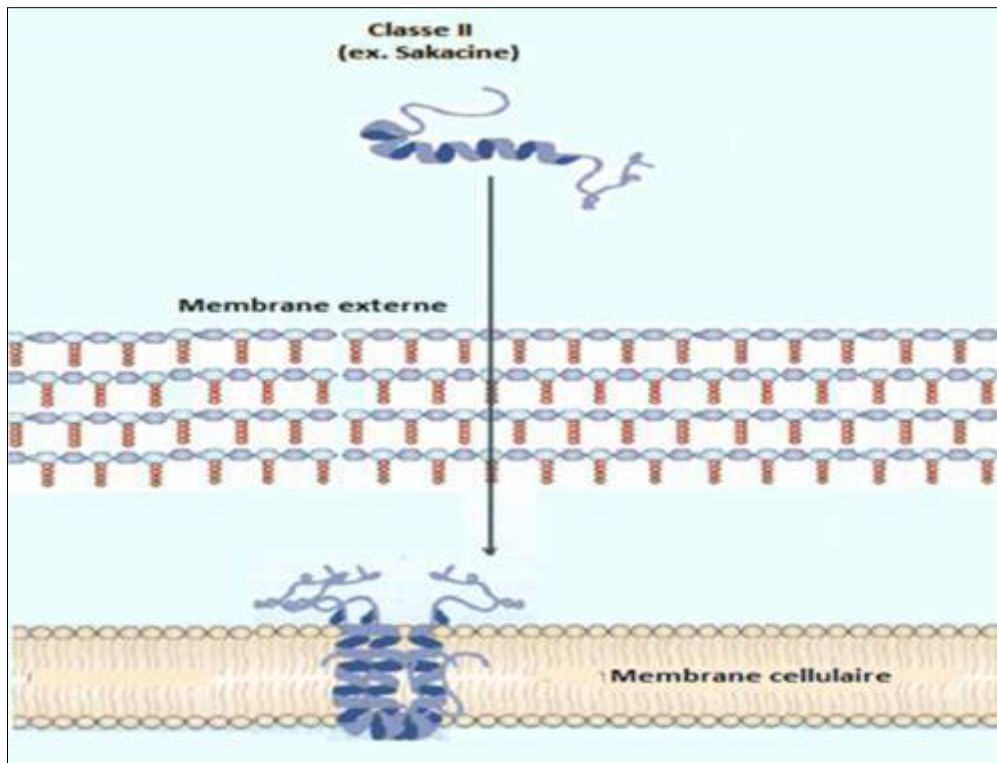


Figure 7: Mode d'action d'une bactériocine non-lantibiotique de la classe IIa, la Sakacine (Cotter et al., 2005).

I.11.3. Mode d'action de classe III

Les bactériocines à haut poids moléculaire se distinguent des autres classes par leur mode d'action (**figure 8**). En effet, elles agissent par hydrolyse des liens peptidiques des peptidoglycane des microorganismes cibles. Ces mécanismes restent encore mal connus à ce jour. Ceci provoque la destruction de la membrane cellulaire et la mort de la bactérie cible (Dortu et Thonart, 2009).

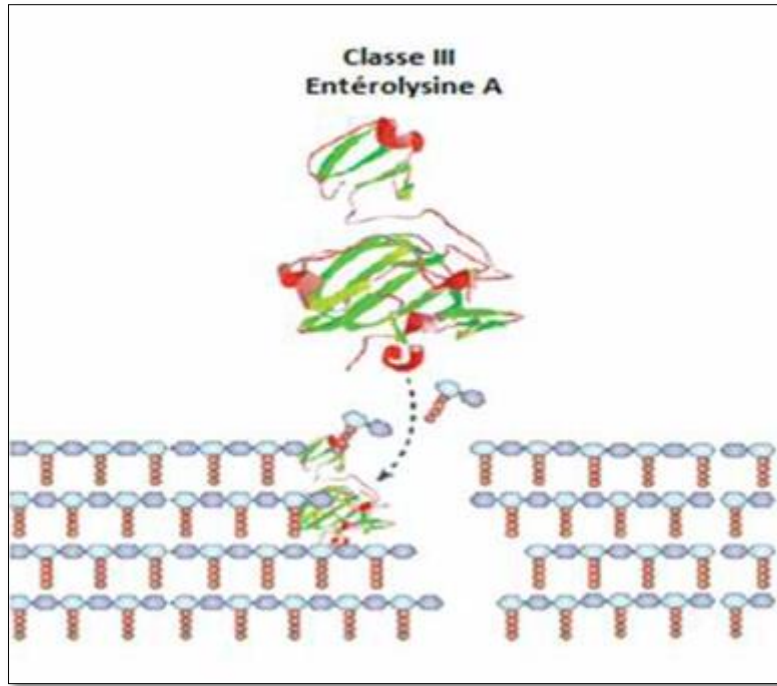


Figure 8: Mode d'action d'une bactériocine de la classe III, l'Entérolysine (Cotter et al., 2005).

I.12. Biosynthèse et régulation de bactériocines

La biosynthèse des bactériocines dépend du microorganisme et des conditions de culture. Différentes protéines sont impliquées dans la production et la régulation des bactériocines (García-Curiel et al., 2021). Les bactériocines sont produites par voie ribosomale dans le cytoplasme de la cellule productrice sous forme d'un prépeptide, appelé prébactériocine, non biologiquement actif qui subira des modifications post-traductionnelles pour aboutir au peptide actif. Cette production est souvent régulée par un système de « Quorum Sensing », un mécanisme permettant à certains gènes d'être exprimés en fonction de la densité de la population bactérienne (Dortu et Thonart, 2009). Les gènes associés à la biosynthèse des bactériocines sont regroupés en opérons. Ils sont souvent associés à des éléments transférables tels que des transposons et des plasmides. Les gènes impliqués dans la biosynthèse de la nisine sont, quant à eux, intégrés sur le chromosome à partir d'un plasmide par l'intermédiaire de transposons (Ishibashi et al., 2021). En général, les gènes impliqués dans les différentes biosynthèses sont situés à proximité les uns des autres. Ils codent pour les protéines suivantes :

- ❖ Protéines d'induction, celles qui reçoivent un signal de l'inducteur (externe à la cellule) et provoquent la transcription des gènes codant pour la biosynthèse de la bactériocine, cette dernière est synthétisée sous une forme inactive nécessitant une maturation. La

bactériocine est synthétisée en même temps que sa protéine d'immunité, permettant à la cellule productrice de résister à sa propre bactériocine.

- ❖ Protéines de transport de la bactériocine à l'extérieur de la cellule.
- ❖ Protéines de maturation, permettant le clivage d'un prépeptide inactif de la bactériocine ou alors des modifications post-traductionnelles dans le cas des lantibiotiques (Ishibashi et al., 2021).

I.13. Conditions optimales de production de bactériocines par les bactéries lactiques

Les conditions optimales de production de bactériocines ne sont pas généralement les mêmes que les conditions optimales de croissance des bactéries lactiques productrices. Les bactériocines sont généralement produites en fin de phase exponentielle ou en phase stationnaire. Les facteurs influençant la production des bactériocines sont principalement le pH, la température, la composition du milieu, et le temps d'incubation (Todorov et al., 2011).

I.13.1. pH

Le pH optimal du milieu varie d'une bactériocine à une autre. Il est toujours compris entre 5,5 et 6,5 et une variation de 0,5 peut entraîner une importante diminution de la production de bactériocines (Todorov et al., 2011). Ainsi, il apparaît que la production de certaines bactériocines est optimale, à des pH inférieurs aux pH optimaux de croissance des bactéries productrices. Ceci a été observé pour la production de nombreuses bactériocines notamment la sakacine P produite par *Lactobacillus sakei* CCUG42687 (Gong et al, 2010).

I.13.2. Température

Une bonne production de bactériocines a été observée quand la croissance a lieu entre 25 et 30°C, alors que les températures optimales de croissance pour les bactéries lactiques se situent plutôt entre 30 et 37°C (Todorov et al., 2011).

I.13.3. Composition de milieu de culture

Le milieu de culture MRS est le milieu plus adapté pour la production de bactériocines (Sharma et al., 2010). La composition du milieu et plus particulièrement la concentration du carbone et d'azote, affecte la production de bactériocines (Todorov et Dicks, 2004).

Les bactéries lactiques bactériocinogènes nécessitent de nombreux éléments nutritifs, notamment de l'extrait de viande, de levure et des hydrolysats de protéines. L'augmentation des concentrations de ces éléments nutritifs dans les milieux de cultures, permet une meilleure productivité des bactériocines (Todorov et al., 2011).

I.13.4. Temps d'incubation

La biosynthèse des bactériocines prend lieu au cours de la phase exponentielle et au début de la phase stationnaire. Au-delà de cette période une diminution de taux des bactériocines a été observée suite à la digestion de ces derniers par les enzymes protéolytiques libérées par la cellule productrice. De ce fait, plusieurs études ont été réalisées pour optimiser la période d'incubation ; la production de la plantaricine MG par *Lactobacillus plantarum* atteint sa valeur maximale après 28 h d'incubation (**Gong et al., 2010**).

I.14. Propriétés des bactériocines utiles en bioconservation

Certains critères des bactériocines produites par les bactéries lactiques justifient leurs choix comme des bioconservateurs en industries alimentaires (**Galvez et al., 2007 ; El-Issaoui et al., 2020**) :

- Les bactériocines produites par les bactéries lactiques sont des agents non toxiques pour les cellules eucaryotes (membrane de composition différente).
- Elles sont sensibles aux protéases digestives telles que la trypsine et l' α -chymotrypsine.
- Elles ont une grande tolérance aux traitements thermiques ainsi qu'aux changements de pH.
- Elles agissent principalement sur les microorganismes phylogénétiquement proches des espèces productrices (telles que les espèces appartenant au genre *Listeria*, *Bacillus*, ...).
- Elles ont un spectre d'activité précis (chaque souche productrice présentant des mécanismes d'autoprotection contre sa propre bactériocine).

I.15. Conditionnement des bactériocines

L'utilisation des bactériocines pures à l'échelle industrielle paraît difficile car les méthodes de purification sont complexes et onéreuses. La nisine qui est la seule bactériocine autorisée en industrie alimentaire en tant qu'additif, est commercialisée sous forme semi-purifiée. A l'échelle industrielle des méthodes simples sont utilisées, comme par exemple l'adsorption de la bactériocine à la cellule productrice, puis sa désorption par centrifugation et par l'augmentation de la salinité du milieu, accompagnée d'un abaissement du pH. Les bactériocines sont généralement lyophilisées et conditionnées sous forme sèche semipurifiée (**Juturi et al., 2018**).

II.1. Microorganismes dans l'industrie agroalimentaire

Les bactéries, les virus, les levures, les moisissures et les parasites sont tous des microorganismes rencontrés dans l'industrie agroalimentaire. Il existe trois types de microorganismes : les bons, les mauvais et les dangereux.

- Les bons microorganismes sont utiles en industrie agroalimentaire pour produire des aliments et des boissons (par exemple le fromage, le yaourt) et pour fabriquer des médicaments (comme la pénicilline) exemple : les bactéries lactiques (**Dubois-Brissonnet et Guillier, 2020**).
- Les mauvais microorganismes (ou micro-organismes d'altération) ne présentent aucun risque sanitaire pour le consommateur. Toutefois, ils affectent la qualité organoleptique en donnant aux aliments un aspect, une odeur ou un goût repoussant exemple : moisissures (**Houansou et al., 2019**).
- Les microorganismes dangereux (pathogènes) sont responsables de certaines pathologies et peuvent avoir un effet létal exemple : les virus, bactériophages (**Baba-Moussa et al., 2006**).

II.2. Facteurs influençant la multiplication des microorganismes dans les aliments

Les microorganismes ont besoin d'énergie et d'éléments nutritifs pour leur développement et l'expression de leurs propriétés. Le catabolisme est l'ensemble des réactions qui permettent la récupération d'énergie biologiquement utilisable et la production de métabolites de base à partir de nutriments. L'anabolisme est l'ensemble des réactions qui permettent les synthèses cellulaires à partir des métabolites de base et d'éléments du milieu (**Dong et Karboune, 2021**).

Selon (**Pascal, 2021**) la plupart des modifications des aliments sont liées aux facteurs suivants :

II.2.1. Substances nutritives

Pour qu'un microorganisme se développe, il doit trouver dans le milieu les éléments nutritifs nécessaires à ses synthèses ainsi que les conditions physicochimiques favorables. Presque tous les microorganismes utiles pour l'alimentation sont hétérotrophes. Ça veut dire qu'ils ont un besoin obligatoire d'une ou de plusieurs substances organiques, qui servent comme source d'énergie. Les substances nutritives nécessaires en sont C, H, O, N, P (carbone, hydrogène, oxygène, azote et phosphore). Le phosphore et sulfate en quantité plus faible, alors que les

sels minéraux et les oligo-éléments (Ca, Co, Mg, Mn, Na, K) en quantité infimes (**Zagorec et al., 2012**).

II.2.2. Activité d'eau

La survie et de développement d'un microorganisme nécessite un milieu contenant une certaine quantité d'eau libre. Les aliments peuvent être classés selon leur activité d'eau qui est le rapport entre la pression de vapeur de la solution (milieu, aliment) et celle de l'eau pure (**Syamaladevi et al., 2016**).

Le tableau 2 montre la différence entre le taux d'humidité et l' a_w . Les activités de l'eau qui sont compatibles avec la vie et le développement microbien varient de 0,6 à 1. Les espèces pouvant se développer dans des produits à faible a_w sont dites xérophiles ; celles résistant à une forte concentration en sucre ou en sel sont respectivement des osmophiles et des m) halophiles (**Eselin et al., 2018**).

Tableau 2 : La différence entre le taux d'humidité et l'activité de l'eau (**Lenovich, 2017**).

Produits	Eau(%)	a_w	Qui peut survivre ?
Œuf en poudre	10	0.95	Champignon+Levures+Bactéries
Farine de froment	13	0.90	Champignons+Leveurs
Légumes séchés	14-18	0.80	Champignons
Amidon	18	0.75	Xérophiles, Halophiles ou Osmophile
Fruits séchés	25	0.70	Limite de sécurité pour la conservation

II.2.3. Température

On distingue différentes catégories de microorganismes selon la température optimale de croissance les psychrophiles (-5 à +15 °C), les mésophiles (+15 à +40 °C), les thermophiles (+40 à +55 °C). Il ne faut pas confondre entre les microorganismes thermophiles et thermorésistants (**Miatake et Lwabuchi, 2005**). La thermorésistance est l'aptitude à résister à un traitement thermique alors que la thermophilie est son aptitude à se développer à haute température (**Duret et al., 2021**).

II.2.4. pH

Le comportement des microorganismes par rapport au pH est variable (**Adamberg et al., 2003**). On appelle acidophiles les microorganismes dont le pH optimum se situe au-dessous de 5,5 mais, en industrie alimentaire, on a l'habitude de classer les microorganismes entre ceux qui peuvent se développer au-dessus et au-dessous de pH 4. Le pH 4,5 permet de séparer les aliments en deux groupes par rapport à leur aptitude à permettre la croissance des principales bactéries pathogènes. Au-dessous de ce pH les risques sanitaires sont minimes (**Lund et al., 2020**).

II.3. Conséquences de la dégradation microbienne

La dégradation des aliments par les microorganismes entraîne successivement la modification de l'odeur, de la couleur, du goût et de l'aspect (**Saulnier et Micard, 2012**).

- ❖ **Odeurs:** Elles sont variables selon la nature de la molécule qui en est responsable. Exemple: la triméthylamine, le mercaptan, l'ammoniac, l'acide butyrique sont responsables du rancissement.
- ❖ **Couleurs:** L'altération des produits se caractérise souvent par l'apparition de zones colorées à la surface. Cette modification de couleur est essentiellement due à la synthèse de pigments, la destruction ou la transformation de pigments naturels (carotène, myoglobine et polyphénols).
- ❖ **Goût:** La modification du goût est caractérisée essentiellement par l'aigreur du produit.

L'une des conséquences de l'altération d'origine microbienne des aliments est la modification de la valeur nutritionnelle pouvant conduire à son amélioration ou le plus souvent à sa perte (**Ghafir et Daube, 2007**).

II.4. Définition de bioconservation

La bioconservation consiste à inoculer un produit par des bactéries sélectionnées pour leur aptitude à inhiber le développement de germes indésirables, sans modifier les qualités organoleptiques et sanitaires de ce produit (**Aymerich et al., 2019 ; Siedler et al., 2019**). Les bactéries lactiques sont de bons candidats pour cette technologie car elles produisent souvent une large gamme de composés inhibiteurs (acides organiques, peroxyde d'hydrogène, diacéthyle, bactériocines, reuterine ...). De plus elles ont souvent le statut GRAS et elles bénéficient d'une image associée à l'amélioration de la santé par la consommation des produits

laitiers (**Ouidir et al., 2019**). De nombreux produits traditionnels, par exemple les fromages, les saucissons secs ou la choucroute, ont bénéficié de cette pratique depuis des siècles. Dans ce type de procédé, le rôle conservateur des bactéries lactiques est principalement lié à leur compétitivité, qui leur permet de croître et dominer aux dépens des autres espèces (**Cadavez et al., 2019**).

II.4.1. Définition de culture protectrice

Une culture protectrice est définie comme des microorganismes vivants ajoutés délibérément aux aliments pour contrôler leurs statuts bactériologiques sans modifier la qualité technologique et sensorielle. Les bactéries lactiques se montrent prometteuses pour remplacer les additifs chimiques dans les aliments (**Ben-Said et al., 2019**). Leur utilisation peut augmenter la sécurité et la durée de conservation du produit tout en satisfaisant la demande des consommateurs pour des goûts frais et naturels et une transformation minimale des aliments. Cet effet protecteur est lié à leur capacité à produire des composés naturels antibactériens et antifongiques (**Ouidir et al., 2019**).

II.5. Critères de sélection des microorganismes bioprotecteurs et mécanismes d'action

II.5.1. Critères de sélections

Selon **Carvalho et al. (2021)**, les cultures protectrices doivent répondre aux critères suivants :

- Généralement reconnu comme sûr (GRAS).
- Survivre et rester actif pendant la fabrication du produit.
- Capable de se développer dans les aliments pendant le stockage.
- N'affecte pas les propriétés sensorielles intrinsèques (saveur et texture).
- Capable d'inhiber la croissance d'organismes pathogènes et d'altération dans la nourriture.
- Ne produit aucune substance nocive pour l'homme.
- N'affecte pas les autres caractéristiques intrinsèques.

II.5.2. Mécanisme d'action

Les bactéries lactiques protectrices exercent leur activité antibactérienne principalement par trois mécanismes, déplacement/exclusion, compétition pour les nutriments et production de métabolites antimicrobiens (**Ben-Said et al., 2019**).

II.5. 2.1. Déplacement /Exclusion

Ce mécanisme est lié à la capacité des bactéries lactiques d'adhérer fortement aux surfaces et y survivent longtemps (Cadavez et al., 2019).

II.5.2.2. Concurrence pour les nutriments et l'espace

Malgré la richesse en nutriments de la plupart des aliments, la croissance bactérienne peut être inhibée par des quantités limitées en composés spécifiques comme les minéraux, les acides aminés ou les sucres (Daliri et al., 2020). Il existe deux modèles de compétition de croissance bactérienne, le premier, basé sur l'effet Jameson (décélération simultanée de toutes populations microbiennes) et la seconde basée sur la compétition Lotka-Volterra (Cadavez et al., 2019 ; Panebianco et al., 2021).

II.5.2.3. Production de métabolites

Les bactéries lactiques sont capables de produire des antibactériens naturels et des molécules antifongiques telles que les bactériocines, les acides organiques, le peroxyde d'hydrogène et les enzymes (Valic et al., 2018 ; Daliri et al., 2020).

II.6. Méthodes de l'application des bactéries lactiques en bioconservation

La biopréservation peut être appliquée aux aliments par 4 méthodes d'ajout :

II.6.1. Méthodes *in situ*

II.6.1.1. Culture pure

L'ajout d'une culture pure et viable de bactéries lactiques avec une aptitude avérée à produire des substances antimicrobiennes dépend de la capacité de la culture à croître et à produire ces métabolites dans des conditions environnementales et technologiques spécifiques (Rama et al., 2019). La culture doit être en mesure de rivaliser avec la microflore naturelle, ne doit pas influencer sur les propriétés physico-chimiques et organoleptiques des aliments, ne pas produire de gaz ou d'exopolysaccharides pour éviter le gonflement de l'emballage (Rida et al., 2018).

II.6.1.2. Bactéries lactiques mésophiles

L'ajout de bactéries lactiques mésophiles, permettant ainsi de préserver leur viabilité face à une température excessive durant le processus de fabrication (Calo-Mata et al., 2008). La souche bioprotectrice doit être ajoutée à une concentration initiale connue et dans des conditions de refroidissement spécifiques. Lorsque la température du procès est excessive, la souche se développera en compétition avec la bactérie pathogène (Smid et Lacroix, 2013).

II.6.2. Méthodes *ex situ*

II.6.2.1. Préparation de bactériocines

L'ajout de préparations de bactériocines dans un extrait brut, en liqueur fermentée ou en solutions concentrées obtenues à partir de la culture des bactéries lactiques pour vérifier leur production dans l'extrait complexe/aliment (Gálves *et al.*, 2007). Cette technique évite l'utilisation de composés purifiés qui peuvent nécessiter de se référer à la réglementation en vigueur et générer un coût de production plus élevé liée à la purification du composé (Field *et al.*, 2018).

II.6.2.2. Substances pures antagonistes ou semi pure

Cette méthode est particulièrement intéressante dans la mesure où il est possible de connaître avec précision la dose ajoutée et donc de fiabiliser le résultat (Kanmani *et al.*, 2013). Des recherches ont été réalisées afin de normaliser la production de la bactériocine jusqu'à ce qu'il soit possible d'en garantir sa reproductibilité et de cette façon assurer la quantité adéquate dont l'ajout permettra une inhibition suffisante (Castellano *et al.*, 2017).

L'application de ce type de technologies oblige indiscutablement à contrôler les variables technologiques, dont dépendent ces cultures. Les deux premières méthodes de bioconservation sont considérées comme des techniques *in situ*, étant donné que tout le processus se réalise de façon autonome dans les aliments (Barbosa *et al.*, 2017). Les deux dernières méthodes sont considérées comme des techniques d'ajout *ex situ*, étant donné que les cultures protectrices sont produites dans des conditions contrôlées et sont ajoutées dans un second temps à la matrice alimentaire. Pour pouvoir mettre en œuvre les techniques *ex situ*, il faut isoler complètement les microorganismes producteurs de bactériocines, assurer l'existence d'équipement et de moyens de culture spécifiques, garantir l'activité de chaque extrait, déterminer la concentration minimale inhibitrice face aux pathogènes et normaliser la technique pour garantir les quantités d'inoculum avec l'effet antagoniste souhaité (Ben-Said *et al.*, 2019 ; Daliri *et al.*, 2020).

II.7. Bioconservation par l'utilisation des bactériocines

Les bactériocines peuvent être appliquées sous une forme purifiée, semi-purifiée ou sous la forme d'un concentré obtenu après fermentation d'un substrat alimentaire. Les bactéries productrices peuvent également être appliquées dans les produits alimentaires, la bactériocine sera alors produite *in situ* (Field *et al.*, 2018).

II.7.1. Bactériocines purifiées ou semi purifiées

Les bactériocines purifiées ou semi purifiées sont appliquées après production en fermenteur, purification ou semi purification et conditionnement par les techniques adéquates, qui peuvent être relativement coûteuses (**Juturu et al., 2018**).

II.7.2. Bactériocines concentrées

Les bactériocines peuvent également être appliquées sous la forme d'un concentré obtenu après fermentation par la souche productrice et atomisation d'un substrat alimentaire tel que le lait (**Dortu et Thonart, 2009**). Cette préparation sera considérée comme un ingrédient fermenté. Elle contiendra la bactériocine mais également d'autres métabolites microbiens tels que l'acide lactique. La pédiocine, une bactériocine de classe IIa, est commercialisée sous cette forme sous le nom ALTA 2341 (**Ladha et Jeevaratnam, 2020**).

II.7.3. Bactériocines immobilisées

Un autre mode d'application des bactériocines consiste en leur immobilisation sur les cellules productrices, dans des gels ou des films telle que l'alginate de calcium, la gélatine, la cellulose, les protéines de soja, des films de polysaccharides (**Dortu et Thonart, 2009**). La bactériocine sera alors libérée dans le produit au cours de la conservation (**Tumbariski et al., 2018**).

II.7.4. Bactéries productrices de bactériocines

Selon **Juturu et al. (2018)** les bactéries productrices de bactériocines peuvent être ajoutées comme starter dans des produits fermentés ou comme culture protectrice. Elles doivent être capables de croître et de produire des bactériocines dans l'aliment à conserver (**Ladha et Jeevaratnam, 2020**). La composition du produit et les conditions de stockage doivent donc permettre la croissance et la production de bactériocines (**Agriopoulou et al., 2020**).

II.8. Fermentation des aliments

La fermentation était un procédé essentiellement destiné à la conservation des aliments (**Meidong et al., 2017 ; Comasio et al., 2020**). Qu'il s'agisse de la fermentation de la viande en saucisson, du lait en fromage ou du chou en choucroute, un élément commun est l'implication de bactéries lactiques qui vont dégrader les sucres présents dans le produit frais pour conduire à la production d'acide lactique qui entraîne une baisse de pH ralentissant le développement de nombreux microorganismes et assurant ainsi la conservation d'un produit microbiologiquement sain (**Abdulkarim et al., 2020**). On peut donc considérer que la

fermentation fait partie des procédés de bioconservation. Dans le concept d'utilisation de cultures protectrices à des fins de bioconservation l'effet recherché est d'assurer la qualité microbiologique sans modification organoleptique de la matrice alimentaire (Elyas et al., 2020).

II.9. Exemples de bioconservation des aliments

II.9.1. Produits laitiers

Dans les produits laitiers, il est admis que les bactéries lactiques exercent une activité inhibitrice à l'encontre des pathogènes toxigènes potentiels tels que *S. aureus* ou *B. cereus*. (Gontijo et al., 2020). Par la production de composés inhibiteurs comme, par exemple, les bactériocines ou le peroxyde d'hydrogène, et une action indirecte résultant de la croissance même des bactéries lactiques et de l'acidification du milieu et la compétition nutritionnelle qui en découlent (Rama et al., 2020). Il a été récemment montré que la capacité d'inhibition des bactéries lactiques peut aussi s'exercer sur l'expression de la virulence du pathogène dans les produits laitiers, l'expression de plusieurs gènes de virulence gènes d'entérotoxines de *S. aureus* était fortement affectée par la présence de *L. lactis* (Okechukwu et al., 2021). Cette inhibition de la virulence est aussi observée en matrice fromagère (Tumbariski et al., 2018). Donc ces réponses transcriptomiques de ces deux souches modèles de *S. aureus* et *L. Lactis* respectivement sont investiguées pour contrôler et limiter la production des entérotoxines responsables des toxi-infections alimentaires (Okechukwu et al., 2021).

Autres applications des cultures bioprotectrices dans les produits laitiers comprennent l'inhibition de production de gaz par *Clostridium tyrobutyricum*, empêchant ainsi le défaut de soufflage tardif des fromages et l'inactivation des bactéries lactiques adventives non starter (NSLAB) pendant affinage du fromage. NSLAB provoquent des variations de saveur de fromage et la formation de fentes. Les chercheurs s'intéressent de plus en plus à la capacité des bactéries bioprotectrices pour inhiber les levures et les moisissures, de plus en plus résistantes aux additifs chimiques couramment utilisés tels que l'acide sorbique et l'acide benzoïque (Ben-Said et al., 2019).

Ouidir et al. (2019) ont testé l'activité antifongique des différents bactéries lactiques et leur efficacité en tant que cultures bioprotectrices utilisées dans les produits laitiers. L'activité antifongique des 30 isolats appartenait au genre *Lactobacillus* et *Leuconostoc* dont 17 *Lactobacillus paracasei*, 2 *Lactobacillus plantarum* et 11 *Leuconostoc mesenteroides* a été testée *in vitro* sur milieu MRS puis sur le yaourt miniaturisé (produit imitant les produits

laitiers) contre (*Aspergillus fumigatus*, *Aspergillus flavus*, *Paecilomyces formosus*) et (*Penicillium commune*, *Yarrowia lipolytica*) respectivement. Après elle a été testée *in situ* afin de valider leur efficacité sur un produit alimentaire. Les résultats obtenus en se basant sur la biomasse fongique mesurée en quantifiant l'ergostérol, et les composés antifongiques ont été quantifiés à l'aide de l'HPLC et LC-QTOF (Liquid Chromatography-quadrupole time-of-flight) (Bassi et al., 2020 ; Rama et al., 2020).

Il est intéressant de noter que l'ajout des ions de Ca^{2+} et Mg^{2+} au milieu de croissance des bactéries lactique a révélé une influence significative sur l'activité antifongique des isolats à cause de leur inclusion au moment de la modification post-traductionnelle des composés antifongiques (Matevosyan et al., 2019).

II.9.2. Produits carnés

La viande destinée à être consommée crue ou peu cuite, les plats cuisinés sont ceux qui peuvent présenter des problèmes importants de contamination avec une incidence sur la santé du consommateur. En effet, dans le cas des produits consommés crus ou peu cuits, les bactéries pathogènes ne sont pas détruites par la cuisson et dans le cas des produits cuisinés, rendus stériles par leur cuisson préalable, une contamination ultérieure peut être dangereuse car en absence d'espèce compétitrice (Nediani et al., 2017). C'est donc essentiellement sur ces types de produits que la recherche sur les cultures protectrices des produits carnés est développée. Il a été observé que la flore endogène de la viande, et en particulier *L. sakei* qui présente naturellement dans la viande, contribuait à empêcher le développement de bactéries pathogènes telles que *Escherichia coli* O157:H7 dans la viande hachée (Wen et al., 2021).

Des essais réalisés par Laszkiewicz et al., 2021 à l'aide de souches productrices de bactériocines anti-Listéria ont montré qu'elles limitaient le développement de Listéria sur des produits carnés cuits. L'utilisation de *L. sakei* comme culture protectrice des produits carnés semble donc être une piste à suivre, elle peut résister mieux que d'autres bactéries lactiques aux conditions de stress de conservation de la viande, et elle semble être capable de produire des molécules toxiques. *L. sakei* produirait d'autres molécules antagonistes : de l'acide lactique dont la toxicité est connue, le peroxyde d'hydrogène et l'hypothiocyanate qui pourraient bien être des armes redoutables produites par *L. sakei* (Martin et al., 2021).

De plus, *Lactobacillus sakei*, productrice de sakacine P, est capable de se développer sur de la charcuterie de poulet emballée sous vide et ainsi supprimer la croissance de *L.*

monocytogenes. En emballage sous vide du bœuf, les cultures protectrices peuvent également augmenter la durée de conservation ou retarder la détérioration par soufflage causée par *Clostridium estertheticum* (Perrier et al., 2020).

II.9.3. Produits végétaux (fruits et légumes)

La fermentation lactique des fruits et légumes est à la base des méthodes traditionnelles utilisées depuis des siècles pour protéger les végétaux de la détérioration. Aujourd'hui, elle est utilisée comme méthode de choix pour la production d'aliments à la fois savoureux et bien conservés (Ashalu et Rial, 2020). Les bactéries lactiques jouent un rôle essentiel en transformant les sucres et autres nutriments principalement en acide lactique. La population microbienne de la matière végétale fraîche est dominée par les bactéries aérobies et les levures, tandis que les bactéries lactiques sont minoritaires. Dans des conditions acides lorsque la teneur en sucre est élevée et la concentration en oxygène est faible, les substrats végétaux subissent une fermentation lactique spontanée. Le niveau élevé de sel développe une pression osmotique élevée favorisant ainsi le développement des bactéries lactiques (Szutowska, 2020). En plus de la production d'acide lactique, les bactéries lactiques ont également la capacité de produire du peroxyde d'hydrogène par l'oxydation de la flavine réduite en NADH. De plus, certaines souches produisant des bactériocines telles que la plantaricine sont ajoutées et contribuent à la conservation des produits fermentés en inactivant les bactéries d'altération. Le dioxyde de carbone produit par des *Lactobacilles* hétérofermentaires ajoute un effet conservateur supplémentaire. La microflore lors des fermentations est composée d'espèces lactiques de *Lactobacilles* telles que *L. plantarum*, *L. para-casei*, *L. brevis*, et des genres de *Leuconostoc*, *Pediococcus* et *Weissella* (Barbosa et al., 2017).

Lactobacillus plantarum a inhibé la croissance de *L. monocytogenes* dans les pommes tranchées et *E.coli* O157:H7 dans les ananas frais coupés, tandis que *Lactobacillus fermentum* s'est avéré efficace seulement contre *L. monocytogenes* (Bintsis, 2018).

De plus, *Lactobacillus pentosus* isolée à partir de lait fermentée traditionnel « rayeb » a démontré un effet dans la bioconservation de la fraise par la sécrétion des EPS qui inhibent la dégradation de la pectine par deux enzymes pectinolytiques ce qui empêche la perte en eau (Mao et Yan, 2019 ; Feng et Wang, 2020). Les bactéries lactiques pourraient être appliquées en tant que culture fonctionnelle afin d'augmenter la teneur en acide phénolique bioactif disponible dans la fraise ce qui conduit un meilleur pouvoir antioxydant. Ainsi la capacité d'empêcher la perte de la véritable pigmentation rouge par la sécrétion des enzymes

intracellulaire après un temps de fixation à la surface du fruit. De plus, les bactéries lactiques ont une capacité de chélation des ions métalliques, une capacité de piégeage des espaces réactive de l'oxygène (Najman et Sadouwska, 2021).

D'après Hamed et al. (2011), les résultats de l'activité antifongique des bactéries lactiques isolées du lait de chamelle, *Lactobacillus delbruckii subsp.bulgaricus*, *Leuconostoc mesenteroides subsp.dextranicum* et *Lactococcus lactis subsp.diacetylactis* contre l'espèces de *Fusarium oxysporum*, *F. solani*, *F. redolens*, agents de la pourriture du collet et des racines de la tomate, la maladie la plus destructrice de la tomate en Algérie (*Solanum lycopersicum*) montrent que tous les bactéries lactiques testées peuvent réduire de manière significative la croissance de diverses espèces de *Fusarium* phytopathogènes et inhiber la formation des hyphes, à la fois par les cultures cellulaires et par leurs métabolites secondaires et ont également montré un bon développement des racines des plantes grâce à l'activité protéolytiques en présence des bactéries lactiques (Ricci et al., 2020).

II.9.4. Produits céréaliers

La fermentation céréalière est l'un des processus biotechnologiques les plus anciens. Les bactéries lactiques utilisées en boulangerie jouent un rôle dans la modification de la texture du pain et de la saveur (Peles et al., 2021).

Les bactéries lactiques produisent des acides lactiques et acétiques, ce qui diminue le pH. Les bactéries lactiques ajoutées à la pâte produisent des substances antimicrobiennes, telles que les acides organiques, le CO₂, le peroxyde d'hydrogène, le diacétyle, les acides gras, l'acide phényllactique et la reutérine (Garnier et al., 2019). L'acide caproïque produit par *Lactobacillus sanfranciscensis* CB1, associé à un mélange d'acides acétique, formique, propionique, butyrique et n-valérique, joue un rôle clé dans l'inhibition de *Fusarium*, *Penicillium*, *Aspergillus* et *Monilia growth* dans le pain (Sadiq et al., 2019). Au cours de la fermentation lactique, plusieurs espèces bactériennes ont montré des capacités dégradatives des aflatoxines. L'effet des bactéries lactiques sur les aflatoxines est probablement dû à une dégradation enzymatique plutôt qu'à une élimination par acidification (Nazareth et al., 2020).

Les bactériocines purifiées peuvent être ajoutées directement à l'alimentation animale qui composé principalement des céréales (des graines de maïs) comme additif anti-pathogène pour protéger le bétail contre les dommages causés par les microorganismes nocifs. Ces peptides antimicrobiens (AMP) utilisés peuvent améliorer la qualité de la vie humaine en

réduisant le problème de l'antibiorésistance due à l'utilisation abusive et non contrôlée des antibiotiques (Vieco-Saiz et al., 2019).

Une évaluation plus poussée des bactéries lactiques pour ses propriétés antifongiques consiste à utiliser des dipeptides cycliques produits par les bactéries lactiques. Le cyclodipeptide cyclique (glycyl-l-leucyl) isolé à partir du filtrat de culture de *Lb. plantarum* est considéré comme un composé qui empêche la production des aflatoxines par l'inhibition de la croissance de la moisissure *F. avenaceum* qui attaque les céréales (Peles et al., 2021).

II.9.5. Produits de la mer

Le rôle des bactéries lactiques dans la conservation des produits de la mer est complexe et dépend des espèces de poissons, des conditions de traitement et de stockage, des espèces et souches bactériennes et de l'interaction entre les bactéries (Maillet et al., 2020 ; Stupar et al., 2021).

Le processus d'acidification dû à la production d'acide lactique comme principal métabolite final de la fermentation des glucides est l'un des effets secondaires les plus souhaitables de leur croissance, inhibant les microorganismes, y compris les agents pathogènes humains les plus courants (Baptista et al., 2020).

Une combinaison de *Lb. casei* et *Lb. Plantarum* augmente l'inhibition de *L. innocua* dans du saumon fumé à froid sous vide. Les bactéries lactiques telles que *Lactobacillus delbrueckii* isolé du fromage ricotta ont montré une inhibition de *Vibrio parahaemolyticus* dans les huîtres (Aymerich et al., 2019 ; Jiang et al., 2019).

II.10. Utilisation des cultures protectrices pour lutter contre les biofilms alimentaires

Parmi les microorganismes nuisibles en industries agroalimentaire *S.aureus* qui occupe une place de premier rang grâce à sa capacité à croître rapidement et à former des biofilms, les procédures de nettoyage et de désinfection est une stratégie couramment utilisée pour contrôler les biofilms de bactéries pathogènes sur les équipements industriels (Nan, 2015). Toutefois, ces procédures ont été reconnues comme facteur d'élimination de la flore d'intérêt technologique. Les bactéries lactiques peuvent intervenir dans l'inhibition du *S. aureus* au sein d'un biofilm, les métabolites une fois adsorbés sur la surface des supports solides forment un film empêchant l'adhésion (Otto, 2019).

La nisine l'auricidine et la reutéline ont été utilisées pour contrôler les biofilms indésirables dans les installations de transformation des produits laitiers (**Tatsapom et Kornkanok, 2020**). Les bactériocines les plus efficaces contre *S. aureus* sont la nisine produite par *Lc. Lactis* et la lactacine β produite par *Lc. acidophilus*. Ces dernières affectent surtout la membrane et la capsule de *S. aureus* en interférant avec sa formation en y créant des pores au niveaux de la membrane (**Kolchyk et al., 2020**).

Todorov et al. (2018) ont montré le rôle des bactéries lactique en combinaison avec la propolis pour inhiber des biofilms formées par *Listeria monocytogenes*.

II.11. Avantages de culture bioprotectrice

- ✓ Le principal avantage des cultures bactériennes comme conservateurs alimentaires est qu'ils sont d'origine naturelle et peuvent être utilisés en toute sécurité avec un impact minimal sur les propriétés sensorielles. Ils sont actifs contre les bactéries pathogènes, levures et moisissures (**Melo et al., 2021**).
- ✓ Augmenter la durée de conservation et assurer la sécurité des produits réfrigérés. (**Duru et al., 2021**). Ils peuvent produire de la bactériocine ou d'autres composés antimicrobiens comme la reutéline pendant le processus de fabrication des aliments et tout au long de la période de distribution et de stockage (**Langa et al., 2018**).
- ✓ Leur utilisation comme cultures bio-protectrices est qu'ils peuvent être ajoutés aux produits alimentaires de diverses manières telles que l'incorporation en cours de fabrication ou par trempage, revêtement de surface ou pulvérisation de produits finis (**Ben-Said et al., 2019**).
- ✓ Éliminer le problème de l'antibiorésistance des antibiotiques et l'émergence des souches résistantes (**Siedler et al., 2019**).
- ✓ Diminuer l'effet toxique due à l'utilisation des agents de désinfection chimique de matériel par l'application de la culture protectrice pure ou leur métabolite (**Carvalho et al., 2021**).
- ✓ L'utilisation des cultures protectrices comme des agents de lutte biologiques contre la pourriture poste récolte des fruits et des légumes (**Tenniawru et al., 2021**).

II.12. Nouvelles approches de la bioconservation

Les études réalisées par Mathur et ces collaborateurs 2017 révèlent l'intérêt de la combinaison des bactériocines avec d'autres facteurs antimicrobiens tels que les huiles essentielles végétales d'origine naturelle, en vue de cibler les agents pathogènes d'origine alimentaire.

D'ailleurs l'utilisation de la nisine A, et ses dérivés transgéniques nisine 'S29A' et nisine 'M21V' indépendamment et en combinaison avec le carvacrol, le trans-cinnamaldéhyde, le thymol, des huiles essentielles ont révélées une forte activité inhibitrice contre les Gram négatif pathogènes d'origine alimentaire *Escherichia coli* O157 : H7 et *Cronobacter sakazakii*, impliquées dans les cas d'entérite et de septécimé (Cuffaro et al., 2021). En effet, le complexe de la nisine A-carvacrol a inactivé complètement *E.coli* O157 : H7 dans le jus de pomme, et ceci lorsque elles sont conservés à température ambiante (Churklam et al., 2020).

La technologie d'encapsulation dans des polymères naturels ou synthétiques a été exploitée comme une alternative pour protéger les agents antimicrobiens, améliorant potentiellement leur efficacité et leur stabilité dans les aliments par l'utilisation efficace de la microencapsulation des bactéries lactiques dans des matrices tel que (l'alginate, la gélatine, le chitosan, la gomme et l'amidon) en industrie (Tantratian et al., 2020).

Une évaluation plus poussée de bactéries lactiques pour ses propriétés antifongiques pourrait conduire à des systèmes de bioconservation utiles (Russo et al., 2017 ; Sadiq et al., 2019). Le cyclodipeptide cyclique (glycyl-l-leucyl) isolé à partir du filtrat de la culture de *Lb. Plantarum* est considéré comme un composé qui retarde la croissance de la bactérie à Gram négative *Pantoea agglomerans* et la moisissure *Fusarium. avenaceum* qui attaque les céréales (Ebrahimi et al., 2020).

Kim et al. (2019) et Krasniewsk et al. (2021) ont mis en revue, l'utilisation des nanofibres et nanoparticules comme un système intelligent de protection et distribution des substances antimicrobiennes, comme exemple, la nisine encapsulée dans des nanofibres électrofilées en poly acide lactique (PLA), a réduit le nombre de cellules bactériennes dans une toxiinfection induite par *S. aureus*, de plus une augmentation du spectre de son activité a été observé grâce au cofilage de nanoparticules d'argent et d'acide 2,3-dihydroxybenzoïque en nanofibres poly acide lactique D, et polyéthylène oxyde (PDLA-PEO).

De plus, la bactériocine subtilosine incorporée dans les nanofibres de poly vinyle alcool (PVA) a inhibé l'activité du virus herpès simplex (HSV-1) (Omerovic et al., 2021).

Conclusion

L'utilisation des bactéries lactiques comme des cultures protectrices dirigées contre la flore indésirable et particulièrement contre des souches pathogènes notamment *Listeria monocytogenes*, pourrait aboutir à leur utilisation comme agents naturels. Le potentiel antimicrobien de nombreuses espèces lactiques pour éviter la détérioration associée aux microorganismes d'altération a été exploité dans une variété de denrées alimentaires et aliments pour animaux. Cette application avec les cultures protectrices bactériocinogènes, doit être développée en combinaison avec des substances antimicrobiennes bioactif qui ont une synergie afin de multiplier les barrières ou les obstacles susceptibles de fragiliser les bactéries cibles. Une meilleure compréhension des interactions de synergie et d'antagonisme entre les cultures protectrices, les barrières antimicrobiennes et les microorganismes cibles est nécessaire afin d'optimiser cette utilisation. Ces interactions montrent que l'utilisation des bactéries lactiques représente une solution alternative, efficace et saine et un choix approprié pour être utilisés comme conservateur naturel.

Références bibliographiques

-A-

Abdulkarim, I. H., Mohammed, S.S.D., and Orukotan, A. A. (2020). Gene Identification for Bacteriocin Production by Lactic Acid Bacteria Isolated from Selected Fermented Foods. *Asian Journal of Biochemistry Genetics and Molecular Biology*, 3(4), 1-12.

Adamberg, K., Kask, S., Laht, T. M., and Paalme, T. (2003). The effect of temperature and pH on the growth of lactic acid bacteria: a pH-auxostat study. *International journal of food microbiology*, 85(2), 171-183.

Agriopoulou, S., Stamatelopoulou, E., Sachadyn-Król, M., and Varzakas, T. (2020). Lactic acid bacteria as antibacterial agents to extend the shelf life of fresh and minimally processed fruits and vegetables Quality and safety aspects. *Microorganisms*, 8(6), 952.

Alvarez-Sieiro, P., Montalbán-López, M., Mu, D., and Kuipers, O. P. (2016). Bacteriocins of lactic acid bacteria extending the family. *Applied microbiology and biotechnology*, 100(7), 2939-2951.

Ammor, S., Tauveron, G., Dufour, E., and Chevallier, I. (2006). Antibacterial activity of lactic acid bacteria against spoilage and pathogenic bacteria isolated from the same meat small-scale facility Screening and characterization of the antibacterial compounds. *Food Control*, 17, 454-461.

Ashaolu, T. J., and Reale, A. (2020). A holistic review on Euro-Asian lactic acid bacteria fermented cereals and vegetables. *Microorganisms*, 8(8), 1176.

Axelsson, L. (2004). Lactic acid bacteria: classification and physiology. *Food Science and Technology New York Marcel Dekker*, 139, 1-66.

Aymerich, T., Rodríguez, M., Garriga, M., and Bover-Cid, S. (2019). Assessment of the bioprotective potential of lactic acid bacteria against *Listeria monocytogenes* on vacuum-packed cold-smoked salmon stored at 8° C. *Food microbiology*, 83, 64-70.

-B-

Baba-Moussa, L., Bokossa, Y. I., Baba-Moussa, F., Ahissou, H., Adeoti, Z., Yehouenou, B., and Sanni, A. (2006). Etude des possibilités de contamination des aliments de rues au Bénin: cas de la ville de Cotonou. *Journal Research Scientific University Lomé*, 8, 149-156.

Badis, A., Laouabdia-Sellami, N., Guetarni, D., Kihal, M., and Ouzrout, R. (2005). Caractérisation phénotypique des bactéries lactiques isolées a partir de lait cru de chèvre de deux populations caprines locales arabia et kabyle. *Sciences and Technology Biotechnology*, 23, 30-37.

Baptista, R. C., Horita, C. N., and Sant-Ana, A. S. (2020). Natural products with preservative properties for enhancing the microbiological safety and extending the shelf-life of seafood. *Food research international*, 127, 108762.

Barbosa, A. A. T., Mantovani, H. C., and Jain, S. (2017). Bacteriocins from lactic acid bacteria and their potential in the preservation of fruit products. *Critical reviews in biotechnology*, 37(7), 852-864.

Bassi, D., Gazzola, S., Sattin, E., Dal-Bello, F., Simionati, B., and Cocconcelli, P. S. (2020). Lactic acid bacteria adjunct cultures exert a mitigation effect against spoilage microbiota in fresh cheese. *Microorganisms*, 8(8), 1199.

Béal, C., Marin, M., Fontaine, E., Fonseca, F., and Obert, J. P. (2008). Production et conservation des ferments lactiques et probiotiques. In : Carrieu, G., and Luquet, F.M. Bactéries lactiques de la génétique aux ferments. Lavoisier, Paris, 1-144.

Ben Said, L., Gaudreau, H., Dallaire, L., Tessier, M., and Fliss, I. (2019). Bioprotective culture: A new generation of food additives for the preservation of food quality and safety. *Industrial biotechnology*, 15(3), 138-147.

Benítez-Cabello, A., Calero-Delgado, B., Rodríguez-Gómez, F., Garrido-Fernández, A., Jiménez-Díaz, R., and Arroyo-López, F. N. (2019). Biodiversity and multifunctional features of lactic acid bacteria isolated from table olive biofilms. *Frontiers in microbiology*, 10, 836.

Benmouna, Z., Dalache, F., Zadi-Karam, H., Karam, N. E., and Vuotto, C. (2020). Ability of Three Lactic Acid Bacteria to Grow in Sessile Mode and to Inhibit Biofilm Formation of Pathogenic Bacteria. *Advances in Microbiology Infectious Diseases and Public Health*, 14, 105-114.

Bhushan, B., Tomar, S.K., and Mandal, S. (2016). Phenotypic and genotypic screening of human-originated *Lactobacilli* for vitamin B12 production potential process validation by micro-assay and UFLC. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 100(15), 6791-6803.

Bintsis, T. (2018). Lactic acid bacteria as starter cultures an update in their metabolism genetics. *Academic microbiology*, 4(4), 665.

Bjorkroth, J., and Holzappel, W., (2006). Genera *Leuconostoc*, *Oenococcus* and *Weissella*. *The Prokaryotes*, 4, 267-319.

Bouridane, H., Sifour, M., Idoui, T., Annick, L., and Thonard, P. (2016). Technological and probiotic traits of the *Lactobacilli* isolated from vaginal tract of the healthy women for probiotic use. *Iranian Journal of Biotechnology*, 14(3), 192.

Buron-Moles, G., Chailyan, A., Dolejs, I., Forster, J., and Mikš, M.H. (2019). Uncovering carbohydrate metabolism through a genotype-phenotype association study of 56 lactic acid bacteria genomes. *Applied microbiology and biotechnology*, 103(7), 3135-3152.

-C-

Cadavez, V. A., Campagnollo, F. B., Silva, R. A., Duffner, C. M., Schaffner, D. W., Sant'Ana, A. S., and Gonzales-Barron, U. (2019). A comparison of dynamic tertiary and competition models for describing the fate of *Listeria monocytogenes* in Minas fresh cheese during refrigerated storage. *Food microbiology*, 79, 48-60.

Calo-Mata, P., Arlindo, S., Boehme, K., de Miguel, T., Pascoal, A., and Barros-Velazquez, J. (2008). Current applications and future trends of lactic acid bacteria and their bacteriocins for the biopreservation of aquatic food products. *Food and Bioprocess Technology*, 1(1), 43-63.

Carvalho, B. F., Sales, G.F.C., Schwan, R. F., and Ávila, C. L. S. (2021). Criteria for lactic acid bacteria screening to enhance silage quality. *Journal of Applied Microbiology*, 130(2), 341-355.

Casaburi, A., Martino, V.D.I., Ferranti, P., Picariello, L., and Villani, F. (2016). Technological properties and bacteriocins production by *Lactobacillus curvatus* 54 M16 and its use as starter culture for fermented sausage manufacture. *Food Control*, 59, 31-45.

Casarotti, S. N., Carneiro, B.M., Todorov, S.D., Nero, L.A., Rahal, P., and Penna, A. L. B. (2017). *In vitro* assessment of safety and probiotic potential characteristics of *Lactobacillus* strains isolated from water buffalo mozzarella cheese. *Annals of Microbiology*, 67(4), 289-301.

Castellano, P., Pérez-Ibarreche, M., Blanco-Massani, M., Fontana, C., and Vignolo, G. M. (2017). Strategies for pathogen biocontrol using lactic acid bacteria and their metabolites a focus on meat ecosystems and industrial environments. *Microorganisms*, 5(3), 38.

Castellano, P., Vignolo, G., Farias, R. N., Arrondo, J.L., and Chehin, R. (2007). Molecular view by fourier transform infrared spectroscopy of the relationship between lactocin 705 and membranes: speculations on antimicrobial mechanism. *Applied and environmental microbiology*, 73, 415.

Chandan, R. C., Gandhi, A., and Shah, N. P. (2017). Chapter1: Yogurt Historical Background Health Benefits and Global Trade. In: Shah, N. P. *Yogurt in Health and Disease prevention*, 3-29: Academic Press.

Cholakov, R., Tumbarski, Y., Yanakieva, V., Dobrev, I., Salim.Y., and Denkova, Z. (2019). Antimicrobial activity of *Leuconostoc lactis* strain BT17, isolated from a spontaneously fermented cereal (Boza). *Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences*, 7(1), 47-49.

Churklam, W., Chaturongakul, S., Ngamwongsatit, B., and Aunpad, R. (2020). The mechanisms of action of carvacrol and its synergism with nisin against *Listeria monocytogenes* on sliced bologna sausage. *Food Control*, 108, 106864.

Comasio, A., Van Kerrebroeck, S., Harth, H., Verté, F., and De-Vuyst, L. (2020). Potential of bacteria from alternative fermented foods as starter cultures for the production of wheat sourdoughs. *Microorganisms*, 8(10), 1534.

Cotter, P. D., Hill, C., and Ross, R. P. (2005). Bacteriocins developing innate immunity for food. *Nature Reviews Microbiology*, 3, 777–788.

Cuffaro, B., Assouhoun, A. L., Boutillier, D., Peucelle, V., Desramaut, J., Boudebbouze, S., and Maguin, E. (2021). Identification of New Potential Biotherapeutics from Human Gut Microbiota-Derived Bacteria. *Microorganisms*, 9(3), 565.

-D-

Dalié, D. K. D., Deschamps, A. M., and Richard-Forget, F. (2010). Lactic acid bacteria Potential for control of mould growth and mycotoxins. *Food Control*, 21, 370-380.

Daliri, F., Aboagye, A. A., and Daliri, E. B. M. (2020). Inactivation of Foodborne Pathogens by Lactic Acid Bacteria. *Journal of Food Hygiene and Safety*, 35(5), 419-429.

De-Vos, P., Garrity, G. M., Jones, D., Krieg, N. R., Ludwig, W., Rainey, F. A., Schleifer, K. H., and Whitman, W. B. (2009). The *Firmicute* Bergey's Manual of Systematic Bacteriology. *Springer New York*, 2, 63-67.

Deegan, L. H., Cotter, P.D., Hill, C., and Ross, P. (2006). Bacteriocins: Biological tools for bio-preservation and shelf-life extension. *International Dairy Journal*, 16, 1058-1071.

Dellali, A., Karam, H.Z., and Karam, N.E. (2020). Lipase and esterase activities of lactic acid bacteria isolated from different biotopes. *African Journal of Biotechnology*, 19(4), 156-164.

Dertli, E., Mercan, E., Arici, M., Yilmaz, M. T., and Sagdic, O. (2016). Characterisation of lactic acid bacteria from Turkish sourdough and determination of their exopolysaccharide (EPS) production characteristics. *Learning WithTechnology-Food Science*, 71,116-124.

Devliegher, F., Geeraerd, A.,Versyck, K., Bernaert, H., Van-Impe, J., and Debevere, J. (2000). Shelf life of modified atmosphere packed cooked meat products: addition of Na-lactate as a fourth shelf life determinative factor in model and product validation. *International Journal of Food Microbiology*, 58(2), 93-106.

Dong, Y., and Karboune, S. (2021). A review of bread qualities and current strategies for bread bioprotection: Flavor, sensory, rheological, and textural attributes. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 20(2), 1937-1981.

Dong, Y., Shu, G., Dai, C., Zhang, M., and Wan, H. (2019). Screening and identification of biosurfactant producing lactic acid bacteria. *Food Technology*, 23(2), 85-92.

Donkor, O. N., Henriksson, A., Vasiljevic, T., and Shaha, N. P. (2007). Proteolytic activity of dairy lactic acid bacteria and probiotics as determinant of growth and in vitro angiotensin converting enzyme inhibitory activity in fermented milk. *Institut National Research Agronomy*, 86, 21-38.

Dortu, C., and Thonart, P. (2009). Les bactériocines des bactéries lactiques : caractéristiques et intérêts pour la bioconservation des produits alimentaires. *Biotechnologie Agronomie Société Environnement*, 13 , 143-154.

Duar, R. M., Lin, X. B., Zheng, J., Martino, M. E., Grenier, T., Pérez-Muñoz, M. E., Leulier, F., Ganzle, M., and Walter, J. (2017). Life styles in transition: evolution and natural history of the genus *Lactobacillus*. *Federation European Microbiological Societies*, 41(1), 27-48.

Dubois-Brissonnet, F., and Guillier, L. (2020). Les maladies microbiennes d'origine alimentaire. *Cahiers de Nutrition et de Diététique*, 55(1), 30-38.

Duret, S., Hoang, H. M., Guillier, L., Derens-Bertheau, E., Dargaignaratz, C., Oriol, S., and Nguyen-the, C. (2021). Interactions between refrigeration temperatures, energy consumption in a food plant and microbiological quality of the food product Application to refrigerated stuffed pasta. *Food Control*, 126, 108076.

Duru, I. C., Ylinen, A., Belanov, S., Pulido, A. A., Paulin, L., and Auvinen, P. (2021). Transcriptomic time-series analysis of cold and heat-shock response in psychrotrophic lactic acid bacteria. *Bio Med Central genomics*, 22(1), 1-16.

-E-

Ebrahimi, M., Sadeghi, A., and Mortazavi, S. A. (2020). The use of cyclic dipeptide producing LAB with potent anti-aflatoxigenic capability to improve techno-functional properties of clean-label bread. *Annals of Microbiology*, 70(1), 1-12.

El-Issaoui, K., Senhaji, N. S., Zinebi, S., Zahli, R., Haoujar, I., Amajoud, N., Abrini, Jand Khay, E. O. (2020). Potential Application of Bacteriocin Produced from Lactic Acid Bacteria. *Microbiology and Biotechnology Letters*, 48(3), 237-251.

Elyas, Y. Y., Yousif, N. M., and Ahmed, I. A. M. (2021). Screening of lactic acid bacteria from Sudanese fermented foods for bacteriocin production. *Journal of Microbiology Biotechnology and Food Sciences*, 2021, 373-378.

Esbelin, J., Santos, T., and Hébraud, M. (2018). Desiccation: an environmental and food industry stress that bacteria commonly face. *Food microbiology*, 69, 82-88.

-F-

Fan, Y., Huang, X., Chen, J., and Han, B. (2020). Formation of a mixed-species biofilm is a survival strategy for unculturable lactic acid bacteria and *Saccharomyces cerevisiae* in Daqu, a Chinese traditional fermentation starter. *Frontiers in microbiology*, 11, 138.

Feng, T., and Wang, J. (2020). Oxidative stress tolerance and antioxidant capacity of lactic acid bacteria as probiotic a systematic review. *Gut Microbes*, 12(1), 1801944.

Field, D., Ross, R.P., and Hill, C.(2018). Developing bacteriocins of lactic acid bacteria into next generation biopreservatives. *Current Opinion in Food Science*, 20, 1-6.

Filannino, P., Di Cagno, R., and Gobbetti, M. (2018). Metabolic and functional paths of lactic acid bacteria in plant foods: get out of the labyrinth. *Current opinion in biotechnology*, 49, 64-72.

Franz, C. M. A. P., Cho, G. S., Holzapfel, W. H., and Gálvez, A. (2010). Safety of lactic acid bacteria. *Biotechnology of lactic acid bacteria: Novel applications*, 2, 341-359.

Fusco , V., Quero, G.M., Cho, G.S., Kabisch, J., Meske , D., Neve, H., Bockelmann, W., and Franz, C. M. A. P. (2015). The genus *Weissella*: taxonomy ecology and biotechnological potential. *Frontiers in Microbiology*, (6), 155.

-G-

Gaenzle, M. G. (2015). Lactic metabolism revisited: metabolism of lactic acid bacteria in food fermentations and food spoilage. *Current Opinion in Food Science*, 2, 106-117.

Gálvez, A., Abriouel, H., López, R. L., and Omar, N. B. (2007). Bacteriocin-based strategies for food biopreservation. *International journal of food microbiology*, 120, 51-70.

García-Curiel, L., Delrocío-Lópezcuellar, M., Rodríguez-Hernández, A. I., and Chavarría-Hernández, N. (2021). Toward understanding the signals of bacteriocin production by *Streptococcus spp.* and their importance in current applications. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 37(1), 1-14.

García-Solache, M., and Rice, L. B. (2019). The *Enterococcus*: a model of adaptability to its environment. *Clinical microbiology reviews*, 32(2), 18-58.

Garnier,L., Mounier,J ., Lê.S. ., Pawtowski,A ., pinon,N ., Camier,B ., and Valence,F.(2019). For dairy products Development of antifungal ingredients from in vitro screening to pilot scale application.*Food Microbiology*,81, 97-107.

Ghafir, Y., and Daube, G. (2007). Le point sur les méthodes de surveillance de la contamination microbienne des denrées alimentaires d'origine animale. *In Annales Médecine Vétérinaire*. 151, 79-100.

Ghasemi, A., Moosavi-Nasab, M., Setoodeh, P., Mesbahi, G., and Yousefi, G. (2019). Biosurfactant production by lactic acid bacterium *Pediococcus dextrinicus* SHU1593 grown on different carbon sources: strain screening followed by product characterization. *Scientific Reports*, 9(1), 1-12.

Gillor, O., Etzion, A., and Riley, M.A. (2008). The dual role of bacteriocins as anti and probiotics. *Applied microbiology and biotechnology*, 81, 591–606.

Gómez C., Ramiro, J. M., Quecan, B. X., and 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.

Gong, H. S., Meng, X. C., Wang, H. (2010). Plantaricin MG active against Gram-negative bacteria produced by *Lactobacillus plantarum* KLDSI.0391 isolated from Jiaokea traditional fermented cream from China. *Food Control*, 21, 89-96.

Gontijo, M. T. P., Desousa Silva, J., Vidigal, P. M. P., and Martin, J. G. P. (2020). Phylogenetic distribution of the bacteriocin repertoire of lactic acid bacteria species associated with artisanal cheese. *Food Research International*, 128, 108-783.

Gram, L., Ravn, L., Rasch, M., Bruhn, J. B., Christensen, A. B., and Givskov, M. (2002). Food spoilage interactions between food spoilage bacteria. *International journal of food microbiology*, 78, 79–97.

-H-

Hamed, H. A., Moustafa, Y.A., and Abdel-Aziz, S. M. (2011). *In vivo* efficacy of lactic acid bacteria in biological control against *Fusarium oxysporum* for protection of tomato plant. *Life Science Journal*, 8(4), 462-468.

Hati, S., Patel, M., Mishra, B K., and Das, S. (2019). Short-chain fatty acid and vitamin production potentials of *Lactobacillus* isolated from fermented foods of Khasi Tribes, Meghalaya. *Annals of microbiology*, 69(11), 1191-1199.

Heng, N. C., and Tagg, J. R. (2006). What's in a name? Class distinction for bacteriocins. *Nature Reviews Microbiology*, 4(2), 160-160.

Holzappel, W.H., Goktepe, I., Juneja, V., and Ahmedna, M. (2006). Introduction to probiotics and probiotics. *Federation European Microbiological Societies*. 29(4) ,813-835.

Houansou, G., Guidi, C., Chegnimonhan, V., and Tchiboza, M.A.D. (2019). Typologie et perception des populations sur la qualité organoleptique des casse-croûtes produits à base de céréales dans sept Départements du Bénin. *Revue Internationale des Sciences Appliquées*, 2(2), 01-13.

-I-

Ishibashi, N., Matsumoto, N., Perez, R.H., Iwatani, S., Sugino, H., Zendo, T., Wilopaun, P., Leelawatcharamas, V., Nakayama, J., and Sonomoto, K. (2021). Molecular characterization of the possible regulation of multiple bacteriocin production through a three-component regulatory system in *Enterococcus faecium* NKR-5-3. *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 131(2), 131-138.

-J-

Jang, J., Kim, B., Lee, J., Jeong, G., and Han, H. (2002). Identification of *Weissella* species by the genus-specific amplified ribosomal DNA restriction analysis. *Federation European Microbiological Societies*, 212(1), 29-34.

Jiang, Y., Chu, Y., Xie, G., Li, F., Wang, L., Huang, J., and Yao, L. (2019). Antimicrobial resistance, virulence and genetic relationship of *Vibrio parahaemolyticus* in seafood from coasts of Bohai Sea and Yellow Sea, China. *International journal of food microbiology*, 290, 116-124.

Juturu, V., and Wu, J. C. (2018). Microbial production of bacteriocins: Latest research development and applications. *Biotechnological Adveance*, 36, 2187–2200.

-K-

Kalam, A. (2019). Thermal stability and pH tolerance of an antimicrobial producing bacteria isolated from spoiled food. *Life science Informatics Publications*, 5(2), 711-719.

Kanmani, P., Satish Kumar, R., Yuvaraj, N., Paari, K. A., Pattukumar, V., and Arul, V. (2013). Probiotics and its functionally valuable products. *Critical reviews in food science and nutrition*, 53(6), 641-658.

Kaprasob, R., Kerdchoechuen, O., Laohakunjit, N., and Somboonpanyakul, P. (2018). B vitamins and probiotic fructo oligosaccharides of cashew apple fermented with probiotic strains *Lactobacillus* ssp., *Leuconostoc mesenteroides* and *Bifidibacterium longum*. *Precess Biochemistry*, 70, 9-19.

Kapustian, A.I., Chernov, N., Kovalenko, A., Naumenko, K., and Kushnir, I. (2018). Products of metabolism and processing of lactic acid bacteria as functional ingredients. *Food Science and Applied Biotechnology*, 1(1), 47-55.

Karthikeyan, V. and Santhosh, S.W. (2009). Study of bacteriocin as a food preservative and the *L. acidophilus* strain as probiotic. *Pakistan Journal of Nutrition*, 8(4), 335-340.

Kassas, Z. (2017). Croissance de souches de bactéries lactiques d'intérêts technologiques et/ou probiotiques sur MRS végétal modifié. Thèse de Doctorat En Microbiologie. Université-Badji Mokhtar, Annaba.

Kim, I., Viswanathan, K., Kasi, G., Sadeghi, K., Thanakkasaranee, S., and Seo, J. (2019). Poly (lactic acid)/ZnO bionanocomposite films with positively charged ZnO as potential antimicrobial food packaging materials. *Polymers*, 11(9), 1427.

Kolchyk, O. V., Buzun, A. I., Paliy, A. P., Nalivayko, L. I., Chekan, O. M., Grebenik, N. P., and Todorov, N. I. (2020). Biofilms of pathogenic bacteria in pig industry. *Ukrainian Journal of Ecology*, 10(4).

Kraśniewska, K., Galus, S., and Gniewosz, M. (2020). Biopolymers-based materials containing silver nanoparticles as active packaging for food applications. *International journal of molecular sciences*, 21(3), 698.

Kubota, H., Senda, S., Nomura, N., Tokuda, H., and Uchiyama, H. (2008). Biofilm formation by lactic acid bacteria and resistance to environmental stress. *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 106(4), 381-386.

Kumariya, R., Garsa, A. K., Rajput, Y. S., Sood, S. K., Akhtar, N., and Patel, S. (2019). Bacteriocins: Classification, synthesis, mechanism of action and resistance development in food spoilage causing bacteria. *Microbial pathogenesis*, 128, 171-177.

-L-

Ladha, G., and Jeevaratnam, K. (2020). Characterization of purified antimicrobial peptide produced by *Pediococcus pentosaceus* LJR1, and its application in preservation of white leg shrimp. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 36(5), 1-12.

Langa, S., Martín-Cabrejas, I., Montiel, R., Peirotén, Á., Arqués, J. L., and Medina, M. (2018). Protective effect of reuterin-producing *Lactobacillus reuteri* against *Listeria monocytogenes* and *Escherichia coli* O157: H7 in semi-hard cheese. *Food Control*, 84, 284-289.

Laszkiewicz, B., Szymański, P., and Kolożyn-Krajewska, D. (2021). The effect of selected lactic acid bacterial strains on the technological and microbiological quality of mechanically separated poultry meat cured with a reduced amount of sodium nitrite. *Poultry Science*, 100(1), 263-272.

Lenovich, L. M. (2017). Survival and death of microorganisms as influenced by water activity. In *Water activity Theory and applications to food* .119-136.

Leroy, C., and De-Vuyst, L. (2004). Lactic acid bacteria as functional starter cultures for the food fermentation industry. *Trends in Food Science Technology*, 15(2), 67-78.

Letrot, C., and Juillard, V. (2001). Development of minimal chemically-defined medium for the exponential growth of *Streptococcus thermophilus*. *Journal of Applied Microbiology*, 91(6), 123-129.

Li, P., Gu, Q., Yang, L., Yu, Y., and Wang, Y. (2017). Characterization of extracellular vitamin B12 producing *Lactobacillus plantarum* strains and assessment of the probiotic potentials. *Food Chemistry*, 234, 494-501.

Liu, T., Li, Y., Yang, Y., Yi, H., Zhang, L., and He, G. (2020). The influence of different lactic acid bacteria on sourdough flavor and a deep insight into sourdough fermentation through RNA sequencing. *Food Chemistry*, 307, 125-529.

Lund, P. A., De-Biase, D., Liran, O., Scheler, O., Mira, N. P., Cetecioglu, Z., and O'Byrne, C. (2020). Understanding How Microorganisms Respond to Acid pH Is Central to Their Control and Successful Exploitation. *Frontiers in Microbiology*, 11, 2233.

-M-

Maillet, A., Denojean, P., Bouju-Albert, A., Scaon, E., Leuillet, S., Dousset, X., and Prévost, H. (2021). Characterization of bacterial communities of cold-smoked salmon during storage. *Foods*, 10(2), 362.

Mao, B., and Yan, S. (2019). Lactic acid bacteria and fermented fruits and vegetables. In Wei, Chen. In *Lactic acid bacteria*, 181-209. Springer, Singapore.

Martín, I., Rodríguez, A., Sánchez-Montero, L., Padilla, P., and Cordoba, J. J. (2021). Effect of the Dry-Cured Fermented Sausage “Salchichón” Processing with a Selected *Lactobacillus sakei* in *Listeria monocytogenes* and Microbial Population. *Foods*, 10(4), 856.

Matei, A., Matei, S., Matei G.M., and Cornea, C.P. (2019). Biosurfactants production ability of lactic acid bacteria strains, emulsification activity and cell adhesion to hydrocarbons. *Revista de Chimie*, 70(12), 4493-4498.

Matevosyan, L., Bazukyan, I., and Trchounian, A. (2019). Comparative analysis of the effect of ca and mg ions on antibacterial activity of lactic acid bacteria isolates and their associations depending on cultivation conditions. *Applied Microbiology and Biotechnology Express*, 9(32), 1-11.

Mathur, H., Field, D., Rea, M. C., Cotter, P. D., Hill, C., and Ross, R. P. (2017). Bacteriocin antimicrobial synergy a medical and food perspective. *Frontiers in Microbiology*, 8, 1205.

Meidong, R., Doolgindachbaporn, S., Sakai, K., and Tongpim, S. (2017). Isolation and selection of lactic acid bacteria from Thai indigenous fermented foods for use as probiotics in tilapia fish *Oreochromis niloticus*. *Aquaculture Aquarium Conservation and Legislation*, 10(2), 455-463.

Melo, J. J. M., Álvarez, A., Ramirez, C., and Bolivar, G. (2021). Antagonistic Activity of lactic acid bacteria against phytopathogenic fungi isolated from Cherry Tomato (*Solanum lycopersicum var. cerasiforme*). *Current Microbiology*, 78(4), 1399-1408.

Miyatake, F., and Iwabuchi, K. (2005). Effect of high compost temperature on enzymatic activity and species diversity of culturable bacteria in cattle manure compost. *Bioresource Technology*, 96(16), 1821-1825.

Modesto, M., Michelini, S., Stefanini, I., Sandri, C., Spiezio, C., Pisi, A., Filippini, G., Biavati, B., and Mattarelli, P. (2015). *Bifidobacterium lemorum* sp. nov from faeces of the ring-tailed lemur (*Lemur catta*). *International journal of systematic and evolutionary microbiology*, 65(6), 1726-1734.

Mofredj, A., Bahloul, H., and Chanut, C. (2007). *Lactococcus lactis* : un pathogène opportuniste, *Médecine et Maladies Infectieuses*, 37(4), 200-207.

Mokoena, M. P. (2017). Lactic acid bacteria and their bacteriocins: classification, biosynthesis and applications against uropathogens: a mini-review. *Molecules*, 22(8), 1255.

Mozzi, F and Vignolo, G. M. (2010). Biotechnology of lactic acid bacteria: novel applications. *Blackwell publishing*, 54 :35-57.

-N-

Najman, K., and Sadowska, A. (2021). Effect of Red Cabbage Sprouts Treating with Organic Acids on the Content of Polyphenols, Antioxidant Properties and Color Parameters. *Applied Sciences*, 11(11), 4890.

Nan, L., Yang, K., and Ren, G. (2015). Formation antibiofilm d'un nouvel acier inoxydable contre *Staphylococcus aureus*. *Science et Génie des matériaux*, 51, 356-361.

Nazareth, T. D. M., Luz, C., Torrijos, R., Quiles, J. M., Luciano, F. B., Mañes, J., and Meca, G. (2020). Potential application of lactic acid bacteria to reduce aflatoxin B1 and fumonisin B1 occurrence on corn kernels and corn ears. *Toxins*, 12(1), 21.

Nediani, M. T., García, L., Saavedra, L., Martínez, S., Lopez-Alzogaray, S., and Fadda, S. (2017). Adding value to goat meat: biochemical and technological characterization of autochthonous lactic acid bacteria to achieve high-quality fermented sausages. *Microorganisms*, 5(2), 26.

Nikita, C., and Hemangi, D., (2012). Isolation identification and characterization of lactic acid bacteria from dairy sludge sample. *Journal of Environmental Research and Development*, 7(1), 234-244.

-O-

Odamaki, T., Yonezawa, S., Kitahara, M., Sugahara, Y., Xiao, J.Z., Yaeshima, T., Iwatsuki, K., and Ohkuma, M. (2001). Novel multiplex polymerase chain reaction primer set for identification of *Lactococcus* species. *Letters in Applied Microbiology*, 52(5), 491-496.

Okechukwu, E., Dike-Ndudim, J. N., Ndubueze, C. W., and Iwuji-Aguzie, C. C. (2021). Antibacterial activity of *Lactobacillus* species isolated from raw goat milk against *Staphylococcus aureus*. *World Journal of Biology Pharmacy and Health Sciences*, 6(2), 65-72.

Omerović, N., Djisalov, M., Zivojević, K., Mladenović, M., Vunduk, J., Milenković, I., and Vidić, J. (2021). Antimicrobial nanoparticles and biodegradable polymer composites for active food packaging applications. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 20(3), 2428-2454.

Otto M.(2019). Biofilms *Staphylococciques* pathogènes à Gram positif, 3, 699-711.

Ouiddir, M., Bettache, G., Salas, M. L., Pawtowski, A., Donot, C., Brahimi, S., and Mounier, J.(2019). Selection of Algerian lactic acid bacteria for use as antifungal bioprotective cultures and application in dairy and bakery products. *Food Microbiology*, 82, 160-170.

Panebianco, F., Giarratana, F., Caridi, A., Sidari, R., De Bruno, A., and Giuffrida, A. (2021). Lactic acid bacteria isolated from traditional Italian dairy products Activity against *Listeria monocytogenes* and modeling of microbial competition in soft cheese. *Learning With Technologies*, 137, 110446.

-P-

Park, S. N., Lim, Y., K., Shin, J. H., Chang, Y. H., Shin, Y., Paek, J., Kim. H., and Kook, J.K. (2019). *Streptococcus gwangjuense* sp. nov., Isolated from Human Pericoronitis. *Current Microbiology*, 76(7), 799-803.

Parmanand, B. A., Kellingray, L., Le Gall, G., Basit, A. W., Fairweather-Tait, S., and Narbad, A. (2019). A decrease in iron availability to human gut microbiome reduces the growth of potentially phagogenetic gut bacteria an *in vitro* colonic fermentation study. *The Journal of Nutritional Biochemistry*, 67, 20-27.

Pascual, L. M., Daniele, M. B., Pàjaro, M. C., and Barberis, I. L. (2006). *Lactobacillus* species isolated from the vagina: identification, hydrogen peroxide production and nonoxynol-9 resistance. *Contraception*, 73(1), 78-81.

Patal, S., and Gupta, R.S., (2018). Robust demarcation of fourteen different species groups within the genus *Streptococcus* based on genome-based phylogenies and molecular signatures. *Infection Genetics and Evolution*, 66, 130-151.

Peles, F., Sipos, P., Kovács, S., Gyori, Z., Pócsi, I., and Pusztahelyi, T. (2021). Biological Control and Mitigation of Aflatoxin Contamination in Commodities. *Toxins*, 13(2), 104.

Perrier-Cornet, J. M., and Simonin, H. (2020). Présentation du projet BLacHP (2015-2019). *Viandes & Produits Carnés*, 1.

Plavec, T. V., and Berlec, A., (2020). Safety aspects of genetically modified lactic acid bacteria. *Microorganisms*, 8(2), 297.

-R-

Rama, G. R., Kuhn, D., Beux, S., Maciel, M. J., and De-Souza, C. F. V. (2019). Potential applications of dairy whey for the production of lactic acid bacteria cultures. *International Dairy Journal*, 98, 25-37.

Rama, G. R., Kuhn, D., Beux, S., Maciel, M. J., and De-Souza, C. F. V. (2020). Cheese whey and ricotta whey for the growth and encapsulation of endogenous lactic acid bacteria. *Food and Bioprocess Technology*, 13(2), 308-322.

Reda, F. M., Hussein, B. M., and Enan, G. (2018). Selection and characterization of two probiotic lactic acid bacteria strains to be used as starter and protective cultures for food fermentations. *Journal Pure Application Microbiological*, 12, 1499-1513.

Reis, J. A., Paula, A. T., Casarotti, S.N., and Penna, A. L. B. (2012). Lactic Acid Bacteria Antimicrobial Compounds: Characteristics and Applications. *Food Engineering Reviews*, 4, 124-140.

Ricci, A., Marrella, M., HadjSaadoun, J., Bernini, V., Godani, F., Dameno, F., and Lazzi, C. (2020). Development of Lactic Acid-Fermented Tomato Products. *Microorganisms*, 8(8), 1192.

Ringø, E., Doan, H. V., Lee, S., and Song, S. K. (2020). Lactic acid bacteria in shellfish: possibilities and challenges. *Reviews in Fisheries Science and Aquaculture*, 28(2), 139-169.

Rodrigues, N. P. A., Garcia, E. F., and De-Souza, E. L. (2021). Selection of lactic acid bacteria with promising probiotic aptitudes from fruit and ability to survive in different food matrices. *Brazilian Journal of Microbiology*, 55(1), 1-13.

Russo, P., Arena, M. P., Fiocco, D., Capozzi, V., Drider, D., and Spano, G. (2017). *Lactobacillus plantarum* with broad antifungal activity: A promising approach to increase safety and shelf-life of cereal-based products. *International journal of food microbiology*, 247, 48-54.

-S-

Sadiq, F. A., Yan, B., Tian, F., Zhao, J., Zhang, H., and Chen, W. (2019). Lactic acid bacteria as antifungal and anti-mycotoxigenic agents. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 18(5), 1403-1436.

Saidi, Y., Del Rio, B., Senouci, D. E., Redruello, B., Martinez, B., Ladero, V., Kihal, M and Alvarez, M. A. (2020). Polyphasic characterisation of non-starter lactic acid bacteria from Algerian raw Camel's milk and their technological aptitudes. *Food Technology and Biotechnology*, 58(3), 260.

Salminen, S., and Von Wright, A. (2004). *Lactic acid bacteria. Microbiological and Functional Aspects*, 139, 7.

Salvucci, E., Le-Blanc, J.G ., and pérez, G. (2016). Technological properties of lactic acid bacteria isolated from raw cereal material. *Learning With Technology Food Science and Technology*, 70, 185-191.

Sanni, A., Franz, C., Schillinger, U., Huch, M., Guigas, C., and Holzapfel, W. (2013). Characterization and technological properties of lactic acid bacteria in the production of "Sorghurt", acereal-based product. *Food Biotechnology*, 27, 178-198.

Saulnier, L., and Micard, V. (2012). Impact de la structure de l'aliment sur les propriétés nutritionnelles et l'acceptabilité du pain et des pâtes. *Innovations Agronomiques*, 19, 63-74.

Serhan, M., Cailliez-Grimal, C., Borges, F., Revol-Junelles A.M, Hosri, C., and Fanni, J. (2009). Bacterial diversity of Darfiyeh, a Lebanese artisan al raw goat's milk cheese. *Food Microbiology*, 26, 645-652.

Sharma, G., Sharma, S., Sharma, P., Charma, D., Chandola, D., Dang, S. and Gabrani, R. (2016). *Escherichia coli* biofilm: Development and therapeutic strategies. *Application Microbiology*, 121, 309-319.

Sharma, S., Garg, A. P., and Singh, G. (2010). Optimization of fermentation conditions for bacteriocin production by *Lactococcus lactis* CCSULAC1 on modified MRS medium. *International Journal of Dairy Science*, 5, 1-9.

Siedler, S., Balti, R., and Neves, A. R. (2019). Bioprotective mechanisms of lactic acid bacteria against fungal spoilage of food. *Current Opinion in Biotechnology*, 56, 138-146.

Siegumfeldt, H., Rechanger, K. B. and Jakobsen, M. (2000). Dynamic changes of intracellular pH in individual lactic acid bacterium cells in response to a rapid drop in extracellular pH. *Application Environnement Microbiology*, 66, 2330-2335.

Silva, J. G., Castro, R. D., Sant'Anna, F. M., Barquete, R. M., Oliveira, L. G., Acurcio, L. B., Luiz, L. M. P., Sales, J. A., Nicoli, J. R. and Souza, M. R. (2019). *In vitro* assessment of probiotic potential of *lactobacilli* isolated from Minas artisanal cheese produced in the Araxá region, Minas Gerais state, Brazil. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária Zootecnia*, 71(2), 647-657.

Silva, L., Netto, J., and Cardarelli, H. (2019). Exopolysaccharides produced by *Lactobacillus plantarum*: technological and potential application in the food industry. *Annals of Microbiology*, 69(4), 321-328.

Smid, E. J., and Lacroix, C. (2013). Microbe–microbe interactions in mixed culture food fermentations. *Current Opinion in Biotechnology*, 24(2), 148-154.

Solval, K. M., Chouljenko, A., Chotiko, A., and Sathivel, S. (2019). Growth kinetics and lactic acid production of *Lactobacillus plantarum* NRRL B-4496, *L. acidophilus* NRRL B-4495, and *L. reuteri* B-14171 in media containing egg white hydrolysates. *Learning With Technology Food Science and Technology*, 105, 393-399.

Sowmya, N., Nandini, K., Earanna, N., Sajeevan, R., and Nataraja, K. N. (2016). Molecular identification and genetic diversity of *Lactobacillus* species isolated from different edible sources. *Journal of Pure and Applied Microbiology*, 10(4), 3155-3162.

Stupar, J., Holøymoen, I. G., Hoel, S., Lerfall, J., Rustad, T., and Jakobsen, A. N. (2021). Diversity and Antimicrobial Activity towards *Listeria spp.* and *Escherichia coli* among lactic acid bacteria isolated from Ready-to-Eat Seafood. *Foods*, 10(2), 271.

Syamaladevi, R. M., Tang, J., Villa-Rojas, R., Sablani, S., Carter, B., and Campbell, G. (2016). Influence of water activity on thermal resistance of microorganisms in low-moisture foods. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 15(2), 353-370.

Szutowska, J. (2020). Functional properties of lactic acid bacteria in fermented fruit and vegetable juices a systematic literature review. *European Food Research and Technology*, 246(3), 357-372.

-T-

Tabasco, R., de Palencia, P.F., Fontecha, J., Pelbez, C., and Requena, T. (2014). Competition mechanisms of lactic acid bacteria and *bifidobacteria*: fermentative metabolism and colonization. *Learning With Technology Food Science and Technology*, 55(2), 680-684.

Tantratian, S., and Pradeamchai, M. (2020). Select a protective agent for encapsulation of *Lactobacillus plantarum*. *Learning With Technology*, 123, 109075.

Tatsaporn, T., and Kornkanok, K. (2020). Using potential lactic acid bacteria biofilms and their compounds to control biofilms of foodborne pathogens. *Biotechnology Reports*, 26, 477.

Tenriawaru, E. P., Ardyati, T., and Zubaidah, E. (2021). Diversity and the potency of indigenous bacteria in dengen fruit (*Dilleniasserrata*), passion fruit (*Passifloraedulis*), and pineapple fruit (*Ananas sp.*) of South Sulawesi Indonesia. *Earth and Environmental Science*, 743, 012071.

Teusink, B., and Molenaar, D., (2017). Systems biology of lactic acid bacteria: For food and thought. *Current Opinion in Systems Biology*, 6, 7-13.

Todorov, S. D., de Paula, O. A., Camargo, A. C., Lopes, D. A., and Nero, L. A. (2018). Combined effect of bacteriocin produced by *Lactobacillus plantarum* ST8SH and vancomycin, propolis or EDTA for controlling biofilm development by *Listeria monocytogenes*. *Revista Argentina de Microbiologia*, 50(1), 48-55.

Todorov, S. D., Prevost, H., Lebois, M., Dousset, X., Le-Blanc, J. G., et Franco, B. D. G. M. (2011). Bacteriocinogenic *Lactobacillus plantarum* ST16Pa isolated from papaya (*Carica papaya*) from isolation to application: Characterization of a bacteriocin. *Food Research International*, 44, 1351–1363.

Todorov, S. D., and Dicks, L. M. T. (2004). Influence of growth conditions on the production of bacteriocin by *Lactococcus lactis subsp. lactis* ST34BR, a strain isolated from barley beer. *Journal of Basic Microbiology*, 44, 305-316.

Tumbariski, Y., Lante, A., and Krastanov, A. (2018). Immobilization of bacteriocins from lactic acid bacteria and possibilities for application in food biopreservation. *Open Biotechnological Journal*, 12, 25-32.

-V-

Valik, L., Acai, P., and Medvedova, A. (2018). Application of competitive models in predicting the simultaneous growth of *Staphylococcus aureus* and lactic acid bacteria in milk. *Food Control*, 87, 145-152.

Verluyten, J., Messens, W., and De-Vuyst, L. (2003). The curing agent sodium nitrite, use in the production of fermented sausages, is less inhibiting to the bacteriocin producing meat starter culture *Lactobacillus curvatus* LTH 1174 under anaerobic conditions. *Applied Environmental Microbiology*, 69(7), 3833-3839.

Vieco-Saiz, N., Belguesmia, Y., Raspoet, R., Auclair, E., Gancel, F., Kempf, I., and Drider, D. (2019). Benefits and inputs from lactic acid bacteria and their bacteriocins as alternatives to antibiotic growth promoters during food-animal production. *Frontiers in Microbiology*, 10, 57.

-W-

Wen, R., Sun, F., Li, X. A., Chen, Q., and Kong, B. (2021). The potential correlations between the fungal communities and volatile compounds of traditional dry sausages from north east China. *Food Microbiology*, 98, 103787.

-Y-

Yang, X., Zhou, X., Zhang, M., Zhang, Z., Song, L., Wang, G., and Zhang, J. (2020). Metabolism analysis for enhanced nutritional profile of chestnuts subjected to anerobic solid-state fermentation by probiotic lactic acid bacteria. *Journal of Food Processing and Preservation*, 44(3), 14360.

Yehia, H. M., Ghanem, S., Elobeid, T., Mosilhey, S. H., and Savvaidis, I. N. (2017). In vitro characterization of a vancomycin resistant strain of *Leuconostoc lactis* isolated from chicken carcasses and its activity against some foodborne pathogens. *African Journal of Food Science*. 11(10), 337-345.

Yu, J., Song, Y., Ren, Y., Qing, Y., Liu, W., and Sun, Z. (2017). Genome-level comparisons provide insight into the phylogeny and metabolic diversity of species within the genus *Lactococcus*. *BMC Microbiology*, 17(1), 1-1.

-Z-

Zagorec, M., Champomier-Verges, M. C., Renault, P., Valence-Bertel, F., Le-Loir, Y., and Montel, M. C. (2012). Ecosystèmes microbiens et préservation des aliments. *Innovations Agronomiques*, 24, 57-77.

Zala, Z.A Barath and Halasz, A. (2005). Influence of growth medium on hydrogen peroxide and bacteriocin production of *Lactobacillus* strains. *Food Technology Biotechnology*, 43, 219-225.

Zarour, K., Benmechernene, Z., Hadadji, M., Moussa-Bougjema, B., Henni, J. E., and Kihal, M. (2013). Caractérisation microbiologique et technologique des espèces de *Leuconostoc mesenteroides* isolées du lait cru de chèvre et de chamelle d'Algérie. *Nature and Technology*, (8), 39.

Zhang, Y. J., Li, S., Gan, R. Y., Zhou, T., Xu, D. P., and Li, H. B. (2015). Impacts of gut bacteria on human health and diseases. *International Journal of Molecular Sciences*, 16(4), 7493-7519.

Zheng, G., Ruan, L., Sun, M., and Ganzle, M. (2015). A genomique view of *Lactobacilli* and *Pediococci* demonstrates that phylogeny matches ecology and physiology. *Application Environement Microbial*, 81, 7233-7243.

<p><u>Membres du jury</u></p> <p>Présidente : Dr. S Akroum</p> <p>Examinatrice : Mme. N Benhamada</p> <p>Encadreur : Dr. A Boucheфра</p>	<p>Le rôle des substances antimicrobien des bactéries lactiques dans la bioconservation des aliments</p>	<p><u>Présenté par</u></p> <p>Mlle. S Boulkhiout</p> <p>Mlle. A Merizek</p> <p>Mlle. A Mender</p>
--	--	---

Résumé

Dans un contexte de demande pour plus de « naturalité », L'utilisation des bactéries lactiques comme des cultures protectrices dirigées contre la flore indésirable, pourrait aboutir à leur utilisation comme agents de bioconservation des produits alimentaires. Dans ce travail nous avons donné des connaissances actuelles sur les bactéries lactiques et leurs aptitudes technologiques, ainsi que les différents mécanismes antimicrobiens et leur mode d'action notamment les bactériocines, En effet, ces cultures protectrices ont été exploitées dans différentes filières des produits alimentaires pour prolonger la durée de conservation, et une meilleur sécurité des aliments.

Mots clé : les bactéries lactiques, les cultures protectrices, mécanismes antimicrobiens, bactériocines, la bioconservation.

Abstract

In a context of demand for more "naturalness", the use of lactic acid bacteria as protective cultures against the undesirable flora, could lead to their use as agents of control food. In this work we have given current knowledge on lactic acid bacteria and their abilities, as well as the different antimicrobial mechanisms and their mode of action especially bacteriocins, Indeed, these protective cultures have been exploited in different food product chains and to guarantee an extension of the shelf life and better food safety.

Key word : lactic acid bacteria, protective cultures, mécanismes antimicrobiens, bactériocines, bioconservation.

الملخص

من أجل تقادي الاستخدام المفرط للمواد الكيميائية في مجال الصناعات الغذائية، يمكن استخدام بكتيريا حمض اللاكتيك كمزارع وقائية ضد الميكروبات الضارة والغير المرغوب فيها، و لهذا يمكن استخدامها كعوامل للحفظ البيولوجي للمنتجات الغذائية. في هذا العمل قدمنا المعرفة الحالية حول بكتيريا حمض اللاكتيك، وكذلك آليات مضادات الميكروبات المختلفة وطريقة عملها في الواقع، تم استغلال هذه الثقافات الواقية في قطاعات مختلفة من المنتجات الغذائية ولضمان امتدادها العمر التخزيني وتحسين سلامة الغذاء، يتمثل النهج في زيادة الحواجز المضادة للميكروبات في مصفوفة الغذاء.

الكلمات المفتاحية : بكتيريا حمض اللاكتيك، المزارع الوقائية، آليات مضادات الميكروبات، البكتريوسينات الحفظ الحيوي.