

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE
جامعة عمار ثليجي بالأغواط
UNIVERSITE AMAR TELIDJI LAGHOUAT
كلية العلوم
FACULTE DES SCIENCES
قسم البيولوجيا
DEPARTEMENT DE BIOLOGIE



Mémoire

En vue de l'obtention du diplôme de Master

Filière : Sciences Biologiques

Option : Microbiologie Appliquée

THEME

Bactéries lactiques productrices des bactériocines.

Présenté par:

BALBOUL Amel

DJELLAL Ferial

Devant le jury composé de :

Président:	MESSAOUDI Omar	MCA	Université de Laghouat
Examineur:	BENAMAR Ibrahim	MAB	Université de Laghouat
Rapporteur :	BOUNOUALA Fatima Zohra	MAB	Université de Laghouat

Soutenu publiquement le :...../07/2021

Année Universitaire : 2020/2021

Remerciements

On remercie <<|الله>> le tout puissant de nous avoir donné la santé et la volonté d'entamer et de terminer ce mémoire.

*Tout d'abord, ce travail ne serait pas aussi riche et n'aurait pas avoir le jour sans l'aide et l'encadrement de Mme **BOUNOUALA Fatima Zohra**, on la remercie pour la qualité de son encadrement exceptionnel, pour sa patience, sa régularité et sa disponibilité durant notre préparation de ce mémoire.*

*Nous remercions également les membres de jury, Mr **MASSOUDI Omar** et Mr **BENAMAR Ibrahim**, pour leurs présences, pour leur lecture attentive de notre thème ainsi que pour les remarques afin d'améliorer notre thème.*

Nos remerciements s'adressent également à tous nos professeurs pour leur soutien moral et leur encouragement.

Finalement, sans oublier nos remerciements à nos parents et tous les amis.

Dédicace

Avec l'aide de Allah

Je tiens c'est avec grande plaisir que je dédie ce modeste travail

A mon très chère mère,

Quoi que je fasse ou que je dies, je ne saurai point le remercies comme il se doit.

Ton affection me couvre, ta présence à mes cotés a toujours été ma source de force pour affronter les différents obstacles

A mon très cher père,

Tu as toujours été a mes cotés pour ma soutenir et m'encourager malgré la distance et donne mois les conseilles pour la réussir.

Que ce modeste travail, grâce à vos prier.

*A l'homme de ma vie mon marie **OUADEH** qui ma aidé et supporté dans les moments difficiles.*

*A mes frères, **ABDELHAK, ALLOULA et KHALIL** pour leurs encouragé.*

*A la fleure de ma vie ma petit fille **ROUMAISSA**.*

*A ma grand père **NOUIWA** et mes grandes mères je souhait une bonne santé*

A mes tantes et mes oncles

*A ma deuxième famille **BOUCHAREB**, ma **KHADRA** et baba sidi **MOSTAPHA**, mes sures et ma frère **AISSA**.*

*Sans oublie ma binôme **AMEL** et mon amie **NESSRINE**.*

FERIAL

Liste des Abréviations

GRAS : Généralement reconnu sans risqué

BAL : Bactérie de l'acide lactique

AND : Acide désoxyribonucléique

G+C : Guanine + Cytosine

% : pourcentage

pH : potentiel hydrogène

EMP : Embden Meyechof Parnas

ED : Entier Doudoroff

ARNr : Acide Ribosomai nucléque

EPS : Exopoly saccharides

SSP : espèce non connue

E. coli: Escherichia coli

KDa: Kilodalton

PM : Poids Moléculaire

OMS : l'Organisation Mondiale de la Santé

Liste des figures

Figure 01 : (a) la forme bacille, (b) la forme cocci des bactéries lactiques observé au Microscope électronique à transmission.....	03
Figure 02 : Arbre phylogénique des bactéries lactiques	07
Figure 03 : la structure de la nisine	16
Figure 04 : les étapes de la biosynthèse des bactériocines circulaires.....	17
Figure 05 : Représentation schématique les gènes impliqués dans la biosynthèse des bactériocines.....	21
Figure 06 : Principaux mécanismes d'action des bactériocines produites par les bactéries Gram positif.....	22
Figure 07 : Les différents domaines d'utilisation des bactériocines.....	28

Liste des tableaux

Tableau 01 : Les différents genres de bactéries lactiques d'intérêt microbiologie des aliments et leurs principales caractéristiques	06
Tableau 02 : Utilisations des bactéries lactiques dans la fermentation alimentaire et exemples des espèces prédominantes	10

Table des matières

Liste des abréviations	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Introduction	01
Synthèse bibliographique	
1. les bactéries lactiques	02
1.1. Historique des bactéries lactique.....	02
1.2. Caractéristiques générales des bactéries lactiques.....	02
1.3. Habitat.....	04
1.4. Taxonomie classification.....	04
1.5. Intérêt des bactéries lactiques.....	07
1.5.1. Dans l'industrie alimentaire.....	08
1.5.2. Dans le domaine thérapeutique.....	08
1.5.3. Rôles technologiques des bactéries lactiques.....	10
1.6. Propriétés antimicrobiennes des bactéries lactiques.....	13
1.6.1. Acides organiques.....	13
1.6.2. Peroxyde d'hydrogène.....	13
1.6.3. Dioxyde de carbone.....	14
1.6.4. Diacétyl.....	14
1.6.6. Reutéline.....	14
1.6.7. Bactériocines.....	14
2. Bactériocines produites par les bactéries lactiques	
2.1. Généralités.....	15
2.2. Classification.....	15
2.2.1. Classe I :.....	15
2.2.1.1. La sous-classe Ia.....	16
2.2.1.2. La sous-classe Ib.....	17
2.2.1.3. La sous-classe Ic.....	18
2.2.1.4. La sous-classe Id.....	18
2.2.1.5. La sous-classe Ie.....	18
2.2.1.6. La sous-classe If.....	19
2.2.2. Classe II : les bactériocines thermostables non modifiés.....	19

2.2.2.1.La sous-classe IIa.....	19
2.2.2.2.La sous-classe IIb.....	19
2.2.2.3.La sous-classe IIc	20
2.2.2.4. La sous-classe IId	20
2.2.2.5. La sous-classe IIe	20
2.3. Biosynthèse des bactériocines et régulation.....	21
2.4. Mécanismes d'action	22
2.5. Auto-immunité	23
2.6. Résistance	23
2.7. La production et conditionnement des bactériocines.....	24
2.8. Facteurs influençant la production des bactériocines.....	24
2.8.1. Souche bactérienne.....	24
2.8.2. Influence du pH.....	25
2.8.3. Influence de la température.....	25
2.8.4. Influence des milieux de culture	25
2.9. Domaines d'applications	26
2.9.1. Applications alimentaires.....	26
2.9.2. Applications médicales	28
Conclusion	29
Références bibliographiques	30

Introduction

Les bactéries lactiques forment un groupe de bactéries bénéfiques pour l'homme. Elles colonisent différents biotopes microbiens allant du sol et des plantes au système digestif de l'homme (**Benkerroum , N, et A.Y Tamime, 2004**) e. Le point commun qui caractérise ce groupe est la production d'acide lactique comme produit final du processus de fermentation de plusieurs substrats carbonés (**Carine Dortu, Philippe Thonart (2009)**). Les bactéries lactiques présentent un grand intérêt dans l'élaboration des produits alimentaires en particulier les produits laitiers fermentés par des procédés de fermentation lactiques. Elles sont reconnues comme de bons agents de conservation des produits alimentaires (**Abee et al., 1995 ; Klaenhammer,1988**).

Les bactéries pathogènes sont à l'origine de diverses pathologies et intoxication alimentaires, c'est pourquoi les antibiotiques ont été utilisés pour les éliminer. Ceci a conduit à l'émergence du phénomène d'antibiorésistance menaçant la santé publique. Pour faire face à ce problème les études sont actuellement orientées vers la recherche de substances entre autres les bactériocines des bactéries lactiques (**Ababsa ahlem(2012)**).

Les bactéries lactiques assurent non seulement des caractéristiques particulières organoleptiques (arômes, texture, flaveur, etc...); elles augmentent aussi la durée de conservation pour une bonne sécurité sanitaire des aliments. Sur le plan hygiénique, les bactéries lactiques inhibent le développement de la flore indésirable et améliorent la conservation de l'aliment, par l'abaissement du pH et la production de plusieurs métabolites ayant un effet antimicrobien (**Gilliland, 1985**).

La bio-conservation ou bien la technologie dite «douce» de conservation des aliments est une conservation naturelle qui préserve les propriétés organoleptiques et nutritionnelles de l'aliment, par l'utilisation de microorganismes vivants (**Gálvez et al., 2007; Settanni et Corsetti, 2008**), ceci résulte en une réduction logique du recours aux conservateurs "chimiques", dont certains ont montré des effets indésirables sur la santé de l'Homme.

Les bactériocines produites par les bactéries lactiques sont des peptides antimicrobiens de faible poids moléculaire. Elles ont une activité inhibitrice dirigée contre les bactéries proches de la souche productrice. Leur spectre d'action est généralement étroit (**Settanni, L, and A Corsetti, 2008**). Cependant, la plupart ont une activité contre des pathogènes alimentaires tels que *Listeria monocytogenes*. L'application des bactériocines ou des souches productrices dans les aliments pour y éviter le développement de bactéries pathogènes ou altérantes a donc été envisagée (**Cotter et al., 2013**).

Synthèse
Bibliographique

1. Les bactéries lactiques

Le groupe des bactéries lactiques défini pour la première fois par **Orla Jensen (1919)**, présente un groupe hétérogène de microorganismes produisant de l'acide lactique comme produit principal du métabolisme. Elles colonisent de nombreux produits alimentaires comme les produits laitiers, les viandes, les végétaux et les céréales et font parties de la flore gastro-intestinale et vaginale humaine ou animale. Elles sont impliquées dans un grand nombre de fermentations spontanées de produits alimentaires (**Pfeiler et Klaenhammer, 2007**).

1.1 . Historique des bactéries lactiques

Les bactéries lactiques ont été retrouvées dans des sédiments datant de 2,75 milliards d'années bien avant l'apparition d'oxygène dans l'atmosphère, ce qui pourrait expliquer leur caractère anaérobie. De plus, des études sur la phylogénie bactérienne mentionnent leur apparition avant celle des cyanobactéries (**Belyagoubi, 2014**).

De nos jours les bactéries lactiques représentent le deuxième plus grand marché de production de biomasse, après les levures. Principalement utilisées dans l'industrie alimentaire, pour la production et la fermentation des aliments et aussi dans l'industrie chimique pour la production d'acide lactique et bio polymères et acquièrent, depuis quelque années, un rôle croissant en santé humaine et animale (**Brahimi, 2015**).

1.2. Caractéristiques générales des bactéries lactiques

Les bactéries lactiques appelées aussi bactéries de l'acide lactique (BAL) **Axelsson. L. (1993)**, possèdent les caractéristiques générales suivantes :

Les BAL sont un groupe de bacilles, coques ou coccobacilles à Gram positif (**figure 01**) qui ont moins de 55% de contenu G+C dans leur ADN (à l'exception des Bifidobacteries (**Ammour, 2004**)). Ce sont des cellules procaryotes, hétérotrophes et chimioorganotrophes. Elles sont immobiles, unicellulaires (donc constituées obligatoirement d'une seule paroi, un cytoplasme renfermant les acides nucléiques, principalement l'ADN chromosomique et parfois des plasmides. Le cytoplasme est entouré d'une membrane cytoplasmique (**Stiles et Holzapfel, 1997**)). Elles sont non sporulées, anaérobies mais aérotoleérantes (microaérophiles).

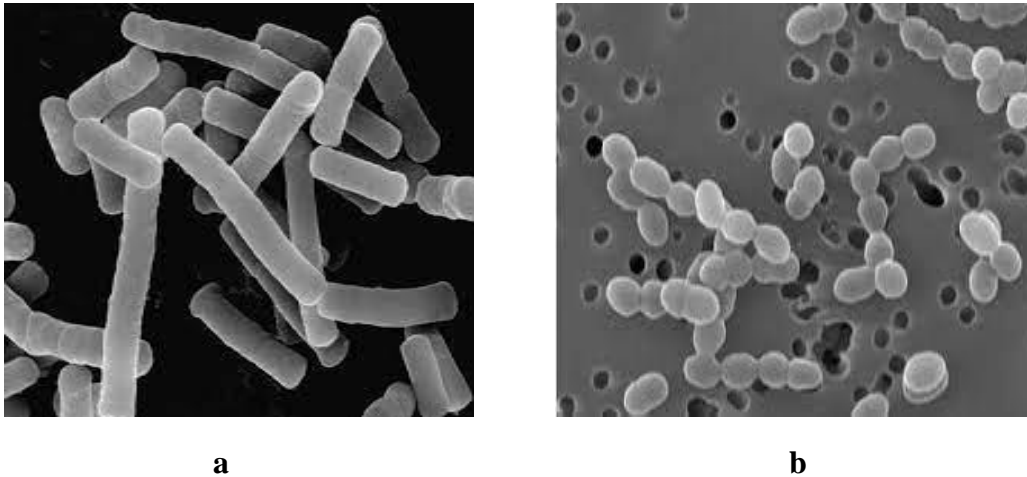


Figure 01: (a) la forme bacille, (b) la forme cocci des bactéries lactiques observées au microscope électronique à transmission (Makhloufi, 2011).

Les bactéries lactiques sont généralement mésophiles; certaines sont psychrotolérantes ou thermotolérantes elles se développent majoritairement à pH 4,0 - 4,5 et certaines sont encore actives à pH 9,6 ou pH 3,2 (Caplice E., et Fitzgerald G.F,1999)

Les bactéries lactiques ne possèdent ni nitrate réductase, ni cytochrome oxydase mais elles peuvent survivre en présence d'oxygène. L'absence de catalase est caractéristique, mais certaines espèces acquièrent cette activité sur des milieux riches en hème (Larpen *et al.*, 1997 ; Bourgeois *et al.*, 1996). Elles sont protéolytiques, ne liquéfient pas la gélatine, et ne forment plus d'indole ni d'hydrogène sulfureux, ces bactéries sont également incapables de fermenter le glycérol (Dellaglio *et al.* , 1994; Salminen *et al.*, 2004).

Trois catégories des bactéries lactiques peuvent être distinguées selon les produits de fermentation : toutes les bactéries lactiques ont un métabolisme fermentaire strictement saccharolytique (elles ont la capacité de fermenter les glucides en acide lactique (D (-), L (+) ou (DL) en utilisant les voies cataboliques d'Embden Meyerhof Parnas (EMP) ou (ED) d'Entner Doudoroff.) qui, en utilisant les glucides, elles peuvent produire soit de l'acide lactique exclusivement (bactéries homolactiques strictes), soit de l'acide lactique et de l'acide acétique (bactéries hétérolactiques facultatives), soit de l'acide lactique, de l'acide acétique ou de l'éthanol et du CO₂ (bactéries hétérolactiques strictes) (Vandamme *et al.*, 1996). En plus de l'acide lactique et des autres acides organiques qui empêchent le développement des microorganismes indésirables par diminution du pH du milieu, les bactéries lactiques produisent d'autres métabolites ayant des propriétés antimicrobiennes tels que le peroxyde d'hydrogène, le diacétyl, la reutérine, le dioxyde de carbone et les bactériocines (Dortu *et*

Thonart, 2009).

Les bactéries lactiques tolèrent des pH acides, possèdent un métabolisme anaérobie strict ou aérotolérant (**Hardie et Whiley, 1997**). De trop grandes teneurs en oxygène peuvent leur être néfastes en raison de l'absence de chaîne respiratoire. La plupart des bactéries lactiques sont équipées génétiquement pour avoir un métabolisme respiratoire, mais elles sont incapables de respirer si l'hème, n'est pas présent dans le milieu (**Lechardeur et al., 2011**).

Enfin, les bactéries lactiques possèdent de faibles activités protéolytiques et lipolytiques et en raison de leur faible capacité biosynthétique, ces bactéries ont des exigences nutritionnelles complexes pour les acides aminés, les peptides, les vitamines, les sels, les acides gras et les glucides fermentescibles (**Dellaglio et al., 1994**).

1.3. Habitat

Le sol, les plantes et, plus tard, l'intestin des animaux herbivores, sont considérés comme premières niches hypothétiques des bactéries lactiques ancêtres (**Morelli et al., 2012**) avant la transition au tractus gastro-intestinal des mammifères ainsi que l'appareil génital de la femme (**Björkroth et Holzapfel, 2006; Ruiz et al., 2009**). Ces bactéries sont ubiquistes et capables de survivre dans des milieux très acides (**Ikeda et al., 2013**) en raison de leur production d'acide lactique. Elles occupent des niches écologiques extrêmement variées et se trouvent dans divers produits alimentaires (**Baliarda, 2003**).

1.4. Taxonomie et classification

La systématique est en évolution permanente, il n'y a jamais eu de règles unanimement reconnue sur la façon dont deux bactéries différentes devraient être phénotypiquement classées (**Sneath P.H.A. 2001**).

Traditionnellement, les bactéries lactiques ont été classée sur la base des propriétés phénotypiques : 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, alcalins et à l'éthanol, la configuration de l'acide lactique produit à partir de glucose, l'hydrolyse de l'arginine, la formation d'acétoïne, la production des polysaccharides extracellulaires (**BOUMEDIENE Karima, 2013**) . 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**).

Orla-Jensen (1919), est le premier, qui a proposé une classification des bactéries lactiques. Elle est basée sur les caractéristiques observables telles que les propriétés morphologiques, biochimiques et physiologiques.

Une autre classification a été donnée par **Kandler et Weiss, (1986)**, en divisant les bactéries lactiques en trois groupes distincts: homo-fermentaires strictes, hétéro-fermentaires facultatives et hétéro-fermentaires strictes.

A partir de 1990, une classification qui se base sur le séquençage de l'ARNr 16S a été proposée, ce dernier a permis d'organiser les genres des bactéries lactiques dans un arbre phylogénétique.

L'analyse comparative des séquences d'ARN ribosomal 16S a entraîné des changements importants dans la taxonomie des bactéries lactiques (**Salminen et al., 2004**). Mais aujourd'hui, l'étude comparative des génomes entiers grâce aux nouveaux outils de bioinformatique offrent de nouvelles opportunités intéressantes pour l'étude de ces relations naturelles et la classification des espèces (**Schroeter.J et Kleanhammer.T, 2009**).

Selon la seconde édition de **Bergey's manual of systematic bacteriology**, les bactéries lactiques sont classées dans le phylum des Firmicutes, la Classe des Bacilli et l'Ordre des *Lactobacillales* renfermant trente-cinq genres répartis en six familles : *Aerococcaceae*, *Carnobacteriaceae*, *Enterococcaceae*, *Lactobacillaceae*, *Leuconostocaceae* et *Streptococcaceae*. Seuls douze genres sont utilisés en technologie alimentaire (**Figure 02**), il s'agit de : *Aerococcus*, *Carnobacterium*, *Enterococcus*, *Lactobacillus*, *Lactococcus*, *Leuconostoc*, *Oenococcus*, *Pediococcus*, *Streptococcus*, *Vagococcus*, *Tetragenococcus* et *Weissella* (**Tableau 01**) (**Vandamme et al., 1996**).

Tableau 01: Les différents genres de bactéries lactiques d'intérêt en microbiologie des aliments et leurs principales caractéristiques (**Federighi, 2005**).

Genre	Forme	Caractéristiques principales	Habitat
<i>Lactobacillus</i>	Bacille	Thermophile ou mésophile	Homme, produits laitiers carnés, végétaux
<i>Carnobacterium</i>	Bacille	Psycrotrophe, peu acidotolérant	produits laitiers carnés, poissons
<i>Streptococcus thermophilus</i>	Coque	Thermophile	produits laitiers
<i>Lactococcus</i>	Coque	Mésophile, croissance à 45°C et non à 10°C, thermorésistant	produits laitiers, végétaux
<i>Enterococcus</i>	Coque	Mésophile, Halophile	L'intestin de l'homme et des animaux, produits laitiers
<i>Pediococcus</i>	Coque en tetrade	Mésophile, Halophile	Bière, produits végétaux, saucissons
<i>Tetragenococcus</i>	Coque en tetrade	Mésophile	Saumures
<i>Leuconostoc</i>	Coque	Mésophile	Produits végétaux, produits laitiers
<i>Oenococcus</i>	Coque	Mésophile	Vin
<i>Bifidobacterium</i>	Forme irrégulière	Mésophile	L'intestin de l'homme et des animaux

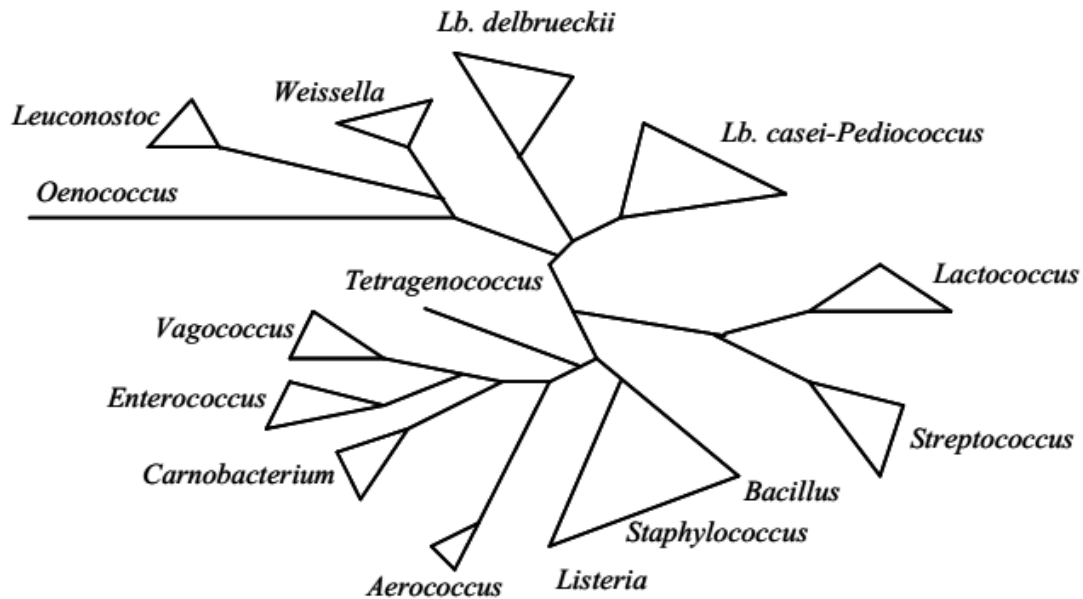


Figure 02: Arbre phylogénique des bactéries lactiques (Axelsson, 2004).

Les distances évolutives sont calculées par comparaison des séquences des ARN16s. La distance évolutive relative séparant deux genres est la somme des longueurs totales des branches.

L'appellation bactérie lactique est aussi souvent étendue aux genres *Bifidobacterium*, *Macrococcus*, *Brevibacterium* et *Propionibacterium* qui leur sont apparentés et qui sont également utilisés pour la fabrication de divers produits fermentés (Klaenhammer *et al.*, 2005; Pfeiler et Klaenhammer, 2007). Ils bénéficient également du statut GRAS (Adams et Marteau, 1995; Klaenhammer *et al.*, 2005). Quelques espèces du genre *Streptococcus*, *Enterococcus* et certains *Lactobacillus* sont néanmoins considérées comme des pathogènes opportunistes pouvant provoquer des maladies (Aguirre et Collins, 1993 ; König et Fröhlich, 2009).

1.5. Intérêt des bactéries lactiques

Les bactéries lactiques jouent un rôle important que ce soit dans l'industrie alimentaire ou dans le domaine thérapeutique (Moll G.N,et al, 1999).

1.5.1. Dans l'industrie agro-alimentaire

La fermentation lactique des aliments constitue l'un des plus anciennes formes de conservations de la nourriture. Les bactéries lactiques sont utilisées empiriquement depuis des siècles dans la fabrication de nombreux aliments fermentés comme les produits laitiers.

Les ferments lactiques, contenant une ou plusieurs cultures pures en proportions définies de différentes bactéries lactiques, sont largement utilisés en agroalimentaire (**Holzappel, 2002**). Les bactéries lactiques interviennent dans de nombreuses transformations du lait (crème maturée, laits fermentés comme le yaourt, fromages frais et affinés), mais interviennent également dans la vinification (fermentation mal lactique), la fabrication des salaisons, la fermentation des végétaux (choucroute et ensilages) et en boulangerie traditionnelle (**Desmazeaud, 1998**).

Enfin, certaines bactéries comme *Leuconostoc helveticus* sont utilisées pour produire industriellement de l'acide lactique employé comme additif alimentaire (**Peneaud 2006**). Ainsi, les souches de *Lactobacillus bulgaricus*, *Sterptococcus thermophilus* sont utilisées pour la production du yaourt ,des fromages et des laits fermentés (**Yateem et al., 2008**).

Les souches utilisées en industrie alimentaire doivent répondre à certains critères : absence de pathogénicité ou activité toxique, capacité d'améliorer les caractéristiques organoleptiques, capacité de dominance, facilité de culture et de conservation, et maintenance des propriétés désirables durant le stockage (**Marth et Steele, 2001**).

1.5.2. Dans le domaine thérapeutique

Les bactéries lactiques, présentes dans le tractus digestif de l'homme et des animaux, jouent un rôle non négligeable sur la santé de leur hôte. Incorporées dans les laits fermentés ou des aliments supplémentés, on leur attribue plusieurs effets thérapeutiques. Les substances antimicrobiennes qu'elles produisent contrôlent la prolifération de pathogènes indésirables (**Corcy et Lepage, 1991**).

Parmi leurs rôles bénéfiques pour la santé :

- Elles élaborent des enzymes qui viennent en aide au métabolisme de leur hôte, plus particulièrement pour les individus déficients en lactase.

- Leurs propriétés anti-cholestérol interviennent en diminuant le taux de cholestérol sérique.
- Elles peuvent réduire les chances d'apparition du cancer du colon en éliminant les substances Pro-carcinogènes et en intervenant sur les enzymes fécales susceptibles de transformer les Substances pro-carcinogènes en substances carcinogènes.
- Elles interviennent sur la suppression des tumeurs par activation des macrophages.

Les bactéries lactiques apportent des bénéfices à l'hôte en conférant une balance de la microflore intestinale, et en jouant également un rôle important dans la maturation du système immunitaire (**Yateem et al., 2008**). Différentes études ont démontré le rôle préventif aussi bien que curatif de ces bactéries sur plusieurs types de diarrhées (**Mkrtychyan et al., 2010**). D'autres ont cité leur capacité de diminuer les allergies liées aux aliments grâce à leur activité protéolytique (**El -Ghaish et al., 2011**).

Uehara et al., (2006) ont démontré la capacité des souches de *Lactobacillus crispatus*, utilisées sous forme de suppositoires pour empêcher la colonisation du vagin par les bactéries pathogènes et de prévenir ainsi les rechutes chez les femmes qui souffrent d'inflammations fréquentes et répétées de la vessie.

Les BAL sont également retrouvés dans d'autres secteurs d'applications. Ainsi certains membres de cette famille (les Lactobacilles notamment) sont utilisés comme probiotiques, c'est-à-dire comme une préparation microbienne vivante ayant une action bénéfique sur l'hôte après ingestion (augmentation de la prise de poids des animaux d'élevage, réductions des infections...) (**BOUGUERRA Asma 2012**).

Enfin, un secteur d'avenir concerne l'utilisation des BAL comme vecteurs oraux permettant de délivrer des enzymes digestives ou bien des antigènes vaccinant dans l'organisme.

Tableau 02: Utilisations des bactéries lactiques dans la fermentation alimentaire et exemples des espèces prédominantes (Mckay et Baldwin,1990).

<i>Espèces</i>	<i>Applications</i>
<i>Ln. mesenteroides, P. pentosaceus, Lb. plantarum</i>	Fermentations des végétaux
<i>Lb. plantarum, P. acidilactici</i>	Fermentations de viandes et poissons
<i>Oenococcus oeni , Lb. delbruekii</i>	Boissons alcoolisées
Bactéries lactiques variées	Café et cacao
<i>Lb. delbruekii, P. soyae</i>	Sauce de Soja
<i>Lb. plantarum</i>	Ensilage
<i>Lb. acidophilus Lb. casei</i>	Probiotiques
<i>Lb. plantarum, Lb. brevis, Lb. sanfranciscensis , Lb. fermentum</i>	Pain au levain
<i>Lb. plantarum, Lb.brevis, Lb. leichmannii, Lb . casei</i>	Biscuits
<i>Lc. lactis subsplactis , Lc. lactis subspcremoris , Lc. lactis subsplatis biovar diacetylactis, Ln . mesenteroides subspcremoris, Ln.lactis, St . thermiphilus, Lb. delbruekii subsp.bulgaricus , Lb. helveticus, Lb. casei, Lb. acidophilus</i>	Produits laitiers fermentés

1.5.3. Rôles technologiques des bactéries lactiques

a. Activité acidifiante

Les bactéries lactiques possèdent de nombreuses propriétés technologiques qui en font les premiers intervenants dans l'élaboration des aliments fermentés (Stiles et Holzappel, 1997). La fonction acidifiante constitue la propriété métabolique la plus recherchée des bactéries lactiques utilisées dans les industries alimentaires. Elle se manifeste par l'hydrolyse de lactose grâce à la bêta-galactosidase pour produire le glucose et le galactose. Généralement le glucose provenant de cette hydrolyse sera fermenté pour produire des composés acides, du gaz carbonique ou de l'alcool. Cette production de composés acides va entraîner une baisse de pH. Cette dernière peut induire des odeurs et des goûts particuliers. De plus, l'acidification

limite les risques de développement de flore pathogène au cours de la croissance (**Dib, 2015 ; Boullouf, 2016**)

b. Capacité texturante

Certaines souches de bactéries lactiques ont la capacité de synthétiser des exopolysaccharides (EPS) qui jouent un rôle important dans la texture et la rhéologie des produits transformés. La présence de ces souches productrices d'EPS dans les produits fermentés présente un intérêt technologique important pour les différentes industries de la fermentation, notamment laitière. Elles permettent ainsi d'améliorer la texture (**Ricciardi & Clement, 2000**), de diminuer la synérèse et d'augmenter la viscosité et l'onctuosité du produit. Les EPS ont la capacité de retenir les molécules d'eau et de diminuer la séparation du lactosérum et des caséines coagulées du lait. Leur présence dans les yaourts améliore leur homogénéité (Desmazeaud, 1990). La majorité des études portant sur la production d'EPS par les bactéries lactiques portent sur les genres *Lactococcus*, *Streptococcus*, *Leuconostoc* et *Pediococcus* (**Ruas et de Los Reyes, 2005; Badel et al., 2011**).

Les bactéries lactiques produisent deux types d'EPS: les homo polysaccharides et les hétéro polysaccharides. Les dextrines et les glucanes produits respectivement par *Leuconostoc mesenteroides* et *Streptococcus mutans* sont des homopolysaccharides de glucose tandis que les levains produits par *Streptococcus salivarius* sont des homos-polysaccharides de fructose. Les hétéro-polysaccharides contenant deux ou plusieurs types d'oses constitutifs forment un groupe très hétérogène de polysaccharides élaborés par différentes bactéries lactiques thermophiles et mésophiles (**Cerning, 1994**).

c. Capacité aromatisante

La production de composés aromatiques est liée à l'activité microbienne. Plusieurs espèces de bactéries lactiques, telles que *L. lactis ssp. lactis biovar. diacetylactis* et *L.mesenteroides ssp. cremoris* sont capables de synthétiser, à partir du citrate notamment, divers composés tels que le diacétyle, l'acétoïne, l'acétate, principaux composés responsables de l'arôme des produits laitiers fermentés (**Leveau, 1991**).

Le diacétyle est le principal composé qui participe à l'arome de très nombreux produits laitiers qui est issu du métabolisme du citrate par différentes espèces de bactéries lactiques.

D'autres travaux (**Tanous et al., 2005; Tanous et al., 2006**) ont montré la capacité de certaines bactéries lactiques à convertir les acides aminés en molécules aromatiques, ce qui permet de diversifier les arômes des produits dans lesquels se développent ces bactéries (**Gripon et Yvon, 1998**).

d. Activité protéolytique

Les bactéries lactiques possèdent des protéinases et des peptidases nécessaires à la dégradation des protéines du lait en peptides et acides aminés, ceux-ci peuvent alors être transformés en alcools et en acides, Cette activité protéolytique intervient de ce fait dans les caractéristiques du produit final,

Technologiquement, l'activité protéolytique constitue un caractère très important qui fait des bactéries lactique les seuls agents microbiens d'affinage de la majorité des fromages (**Mahi, 2010**), De nombreuses protéases sont synthétisées par les bactéries lactiques qui peuvent êtres des amino-peptidases, di peptidases ou tri peptidases, situées au niveau de la membrane plasmique ou dans le cytoplasme (**Bennama, 2012**).

e. Activité lipolytique

Les activités lipolytiques jouent un rôle important dans la formation des substances aromatiques des produits transformés, bien que parfois, elles soient à l'origine d'altérations. Cette activité est relativement faible chez les ferments lactiques, l'activité lipasique contribue à l'élaboration de la flaveur dans les produits laitiers particulièrement dans la maturation des fromages (**Diane, 2006 ; Mahamedi, 2015**).

La formation d'acides gras libres par lipolyse du lait et en outre la conversion des produits d'acides gras libres à méthylcétones et thioesters par les activités de lipase et d'estérase peut affecter directement la saveur globale des produits alimentaires (**Idder, 2014**).

Selon **Giraffa (2003)**, les estérases peuvent être classées arbitrairement comme les enzymes qui hydrolysent des substrats dans les solutions, tandis que les lipases hydrolysent des substrats dans des émulsions. L'addition des lipases exogènes augmente significativement et rapidement la concentration en acides gras libres des produits fermentés, réduisant de ce fait la durée de leur maturation mais sans en améliorer systématiquement leur saveur (**Zalacain et al., 1996**), tandis que les lipases hydrolysent des substrats dans des émulsions.

L'addition des lipases exogènes augmente significativement et rapidement la concentration en acides gras libres des produits fermentés, réduisant de ce fait la durée de leur maturation mais sans en améliorer systématiquement leur saveur (**Zalacain et al., 1996**).

La plupart des souches lactiques ont de faibles activités lipolytiques et ont de très faibles activités estérololytiques, mais dans les fromages avec de longs temps de maturation, elles peuvent produire des acides et esters gras libres pour modifier les saveurs (**Broadbent et Steele, 2005**).

1.6. Propriétés antimicrobiennes des bactéries lactiques

En effet, les bactéries lactiques produisent de nombreux métabolites aux propriétés antimicrobiennes classé en deux catégories : composée a petite masse moléculaire (LWM= low moléculaire compound) tels que les acides organiques, le peroxyde d'hydrogène, diacétyl, le dioxyde de carbone, et des composées a grand masse moléculaire (HMM : high masse moléculaire compound) tel que les bactériocines (**Ammor et al., 2006**). Ces métabolites jouent un rôle dans la compétitivité des bactéries lactiques, en perturbant ou en inhibant la croissance des autres microorganismes vivant dans les mêmes écosystèmes (**Imad AL KASSAA. Et al, 2015**).

1.6.1. Les acide organiques

L'acide lactique, l'acide acétique et l'acide propionique, sont produit par les bactéries lactiques au cours de processus de fermentation alimentaire, leur effets antimicrobiens sont bien connus à l'heure actuelle. Grace à cette production d'acides organiques, les bactéries lactiques diminuent le pH du milieu dans lequel elles se multiplient en inhibant une partie de la flore qui s'y développe.

L'effet antagoniste des acides organiques est attribué à leur forme non dissociée. Cette forme traverse passivement la membrane des microorganismes et acidifie le cytoplasme par la libération de protons, ce qui affecte le métabolisme cellulaire en inhibant certaines fonctions biologiques.

1.6.2. Le peroxyde d'hydrogène (H₂O₂)

Les bactéries lactiques ne produisent pas de catalase typique. Toutefois certaines bactéries lactiques produisent une pseudocatalase hexamérique ou tétramérique contenant du manganèse pouvant dégrader le peroxyde d'hydrogène (H₂O₂). Celui-ci inhibe les

microorganismes dépourvus de catalase par l'oxydation des lipides membranaires et des protéines cellulaires, provoquant ainsi leur destruction.

1.6.3. Le dioxyde de carbone (CO₂)

Le CO₂ se forme durant la fermentation hétérolactique, produisant un environnement anaérobie inhibant la croissance des microorganismes aérobies. Le CO₂ peut également s'accumuler dans la bicouche lipidique et provoquer un dysfonctionnement de la perméabilité membranaire.

1.6.4. Le diacétyle (C₄H₆O₂)

Certaines bactéries lactiques, notamment celles appartenant aux genres *Lactococcus*, *Leuconostoc*, *Lactobacillus* et *Pediococcus*, produisent du diacétyle (C₄H₆O₂). Ce composé, qui donne l'arôme du beurre des produits laitiers, présente une activité antagoniste envers les bactéries à Gram positif et négatif ainsi que certaines levures. Outre ces métabolites, les bactéries lactiques produisent également des molécules plus élaborées dont l'activité antimicrobienne a été largement décrite.

1.6.5. La reuterine (3-hydroxypropionaldehyde)

La reuterine (3-hydroxypropionaldehyde) est un produit intermédiaire du métabolisme du glycérol par fermentation en condition anaérobie. Cette molécule est produite aussi bien par certaines espèces de *Lactobacillus*, que par des souches appartenant à des genres non lactiques comme *Bacillus*, *Klebsiella*, *Citrobacter*, *Enterobacter* et *Clostridium*. La reutéine possède un très large spectre d'action. Cette molécule agirait en interférant avec la réplication de l'ADN. La reuterine est active contre de nombreuses bactéries à Gram positif et à Gram négatif, les eucaryotes, les virus, les champignons et les protozoaires.

1.6.6. Les bactériocines

En dehors de la reuterine, les bactéries lactiques produisent des bactériocines qui sont des substances de nature protéique excrétées dans le milieu extracellulaire et capables d'inhiber la croissance des bactéries d'altération (*Leuconostoc carnosum*, *Leuconostoc mesenteroides*, *Carnobacterium sp.*, *Lactobacillus sp.*, *Pseudomonas sp.*) et pathogènes (*Listeria monocytogenes*, *Campylobacter jejuni*, *Escherichia coli*, *Salmonella sp.*). Elles représentent une large gamme de peptides qui varient considérablement du point de vue de leur poids moléculaire, de leurs propriétés biochimiques, de leur spectre d'activité et de leur

mode d'action (**Klaenhammer, 1988**). Ainsi les souches productrices de bactériocines, que l'on désigne généralement par « souches bactériocinogènes », peuvent être utilisées dans des produits non fermentés en tant que cultures protectrices, de part l'antagonisme qu'elles présentent vis -à-vis des bactéries constituant un risque sanitaire pour l'homme et l'animal et/ou de détérioration des qualités organoleptiques du produit .

Les bactéries lactiques bactériocinogènes appartiennent aux genres *Lactobacillus*, *Lactococcus*, *Pediococcus*, *Carnobacterium*, *Leuconostoc*, *Enterococcus* et *Streptococcus*.

2. Bactériocines produites par les bactéries lactiques

2.1. Généralités

Les bactériocines sont un groupe hétérogène de peptide bioactifs extracellulaires de nature protéique synthétisés par voie ribosomale. Les bactériocines ont un effet bactéricide ou bactériostatique sur les espèces de la souche productrice et même contre certaines espèces non apparentées, il s'agit la colicine V produite par *E. coli* et active contre d'autres souches d'*E. coli* (**Gratia, 2015**).

Elles sont une activité antagoniste dirigée particulièrement contre des espèces à Gram positif génétiquement apparentées mais aussi contre certaines bactéries pathogènes et / ou d'altération alimentaire (**Gong et al, 2010 ; Verma et al, 2014**).

2.2. Classification

Klaenhammer à proposé en 1993 de classer les bactériocines en quatre classes sur la base de leur séquences primaire en acides aminés, poids moléculaires (KDa), la structure, stabilité à la chaleur, variations aux pH et aussi par leur spectre et leur mode d'action (**Klaenhammer, 1993 ; Nes et al., 1996 ; Cotter et al., 2005**).

2.2.1. Classe I : Peptides synthétisés par voie ribosomique subissant des modifications post-traductionnelles RiPP (PM* < 10 KDa)

Cette classe comprend tous les peptides qui subissent une modification enzymatique lors de la biosynthèse, aboutissant à des molécules avec des acides aminés et des structures rares qui ont un impact sur leurs propriétés comme pour la lanthionine, les hétérocycles, tête-à-queue cyclisation et la glycosylation (**Alvarez-Sieiro et al, 2016**).

La majorité des RiPP sont produits sous forme de peptides précurseurs linéaires d'environ 20 à 110 acides aminés avec un peptide de structure en partie central, une séquence de reconnaissance en extrémité C-terminale et un peptide leader en extrémité N-terminale qui sert à la reconnaissance par les enzymes et le transporteur membranaire. Ce peptide leader est fusionné avec le peptide fonctionnel et le garde inactif jusqu'à la maturation (Osborn *et al*, 2014 ; Rai et Bai, 2014).

2-2-1- La sous-classe Ia (lanthipeptides)

Les lanthipeptides tels que la nisine sont des peptides possédant des acides aminés inhabituels tels que la lanthionine (Lan^o ou la b-méthyle lanthionine (Mélano) (Ortefa et van der Donk, 2016). Les lanthipeptides subissent des modifications post-traductionnelles (MPT), et généralement les gènes impliqués dans le processus de maturation sont situés sur le même opéron (figure 04).

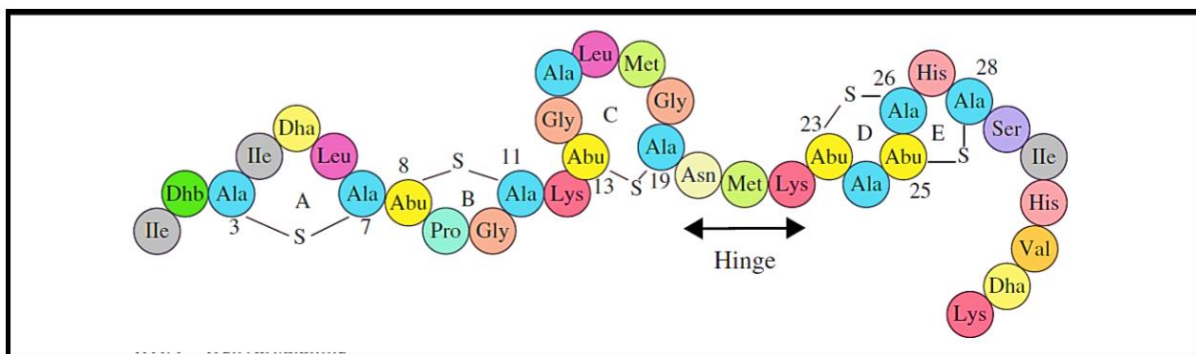


Figure 03 : la structure de la nisine (Lee, 2015).

Un grand nombre de lantibiotiques sont produits par les bactéries lactiques ; parmi eux, la nisine est la mieux étudiée, il s'agit d'un lantibiotique de type I produit par *Lactococcus lactis* (De Vuyst, 1994 ; Ceylan et Mol, 2015). L'opéron responsable de la biosynthèse de la nisine se compose de 11 gènes (Zhou *et al*, 2006)

2.2.2. la sous-classe Ib (Peptide cycliques tête-à-queue)

Les bactériocines cycliques appelées aussi tête-à-queue de l'anglais <<head-to-tail>> sont un groupe de RiPP dont les extrémités N et C terminales sont liées par une liaison peptidique, rendant ainsi la molécule circulaire (figure 05). Les bactériocines circulaires sont synthétisées sous forme de précurseurs linéaires avec un peptide leader de taille variable (2 à

350résidus d'acides aminés) qui clivé au cours du processus de maturation, qui comprend également la cyclisation du peptide et sa sécrétion (**Gabrielsen et al, 2014**). La biosynthèse des bactériocines circulaires nécessite trois étapes : »è »

- Le clivage de la séquence leader.
- La cyclisation.
- L'exportation hors de la cellule.

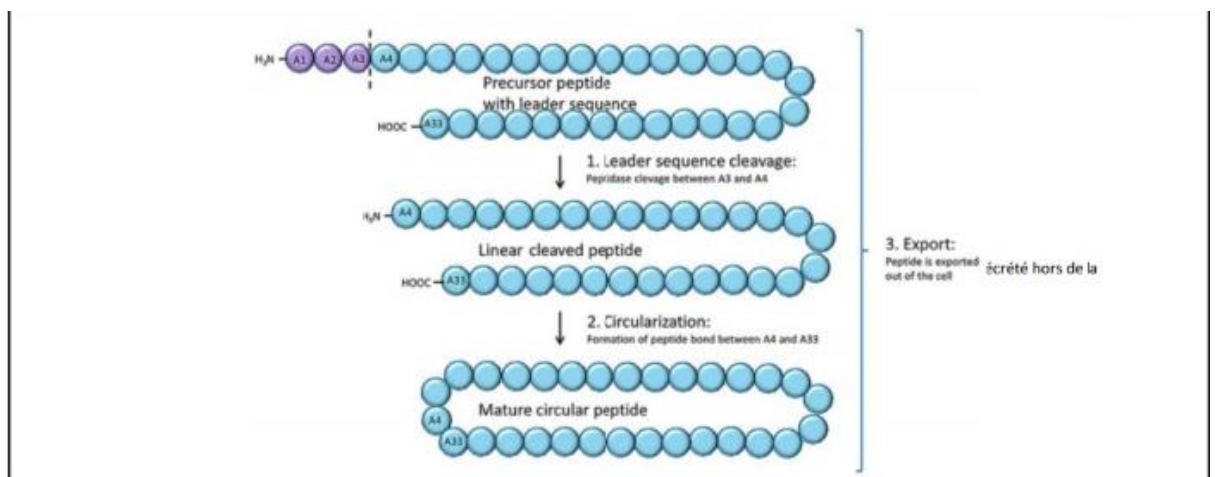


Figure 04 : illustration des trois étapes de la biosynthèse des bactériocines circulaires (**Gabrielsen et al, 2014**).

2.2.3. La sous-classe Ic (Sactipeptides) :

Appelés également sactibiotiques. Ils possèdent une activité anti microbienne et sont des peptides contenant un pont sulfure-a-carbone (**Arnison et al, 2013 ; Mathur et al, 2015**). Il paraît que jusqu'ici aucun sactipeptide n'a été caractérisé chez les bactéries lactiques, seul quelques groupes de gènes putatifs ont été identifiés in-silico (**Murphy et al, 2011**). Aucun récepteur spécifique n'a été identifié pour les sactibiotiques. Les caractéristiques communes dans les groupes de gènes des sactibiotiques sont la présence d'un ou des gène(s) de structure,

des protéines d'immunité, les transporteurs et les enzymes S-adenosylméthionine contenant la région conservée typique <4S-4Fe> (Fluhe *et al*, 2013).

2.2.4. La sous-classe Id (Peptides linéaires contenant de l'azole¹³ ou l'azoline¹⁴) :

Les peptides linéaires contenant de l'azole ou l'azoline sont connus sous le sigle LAP de l'anglais <<Linear Azoline containing Peptides>>(Arnison *et al*, 2013). Le LAP produite par les bactéries lactiques le plus connu est la streptolysine S (Cox *et al*, 2005). Le mécanisme d'action des LAP n'est pas encore clair.

2.2.5. La sous-classe Ie (Glycocines)

Les glycocines sont des bactériocines contenant des résidus glycosyles (Arnison *et al*, 2013). La Glycocine F produite par *lactobacillus plantarum* est la première Glycocine décrite chez les bactéries lactiques (Stepper *et al*, 2011). La Glycocine F est agencée sous forme de deux hélices alpha maintenues ensemble par des liaisons disulfures (Venugopal *et al*, 2011).

2.2.6. La sous-classe If (Peptides lassos)

Les peptides lassos sont un groupe de RiPP dont la caractéristique structurale est un noyau macrolactame N-terminal qui relié à la queue C-terminale résultant en une structure en lasso unique appelé << nœud de lariat>>. De plus les peptides lasso présentent diverses activités : antimicrobienne, antivirale ou même anticancéreuse (Maksimov *et al*, 2012). Jusqu'à ce jour, aucun peptide lasso n'a été rapporté chez les bactéries lactiques, mais la présence de quelques-uns est prédite chez les streptocoques, le premier peptide antimicrobien lasso caractérisé est la microcine J25 produite par *E. coli*.

2.2.2. La classe II : Les bactériocines thermostables non modifiées (PM<10KDa)

Ce sont des peptides thermostables non lanthioniques de faible poids moléculaire qui ne subissent pas modifications post-traductionnelles, ils ne nécessitent pas donc d'enzymes pour leur maturation autre qu'un peptidase membranaire et/ou un transporteur. Ils ont une taille qui va de 30 à 60 acides aminés, et sont habituellement positivement chargés à pH neutre (Manivasagan *et al*, 2015 ; Alvarez-Sieiro *et al*, 2016).

2.2.2.1. La sous-classe IIa : bactériocines de type pédiocine-like

Sont un très grand groupe de petits peptides thermostables (<10 KDa), elle peut être considérée comme la sous-classe principale parmi toutes les bactériocines caractérisées chez

les bactéries lactiques (**Kastin, 2013**). Ces bactériocines sont cationiques et présentent un large spectre d'activité et sont particulièrement active contre *Listeria* (**Klaenhammer, 1993 ; Kjos et al, 2011**). Cependant, des études récentes ont indiqué que de nombreuses espèces du genre *Enterococcus* sont capables de produire des bactériocines de type pédiocine-like qui sont hétérogènes en structure et différentes dans leurs spectres d'inhibition (**Woraprayote et al, 2016**).

2.2.2.2. La sous-classe IIb : bactériocines à deux peptides :

Les bactériocines de cette classe sont composées de deux peptides très différents, et l'activité entière nécessite la présence des deux peptides en quantités à peu près égales (**Nissen-Meyer et al, 2010**). La production des bactériocines de sous-classe IIb est régulée par un système de Quorum Sensing (QS) à trois composantes qui implique une facture d'induction, une histidine kinase (HK) associée à la membrane et un régulateur de réponse (RR) (**Diep et al, 2003**).

2.2.2.3. La sous-classe IIc : Bactériocines sans séquence leader

Les bactériocines sans peptide leader sont uniques car elles sont synthétisées sans peptide leader en partie N-terminale, qui habituellement fonctionne comme une séquence de reconnaissance pour la sécrétion, la modification et le maintien de la bactériocines sous sa forme inactive à l'intérieure de la cellule productrice (**Liu et al, 2012**). L'une des bactériocines sans peptide leader les mieux étudiées et caractérisées est l'entéroccine à deux peptide L50 codée par le plasmide d'*E.faecium* L50 (**Cintas et al, 1998**).

2.2.2.4. La sous-classe IId : Bactériocines à peptide unique non pédiocine-like

La sous-classe IId est une sous-classe hétérogène de bactériocines linéaires simples, avec différentes structures et des mécanismes de sécrétion et d'action variés. Parmi les plus connues, la lacticoccine 972, la lactococcine A et l'entéroccine B (**Franz et al, 2007 ; Cotter et al ; 2005**). Par exemple : la lactococcine 972 est un peptide thermosensible, résistant aux variations de pH et actif contre les espèces de lactocoques étroitement liées à la souche productrice (**Martinez et al, 1999**).

2.2.2.5. La sous-classe IIe

Chez les eucaryotes, différentes histones (**Richards et al, 2001 ; Birkemo et al, 2003**), ainsi que la lactoferine (**Gifford et al, 2005**) sont des sources de peptides antimicrobiens de la

sous classe IIe. Ce type de bactériocines comporte les peptides antimicrobiens produits par une dégradation spécifique de grandes protéines, (Nes *et al.*, 2007). La bactériocine propionicine F (43 résidus d'acides aminés), provenant de la dégradation d'une grande protéine (PcfA, constituée de 225 résidus d'acides aminés) de *Propionibacterium freudenriechii* est l'une des bactériocines les mieux étudiées de cette sous-classe. Elle est hydrophobe avec une charge nette négative (Brede *et al.*, 2004).

2.3. Biosynthèse des bactériocines et régulation :

Les bactériocines sont généralement synthétisée sous forme de pré-peptides inactifs. Les gènes associés à la biosynthèse des bactériocines sont regroupés en opérons. Ils sont souvent associés à des éléments traversables tels que des transposons, des plasmides et par fois ont des systèmes de production des bactériocines situés sur des chromosomes (Toenge et Kleanhammer, 1986).

En générale, les gènes impliqués dans les différentes biosynthèses sont situés à proximité les uns des autres. Ils codent pour les protéines suivantes (Siman & Garbach, 1987) :

- Protéine d'induction, celles qui reçoivent un signal de l'induction (externe à la cellule) et provoquent la transcription des gènes ce dont pour la biosynthèse de la bactériocine.
- La bactériocine, synthétisée sous forme inactive nécessitant une maturation. Elle synthétisée en même temps sa protéine d'immunité permettant à la cellule productrice de résister à sa propre bactériocine.
- Protéine de transport de la bactérie à l'extérieure de la cellule.
- Protéine de maturation, permettant le clivage d'un peptide inactif de la bactérie ou alors des modifications post-traductionnelles dans le cas des Lantibiotiques.

Dans certains cas, la production des bactériocines dépend de conditions environnementales (températures, pH, etc) (Dimov *et al.*, 2005).

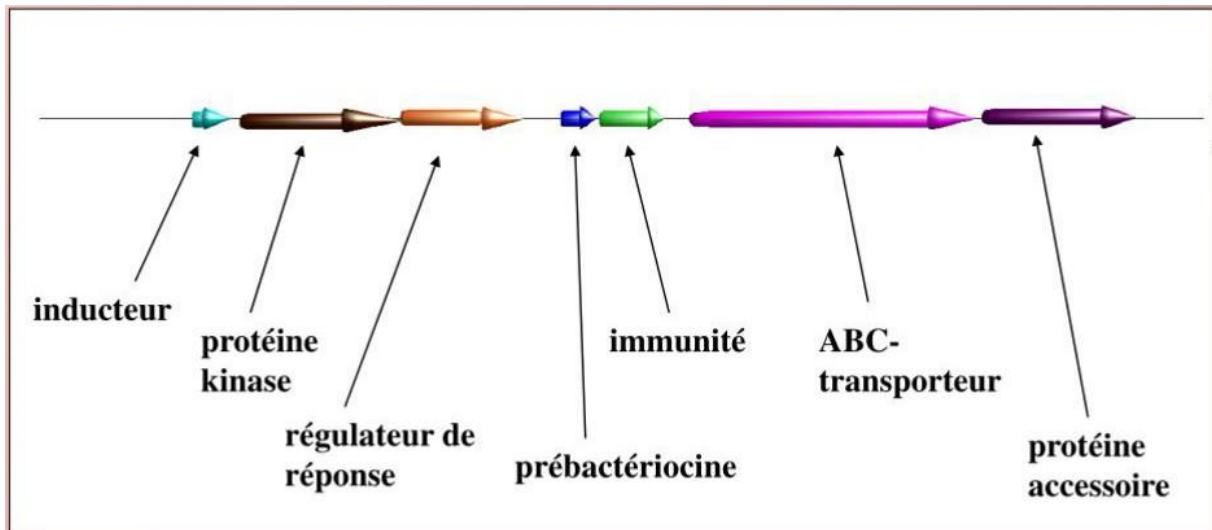


Figure 05 : Représentation schématique des gènes impliqués dans la biosynthèse des bactériocines. (Equipe de Microbiologie fondamentale et appliquée).

2.4. Mécanisme d'action

Les bactériocines agissent par la formation des pores au niveau des parois des microorganismes sensibles (Deegan *et al*, 2006). Divers mécanismes ont été proposés pour décrire l'action bactéricide des bactériocines.

La formation des pores est le mécanisme le mieux décrit ; le spectre d'action relativement faible de certaines bactériocines suggère la présence de récepteurs moléculaires dans la membrane de la cellule cible, même si cela n'a pas été démontré (Van Belkum et Stiles, 2000).

Quelques bactériocines membres de la classe I (lantibiotiques) tels que la nisine ont un double mode d'action : elles peuvent se lier au lipide II, un récepteur universel et la principale sous-unité du transporteur du peptidoglycane du cytoplasme vers la paroi cellulaire, bloquant ainsi la synthèse appropriée de la paroi cellulaire et contribuant à la mort cellulaire, en outre, la nisine se lie au lipide II par deux de ses anneaux amine terminaux formant un complexe de huit bactériocines lantibiotiques et quatre lipides II (bactériocines = 1 lipide II) pour l'entier processus d'insertion membranaire et de formation des pores ce qui conduit à une mort rapide de la cellule (Cotter *et al.*, 2005 ; Breukink et De Kruijff, 2006).

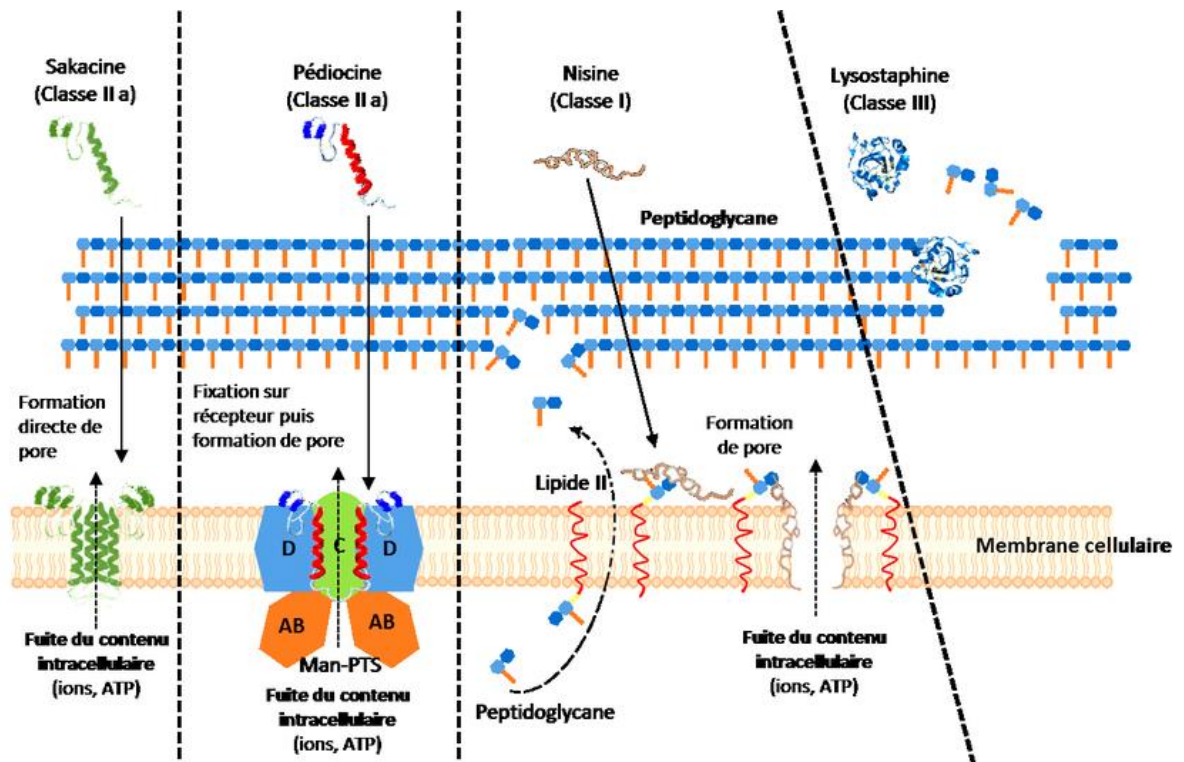


Figure 06 : Principaux mécanismes d'action des bactériocines produites par les bactéries Gram positif (Fernandez, 2014)

2.5. Auto immunité :

Les souches productrices de bactériocines sont protégées contre l'action de leurs propres bactériocines (Chatterjee *et al*, 2005 ; Zachrouf et Lovittb, 2012). Elles s'en prémunissent à l'aide d'une protéine < d'immunité > (Abee *et al*, 1995 ; Johnsen *et al*, 2004). Cette dernière est généralement spécifique à chaque souche productrice, mais peut dans certains cas protéger la souche productrice contre des bactériocines proche de sa propre bactériocine (Finland *et al*, 2002 ; Johnsen *et al*, 2004). Ceci suggère une relation entre deux notions distinctes : la résistance à la bactériocine et l'immunité (Ennahar *et al*, 2000). Le gène codant pour la production des protéines immunitaires est la plus par du temps co-transcrit avec le gène de structure de la bactériocine, les deux gènes faisant partie du même opéron (Finland *et al*, 2002).

2.6. La résistance

Les phénomènes de résistance des souches sensibles peuvent exister naturellement ou résulter d'une exposition répétée aux bactériocines. Les mécanismes de résistance des bactéries sont très variés. Ils impliquent des changements structuraux et physiologiques de la

cellule bactérienne (**Galvin et al, 1999 ; Guangshun et al, 2015**). Ils peuvent être de deux ordre:

Le premier mécanisme consiste en une diminution de la perméabilité cellulaire suite à une modification de la structure de la membrane, les constituants lipidiques de la membrane jouant un rôle plus ou moins direct dans la fixation des bactériocines sur la surface membranaire (Mazzotta et al, 1997). La résistance de *L. monocytogenes* à la nisine a ainsi été attribuée à des changements de la composition en acides gras membranaires et à des modifications au niveau de la paroi, mais aucune modification au niveau du lipide II n'a été détectée (**Kraner et al, 2007**).

Le second mécanisme de développement de résistance est l'inactivation de la molécule active par modification chimique ou dégradation protéolytique du peptide antimicrobien (**Kraus et Peshel, 2006**).

Ainsi, la nisinase produite par certaines souches bactériennes inactives la nisine (**Klaenhammer, 1993**).

Ils y a des résistances croisées contre des bactériocines de classes différentes sont aussi possibles, la résistance de *L. monocytogenes* acquise à la nisine A ou Z (classe I) augmente sa résistance à la pédiocine PA-1 et à la divergicine M35, deux bactériocines de classe IIa (**Naghmouchi et al, 2007**).

2.7. La production et conditionnement des bactériocines

Les bactériocines sont généralement produites à la phase exponentielle et au début de la phase stationnaire de croissance. Elles peuvent ensuite être dégradées par les protéases produites par la bactérie lactique productrice (**Savijoki et al., 2006**) ou être adsorbées à sa surface, ce qui mène à la baisse de la concentration de bactériocines dans la culture. Il est très difficile de conditionner les bactériocines sous une forme purifiée. La purification des bactériocines est une procédure longue et coûteuse qui nécessite la mise en œuvre de nombreuses techniques, à savoir une précipitation des protéines au sulfate d'ammonium, différentes combinaisons de chromatographies sur colonne telles que des échanges d'ions ou des interactions hydrophobes et une étape finale de chromatographie liquide à haute performance en phase inverse. Ces traitements ne sont pas applicables à l'échelle industrielle. Les bactériocines semi-purifiées peuvent alors être conditionnées sous forme sèche par atomisation ou lyophilisation par exemple (**Parente et al, 1999**). La nisine, la seule

bactériocine légalement approuvée comme additif alimentaire, est commercialisée sous une forme semi-purifiée.

2.8. Facteurs influençant la production des bactériocines

L'utilisation des bactériocines à l'échelle industrielle en nécessite de grandes quantités. Ceci ne peut être atteint qu'en connaissant et optimisant les facteurs influençant leur production tels que : la température, le pH, le milieu de culture utilisé, etc. ces conditions de culture affectent fortement la production de bactériocines.

2.8.1. Souche bactérienne

Une bactériocine donnée peut être produite par plusieurs souches ou espèces (**Bhunia et al, Jack et al, 1995 ; Rodriguez et al, 1995**). Ont montré que la production de la nisine et leuconocine LcmI varient parmi différentes souches alors que la pédiocine AcH montre moins de variation dans sa production. Dans le cas de la nisine, la différence de production entre les souches a été attribuée aux taux d'expression et l'activité des enzymes de maturation et dans une moindre mesure à l'immunité de la nisine (**Parente et Ricciardi, 1999**).

2.8.2. Influence du pH

La variation du pH du milieu de fermentation peut ralentir ou arrêter complètement la croissance bactérienne. Ainsi le contrôle du pH améliore la croissance de bactéries lactiques et permet aussi d'améliorer la production des bactériocines. Cette dernière est influencée par le pH de la culture initiale (**Cabo et al, 2001**) et la chute du pH (différence entre le pH initiale et le pH finale) généré dans les milieux de culture (**Biswas et al, 1991 ; Cabo et al, 2001**). Ainsi que les valeurs de pH final atteintes dans les fermentations (**Yang et Ray, 1994 ; Guerra et Pastrana, 2002**). Toutefois, des effets dépendent du milieu de culture et la souche produisant des bactériocines (**Guerra et al, 2001 ; Guerra et Pastrana, 2002**).

Le pH optimal de production de bactériocines est souvent de 5,5 à 6,0 (**Chinachoti et al, 1997**). Quelques bactériocines ne sont produites qu'à faible pH (5,5) (**Biswas et al, 1991 ; Yang et Ray, 1994 ; Barcena et al., 1998**).

2.8.3. Influence de la température

La température est un paramètre important dans les fermentations car elle peut améliorer la croissance bactérienne et raccourcir le temps de fermentation. La croissance à la

température optimale se traduit généralement par une production optimal de bactériocines (Chinachoti et al, 1997 ; Lejeune et al, 1998) mais le stress provoqué par la température peut entrainer une augmentation du rendement en bactériocines (Lejeune et al, 1998). Donc chaque espèce et leur température de croissance pour une meilleure production de bactériocines.

2.8.4. Influence des milieux de culture

La production de bactériocine est également fortement dépendante de la composition et de la concentration du milieu de culture (source hydrates de carbone et d'azote, des cations et des anions) (Garcia-Almendarez *et al*, 2002 ; Li *et al*, 2002 ; Zannini *et al*, 2005). Puisque les bactéries lactiques sont des microorganismes exigeants sur le plan nutritionnel, la croissance et la production de bactériocine sont souvent limitées par des sources d'azote organiques (Kim *et al*, 1997).

En générale, les milieux de culture complexes avec de sources d'azote riches sont optimaux pour l'augmentation de la production d'un grand nombre de bactériocines (Munoz-Rojas, 2008).

Bien que le glucose soit a meilleure source de carbone pour la production de bactériocines par les Lactocoques, les Lactobacilles et les pédiocoques il y a d'autres sucres (saccharose, lactose, xylose) ont été reconnus comme étant une bonne source de carbone (Ruben *et al*, 2014).

Les anions (phosphate) et les cations (Mg^{2+} , Ca^{2+}) affectent la production des bactériocines mais leurs effets peuvent être spécifiques à l'espèce (Vuyst et Vandamme, 1993).

2.9. Domaines d'applications

Considérées en tant que << GRAS >> (généralement reconnu sans risque ; Generally Recognizer as safe) et vu leur abondance et leur pouvoir antimicrobien généralement bactéricide, les bactériocines des bactéries lactiques trouvent leur utilisation dans différents domaines ou elles empêchent le développement de bactéries pathogènes et nuisibles (Albano *et al*, 2007). Cependant le domaine d'utilisation le plus exploité, est la bio-conservation.

2.9.1. Application alimentaire

Plusieurs travaux ont permis de montrer l'efficacité des bactériocines ou de souches productrices de bactériocines dans différentes matrices alimentaires. En 1998, Ennahar *et al* ont montré que *L. monocytogenes*, présente dans le fromage Munster, était inhibée par

l'addition de *L. plantarum* WHE 92, une souche productrice de pédiocine PA-1. La même souche *L. monocytogenes* a également été inhibée par l'enterocine 81 produite par *E. faecium* WHE 81, comme culture de surface au début de la maturation du fromage Munster ont également empêché le développement de *L. monocytogenes*.

L'utilisation de la technologie des barrières Hurdle Technology qui consiste en une combinaison de bactériocines avec d'autres méthodes de conservation des aliments a donné des résultats prometteurs:

- Des traitements physiques.
- Un traitement à haute pression hydrostatique combiné à l'utilisation de bactériocines a montré d'importants dommages de la membrane cytoplasmique de la population microbienne cible (**Glavez *et al*, 2007**).
- La possibilité des bactériocines de cibler les agents pathogènes à Gram négatif. Ainsi, que l'application de la nisine avec l'EDTA a inhibée efficacement *E. coli*, *Salmonella* spp et *L. monocytogene* (Ukuku *et al*, 2009) et d'autres travaux des applications alimentaires des bactériocines combinées à d'autres barrières chimiques ont été réussis (**Milles *et al*, 2011**).

2.9.2. Applications médicales

En 2014, l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) a estimé que 25000 décès annuels en Europe sont attribués à l'émergence progressive de bactéries multi-résistantes aux antibiotiques (**Tattevin *et al*, 2014**). Compte tenu de l'importance de ce problème, les recherches s'intensifient en direction de substances dotées d'activités antibactériennes capable d'aider à la lutte contre les souches multi-résistantes. Les bactériocines produites par les bactéries lactiques semblent être des molécules de choix (**Nettles & Barefoot, 1993**). Leur activité antimicrobienne importante *in vitro* et *in vivo*, la variété de spectres d'activité qu'elles offrent, leur faible toxicité, et la capacité de certains probiotiques à en produire *in vivo* chez l'homme font que les peptides antimicrobiens peuvent constituer une alternative aux antibiotiques (**Cotter *et al*, 2013**).

Les différents domaines d'application des bactériocines des bactéries lactiques sont récapitulés dans la **figure (07)**.

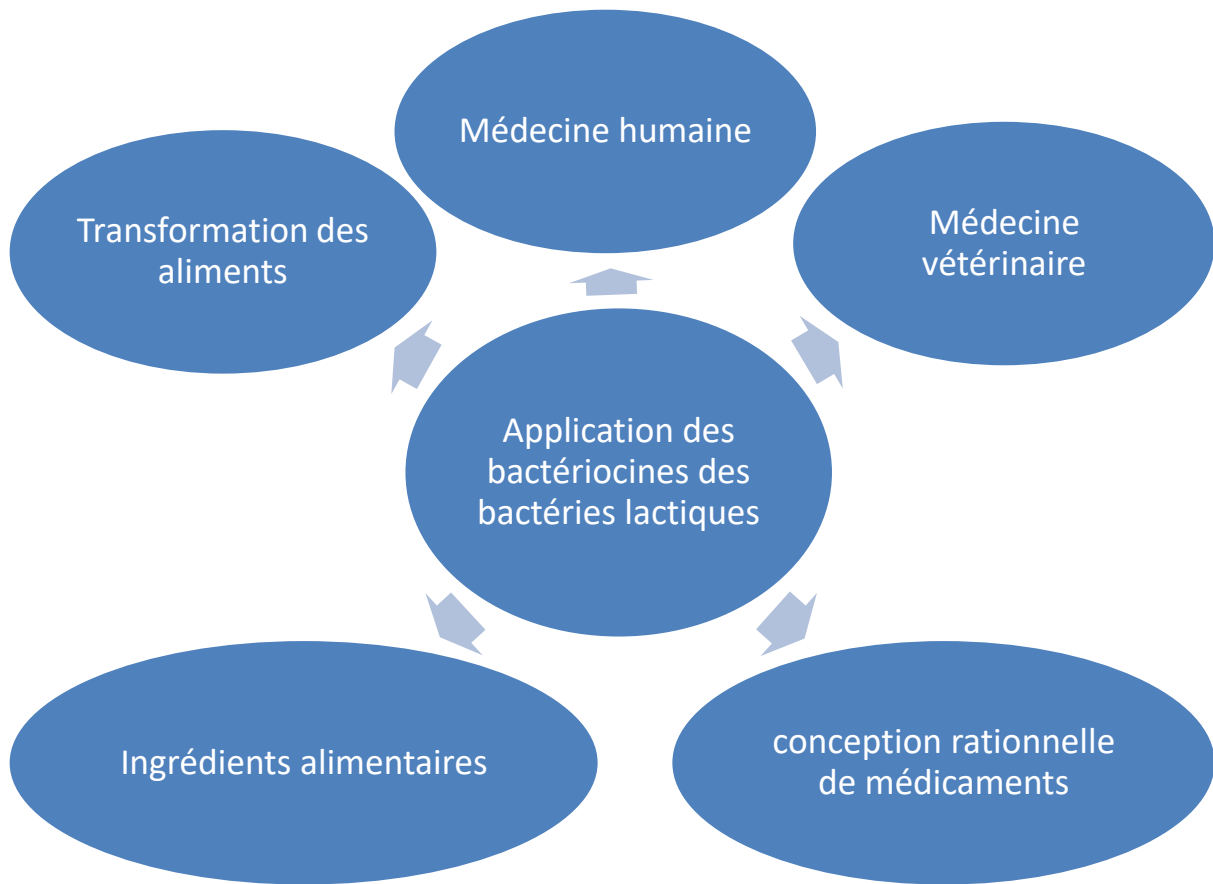


Figure 07 : Les différents domaines des bactériocines des bactéries lactiques.

Conclusion

Les bactéries lactiques sont utilisées depuis des siècles pour la production de nombreux aliments fermentés. Grâce à leurs propriétés fermentaires, ainsi qu'à leur capacité de survivre et de se développer dans diverses conditions environnementales, elles prolongent la durée de conservation des produits. En outre, les peptides antimicrobiens « bactériocines », produits par ces bactéries et doués d'activités inhibitrices dirigées notamment contre plusieurs pathogènes des aliments renforcent cette propriété de bio-conservation.

Les bactériocines sont des peptides antimicrobiens produits par certaines souches de bactéries lactiques et dont beaucoup ont une activité contre des bactéries pathogènes tels que *L. monocytogenes*. Ces bactériocines ont des atouts indéniables pour représenter une technologie douce de préservation des aliments. Cependant, leur utilisation est soumise à de nombreuses contraintes. Celles-ci sont liées principalement à la production de la bactériocine et de la souche productrice et leur conditionnement, au produit à conserver et à la législation en vigueur pour les bactériocines considérées jusqu'à présent comme des additifs alimentaires.

Les bactériocines se distinguent des antibiotiques par leur production ribosomique et leurs spectres relativement étroits. Elles possèdent des propriétés qui les placent comme substances sans danger pour l'homme de par leur sensibilité aux protéases du tube digestif et l'absence de toxicité. La résistance aux traitements thermiques et aux variations de pH (pour quelques-unes), l'activité bactéricide et l'absence de résistance croisée avec les antibiotiques font des bactériocines des candidats potentiels pour des applications alimentaires.

Références

Bibliographiques

A

Abee, T, L Krockel, et C Hill. (1995) << Bacteriocins: modes of action and potentials in food. » *Int J Food Microbiol* 28 : 169-185.

Ababsa ahlem(2012):Recherche de bactériocines produites par les bactéries lactiques du lait/Mémoire de magister/ université de setif

Albano, H, S.D Todorov , C.A Van Reenen, T Hogg, L.M.T Dicks, et P Teixeira. «Characterization of two bacteriocins produced by *Pediococcus acidilactici* isolated from “Alheira”, a fermented sausage traditionally produced in Portugal.» *Int J Food Microbiol* 116 : 239 –247.

Arnison et al, (2013) <<Ribosomally synthesized and post-translationally modified peptide natural products>>. Overview and recommendations for a universal nomenclature.

Ammor et al. S, G Tauveron, E Dufour, and I Chevallier (2006). "Antibacterial activity of lactic acid bacteria against spoilage and pathogens bacteria isolated from the same meat small-scale facility." *Food Control* 17 : 454-468.

Ammour M. S. (2004). « Ecosystème microbien d'un atelier fermier de salaison Identification et propriétés des bactéries lactiques ». Thèse doctorat A grocampus Rennes.

Ammouri Kamélia et REKIK Samia (2019):Isolement et purification de bactéries lactiques productrices de bactériocines à partir de produits laitiers/Université de Tizi-Ouzou/Master II en sciences Biologiques.P03.

Adams & Marteau, M.R, et P Marteau (1995). «On the safety of lactic acid bacteria from food.» *Int J Food Microbiol* 27 (1995): 263-264.

Aguirre &M, et M.D Collins (1993) . «Lactic acid bacteria and human clinical infection.» *J Appl Bacteriol* 75 : 95-107

Axelsson. L. (1993). Lactic acid bacteria: classification and physiology. In: Lactic acid bacteria. Salminen S. and von Wright A., pp: 1-63. Marcel Dekker Inc. New york.

Axelsson.L. (2004) chapter lactic acid bacteria microbiological and functional aspects edition Marcel, Dekker third edition

B

- Biswas, S.R, Ray, P, Johnson, M.c,B. (1991).** Influence of growth conditions on the production of a bacteriocin, pediocin AcH, by *Pediococcus acidilactici* AcH.appl environ microbial. 57 : 1265-1267.
- Bhunja,AK, M.C Johnson, and B Ray,(1995).** Purification and partial characterization and antimicrobial spectrum of a bacteriocin produced by camobacterium pediococcus acidilactici. J Appl Bacteriol 65 : 261-268.
- Brede, D. A, T Faye, O Johnsborg, I Odegard, I.F Nes, et H Halo, (2004).** << Molicular and genetic characterization of propionicin F, a bacteriocin from Propionibacterium freuderium freudenriechii.>>Appl Environ Microb 70 : 7303-7310.
- Benkerroum , N, et A.Y Tamime.** «Technology transfer of some Moroccan: a review.» Food Microbiol 21 (2004): 399–413.
- Broadbent, JR,Steele JL,(2005):** Cheese flavour and the Genomics of lactic acid bacteria .ASM NEWS 71:121-128
- Bennama, R. (2012).** Streptococcus thermophilus : isolement et recherche systématique de souche indigènes productrices d'exopolysaccharides, Oran. Doctorat: 153.
- Baliarda, A. (2003).** Evaluation de la Réponse au stress chez les bactéries Lactiques appartenant aux genres *Pediococcus* et *tetragenococcus* approches physiques et génétiques.Thèse de doctorat, université Bordeaux, 394p.
- Boumadiane, Karima(2013):**Recherche des bactéries lactiques productrices des bactériocines et l'étude de leur effet sur des bactéries néfastes/Université de Tlemcen/Magister en Biologie. P 05.
- Bougurra Asma(2012):**Caractérisation des bactéries lactiques du lait de chamelle/MAGISTEREn Microbiologie/UNIVERSITE de SETIF.
- Björkroth, J, et W Holzapfel.** Genera *Leuconostoc*, *Oenococcus* and *Weissella*. 3e. The Prokaryotes, 2006. .

Boulouf, A. (2016). Technologie Alimentaire, Etude du pouvoir technologique de quelques bactéries lactiques du fromage traditionnel « Bouhezza ». Technologie alimentaire, frères mentouri Constantine. Magister: 135.

Brahimi, S. (2015). Isolement et caractérisation biotechnologique des bactéries lactique isolées à partir des margines d'olives « AMORDJ » fermenté, Oran 1 Ahmed ben Bella. Magister: 203.

Badel, S, T Bernardi, et P Michaud. «New perspectives for Lactobacilli exopolysaccharides.» *Biotechnol. Adv* 29 (2011): 54-66.

Belyagoubi, L. (2014). Antibiotiques produits par des bactéries (actinomycètes et bactéries lactiques) issus de différents écosystèmes naturels algériens, Aboubakr Belkaïd-Tlemcen.Doctorat: 209.

Bourgeois CM and Larpent JP. (1996). Microbiologie alimentaire : Aliments fermentés et fermentations alimentaires. Tec & Doc. Lavoisier, Paris, 432-704

C

Cotter, P, P Ross, et C Hill, (2013). <<Bacteriocin: a variable alternative to antibiotics>> *Nature revies Microbiology* 11 : 95-105.

Cotter, P.D, C Hill, et P Ross, (2013) <<Bacteriocin: developing innate immunity for food>> *Nature revies Microbiology* 3: 777-778.

Chinachoti ; (Lejeune 1997)

Cabo , M.L, Murado, M.A, Gonzalez, M.P, Pastoriza, L. (2001). Effects of aeration and pH gradient on nisin production. A mathematical model. *Enzym. Microb. Technol*, vol. 29,pp. 264-273.

Chatterjee, C, M Paul, L Xie, et W.A Van der Donk, (2005).<< Biosynthesis and Mode of Action of Lantibiotics.>> *Chem Rev* 105 : 633-683.

Carine Dortu, Philippe Thonart (2009) - Les bactériocines des bactéries lactiques : caractéristiques et intérêts pour la bioconservation des produits alimentaires, 13,143-154.

Caplice E., et Fitzgerald G.F. (1999) Food fermentation: Role of microorganisms in food production and preservation. *Int. J. Food microbial.*50:131-149

Cintas, L.M, P Casaus, L.S Havarstien, P. E Hernandez, and I. F Nes.(1997) «<Biochemical and genetic characterization of a novel sec-dependent bacteriocin from *Enterococcus faecium* P13 with a broad antimicrobial spectrum». *Appl Environ Microbiol.*63 : 4321-4330

Corcy J.C. et LEPAGE M. (1991). Fromage Fermiers. La maison Rustique, Paris,P.134-135.

D

De Vuyst L, et E.J Vandamme, (1994). *Antimicrobial Potential of Lactic Acid Bacteria.* Springer US.

Deegan L.H, P.D Cotter, et C Hill, (2006). «Bacteriocins: biological tolls for biopreservation and shelf-life extension.» *Int Dairy J* 16 : 1058-1071.

Desmazeaud, M. (1998) Bactéries lactiques et qualité des fromages. Laboratoire de recherches laitières, INRA Jouy-en-Josas. France.

Dimov, S, Ivanova, P, Harizonova, N. (2005). Genetic of Bacteriocins Biosynthesis by Lactic Acid Bacteria. *Biotechnology & Biotechnological Equipment.* 19: 4-10.

Diep D.B, R Myhre, O Johnsborg, A Aakra, et I.F Nes, (2003). «Inducible bacteriocin production in *Lactobacillus* is regulated by differential expression of the *pln* operons and by two antagonizing response regulators, the activity of which is enhanced upon phosphorylation.» *Mol Microbiol* 47 : 483–494..

Diane, G.(2006). Formulation et propagation de ferments Lactiques mésophiles à haut caractère aromatique. Université Laval QUEBEC.

Dib, W. (2015). Caractéristique et rôle probiotique des bactéries lactiques isolées à partir du lait de chèvre : effet immunomodulateur chez la souris Balb/c, ORAN. Doctorat: 188.

Dellaglio F., De Roissart H., Torriani S., Curk, M.C. et Janssens, D. (1994). «Caratéristiques générales des bactéries lactiques ». P : 25-116. In : De Roissart, Luquet F.M. (ed) Bactéries lactiques.Vol 1. Lorica Uriage, Paris, France.

Dortu C, and P Thonart, (2009). "Les bactériocines des bactéries lactiques : caractéristiques et." *Biotechnol. Agron. Soc. Environ* 13 : 143-154

E

El-Ghaish, S., Ahmadova, A., Hadji-Sfaxi, I., El-Mecherfi, K.E., Bazukyan, I., Choiset, I., Rabesona, H., Sitohy, M., Popov, Y. G., Kuliev, A. A., Mozzi, F., Chobert, J. M., Haertlé, T. (2011). Potential use of lactic bacteria for reduction of allergenicity and for longer conservation of fermented foods. *Trends in Food Sci. Technol.*, 22: 509-516

Ennahar, S, O Assobhel, and C Hasselmann, (1998). "Inhibition of *Listeria monocytogenes* in a smear-surface soft cheese by *Lactobacillus plantarum* WHE 92, a pediocin AcH producer." *J food protection* 2 : 186-91.

Ennahar, S, Y Asou, T Zendo, K Sonomoto, et A Ishizaki, (2002). «Biochemical and genetic evidence for production of enterocins A and B by cheese-isolated *Enterococcus faecium* WHE 81.» *Int. J. Food Microbiol* 70 : 291–301.

F

Finland G, K Sletten, and J Nissen-Meyer, (2002). «The complete amino acid sequence of the pediocin-like antimicrobial peptide leucocin C». *Biochem Biophys Res Commun.* 295 : 826-827

Finland G, V.G Eijsink, and J Nissen-Meyer, (2002). "Comparative studies of immunity proteins of pediocin-like bacteriocins ." *Microbiol* 148 : 3661-3670.

Franz C.M.A.P, M.J Van Belkum, W.H Holzapfel, H Abriouel, et A Galvez, (2007). «Diversity of enterococcal bacteriocins and their grouping in a new classification scheme.» *FEMS Microbiol Rev* 31 : 293–310

Federighi M. (2005). Bactériologie Alimentaire, Edition ECONMICA, 2eme édition, p 28.

G

Glavez A, H Abriouel, R.L Lopez, et N Ben Omar, (2007). «Bacteriocin-based strategies for food biopreservation .» *Int J Food Microbiol* 120 : 51–70.

Guerra,N.P ; Pastrana,L, (2002). Production of bacteriocins from *Lactococcus lactis* subsp.lactis CECT 539 and *Pediococcus acidilactici* NRRL, B-5627 using missel-processing wastes.Biotechnol,Appl,Biochem. 36 : 119-125.

Gratia ,A,(1925). «Sur un remarquable exemple d'antagonisme entre deux souches de colibacille.» *C. R. Soc Biol* 93 : 1040–1041

Galvin, M, C Hill et R.P. Ross. (1999). *Lett. Appl. Microbiol.* 28:355-358.

Gifford I.J, H.N Hunter, et H.J Vogel, (2005). «Lactoferricin: A lactoferrin- derived peptide with antimicrobial, antiviral, antitumor, and immunological properties.» *Cell Mol Life Sci* 62 : 2588-2598

Giraffa, (2003) G. Functionality of enterococci in dairy products. *Int.J.Food Microbiol*, 88: 215–222.

Gripon J.C, et M Yvon, (1998). «Utilisation de cetoacides pour intensifier la flaveur de produits a base de fromage WO 1998048645 A1.»

Gilliland S.E., 1985. Role of starter culture bacteria in food preservation. *Bacterial starter cultures for food*, éd. Gilliland SE CRC Press Inc., Boca Raton, USA, 175-185.

H

Holzappel, , W. H. (2002).Appropriate starter culture technologies for small-scale fermentation in developing countries. *Int. J. Food Microbiology.* 75: 197-212.

HirschA, E Grinsted, H.R Chapman, et A.T.R Mattick, (1951). «A note on the inhibition of an anaerobic sporeformer in Swiss-type cheese by a nisin-producing *Streptococcus*.» *J Dairy Sci* 18 : 205–206

Hardie J. et Whiley R. (1997). Classification and Overview of the Genera *Streptococcus* and *Enterococcus*. *Journal of Applied Microbiology.* 83(S1).

I

Idder,Z.(2014). Etude du pouvoir acidifiant des bactéries Lactiques appartenant au genre *Leucnoscoc*.

Imad AL KASSAA, Yanath BELGUESMIA, Nour-Eddine CHIHIB, Monzer HAMZE, Farida BENDALI, Karim NAGHMOUCHI, Ismail Fliss, Djamel DRIDER Book- January 2015. Application des Bactériocines et bactéries lactiques dans le contrôle des pathogènes alimentaires. Chapitre 10.

K

Klaenhammer, T.R, (1993). «Genetics of bacteriocins produced by lactic acid bacteria.» *FEMS Microbiol Rev* 2 : 337-349.

Klaenhammer T.R, R Barrangou, B Logan Buck, and M.A Azcarate-Peril,(2005). "Genomic features of lactic acid bacteria effecting bioprocessing and health." *FEMS Microbiol. Rev* 29 : 393-409.

Kraus D, and A Peschel,(2006). " Molecular mechanisms of bacterial resistance to antimicrobial peptides." *Curr Top microbiol immunol* 306 : 231-250.

Kim, W.S, Hall, Rj, Dunn, N.W. (1997). The effect of nisin concentration and nutrient depletion on nisin production of *Lactococcus lactis*. *Appl Microbiol Biotechnol.* 48 : 449-453.

Kramer N.E, S.A Van Hijum, J Knol, J Kok, et O.P Kuipers,(2006). «Transcriptome analysis reveals mechanisms by which *Lc. lactis* acquires nisin resistance .» *Antimicrob Agents Chemother* 50 : 1753-1761.

Kandler O,et Weiss N.(1986).*Lactobacillus*.in *Biology of Microorganisms on Grapes,in Must and in Wine* . König, H. et Fröhlich, J. (2009) springer ed,Allemagne,p 3-29.

König H, et J Fröhlich, (2009). *Biology of microorganisms on grapes, in must and in wine.* Édité par SpringerVerlag. Berlin Heidelberg.

L

Lejeune, R, Callewaert, R, Crabbé,K, De Vugst, L,(1998). Modelling the growth and bacteriocin production by *Lactobacillus amylovorus* DCE 471 in batch cultivation. *J. Appl Bacteriol.* 84 : 159-168.

Lechardeur, D, et al. «Using heme as an energy boost for lactic acid bacteria.» *Curr Opin Biotechnol* 22 (2011): 143-9.Leroy, F, T De Winter, T Adriany, P Neysens, et L

De Vuyst . «Sugars relevant for sourdough fermentation stimulate growth of and bacteriocin production by lactobacillus amylovorus DCE 471.» *Int J Food Microbiol* 112 .(2006): 102-111.

Larpent J.P., 1997. Microbiologie alimentaire. Tec & doc, Lavoisier. Paris. 10-72.

Larpent,K., Ingmer H. & Varmanen P., (2006). Proteolytic systems of lactic acid bacteria. *Appl. Microbiol.Biotechnol.*, **71**, 394-406.

Leveau, Y, and M Bouix. (1991). Microbiologie industrielle : les microorganismes d'intérêt industriel, edited by Tec & Doc (Lavoisier. Paris), pp. 85-87

M

Makhloufi, K. M. (2011). Caractérisation d'une bactériocine produite par une bactérie lactique leuconostoc pseudomesenteroides isolée du boza, pierre et marie curie – paris. Doctorat:229

Milles S, I.C Stanton, C Hill, and R.P Ross, (2011). "New Developments and Applications of Bacteriocins and Peptides in Foods." *Annu. Rev. Food Sci. Technol* 2 : 299-329.

Munoz-Rojas, J. (2008). in : Martinez J (ed) Microbio en Linea: Bacteriocinas: una estrategia de competencia microbiana propuesta como alternativa de antibioticos dirigidos

Mazzotta A.S, A.D Crandall, and T.J Montville,(1997). "Nisin resistance in Clostridium botulinum spores and végétative cells ." *Appl Environ Microbiol* 63 : 2654-2659

Martinez, J.M et al. (2000). *Appl. Environ. Microbiol.* 66:3545-3549.

Moraes, M.P, L.M Perin, M.B.T Ortolani, A.K Yamazi, G.N Viçosa, and L.A Nero. "Protocols for the isolation and detection of lactic acid bacteria with bacteriocinogenic." *Food Sci.Technol* 43 (2010): 1320-1324.

McKay, L.L et Baldwin, K.A. (1990). Applications for biotechnology : present and future improvements in lactic acid bacteria. *FEMS Microbiol. Rev.* 87 :3-14.

Mkrtychyan, H., Gibbons, S., Heidelberger, S., Zloh, M., Limaki, H.K. (2010). Purification, characterization and identification of acidocin LCHV, an antimicrobial peptide produced by Lactobacillus acidophilus n.v. Er 317/402 strain narine. *Int.J. Antimicrobial Agents.*, 35: 255-260

Marth E.H, and J.L Steele,(2001). *Applied dairy microbiology.* 2e. Edited by Marcel Dekker. New York .

Morelli, L., Calleagri, M.L., Vogensen, F.K. et von Wright, A., (2012). Genetics of Lactic Acid Bacteria. In Lahtinen, S., Ouwehand, A.C., Salminen, S. et von Wright, A., Eds., *Lactic Acid Bacteria Microbiological and Functional Aspects*, 4th Edition, Taylor & Francis Group LLC, CRC Press, Boca Raton, 17-38.

Mahi, M. (2010). Étude technologique des bactéries lactique isolées à partir du lait de Brebis Oran. Magister: 107.

Mahamedi, A.E. (2015). Etude des qualités hygiéniques, physico-chimique et microbiologiques des ferments et des beurres traditionnels destinés à la consommation dans différentes régions d'Algérie. Thèse de magister. Université d'Oran, 137p.

N

Nettles C.G, and S.F Barefoo,(1993). "Biochemical and genetic characteristics of bacteriocins of food-associated lactic acid bacteria." *J Food Prot* 56 : 338-356.

Naghmouchi K, E Kheadr, C Lacroix, and I Fliss,(2007). "Class I/ class IIa bacteriocin crossresistance phenomenon in *L. monocytogenes*." *Food Microbiol* 24 : 718-727.

Nes I. F., S.S Yoon¹, et D.B Diep,(2007). «Ribosomally Synthesized Antimicrobial Peptides (Bacteriocins) in Lactic Acid Bacteria.» *Review Food Sci Biotechnol* 16 : 675-690 .

Nissen-Meyer J, P Rogne, C Oppegård, H.S Haugen, and P.E Kristiansen,(2009). "Structure-function relationships of the non-lanthionine-containing peptide (class II) bacteriocins produced by gram-positive bacteria." *Curr Pharm Biotechnol* 10 : 19-37.

O

Orla--jansen, S. H (1919) the lactic acid bacteria in biology of microorganisms on grapes, in must and in wine. Konig H. ET Frohlich J. (2009) Springer Ed, Allemagne, p3-29.

P

Parente et Ricciardi,(1999). production, recovery and purification of bacteriocins from lactic acid bacteria. *Appl Microbiol Biotechnol* 52:628-638

Pfeiler E.A, and T.R Klaenhammer,(2007). "The genomics of lactic acid bacteria." *TRENDS MICROBIOL* 15 : 546–553.

Piard, J.C, et M Desmazeaud. «Inhibiting factors produced by lactic acid bacteria. 1.» *Lait* 71 (1991): 525 - 541.

Penaud, S. (2006). Analyse de la séquence génomique et Etude de l'adaptation à l'acidité de *L. delbrueckii ssp. bulgaricus* ATCC11842 . thèse de Doctorat de l'Institut National Agronomique de Paris-Grignon, 267p

R

Ruben,A, Perez, Elisa A, Gonzalez, Ana T, Agrasar, Guerra Nelson, P. (2014). A Review on some important Factors Affecting Bacteriocin Production by *Lactococci, Lactibacilli and Pediococci*.*current. biochemical. Engineering.* 1:9-24

Richards R.C, D.B O'Nei, P Thibault, and K.V Ewart,(2001) . "Histone H1: An antimicrobial protein of Atlantic salmon (*Salmo salar*)." *Biochem Biophys Res Co* 284 : 549-555.

Ricciardi A, and F Clement,(2000) . "Exopolysaccharides from lactic acid bacteria : Structure, production and technological applications." *ITAL J FOOD SCI* 12 : 23-45

Ross R.P, S Morgan, et C Hill, (2002). «Preservation and fermentation: past, present and.» *Int J Food Microbiol* 79 : 3-16

Ruas, M.P, and G.C De Los Reyes. "Methods for the screening, isolation and characterization of exopolysaccharides produced by Lactic Acid Bacteria." *J Dairy Sci* 88 (2005): 843-856.

Ruiz, F. O., Gerbaldo, G., Asurmendi, P., Pascual, L. M., Giordano, W., and Barberis, I. L. (2009) Antimicrobial activity, inhibition of urogenital pathogens, and synergistic interactions between *Lactobacillus* strains. *Curr Microbiol* .59: 497-501.

S

- Savijoki K., Ingmer H. & Varmanen P., (2006).** Proteolytic systems of lactic acid bacteria. *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, **71**, 394-406.
- Settanni, L, and A Corsetti.** "Application of bacteriocins in vegetable food." *Int J Food Microbiol* 121 (2008): 123-138.
- Siman G.L, and S.L Gorbach,(1987).** *Intestinal flora and gastro-intestinal function*. Edited by L.R Johnson. New York: Raven Press .
- Stiles M.E, and W.H Holzapfel,(1997).** "Lactic acid bacteria of foods and their current taxonomy." *Int J Food Microbiol* 36 : 1–29
- Salminen S., Wright, A. V., Ouwehand, A. (2004).**« Lactic acid bacteria.microbiological and functional aspects ». Marcel Dekker. Inc., U.S.A. S, A.V WRIGHT, and A OUWEHAND. *Lactic acid bacteria microbiological and functional aspects*. Edited by Marcel Dekker.
- Sneath P.H.A. 2001.** The Archaea and the deeply branching and phototrophic bacteria Bacterial Nomenclature. In Bergey's manual of systematic bacteriology. Garrity G.M., Boone D.R., Castenholz R.W. 2e Ed. 721, 83 - 88.
- Schroeter.J et Kleanhammer.T(2009):** Genomics of lactic acid bacteria .FEMS Microbiology Letters,292(1):1-6.

T

- Tattevin , P, A Lorleach, and M Revest,(2014) .** "Innovative treatments for multidrug-resistant bacteria ." *Bull Acad Natle Méd* 198 : 439-457.
- Tanous C, A Gori, L Rijnen, E Chambellon, and M Yvon,(2005).** "Pathways for α -ketoglutarate formation in *Lactococcus lactis* and their role in amino acid catabolism." *Int. Dairy J* 15 : 759-770.
- Tou E.H., Guyot J.K., Mouquet R.C., Rochette I., Counil E., Traore A.S., Treche S., 2006.** Study through surveys and fermentation kinetics of the traditional processing of pearl

millet (*Pennisetum glaucum*) into ben-saalga, a fermented gruel from Burkina Faso. *Int. J. Food Microbiol.* 106 : 52-60

Tanous,C, E Chambellon, D Le Bars, G Delespaul, and M Yvon,(2006). "Glutamate dehydrogenase activity can be transmitted naturally to lactococcus lactisstrains to stimulate amino acid conversion to aroma compounds." *Appl Environ Microbiol* 72 : 1402–1409.

U

Ukuku DO, H Zhang , L Huang,(2006) .” Growth parameters of *Escherichia coli* O157:H7, *Salmonella* spp., *Listeria monocytogenes*, and aerobic mesophilic bacteria of apple cider amended with nisin-EDTA”. *Foodborne Pathog Dis.* 6 : 487–94

Uehara S., Monden K., Nomoto K., Seno Y., Kariyama R. and Kumon H., 2006. A pilot study evaluating the safety and effectiveness of *Lactobacillus* vaginal suppositories in patients with recurrent urinary tract infection. *Int. J. Antimicrobial Agents*, 28: 30-34

V

Vuyst, Luc, (1994). *Biotechnology Letters* 16, 287-292

Van Belkum, M.J, Stiles,M. (2000). Nonlantiotic peptides from lactic acid bacteria. *Nat. Prod. Rep.* 17:323-335

Vandamme P, B Pot, M Gillis, P de Vos, K Kersters, and J Swings,(1996). "Polyphasic taxonomy, a consensus approach to bacterial systematics." *Microbiol Rev* 60 : 407-438.

Vos, P et al, (2009).*Bergey's Manual of systematic Bacteriology. 2e.Vol 3.* New York, NY : Springer-Verlag.

W

Woraprayote W, et al,(2013). "Anti-listeria activity of poly(lactic acid)/sawdust particle biocomposite film impregnated with pediocin PA-1/AcH and its use in raw sliced pork." *Int J Food Microbiol* 167 : 229-235.

Y

Yateem A., Balba, M. T., Al-Surrayai, T., Al-Mutairi, B., Al-Daher, R. (2008).« Isolation of lactic acid bacteria with probiotic potential from camel milk ». *Int. J. Dairy Sci.* , 3: 194- 199.

Z

Zalacain, I., Zapelena, M.J., Astiasaran, I., Bello, J. (1996). addition of lipase from *Candida cylindracea* to a traditional formulation of a dry fermented sausage. *meat science*, 42: 155-163.

Résumé :

Les bactéries lactiques sont naturellement parfaites dans notre environnement et notre alimentation. Connus de puis long temps, pour leurs propriétés de produits les substances antimicrobienne, leurs propriétés technologique et leurs utilisation dans la fermentation et la bio préservation des aliments et comme une alternative au traitement l'anti bio-résistants des bactéries pathogènes.

Abstract:

Lactic bacteria are naturally perfect in our environment and our diet. They know for a long time, for their properties produce antimicrobial substances, their technological properties and their uses in fermentation and bio food preservation and as an alternative to the treatment of pathogenic bacteria.

المخلص

تعتبر بكتيريا حمض اللاكتيك (اللبني) جزءا طبيعيا من بيئتنا وتغذيتنا, وقد عرفت منذ وقت طويل عن ملكيتها لإنتاج مواد تحت الصفيح المضادة للميكروبات وعن مميزاتها التقنية , ولقد استخدمت للتخمير والحفظ الحيوي للأطعمة و كبديل لتجنيد مضادات بيولوجية للبكتيريا المسببة للأمراض.