الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supèrieur et de la Recherche Scientifique

جـــامعـــة محمد الصديق بن يحـي جـيـــجـــل


Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie
Département : De Microbiologie Appliquée
et des Sciences Alimentaires

كليـة عـــلوم الطـــبيعـة و الحـــياة
قســـم : الميكروبيولوجيا التطبيقية
و علوم التغذية


# Mémoire de Fin de cycle

En vue de l'obtention du diplôme :
**Master Académique en Sciences de La Nature et de la Vie**
**Filière :** Sciences Biologiques

**Option : Microbiologie Appliquée**

Thème

# Rôle du pouvoir anti-adhésif exercé par des souches de bactéries lactiques dans l'industrie agroalimentaire


**Membres de jury :**

**Présidente :** Dr Amira Samiya
**Examinatrice :** Mme Benhamada Wahiba
**Encadrante :** Dr Ait Meddour Amel

**Présenté par :**

**M$^{elle}$ :** Bensid Imane
**M$^{elle}$ :** Djenoub Kaouther
**M$^{elle}$ :** Hadji Insaf



جامعة محمد الصديق بن يحيى
مكتبة الكلية
كلية علوم الطبيعة و الحياة


**Année Universitaire 2021-2022**

**Numéro d'ordre** (bibliothèque) :……..…

# Remerciements

*Toutes nos Gratitudes à Madame Ait Meddour Amel, notre chère encadrante pour sa rigueur, son enthousiasme, sa patience, sa confiance et sa présence devant nous.*

*Merci de nous avoir donné le courage, de nous avoir dirigé. Nous avons appris beaucoup de chose tout au long du temps passé au cours des années d'études. Nous vous remercierons beaucoup d'être toujours prête à répondre à nos questions.*

*Nous tenons à remercier profondément Mme Amira, d'avoir accepté de présider le jury de soutenance.*

*Nous adressons nos sincères remerciements à Mme Benhamada, pour l'honneur qu'elle nous fait d'examiner ce modeste travail.*

*Nous aimerons également exprimer nos vifs remerciements à tous les enseignants du département de Microbiologie Appliquée et Sciences Alimentaires*

# Dédicaces

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

*Je dédie ce modeste travail :*

*À mon cher " Père", mon pilier, mon modèle et ma fierté.*

*À ma chère " Mère", mon deuxième pilier dans la vie, qui me permet de poursuivre mon chemin tout en étant à mes côtés. Merci pour ton amour et ton assistance.*

**Que Dieu vous bénisse et vous protège, mes cher(e)s parents *.*

*À mon cher frère MOHAMMED*

*À ma très chère sœur IKRAM*

*À mes binômes : " Kaouther et Insaf"*

*À mes ami(e)s proches : " Widad,Randa,Rania,Amin,Nacer,Raouia, ,Aya,Loubna,Amira ,Bouchra".*

**Imane**

# Dédicaces

*Grâce à ALLAH le tout-puissant je dédie ce travail :*

*À mes très chers parents qui m'ont soutenu et encouragé durant toute ma vie sans vous je ne serai pas qui je suis aujourd'hui.*

*À ma chère et unique sœur Yousra qui est toujours à mes côtés.*

*À mes chères tantes Nacera, Saïda, Nassima, Radia et mon cher oncle Fayçal qui sont toujours présents pour moi.*

*À toute ma famille Hadji et Benamor.*

*À mes chères binômes Kaouther et Imane pour leurs aide et encouragement.*

*Insaf.*

# Dédicaces

*Je dédie ce travail à*

*Mes parents, rien au monde ne pourrait compenser tous les sacrifices*

*qu'ils ont consentis pour notre éducation et notre bien-être afin que nous*

*Puissions réaliser nos objectifs.*

*A mes frères MESSAOUD, ZAKARIA et ma sœur SANA*

*Et à toute ma chère famille*

*À mes chères amies et binômes : "IMANE et INSAF "*

*A tous mes ami(e)s*

*À tous ceux qui m'ont soutenu*

*A Tous ceux que J'aime*

Kaouther

# Sommaire

# Sommaire

Liste des abréviations……...……....i.
Liste des figures……...……...ii.
Liste des tableaux……...……iii.
**Introduction ……..……1**

**Chapitre I. Adhésion et formation de biofilms**

I.1.Historique et définition.....…….……3

I.2.Composition et architecture…….……..…….....3

I.3. Étapes de formation……4

I.3.1. Transport…….……..…….....5

I.3.2. Adhésion…….……...……....5

I .3.3. Maturation du biofilm Maturation du biofilm…….……5

I 3.4. Dispersion et détachement du biofilm…..……..……..….6

I.4. Impact des biofilms ……..……...6

I.4.1.En milieu naturel …….....……...6

I.4.2.En milieu médical ……...….……...……..……..6

I .4.3. En industrie agroalimentaire…….…....…..….7

I.4.3.1. Bactéries responsables de la formation des biofilms négatifs……..…...7

**Chapitre II. Bactéries lactiques**

II.1.Définition et caractères généraux ……..……..10

II.2. Habitat ……...…….....10

II.3.Classification ……...……11

II.4. Activité antimicrobienne ……12

II.4.1.Compétition nutritionnelle ……....……..…….....12

II.4.2.Substances antibactériennes ……..……12

**Chapitre III. Inhibition de l'adhésion des bactéries indésirables**

III.1. Nettoyage et désinfection……..…….……..19

III.2. Nouvelles stratégies de lutte et leurs rôles …….....……...…...…19

III.2.1. Implantation de biofilms de bactéries lactiques……..……...….19

III.2.2. Utilisation des métabolites des bactéries lactiques…….…….……21

**Conclusion ……..……...…...24**

**Références bibliographiques**

**Résumé-Abstract-الملخـــــص**

**C-di-GMP :** Acide Diguanylique Cyclique

**EPS :** ExoPolySaccharide

**FAO :** Food and Agriculture Organization

**GRAS :** Generally Accepted as Safe

**KDa :** Kilo Delton.

**OMS :** Organisation Mondiale de la Santé

**Ppm :** Partie Pour Million

**TM:** TradeMark

**Fig.1.** Micrographie d'un biofilm observé par un microscope électronique à balayage d'un biofilm…3

**Fig.2.** Image en forme de tours d'un biofilm bactérien……....4

**Fig.3.** Etapes de formation de biofilms……..4

**Fig.4.** Arbre phylogénétique des bactéries lactiques et genres apparentés……..11

**Fig.5.** Mode d'action des acides organiques sur une cellule bactérienne ……..…13

**Fig.6.** Nouvelle classification des bactériocines des bactéries lactiques……16

**Tableau I.** Familles et principaux genres de bactéries lactiques…….....….11

# Introduction

La contamination des surfaces par les microorganismes indésirables (pathogènes et/ou d'altération) est de plus en plus identifiée comme une source de problèmes sévères en industrie agroalimentaire (laiteries, filières fromagères fermières, brasseries, salaisonneries…). En effet, ce phénomène est à l'origine de la corrosion des matériaux d'équipement, de l'encrassement des échangeurs de chaleur ou encore du colmatage des membranes de filtration. Les conséquences économiques de tels phénomènes bioadhésifs sont particulièrement importantes et sont dues notamment aux pertes inhérentes à la dégradation prématurée des produits finis ainsi qu'à l'impact sanitaire associé aux toxi-infections alimentaires **(Pasvolsky et *al.*, 2014).**

L'élimination de la formation de biofilms indésirables couplée à la maitrise de l'hygiène des surfaces solides en contact avec les milieux biologiques restent un sérieux problème. Pour cette raisons, les chercheurs ont opté pour de nouvelles approches, autres que les stratégies basées sur l'application de procédures de nettoyage et désinfection qui s'avèrent souvent inefficaces du fait de la résistance accrue des microorganismes sous forme de biofilms et même souvent néfastes pour l'environnement et la santé humaine **(Giaouris et *al.*, 2014).**

Les bactéries lactiques sont d'une grande importance pour l'industrie agroalimentaire en particulier l'industrie laitière et fromagère. La plupart de ces bactéries sont classées comme étant des microorganismes sûres (GRAS : Generally Recognised As Safe), parce qu'ils sont non pathogènes, capables d'améliorer les caractéristiques organoleptiques et la qualité nutritionnelle des aliments tout en assurant leur conservation par la production des composés antimicrobiens tels que les acides organiques, le reuterine, le diacétyle, le peroxyde d'hydrogène et les bactériocines. Elles sont aussi connues comme agents de nettoyage car elles sont utilisées pour l'inhibition ou la réduction de la formation de biofilms indésirables par le développement des surfaces anti-biofilms **(Camargo et *al.*, 2018, Ajao et *al.*, 2021).**

L'objectif de notre étude consiste à présenter le rôle de l'effet antiadhésif exercé par les bactéries lactiques vis-à-vis des bactéries pathogènes et d'altération dans l'industrie agroalimentaire.

Notre manuscrit est structuré de trois chapitres.

- Le premier chapitre intitulé : adhésion et formation de biofilm, dans lequel les étapes de formation, l'architecteur et l'impact du biofilm négatif dans l'industrie agroalimentaire sont présentés.
- Le deuxième chapitre donne une vue générale sur les bactéries lactiques (caractéristique, habitat, classification…..).

- Le troisième chapitre présente le pouvoir antiadhésif exercé par les bactéries lactiques et son rôle dans l'industrie agroalimentaire.

Finalement, une conclusion qui permet de récapituler les principales parties de cette étude ainsi que les perspectives envisagées de cette thématique au futur.

# Chapitre I : Adhésion et formation de biofilms

## I.1. Historique et définition

Antony Van Leeuwenhoek en 1632-1723 a été le premier à décrire un biofilm quand il a observé des microbes prélevés de sa plaque dentaire sous un microscope auto-construit, également Louis Pasteur en 1822-1895 a observé et dessiné des agrégats de bactéries responsables de fermentation **(Høiby, 2017).** En 1943 Zobell, a confirmé que les eaux de mer environnante ont moins de bactéries qu'en surface **(Jamal et *al.*, 2018).** Le terme biofilm (Fig.1) a été proposé par Costerton est défini comme un agrégat de cellules microbiennes où elles sont souvent intégrées dans une matrice autoproduite **(Høiby, 2017 ; Flemming et Wuertz, 2019),** constituée généralement de polymères extracellulaires qui sont principalement des polysaccharides, des protéines, des acides nucléiques et des lipides. Ils assurent la stabilité des biofilms et leur adhésion aux surfaces **(Flemming et Wingender, 2010).** Les agrégats microbiens sont extrêmement diversifiés, allant de colonies monocouches d'épaisseur variable à des structures très hétérogènes comme le tapis microbien **(Flemming et Wuertz, 2019).**

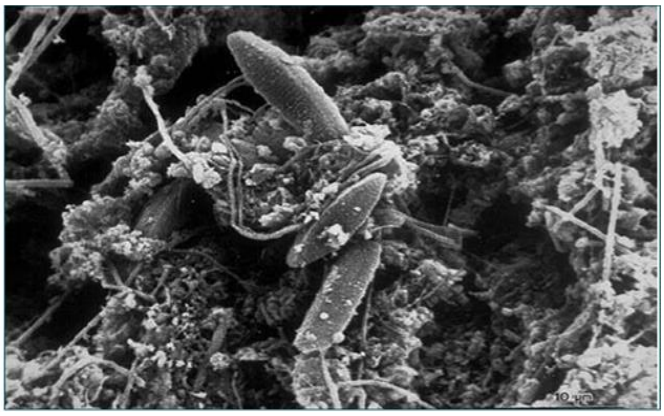

**Fig.1.** Micrographie d'un biofilm observé par un microscope électronique à balayage **(Donlan, 2002).**

## I.2. Composition et architecture du biofilm

La structure tridimensionnelle du biofilm et la présence d`une matrice extracellulaire qui réduit la diffusion au sein du biofilm conduisent à l`apparition de gradients d`oxygène dont la concentration décroît depuis la surface vers la base du biofilm. Des niches écologiques vont ainsi se créer, par exemple, les bactéries aérobies vont se développer dans les régions du biofilm où l'oxygène est le plus abondant et vont fournir le substrat nécessaire aux bactéries anaérobies se développant dans les couches les plus profondes. Selon certains auteurs, l'existence des canaux à eau servent **(Parsek et *al.*, 2003 ; Jamal et *al.*, 2018),** pour distribuer l'apport en nutriments et

éliminer les déchets du métabolisme bactérien du biofilm **(Lebeaux et Ghigo, 2012).** Les macro-colonies, par rapport aux micro-colonies sont composées d'une plus grande quantité de cellules enfermées dans une matrice extracellulaire et ont une plus grande hétérogénéité métabolique et physiologique **(Ghannoum et O'Toole, 2004).**

Divers aspects de l'architecture du biofilm peuvent être existés, des analyses structurales récentes ont montré que les biofilms épais ont des structures élaborées dans lesquelles des microcolonies peuvent être présentes dans des structures en forme de tours ou de champignons (Fig.2) **(Costerton et *al.*, 1995 ; Shirtliff et *al.*, 2002 ; Donlan et Costerton, 2002).**

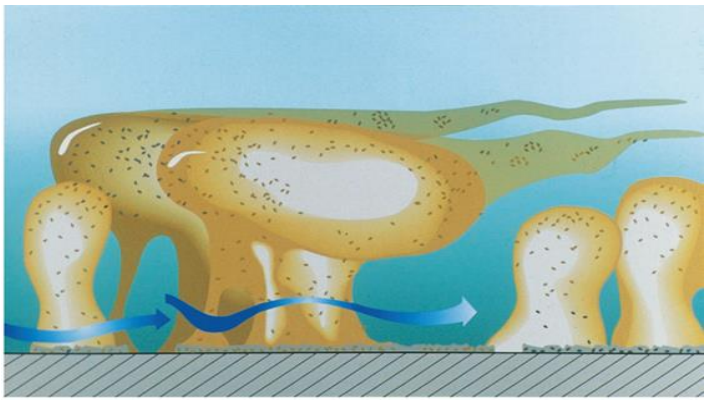

**Fig.2.** Image en forme de tours d'un biofilm bactérien **(Donlan et Costerton, 2002).**

### I.3. Étapes de formation de biofilm

Les biofilms bactériens sont formés suite aux stress environnementaux tels que les pH, les températures extrêmes, les agents antimicrobiens, les concentrations élevées en sel, les nutriments limités… **(Muhammad et *al.*, 2020).** Leur formation se produit en quelques étapes illustrées dans la figure ci-dessous :

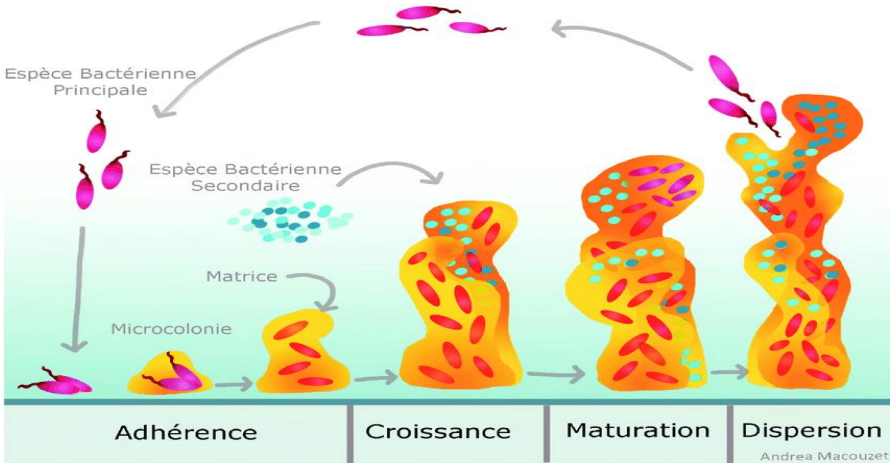


**Fig.3.** Etapes de formation de biofilms **(Tremblay et *al.*, 2014).**

### I .3.1. Transport

La formation d'un biofilm commence par une interaction favorable entre quelques cellules planctoniques et des surfaces abiotiques comme le métal, le verre, le plastique, les implants médicaux, l'acier inoxydable… ou biotiques telles que les cellules épithéliales, la peau humaine et les tissus animaux… **(Muhammad et *al.*, 2020 ; Sharma et *al.*, 2016).** Les bactéries planctoniques, se déplacent grâce aux différents appendices bactériens, tels que les flagelles, les cils…, ou transportées à proximité de la surface par mouvement brownien, sédimentation, convection… vers les surfaces conditionnées (protéiques, sucres, éléments minéraux adsorbés sur la surface **(Muhammad et *al.*, 2020).**

### I.3.2. Adhésion

- **Adhésion réversible :** les bactéries adhèrent de manière réversible sur les surfaces conditionnées principalement par des liaisons chimiques non covalentes (liaisons électrostatiques, hydrophobes, de van der Waals et acide/base de Lewis) **(Jamal et *al.*, 2018).**
- **Adhésion irréversible :** elle est atteinte grâce aux différentes liaisons (hydro-ioniques, covalentes, interactions hydrophobes…) et à la production d'exopolymères régulée par le « *Quorum Sensing* » qui joue un rôle important dans l'adhésion aux surfaces **(Muhammad et *al.*, 2020).** Après la stabilisation de l'adhésion des bactéries sur la surface biotique ou abiotique, le processus de formation des microcolonies par : (i) la multiplication, (ii) la division des cellules microbiennes et (iii) la production de substances exopolymeriques (principalement composées de polysaccharides et de protéines) est initié par une signalisation chimique/*Quorum Sensing* **(Jamal et *al.*, 2018).**

### I.3.3. Maturation

Le biofilm se développe et acquiert une structure tridimensionnelle complexe, les bactéries se multiplient par divisions cellulaires, communiquent via des molécules signal (*Quorum Sensing*) et orientent leur métabolisme afin de s'adapter à leur état sessile. Cette étape est fortement influencée par les conditions environnementales (température, humidité, pH, nature de la surface). Le biofilm mature se développe jusqu'à atteindre une épaisseur parfois millimétrique **(Muhammad et *al.*, 2020).**

### I.3.4. Dispersion/ détachement du biofilm

Ce processus est considéré comme une stratégie des cellules bactériennes pour quitter les biofilms et poursuivre un autre cycle de vie de biofilms. Ce phénomène peut être naturel et permet aux cellules de former de nouvelles microcolonies **(Muhammad et *al.*, 2020).** Il se déroule en trois étapes :

- ✓ Détachement des cellules des microcolonies,
- ✓ Déplacement des cellules vers un substrat,
- ✓ Adhésion des cellules au nouveau substrat.

## I.4. Impact des biofilms

### I.4.1. En milieu naturel

L'habitat naturel des bactéries est très varié, les biofilms ont été observés dans les eaux usées, les sources d'eaux chaudes…. **(Ward et *al.*, 1998),** les végétaux représentent aussi un habitat favorable à la formation de biofilms, ces derniers ont été détectés sur les racines au niveau de la rhizosphère **(Davey et O'Toole, 2000).** Dans la nature, les biofilms ont des impacts bénéfiques multiples, puisqu'ils sont responsables dans le sol du recyclage des nutriments, ils jouent un rôle important dans la production d'oxygène, dans la fixation du carbone et de l'azote mais également dans les processus de biominéralisation ou de bioremédiation. Les biofilms peuvent également être utilisés comme indicateurs de pollution afin de déterminer le degré de pollution des cours d'eau. Les biofilms fluviaux en effet ont la faculté d'accumuler les polluants éventuels sur de longues périodes et donnent ainsi une indication sur le degré de pollution chronique de leur habitat **(Sabater et *al.*, 2007).**

### I.4.2. En milieu médical

Les biofilms sont à l'origine d'environ 80% des infections microbiennes chroniques chez l'être humain. Il a été établi que les biofilms sont impliqués dans 65% des infections nosocomiales **(Chicurel, 2000 ; Parsek et Singh, 2003).** Ils se développent à la surface des dispositifs médicaux et biomédicaux tels que les lentilles de contact, les cathéters, les prothèses dentaires et articulaires, sur les surfaces des tissus morts et à l'intérieur des tissus vivants **(Sharma et *al.*, 2019 ; Muhammad et *al.*, 2020).** Leur éradication pose de réels problèmes dans le domaine médical, en effet, si les traitements par antibiotiques classiques sont efficaces sur les bactéries planctoniques, ils révèlent parfois une efficacité quasiment nulle sur les biofilms **(Shakibaie et *al.*, 2014).** Dans ce cadre, le cas le plus étudié est celui de *Pseudomonas aeruginosa* responsable d'infections

pulmonaires chroniques chez les patients atteints de mucoviscidose lorsqu'elle est organisée en biofilm **(Hatchette et *al.*, 2000 ; Rossolini et Mantengoli, 2005).**

### I.4.3. En industrie agroalimentaire

En industrie agroalimentaire, les biofilms sont particuliers et ne correspondent pas complètement aux biofilms établis dans les écosystèmes naturels. Certains biofilms formés dans les ateliers de transformation des aliments, l'étape de nettoyage et désinfection est incluse dans le cycle de formation du biofilm **(Shi et Zhu, 2009).** Les molécules organiques se déposent en premier sur la surface de l'équipement formant un film de conditionnement.

Les bactéries au sein de biofilms sont capables de survivre dans des conditions particulièrement difficiles (basses températures, pH acides, milieu salin…), de développer des mécanismes d'adaptation aux agressions extérieures rencontrées, d'adhérer puis de coloniser une grande variété de supports récepteurs. Les laiteries, les filières fromagères fermières, les brasseries et les salaisonneries sont confrontées à l'adhésion des bactéries indésirables sur les surfaces des équipements (cuves, canalisations et pompes), ce qui est à l'origine de la corrosion des matériaux d'équipement (biocorrosion), de l'encrassement des échangeurs de chaleur….. Elles peuvent être retrouvées sur les sites de production alimentaire, ou des matériaux de conditionnement **(Costerton et Lappin-Scott, 1989 ; Fonnesbech et *al.*, 2001),** et de rester viables même après les procédures de nettoyage et de désinfection **(Elevers et *al.*, 1999).** Certaines de ces bactéries persistantes au sein de l'équipement peuvent se détacher et contaminer le produit. Elles peuvent de ce fait, induire des effets néfastes en termes de qualité des produits, d'hygiène et de santé publique (toxi-infections alimentaires). De ce fait, il est important de connaitre quelles sont les principales bactéries auxquelles doit faire face l'industrie agroalimentaire.

#### I.4.3.1. Bactéries responsables de la formation des biofilms négatifs :

- ***Escherichia coli :*** selon certains auteurs, l'intervention des appendices extracellulaires comme les *fimbriae* ou les *curli* leur permet d'avantage d'adhérer aux surfaces inertes. De plus, d'après **Sharma et *al.* (2016),** plusieurs petites molécules telles que l'acide diguanylique cyclique (c-di-GMP) sont responsables du passage de l'état planctonique à l'état sessile. Dans les fermes d'exploitation laitière, les espèces d'*Escherichia coli* sont souvent présents sur les machines à traire, ces espèces peuvent être véhiculés dans le lait lors de la traite, leur ingestion peut être à l'origine d'intoxications alimentaires. Dans l'industrie laitière, la contamination des aliments par *Escherichia coli* peut se produire durant la

transformation et la préparation de l'aliment. L'étude de **Denny et *al.* (2008),** a montré qu'*Escherichia coli* O157: H7 considéré comme hautement pathogène a provoqué de nombreuses infections dues à une consommation d'un lait contaminé et/ou des produits laitiers, ses infections ont été principalement attribuées à la formation de biofilms. Les entérobactéries, ont été souvent isolées à partir des usines de transformation de crevettes, **Bagge-Ravn et *al.* (2003),** se sont intéressés à la transformation des produits de la mer et ont montré que les bactéries les plus adhérentes aux équipements dans ce type d'industrie pouvaient résister aux procédures de nettoyage et de désinfection ce qui constitue un réel problème dans ce secteur.

- ***Staphylococcus aureus :*** *Staphylococcus aureus* peut se développer à des températures de 7°C-48,5°C, à des pH 4,2- 9,3 et jusqu'à 15 % de NaCl **(Kadariya et *al.*, 2014).** Cette espèce est la principale cause d'environ 25 % des épidémies d'origine alimentaire en Chine, liées à la sécrétion d'entérotoxines **(Wang et *al.*, 2017).** Cette espèce bactérienne est souvent trouvée dans les usines de fabrication/transformation des aliments en raison de sa capacité à adhérer aux surfaces inertes et par conséquent à former des biofilms. **Tang et *al*. (2015)** ont signalé la présence de *Staphylococcus aureus* dans la viande crue (95,5 %), les produits de viande cuits (93,5 %), les produits à base de soja (86,7 %) et les légumes marinés (78,1 %). Selon **Flint et *al.* (1997)**, la formation des biofilms à la surface des équipements en industrie laitière est une source majeure de contamination des produits laitiers affectant négativement leur qualité.

- ***Salmonella :*** les salmonelloses sont associées à une variété de produits frais, notamment les la laitue, le fenouil, la coriandre, les cantaloups, le jus d'orange non pasteurisé, les tomates, les melons, la mangue, le céleri et le persil **(Lapidot et *al.*, 2006).** Des études ont montré que les composants de surface des cellules bactériennes tels que la cellulose, les flagelles et les *fimbria* sont importants pour que *Salmonella* se fixe sur diverses surfaces **(Kroupitski et *al.*, 2009).** Cette bactérie forme des biofilms sur les murs, les sols, les tuyaux, l'acier inoxydable, le plastique, le ciment…. **(Joseph et *al.*, 2001 ; Schonewille et *al.*, 2012, Wang et *al.*, 2013 ; Merino et *al.*, 2017).** Le mode de vie sous forme de biofilms peut jouer un rôle important dans la survie de *Salmonella* dans des conditions environnementales défavorables dans les élevages de volailles et les abattoirs de poulets **(Wang et *al.*, 2013).** Environ 50 % des souches de *Salmonella* isolées dans les élevages avicoles ont pu reproduire des biofilms **(Merino et *al.*, 2017).** L'étude de **Chia et *al.* (2009)** a démontré la capacité de 25 souches

de *Salmonella* spp. à adhérer sur différents matériaux couramment utilisés dans l'industrie de transformation de la volaille (acier inoxydable, téflon, caoutchouc et le polyuréthane).

- ***Listeria monocytogenes :*** elle a la capacité d'adhérer et de former des biofilms sur de nombreuses surfaces abiotiques, généralement associée avec d'autres microorganismes telles que des espèces de *Pseudomonas*. Les flagelles jouent un rôle important dans l'adhésion initiale des *Listeria* aux supports solides et la formation de biofilms **(Colagiorgi et *al.*, 2017)).** Dans les fermes d'exploitation laitières, la contamination du lait par *Listeria monocytogenes* est due principalement aux bactéries se trouvant sur les trayons. Ainsi, le contact du lait avec les installations de traite (dispositifs et accessoires) lors de la collecte du lait est une source importante de contamination **(Latorre et *al.*, 2011).** Plusieurs études ont permis de détecter la présence des *Listeria* sous forme de biofilms dans l'environnement fromager au contact avec l'aliment : les machines de production **(Menendez et *al.*, 1997),** les plans de travail **(Pritchard *et al.*, 1995)**, et les lactoducs **(Silva et *al.*, 2003).** Cette bactérie pathogène provoque des gastro-entérites chez les personnes en bonne santé **(Møretrø et *al.*, 2017).** Les *Listeria* spp ont été également isolées à partir des surfaces d'équipements industriels (plastique et /ou en acier) dans les usines de transformation de fruits de mer et de poissons **(Srey et *al.*, 2013).**

# Chapitre II :

# Bactéries lactiques

## II.1.Définition et caractères généraux des bactéries lactiques

Les bactéries lactiques sont des procaryotes unicellulaires à Gram positif, sous le microscope optique ; généralement deux formes sont observées : cocci ou bacille. Elles sont immobiles, asporulées **(Menconi et *al.*, 2014Reuben et *al.*, 2020),** certaines espèces sont mésophiles capables de croitre à une température optimale entre 25°C- 30°C, comme les espèces de *Lactococcus lactis*, d'autres sont thermophiles avec une température optimale de croissance entre 40°C-45°C (exemple : *Streptococcus thermophilus*) **(Blaya et *al.*, 2018).** Les bactéries lactiques sont capables de croitre et de tolérer les conditions acides (pH 2 à pH 4), ces bactéries tolèrent jusqu'à 3% de NaCl, le degré de tolérance varie d'une espèce à l'autre **(Menconi et *al.*, 2014 ; Salehizadeh et *al.*, 2020).** Une grande osmotolérance de ces bactéries permet de les utiliser comme souches dans l'industrie agroalimentaire (**Menconi et *al.*, 2014).** Les bactéries lactiques sont à catalase et à oxydase négative **(Menconi et *al.*, 2014)**, nitrate réductase négative **(Kouitcheu Mabeku et *al.*, 2020)** et à coagulase négative aussi **(Reuben et *al.*, 2020).** Elles sont non hémolytiques et possèdent une activité phosphatase **(Salehizadeh et *al.*, 2020).** Elles chimio-organotrophes **(Hervé et *al.*, 2008)** et présentes des exigences nutritionnelles par rapport aux sources d'énergie dans lesquelles on trouve : les glucides, les acides aminés et les bases azotées. Elles sont incapables de synthétiser certaines vitamines indispensables à leur croissance. Les bactéries lactiques sont incapables de respirer, cependant leur tolérance à l'oxygène est variable, ce sont des aero-anaérobies facultative **(Khalid, 2011).**

Dépendant de leur métabolisme glucidique on a deux voies fermentaires :

- Homofermentaire/homolactique : les bactéries produisent de l'acide lactique à partir du glucose ou du fructose avec un rendement de 90% et assurent principalement une fermentation rapide et efficace **(Hervé et *al.*, 2008 ; Arriola et *al.*, 2011 ; Wang et *al.*, 2017).**
- Hétérofermentaire/hétérolactique : les bactéries produisernt 50% de l'acide lactique et en plus du $CO_2$, de l'éthanol et de l'acide acétique à partir du glucose **(Hervé et *al.*, 2008 ; Wang et *al.*, 2017).**

## II.2. Habitat

Les bactéries lactiques se retrouvent partout et sont très fréquentes dans la nature, dans de nombreux habitats et produits alimentaires **(Varankovich et *al.*, 2015).** Elles se développent dans le lait et les produits laitiers, dans les poisons conservés, dans les végétaux et les céréales…. **(Giraffa, 2014 ; Bouguerra, 2021),** et avec les levures dans le vin, la bière et le pain **(Soraya, 2022).** Quelques espèces colonisent l'appareil respiratoire et l'intestin grêle des êtres humains et des animaux.

### II.3. Classification des bactéries lactiques

Selon l'édition de Bergey's manual of systematic bacteriology, (2009), les bactéries lactiques sont classées dans le Phylum des *Firmicutes*, dans la Classe des *Bacilli* et dans l'Ordre des *Lactobacillales.* Toutefois, elles incluent six familles (tableau I) et douze principaux genres (Fig.4) utilisés dans la biotechnologie alimentaire qui sont les suivant : *Enterococcus, Lactobacillus, Leuconostoc, Lactococcus, Carnobactérium, Ocnococus, Tetragenococcus, Vagococcus, Weissala, Pediococcus* et *Streptococcus* **(Mokoena, 2017 ; Carré-Malouka, 2018).**

**Tableau I.** Familles et principaux genres de bactéries lactiques **(Mokoena, 2017).**

| Familles | Principaux genres |
|---|---|
| *Lactobacillaceae* | *Lactobacillus* sp., *Pediococcus* sp. |
| *Leuconostocaceae* | *Leuconostoc* sp., *Oenococcus* sp., *Weissella* sp. |
| *Streptococcaceae* | *Streptococcus* sp., *Lactococcus* sp. |
| *Carnobacteriaceae* | *Carnobacterium* sp. |
| *Enterococcaceae* | *Enterococcus* sp., *Tetragenococcus* sp., *Vagococcus* sp. |
| *Aerococcaceae* | *Aerococcus* sp. |

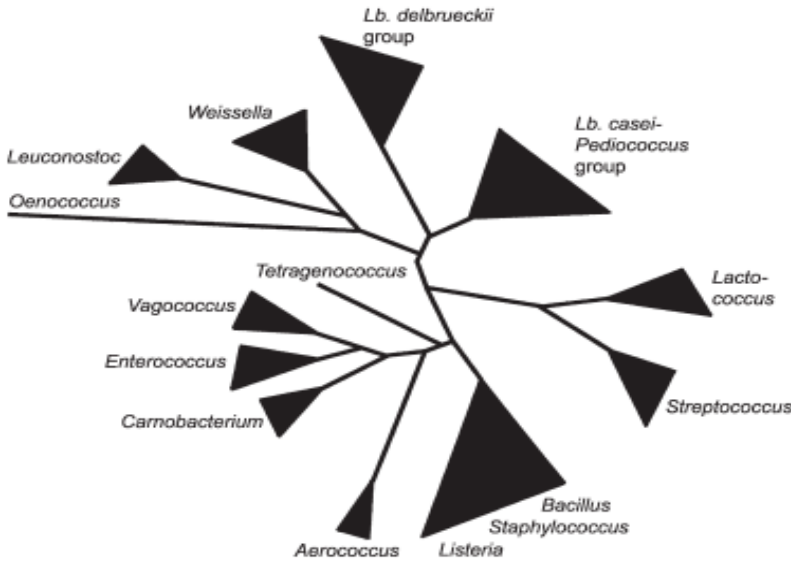


**Fig.4.** Arbre phylogénétique des bactéries lactiques et genres apparentés **(Lahtinen et *al.*, 2012).**

## II.4. Activité antimicrobienne des bactéries lactiques

### II.4.1. Compétition nutritionnelle

Les bactéries lactiques peuvent inhiber la multiplication de certains microorganismes pathogènes et/ou d'altération par leur propre présence. En effet, il s'agit du phénomène de compétition nutritionnelle. Du fait de leurs importantes exigences nutritionnelles, les bactéries lactiques envahissent complètement le milieu, elles limitent alors la multiplication des autres colonisateurs **(Bedjaoui e*t al*., 2018).**

### II.4.2. Substances antibactériennes

- **Dioxyde de carbone :** le dioxyde de carbone est principalement produit par les bactéries lactiques hétérofermentaires. Le mécanisme précis de son action antimicrobienne est encore inconnu. Cependant, le $CO_2$ peut jouer un rôle dans la création d'un environnement anaérobie qui inhibe les décarboxylations enzymatiques et l'accumulation de $CO_2$ dans la bicouche lipidique peut perturber la perméabilité **(Eklund, 1984).** Le $CO_2$ peut inhiber efficacement la croissance de nombreux microorganismes responsables de la détérioration des aliments, en particulier les bactéries psychrotrophes à Gram négatif **(Farber, 1991 ; Hotchkiss et *al.*, 1999)** dont le degré d'inhibition varie considérablement d'un microorganisme à l'autre. À 10 % de $CO_2$, le nombre total de bactéries qui pouvait être réduit est de 50 % **(Wagner et *al.*, 1989),** et entre 20-50 %, il y a une forte activité antifongique **(Lindgren et *al.*, 1990).** Il existe de nombreuses théories sur la façon dont le $CO_2$ affecte les cellules bactériennes. Celles-ci peuvent être résumées comme suit **(Daniels et *al.*, 1985 ; Dixon et *al.*, 1989) :**
  - A) Altération de la fonction de la membrane cellulaire, y compris les effets sur l'absorption et l'absorption des nutriments ;
  - B) Inhibition directe de l'enzyme ou diminution de la vitesse de réaction enzymatique ;
  - C) Entraîne la pénétration de bactéries dans la membrane et la modification du pH intracellulaire ;
  - D) Modification directe des propriétés physicochimiques des protéines.

- **Peroxyde d'hydrogène :** les bactéries lactiques sont dépourvues de la catalase. L'accumulation du peroxyde d'hydrogène sous l'action des oxydases est la cause de la présence de l'activité antimicrobienne à spectre large, notamment chez les lactobacilles **(Daeschel, 1989).** D'une part, la production de peroxyde d'hydrogène qui est l'une des molécules actives de l'oxygène, peut être un indicateur de l'émergence d'autres substances de ce groupe, telles que les radicaux superoxydes ($O_2$) et les radicaux hydroxyles (OH) qui peuvent endommager l'ADN **(Byczkowski**

**et *al.*, 1988 ; Van Niel et *al.*, 2002 ; Strus et *al.*, 2006 ).** D'autre part, l'effet bactéricide du $H_2O_2$ est dû à sa forte action oxydante sur les cellules bactériennes et à la destruction de la structure moléculaire de base des protéines cellulaires. Par conséquent, il devient de plus en plus important de sélectionner et de cultiver des lactobacilles à forte activité inhibitrice **(Zalan et *al.*, 2005).** De plus de son effet bactéricide, le peroxyde d'hydrogène est plus actif sur les bactéries à Gram négatif que sur les bactéries à Gram positif **(Ríos et *al.*, 2017).**

- **Acides organiques :** parmi les mécanismes antimicrobiens des bactéries lactiques, la production des acides organiques comme par exemple : l'acide oxalique, citrique, malique, lactique, acétique, fumarique et propionique **(Yao et *al.*, 2009),** ils sont produits au cours du processus de fermentation. Les acides organiques inhibent et affectent le métabolisme des flores pathogènes (*Staphylococcus aureus, Salmonella, Clostridium*….) et d'altération (*Pseudomonas* et *Entérobactéries*) **(Moa et *al.*, 2020),** sous la forme non dissocie. Les acides organiques pénètrent librement la membrane des microorganismes et abaissent le pH intracellulaire par la libération des ions d'hydrogène (H+) et entrainent l'acidification du milieu. En plus de l'effet du pH, l'acide non dissocie provoque la chute du gradient électrochimique des protons causant la mort des bactéries sensibles (effet bactéricide) **(Vondruskova et *al.*, 2010 ; Denis et *al.*, 2013 ; Nguyen et *al.*, 2020).** Les acides organiques avec leur action bactériostatique peuvent se lier à certains composants, tels que les lipopolysaccharides et détruisent la stabilité de la membrane **(Moa et *al.*, 2020).** L'acide phényllactique peut inhiber l'expression des protéines des champignons filamenteux (exemple : l'acide 4-hydroxy-phényllactique isolé des souches de *Lactobacillus plantarum* 21 B et 20 B ont une activité inhibitrice contre *Aspergillus, Pénicillium* et *Monilia* **(Privat et *al.*, 2011 ; Moa et *al.*, 2020).** Environ de 70% de l'acide lactique produit est utilisé dans l'industrie alimentaire en raison de son rôle dans l'acidification et exploité pour éviter le risque de prolifération de microorganismes indésirable/pathogènes **(Martinez et *al.*, 2013).** La figure 5 présente le mode d'action des acides organiques sur une cellule bactérienne.

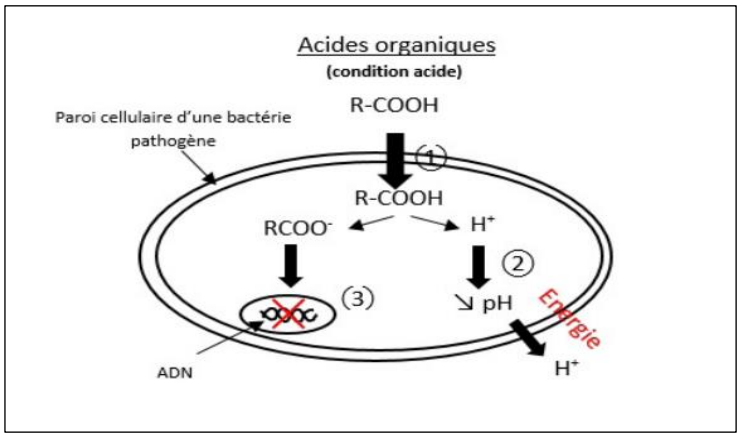




**Fig.5.** Mode d'action des acides organiques dans une cellule bactérienne **(Thomas et *al.*, 2016).**

- **Diacétyle :** dicétone ($CH_3$–CO-CO–$CH_3$), 2,3-butanedione ou diacétyle est connu pour être le composé responsable de l'arôme et de la saveur caractéristique du beurre. En plus, il est présent dans d'autres produits laitiers, le vin, le café et dans de nombreux autres aliments fermentés **(Bartowsky et *al.*, 2004 ; Rouse et *al.*, 2008).** Le diacétyle est produit par certaines espèces de bactéries lactiques appartenant au genre : *Streptococcus, Leuconostoc, Lactobacillus, Pediococcus, Oenococcus* et *Lactococcus* **(Bartowsky et *al.*, 2004 ; Lee et *al.*, 2017).** Le diacétyle est un sous-produit de l'activité métabolique/métabolisme du citrate des bactéries lactiques, il est produit lorsque le pyruvate ne peut pas être correctement métabolisé en éthanol **(Lee et *al.*, 2017 ; Vilela et *al.*, 2019).** En plus de son rôle dans l'amélioration de la saveur, le diacétyle présente également une activité antibactérienne contre *Listeria, Salmonella, Escherichia coli, Yersinia et Aeromonas*. Les bactéries à Gram négatif sont généralement plus sensibles au diacétyle que les bactéries à Gram positif. Toutefois, les concentrations élevées (300 à 1 000 ppm) sont nécessaires pour obtenir une inhibition des bactéries de détérioration, mais les fortes concentrations peuvent influencer sur les propriétés sensorielles de l'aliment, par conséquent, l'utilisation de culture produisant du diacétyle devrait être limitée **(Rouse et *al.*, 2008).**

- **Bactériocines :** ces dernières sont des peptides antimicrobiens naturels ou des protéines ribosomiques synthétisées par des bactéries pour se protéger contre d'autres bactéries en les inhibant ou en les tuant **(Silva et *al.*, 2018 ; Ng et *al.*, 2020).** Elles peuvent avoir un spectre étroit en inhibant les bactéries taxonomiquement proches ou un large spectre (à travers les genres) **(Yang et *al.*, 2012 ; Silva et *al.*, 2018).** Les bactériocines sont produites par des bactéries à Gram positif et à Gram négatif, celles produites par les bactéries lactiques ont connu un grand succès, elles sont utilisées en tant que conservateurs alimentaires naturels parce qu'elles répondent aux demandes des consommateurs pour des aliments sans danger et de haute qualité à la place de conservateurs chimiques. Elles sont utilisées surtout dans la conservation de la viande, des produits laitiers, des poissons, des salades et des légumes fermentés. De plus, les bactériocines peuvent également être utilisées pour améliorer la fermentation des aliments, accélérer la maturation du fromage et même améliorer sa saveur **(Silva et *al.*, 2018).**

- **Classification des bactériocines**

**a)** Les bactériocines des bactéries lactiques sont classées en quatre classes selon leurs structures d'après **Klaenhammer (1993) :**

جامعة محمد الصديق بن يحيى
مكتبة الكلية
كلية علوم الطبيعة و الحياة

- **Classe Ⅰ :** les lantibiotiques sont des petits peptides membranaires actifs de poids moléculaire inférieur à 5 KDa contenant des acides aminés inhabituels comme la lanthionine, la β- méthyl lanthionine et des résidus déhydratés comme la nisine et la lactosine S.
- **Classe Ⅱ :** les non lantibiotiques sont des petits peptides membranaires actifs thermostables de poids moléculaire inférieur à 10 KDa sont censés de former des hélices amphiphiles avec des quantités variables d'hydrophobicité et d'avoir une stabilité à la chaleur modérée et élevée, par exemple la lactococcine A et la pédiocine PA-1. Il existe trois sous classes au sein de cette classe qui sont :
  - ✓ **Sous classe Ⅱ a :** peptides actifs sur *Listeria* : leucocine A.
  - ✓ **Sous classe Ⅱ b :** complexes poreux constitués de deux protéines : lactococcine G, lactococcine M et lactacine F.
  - ✓ **Sous classe Ⅱ c :** peptides actifs par un thiol, nécessitant des résidus de cystéine réduits pour leur activité.
- **Classe Ⅲ :** ce sont des grandes protéines thermolabiles à un poids moléculaire supérieur à 30 KDa : acidophilucine A.
- **Classe Ⅳ :** ces bactériocines sont complexes, composées d'une protéine plus un ou plusieurs fragments chimiques : leuconocine S.

**b)** Une nouvelle classification contentant de nouvelles sous-classes est proposée par **(Alvarez-Sieiro et *al.*, 2016)** (Fig.6), et ils ont classifié les bactériocines des bactéries lactiques selon leurs activités biologiques et leurs mécanismes de biosynthèse. Cette classification comprend les bactériocines thermostables < 10 KDa qui sont réparties en classe Ⅰ et classe Ⅱ ainsi que les thermolabiles >10 KDa mis en classe Ⅲ.

**Classe Ⅰ :** petits peptides post-traductionnellement modifiés avec les sous classes suivantes : les lanthipeptides, les peptides cyclisés tête-bêche, les lantibiotiques, les peptides linéaires contenant l'azol (in)e, les glycocines et peptides lasso.

**Classe Ⅱ :** bactériocines non modifiées, contenant quatre sous-classes qui sont : des bactériocines de type pédiocine, bactériocines à deux peptides, bactériocines sans leader, bactériocines à peptide unique non semblables à la pédiocine.

**Classe Ⅲ :** comprend les bactériolysines, et les non lytiques.

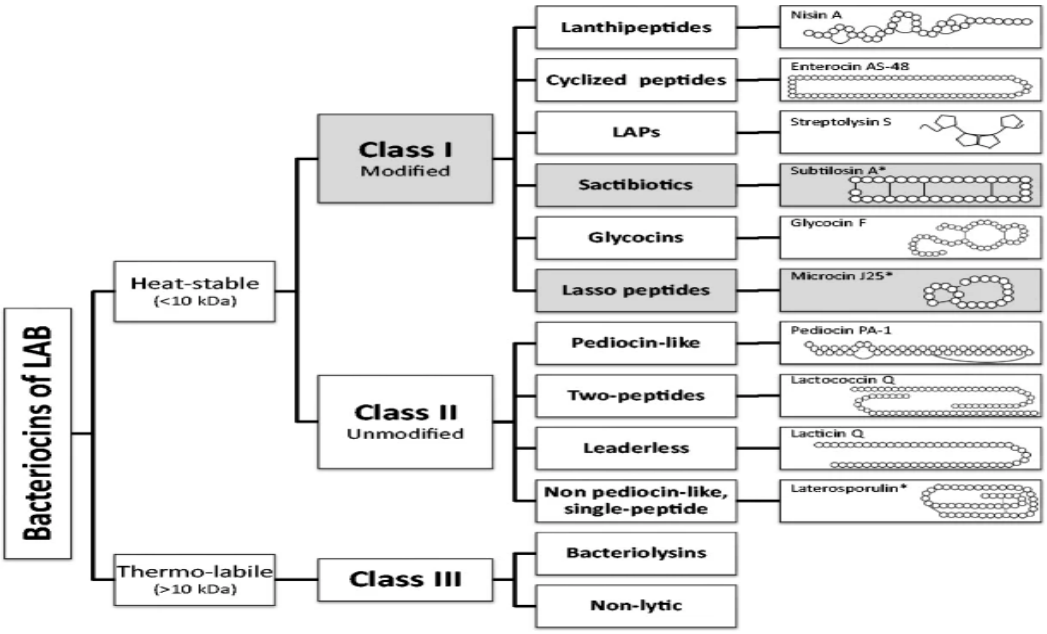


**Fig.6.** Nouvelle classification des bactériocines des bactéries lactiques selon **(Alvarez-Sieiro et *al.*, 2016).**

❖ **Exemples de bactériocines appliquées dans l'industrie agroalimentaire**

- **Nisine :** la nisine est une bactériocine de classe Ⅱa, avec un poids moléculaire de 3354 KDa et constituée de 34 acides aminées, produite par *Lactococcus lactis* et quelques souches de *Streptococcus*, certifiée comme agent de conservation alimentaire E234, et commercialisé sous le nom de Nisaplin ™, reconnue par l'Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture (FAO) et L'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) comme sécuritaire et sans danger. Elle a une activité antimicrobienne contre beaucoup de bactéries pathogènes à Gram positif comme *Listeria, Bacillus, Clostridium et Staphylococcus* **(*Silva* et *al.*, 2018 ; Ng et *al.*, 2020).** Elle est largement utilisée dans l'industrie fromagère et laitière comme remplaçante des nitrates afin d'empê-

cher la croissance des spores de *Clostridium* et prolonger la durée de stockage, également son ajout à la matrice alimentaire prévient la détérioration du lait **(Silva et *al.*, 2018).** Cette bactériocine est moins utilisée dans les produits carnés, à cause de sa faible solubilité dans ces derniers, elle est plus efficace une fois combinée au polyéthylène, au chitosane, à la cellophane pour réduire la détérioration des matières premières telles que la viande, le jambon en tranches et le bœuf haché par des bactéries pathogènes comme : *Listeria monocytogenes* et *Bacillus thermosphacta*. Selon certains auteurs la pulvérisation des viandes fraiches ou des produits à base de viande par une combinaison de bactériocine/nisine et d'acide lactique est une technique efficace pour réduire le nombre de bactéries nuisibles que l'utilisation de bactériocine seule **(Da Costa et *al.*, 2019).** La nisine est également employée pour contrôler les lactobacilles responsables de la surmaturation des légumes fermentés comme le kimchi et non fermentés tel que les produits à base de pomme de terre **(Settanni et *al.*, 2008).**

- **Pédiocine :** la pédiocine est une bactériocine de classe II d'un poids moléculaire de 2,7–17 kDa, elle est produite par des souches de *Pediococcus* et caractérisée par sa stabilité dans la chaleur, dans de l'eau, dans les différents pH et en contact avec certains enzymes (protéase). Elle a la capacité d'inhiber les microorganismes pathogènes responsables de la détérioration des aliments et peut être appliquée dans les aliments selon deux techniques : soit par la méthode *in situ* en inoculant la matrice alimentaire avec des souches de *Pediococcus*, d'*Enterococcus* ou de *Lactobacillus*, ou par son utilisation directe dans la matrice alimentaire avec une concentration optimale **(Ng et *al.*, 2020).** Cette bactériocine est commercialisée sous les noms Alta2341 ™ or Microgard ™, elle est plus efficace que la nisine contre certaines bactéries pathogènes **(Silva et *al.*, 2018).** La pédiocine PA-1 produite par *Pediococcus acidilactici* MCH14 a exercé une activité antimicrobienne contre *Listeria monocytogenes* et *Clostridium perfringens* ce qui a prolongé la durée de conservation des saucisses séchées et fermentées, elle est aussi utilisée dans les salades pour inhiber la croissance de *Lactobacillus bifermentans.* La pédiocine PA-1 d'*Enterococcus feacium* NCIM5423 ou *Lactobacillus plantarum* Acr est capable de prolonger la durée de stockage du lait de soya fermenté **(Ng et *al.*, 2020).** La pédiocine 34 produite par *Pediococcus pentosaceous* 34 a exercé un effet inhibiteur contre *Listeria monocytogenes* dans les produits laitiers et les viandes **(Ng et *al.*, 2020).**

- **Entérocine :** ces entérocines produites par les espèces d'*Enterococcus* sont actives généralement contre les bactéries pathogènes à Gram positif, généralement purifiées afin de les utiliser dans les aliments vu le nombre d'infections qui y est associées chez l'Homme **(Silva et *al.*, 2018 ; Ng et *al.*, 2020).** L'entérocine AS-48 produite par *Enterococcus feacalis* est une bactériocine de classe II est active contre *Bacillus* et *Clostridium* et utilisée pour le contrôle des staphylocoques dans le lait écrémé. L'entérocine A sert à inhiber certains pathogènes comme *Escherichia coli* et *Listeria monocytogenes* **(Silva et *al.*, 2018).**

- **Lacticine :** une bactériocine produite par les *Lactococcus lactis,* les lacticines les plus connues sont la lacticine 3147 et la lacticine 481, cependant l'application des lacticines dans les industries agroalimentaires n'assure pas l'élimination totales des bactéries nuisibles **(Silva et *al.*, 2018).** La lacticine 3147 isolée d'un grain de kéfir irlandais, est utilisée pour inhiber les bactéries pathogènes responsables de la détérioration des aliments, elle exerce une activité antimicrobienne contre une large gamme de pathogènes comme *Bacillus* et *Listeria* **(Silva et *al.*, 2018).** La lacticine 481 a une activité antimicrobienne moyenne principalement contre *Listeria monocytogenes, Clostridium tyrobutyricum* et même à l'égard des bactéries lactiques **(Silva et *al.*, 2018).**

# Chapitre III :

# Inhibition de l'adhésion des bactéries indésirables.

### III.1. Nettoyage et désinfection

Le nettoyage est une opération d'élimination des salissures à l'aide d'un procédé faisant appel aux produits le plus souvent formulés avec plusieurs principes actifs, généralement un composé alcalin et acide agissant respectivement sur les souillures organiques et les dépôts minéraux….. **(Bellon-Fontaine et Cerf, 1988 ; Maukonen et *al.*, 2003).** Il existe de nombreux agents de désinfection tant chimiques que physiques. Les agents chimiques sont classés en six grands groupes (halogènes, oxydes, peroxydes, aldéhydes, tensioactifs, acides/bases et alcools) **(Bremer et *al.*, 2002 ; Kuda et *al.*, 2008).** Les agents physiques tels que : la chaleur (sèche ou humide), les ultraviolets (200 à 280 nm) utilisés pour la désinfection des petits ustensiles, et les traitements par rayonnements ionisants (Cobalt$^{60}$ et Césium $^{137}$) utilisés à la surface des emballages….**(Vasseur et *al.*, 1999).** L'application de ces procédures de nettoyage et de désinfection est une stratégie couramment utilisée pour contrôler les biofilms indésirables, toutefois, ces procédures ne sont pas pleinement efficaces du fait de la résistance accrue des microorganismes sous forme de biofilms **(Giaouris et *al.*, 2014).** De plus, la destruction de la flore indésirable est inévitablement accompagnée de l'élimination de la flore utile jouant un rôle dans les procédés technologiques **(Laithier et *al.*, 2005),** d'où la nécessité de développer de nouvelles stratégies de contrôle ou de lutte **(Simões et *al.*, 2010).**

### III.2. Nouvelles stratégies de lutte et leurs rôles

Selon la littérature, les industriels souhaitent l'éradication de biofilms indésirables pour minimiser la contamination des surfaces (en contact avec les aliments), limiter la détérioration des équipements (biocorrosion) et surtout de préserver les qualités organoleptiques et nutritionnelles du produit. Pour rependre à cette demande, les chercheurs se sont tournés vers l'application de cultures de bactéries lactiques ou de leurs surnageant et métabolites (bactériocines, biosurfactants…) **(Minei et *al.*, 2008 ; Ait meddour et *al.*, 2015).**

#### III.2.1. Implantation de biofilms de bactéries lactiques

Les bactéries lactiques sont reconnues depuis longtemps comme des microorganismes bénéfiques, leur pouvoir d'adhésion joue un rôle d'une barrière contre la colonisation des surfaces par des bactéries nuisibles/effet anti-adhésif en particulier dans l'industrie laitière et fromagère **(Ait meddour et *al.*, 2015 ; Zanzan et *al.*, 2018).**

Dans l'étude réalisée par **Zanzan et *al.* (2018)** des espèces d'*Enterococcus* ont été utilisées comme culture bio-protectrice dans l'industrie laitière pour inhiber l'adhésion de *Staphylococcus*

*aureus* sur l'acier inoxydable qui affecte négativement la qualité du lait. Des souches de *Lactococcus lactis* et de *Lactobacillus* isolées d'aliments ont été utilisées comme biofilms protecteurs contre

l'adhésion de *Listeria monocytogenes,* d'*Escherichia coli* O157 : H7 et de *Salmonella typhimurium,* bactéries connues par leur capacité de provoquer des gastro-entérites chez l'Homme **(Gómez et *al.*, 2016).** Les espèces de *Lactiplantibacillus plantarum,* de *Pediococcus acidilactici* et de *Pediococcus pentosaceus* par leur capacité d'adhésion et de former des biofilms ont empêché la contamination des surfaces par *Escherichia coli* entérohémorragique responsables d'infections parfois sévères chez les jeunes enfants **(Cisneros et *al.*, 2021). Slama et *al.* (2013)** ont démontré l'activité anti-biofilm-*Listeria monocytogenes* de trois souches de *Lactobacillus plantarum* isolées des aliments fermentés traditionnels tunisiens. Selon certains auteurs, *Lactococcus lactis* peut se fixer sur des surfaces abiotiques comme le silicone **(Ksontini et *al.*, 2013)** et le polystyrène **(Boonaert et *al.*, 2001)** pour former des biofilms et empêcher l'installation des bactéries pathogènes dans les fermes d'exploitation laitière **(Giaouris et *al.*, 2009).**

Plusieurs auteurs ont mis en évidence la formation de biofilms par les lactobacilles sur certaines surfaces abiotiques en industrie agroalimentaire, **Lebeer et *al.* (2007)** ont montré que *Lactobacillus rhamnosus* GG peut former des biofilms sur le polystyrène, d'autres ont démontré que *Lactobacillus plantarum* subsp *plantarum* JCM1149 et *Lactobacillus fructivorans* JCM 1117 sont capables de former des biofilms sur le verre afin d'éliminer l'adhésion des bactéries pathogènes et d'altération responsables de la contamination des produits **(Kubota et *al.*, 2008). Speranza et *al.* (2020)** ont testé la capacité des souches de *Bifidiobacterium longum* subsp *infantis* et des souches de *Lactobacillus reuteri* à adhérer sur différentes surfaces abiotiques rencontrées en industrie agroalimentaire (matériaux d'emballage, céramique, plastique, papier...), et être appliquées dans des procédés industriels pour le biocontrôle de l'adhésion des bactéries pathogènes. Les résultats obtenus ont prouvé que les biofilms de ces bactéries peuvent être utilisées comme agents de biocontrôle.

**Habimana (2009)** a montré que des biofilms composés de certaines souches de *Lactococcus lactis* utilisées dans l'industrie fromagère inhibent fortement l'adhésion de *Listeria monocytogenes* et réduire le taux de contamination par cette souches.

Dans l'étude de **Gray et *al.* (2018)** deux souches de bactéries lactiques *Lactococcus lactis* et *Enterococcus durans* ont été ajoutées à des produits de nettoyage à base d'enzymes et appliqués sur des drains dans une installation de transformation de volailles prêtes à consommer, les résultats ont montré qu'au cours de la première semaine d'application, *Listeria* n'a pas été détectée dans cinq drains et dans tous les drains après la huitième semaine d'application.

### III.2.2. Utilisation des métabolites des bactéries lactiques

Les substances issues du métabolisme des bactéries lactiques peuvent également intervenir dans l'inhibition du développement de bactéries indésirables au sein d'un biofilm et à la décontamination des surfaces en contact avec les aliments **(Winkelstroter et *al.*, 2011).**

- **Bactériocines :** l'incorporation ou le revêtement des surfaces de matériaux avec ces substances antimicrobiennes a été proposée comme une stratégie de lutte contre les biofilms indésirables, ces substances actives permettent de prévenir l'installation et le développement de bactéries pathogènes **(Knetsch et Koole, 2011). Zhao et *al.* (2004)** ont rapporté que l'application de bactériocines pouvait contrôler la croissance de microorgansimes pathogènes au sein d'un biofilms responsables de la corrosion des matériaux. Il a été démontré que les bactériocines de type Garvieacin Q ou Gar Q produites par *Lactococcus garvieae* BCC 42578 ont des activités antagonistes contre les biofilms de *Listeria monocytogenes* **(Sonsa-Ard et *al.*, 2015 ; Woraprayote et *al.*, 2016).**

  D'après **Bower et *al.* (1998)** l'adsorption de la nisine sur des surfaces solides pouvait inhiber les premières étapes de l'adhésion bactérienne. Des études ont démontré que l'application de la nisine de *Lactococcus lactis* sur les surfaces inertes jouait un rôle dans l'inhibition de l'adhésion de *Listeria monocytogenes* **(Leriche et *al.*, 1999).** La nisine A est une bactériocine de classe I, inhibe la synthèse de la paroi cellulaire et conduit à la formation de pores dans la membrane des cellules cibles **(Cotter et *al.*, 2005 ; Kim et *al.*, 2018).** Il a été rapporté par **Kim et *al.* (2018)** que la nisine de *Lactococcus lactis* s'est avérée extrêmement efficace contre les microorganismes pathogènes tels que *Staphylococcus aureus* qui provoque des intoxications, elle a été donc utilisée comme un conservateur alimentaire. La nisine, l'auricidine et la reutérine ont été utilisées pour contrôler les biofilms indésirables dans les installations de transformation laitière **(Tatsapom et Kornkanok, 2020).** Il a été démontré que la pédiocine PA-1 incorporée dans un film d'emballage permet de réduire significativement la charge initiale de *Listeria monocytogenes* sur la surface de la viande **(Woraprayote et *al.*, 2013).** De plus, il a été démontré que l'enrobage des emballages alimentaires (polyéthylène, films plastique…) par des bactériocines **(Kim et *al.*, 2002 ; Galvez et *al.*, 2007 ; Woraprayote et *al.*, 2013)** peuvent réduire la croissance des microorganismes pathogènes ou d'altération et donc augmenter la durée de conservation des aliments **(Al Kassaa et *al.*, 2015).**

- **Biosurfactants :** l'utilisation et l'application des biosurfactants ont considérablement augmenté dans l'industrie agroalimentaire grâce à leur pouvoir anti-adhésif dans le but de diminuer la colonisation des surfaces par les bactéries pathogènes et/ou d'altération **(Gudiña et *al.*, 2010).** Les biosurfactants sont des agents de surface actifs amphipathiques synthétisés par des microorganismes généralement des bactéries et des levures qui peuvent limiter l'adhésion des bactéries pathogènes sur les surfaces **(Sharma et *al.*, 2016).** Ils comprennent des glycolipides, des lipopeptides, des polysaccharides, des complexes protéiques, des phospholipides, des acides gras et des lipides neutres **(Gudiña et *al.*, 2015).** Diverses propriétés et fonction physiologiques des biosurfactants ont été détectées, on peut citer par exemple : l'amélioration de la solubilité des composés hydrophobes insolubles dans l'eau (ce qui facilite leur absorption dans la cellule), l'adhésion et l'agrégation cellulaire **(Gudiña et *al.*, 2015).** Les études de **Millsap et *al.* (1994)** ont montré que les surfaces pré-conditionnées avec des biosurfactants peuvent réduire la contamination microbienne des matériaux et empêcher le développement ultérieur des biofilms. Une étude a démontré qu'une souche de *Lactobacillus agillis* a produit un biosurfactant, ce dernier est doué d'une a une activité antiadhésive **(Gudiña et *al.*, 2015).** Les biosurfactants produits par *Lactobacillus fermentum* et *Lactobacillus acidophilus* adsorbés sur des surfaces en verre ont pu réduire jusqu'à 77 % biofilms d'*Enterococcus faecalis* **(Velraeds et *al.*, 1996).** Dans une étude, dix-neuf isolats de bactéries lactiques ont été obtenus dont quatorze ont montré une production de biosurfactants, quatre isolats ont empêchés la formation de biofilms d'*Escherichia coli* et de *Staphylococcus aureus* **(Kaur et *al.*, 2015). Meylheuc et *al.* (2006)** ont montré que les surfaces conditionnées par les biosurfactants produits par *Lactobacillus helveticus* ont réduit l'adhésion de quatre souches de *Listeria* sur l'acier inoxydable (75 à 99 %). Le biosurfactant produit par *Lactococcus lactis* 53 empêche la formation de biofilm sur le caoutchouc et le silicone **(Rodrigues et *al.*, 2004).** La libération de biosurfactants par la souche de *Lactobacillus paracsei* ssp *paracasei* A 20 a été efficace pour réduire l'adhésion d'*Eschrichia coli*, de *Pseudomonas aeruginosa*, de *Streptococcus mutans* HG985 et *Candida albicans* **(Gudina et *al.*, 2010). Lalande et *al.* (1989)** ont rapporté que les biosurfactants peuvent fonctionner comme des revêtements antiadhésifs biologiques qui réduisent l'encrassement microbien dans l'industrie laitière. **Yan et *al.* (2019)** ont évalué le pouvoir anti-adhésif de deux biosurfactants produits par les souches de *Pediococcus acidilactici* 27167 et de *Lactobacillus plantarum*

27172 vis-à-vis de l'adhésion de *Staphylococcus aureus*. Ces biosurfactants ont montré une activité antiadhésive très

importante contre le biofilm de *Staphylococcus aureus* réduisant ainsi le taux de contamination des produits alimentaires.

- **Exopolysaccharides :** les exopolysaccharides font partie des métabolites primaires produits par les bactéries lactiques. On peut distinguer les polysaccharides extracellulaires, qui ne restent pas liés à la cellule mais qui sont excrétés dans le milieu et les polysaccharides constitutifs d'une capsule épaisse ou d'une pellicule autour de la paroi bactérienne **(Cerning et *al.*, 1992).** Les exopolysaccharides produits par les bactéries lactiques ont un grand intérêt dans l'industrie agroalimentaire grâce à leurs activités contre la formation de biofilms des bactéries pathogènes **(Liu et *al.*, 2017).** Une étude a démontré que les exopolysaccharides produits par une souche de *Lactobacillus plantarum* ont présenté une excellente capacité d'inhiber l'adhésion d'*Escherichia coli* O157 :H7 responsable habituellement de diarrhées aiguës hémorragique. Dans une autre étude, les exopolysaccharides produits par *Lactobacillus acidophilus* A4 pouvaient réduire la formation d'un biofilm formé par *Escherichia coli* entérohémorragique de 87% **(Kim et *al.*, 2009).** Les exopolysaccharides de *Lactobacillus plantarum* YW32 ont montré un large spectre d'inhibition des biofilms pathogènes : 45,13% de biofilms de *Staphylococcus aureus*, 44,67% de biofilms de *Shigella flexneri* CMCC(B), 44,04% de biofilms de *Salmonella typhimurium* et 12,71% de biofilms d'*Escherichia coli* O157, d'où l'avantage de les utiliser en industrie agroalimentaire **(Silva et *al.*, 2019).** Les exopolysaccharides secrétés par *Lactobacillus casei* NA-2 pourraient inhiber les biofilms de *Bacillus cereus*, de *Staphylococcus aureus*, de *Salmonella typhimurium* et d'*Escherichia coli* O157: H7 à l'origine de toxi-infections alimentaires, avec des taux d'inhibition de : 95,5 %, 30,2 %, 14,3 % et 16,9 % respectivement **(Xu et *al.*, 2020).**

# Conclusion

Les bactéries lactiques jouent depuis longtemps un rôle primordial dans l'industrie agroalimentaire, elles sont connues pour améliorer les propriétés organoleptiques, la valeur nutritionnelle et la conservation des aliments.

Les biofilms négatifs formés par des bactéries pathogènes et d'altération sont responsables de la contamination des produits, de toxi-infections alimentaires et de la détérioration des surfaces des équipements en industrie agroalimentaires.

Dans le cadre des stratégies visant à éliminer les biofilms négatifs diverses procédures et approches ont été développées ; parmi celles-ci l'utilisation des bactéries lactiques et leurs métabolites, comme il a été démontré à travers cette étude.

En perspective, il serait intéressant de compléter cette partie théorique avec une partie pratique au niveau de nos laboratoires.

# Références bibliographiques

**« A »**

- **Ajao, O., Banwo, K., Ogunremi, O., Sanni, A. (2021).** Antimicrobial properties and probiotic potentials of lactic acid bacteria isolated from raw beef in Ibadan, Nigeria. Journal of Microbiology, Biotechnology and food sciences ,8(2),770-773.

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

- **Ait meddour, A., Bendali, F., Sadoun, D. (2015).** Anti-adherence potential of *Enterococcus durans* cells and its cell-free supernatant on plastic and stainless steel against foodborne pathogens.Folia microbiologica ,60(4), 357–363 .

- **Arriola, KG., Kim, SC , Adesogan, AT. (2011).** Effet de l'application d'inoculants avec des bactéries hétérolactiques ou homolactiques et hétérolactiques sur la fermentation et la qualité de l'ensilage de maïs. Journal of Dairy Science, 94 (3), 1511-1516.

**« B »**

- **Bartowsky, E. J, Henschke, P. A. (2004).** The 'buttery'attribute of wine—diacetyl—desirability, spoilage and beyond. International Journal of Food Microbiology ,96(3), 235–252.

- **Bagge-Ravn, D., Ng, Y, Hjelm, M., Christiansen, J.N., Johansen, C.,Gram, L. (2003).** The microbial ecology of processing equipment in different fish industries—analysis of the microflora during processing and following cleaning and disinfection. International Journal of Food Microbiology 87, 239-250.

- **Bedjaoui, T., Djerroud, F., Faradji-Hamma, S. E. (2018).** Optimisation de l'activité antibactérienne de quelques souches de bactéries lactiques (Mémoire de Master).

- **Bellon-Fontaine, MN., Cerf, O. (1988).** Nettoyage et désinfection dans les industries agroalimentaires, CDUIPA, Massy, France.

- **Ben Slama, R., Kouidhi, B., Zmantar, T., Chaieb, K., Bakhrouf, A. (2013).** Anti-listerial and anti-biofilm activities of potential Probiotic *Lactobacillus* strains isolated from Tunisian traditional fermented food. Journal of Food Safety, 33(1), 8-16.

- **Blaya, J., Barzideh, Z., LaPointe, G. (2018).** Bilan du symposium : Interaction des cultures starter et des bactéries lactiques non starter en milieu fromager. Journal of Dairy Science, 101 (4), 3611-3629.

- **Boonaert C J P, Dufrene Y F, Derclaye S R, Rouxhet P G. (2001).** Adhesion of *Lactococcus lactis* to model substrata: direct study of the interface .Colloids and Surfaces B: Biointerfaces, 22: 171-182.

- **Bouguerra, A. (2021).** Evaluation du potentiel probiotique des souches lactiques isolées à partir du lait de chamelle (Doctoral dissertation).

- **Bower C K, McGuire J., Daeschel M A. (1996)**. The adhesion and detachment of bacteria and spores on food-contact surfaces. Trends in Food Science and Technology, 7(5), 152–157.

- **Bremer, B., Bremer, K., Heidari, N., Erixon, P., Olmstead, R. G., Anderberg, A. A., ... Barkhordarian, E. (2002).** Phylogenetics of asterids based on 3 coding and 3 non-coding chloroplast DNA markers and the utility of non-coding DNA at higher taxonomic levels. Molecular phylogenetics and Evolution, 24(2), 274-301.

- **Byczkowski, J. Z., Gessner, T. (1988).** Biological role of superoxide ion-radical. The International journal of biochemistry, 20(6), 569–580.

**« C »**

- **Camargo, AC, Todorov, SD, Chihib, NE, Drider, D., Nero, LA .(2018).** Les bactéries lactiques (LAB) et leurs bactériocines comme outils biotechnologiques alternatifs pour contrôler les biofilms de *Listeria monocytogenes* dans les installations de transformation des aliments. Biotechnologie Moléculaire.

- **Carré-Mlouka A. (2018).** Bactéries lactiques et métabolisme fermentaire. Muséum national d'Histoire naturelle-DIREF.

- **Cerning, J., Renard, C. M., Thibault, J. F., Bouillanne, C., Landon, M., Desmazeaud, M., Topisirovic, L. (1994).**Carbon Source Requirements for Exopolysaccharide Production by Lactobacillus casei CG11 and Partial Structure Analysis of the Polymer. Applied and Environmental Microbiology 60 (11): 3914-3919.

- **Chia, T. W. R., Goulter, R. M., McMeekin, T., Dykes, G. A., Fegan, N. (2009).** Attachment of different Salmonella serovars to materials commonly used in a poultry processing plant. Food Microbiology, 26(8), 853-859.

- **Chicurel, M. (2000).** Slimebusters. Nature, 408(6810), 284-287.

- **Cisneros, L., Cattelan, N., Villalba, M. I., Rodriguez, C., Serra, D. O., Yantorno, O., Fadda, S. (2021).** Lactic acid bacteria biofilms and their ability to mitigate Escherichia coli O157: H7 surface colonization. Letters in Applied Microbiology, 73(2), 247-256.

- **Colagiorgi, A., Bruini, I., Di Ciccio, P. A., Zanardi, E., Ghidini, S., Ianieri, A. (2017).** *Listeria monocytogenes* Biofilms in the Wonderland of Food Industry. Pathogens (Basel, Switzerland), 6(3), 41.

- **Costerton, J. W., Lewandowski, Z., Caldwell, D. E., Korber, D. R., Lappin-Scott, H. M. (1995)**. Microbial Biofilms. Annual Review of Microbiology, 49(1), 71174

- **Cotter, P. D., Hill, C., and Ross, R. P. (2005).** Bacteriocins: Developing innate immunity for food. Nature Reviews Microbiology, 3(10), 777–788.

**« D »**

- **Da costa, R. J., Voloski, F. L., Mondadori, R. G., Duval, E. H., Fiorentini, Â. M. (2019).** Preservation of meat products with bacteriocins produced by lactic acid bacteria isolated from meat. Journal of Food Quality, 2019.

- **Daeschel, M.A. (1989)** .Antimicrobial Substances from Acid Lactic Bacteria for Use as Food Preservative. Food Technology, 43, 164-167.

- **Daniels, J, A., R. Krishnamurth, S, S. H. Rizvi. (1985)**. A review of effects of CO, on microbial growth and food quality. Journal of Food Protection, 48:532-537.

- **Davey, M, E., O'Toole C A. (2000)**. Microbial biofilms: from ecology to molecular genetics. Microbiology and Molecular Biology Reviews, 64(4), 847-867.

- **Denis, C., Champomier Verges, M. C., Zagorec, M., Talon, R., Michel, V. (2013).** Critères de sélection des microorganismes bioprotecteurs. Flores protectrices pour la conservation des aliments.

- **Denny, J., Bhat M, Eckmann K. (2008)**. Outbreak of *E. coli* O157:H7 associated with raw milk consumption in the Pacific Northwest. Foodborne Pathogens and Disease 5: 321-328.

- **Dixon, N. M., Kell, D. B. (1989).**The inhibition by $C0_2$ of the growth and metabolism of microorganisms. The Journal of Applied Bacteriology,67(2), 109–136.

- **Donlan ,R.M. (2002)**. Biofilms: microbial life on surfaces. Emerging Infectious Diseases 8: 881-890.

- **Donlan, R.M. Costerton, J.W. (2002)**. Biofilms: survival mechanisms of clinically relevant microorganisms. Journal of Clinical Microbiology,15, 167- 193.

**« E »**

- **Eklund, T. (1984).** The effect of carbon dioxide on bacterial growth and on uptake processes in bacterial membrane vesicles. International Journal of Food Microbiology, 1(4), 179–185.

- **Ellis, B. K., Stanford, J. A., Ward, J. V. (1998).**Microbial assemblages and production in alluvial aquifers of the Flathead River, Montana, USA. Journal of the North American Benthological Society, 17(4), 382-402.

- **Elevers, K. T., Peters A C, Griffith C J. (1999)**. Development of biofilms and control of biofilms in the food industry. *In* Wimpenny J, Gilbert PJ, Walker MB. et Bayston R. (ed.). Biofilms, the good, the bad and the ugly, Cardiff: Bioline, pp. 139-145.

- **En ligneRouse, S., van Sinderen, D. (2008).** Potentiel bioprotecteur des bactéries lactiques dans la malterie et le brassage. Journal of Food Protection.

**« F »**

- **Farber, J.M. (1991)**. Microbiological aspects of modified-atmosphere packaging technology – a review. Journal of Food Protection, 54(1), 58–70.
- **Flemming, H. C., Wingender, J. (2010)**. The biofilm matrix. Nature Reviews Microbiology, 8(9), 623-633.

- **Flemming, H. C., Wuertz, S. (2019).** Bacteria and archaea on Earth and their abundance in biofilms. Nature Reviews Microbiology, 17(4), 247-260.

- **Flint, S. H, Bremer P J, Brooks J D. (1997)**. Biofilms in dairy manufacturing plant – description, current concerns and methods of control. Biofouling 11: 81–97.

- **Fonnesbech ,V., Huss B, Ojeniyi H H, Ahrens B P, Gram L. (2001)**. Elucidation of *L. monocytogenes* contamination routes in cold-smoked salmon processing plants detected by DNA-based typing methods. Applied and Environmental Microbiology 67: 2586-2595.

**« G »**

- **Garrity, G. (2009).** Bergey's Manual of Systematic Bacteriology, Volume 3: The Firmicutes. Springer.

- **Ghannoum, M., O'toole, G.A. (2004).** Microbial biofilms. ASM Press, USA.

- **Giaouris ,E., Chapot-Chartier ,M. P., Briandet R. (2009).** Surface physicochemical analysis of natural *Lactococcus lactis* strains reveals the existence of hydrophobic and low charged strains with altered adhesive properties. International Journal of Food Microbiology 131: 2-9.

- **Giaouris , E., Heir E, Hébraud M, Chorianopoulos N, Langsrud S, Møretrø T, Habimana O, Mickaël Desvaux M, Renier S, Nychas G J. (2014)**. Attachment and biofilm formation by foodborne bacteria in meat processing environments: Causes, implications, role of bacterial interactions and control by alternative novel methods. Meat Science 97: 298-309.

- **Giraffa, G. (2014).** Overview of the ecology and biodiversity of the LAB. In: Holzapfel, W.H., Wood, B.J.B. (eds.). Lactic acid bacteria: biodiversity and taxonomy. John Wiley & Sons, Ltd, Chichester, United Kingdom. pp. 45–54.

- **Gómez, N. C., Ramiro, J. M., Quecan, B. X., 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, 863.

- **Gray, J. A., Chandry, P. S., Kaur, M., Kocharunchitt, C., Bowman, J. P., Fox, E. M. (2018).** Novel biocontrol methods for Listeria monocytogenes biofilms in food production facilities. Frontiers in Microbiology, 9, 605.

- **Gudiña, E. J ; Fernandes, E. C ; Teixeira, J. A ; Rodrigues, L. R. (2015).** Antimicrobial and anti-adhesive activities of cell-bound biosurfactant from *Lactobacillus agilis* CCUG31450. RSC Advances, *5*(110), 90960-90968.

- **Gudiña, E. J ; Rocha, V ; Teixeira, J. A ; Rodrigues, L. R. (2010**). Antimicrobial and antiadhesive properties of a biosurfactant isolated from *Lactobacillus paracasei* ssp. *paracasei A20.* Letters in Applied Microbiology, 50(4), 419-424.

**« H »**

- **Habimana, O., Meyrand M, Meylheuc T, Kulakauskas S, Briandet R.( 2009)**. Genetic features of resident biofilms determine attachment of *L. monocytogenes*. Applied and Environmental Microbiology,75(24) ,7814–7821.

- **Haeghebaert, S., Servat, M., Duchen, C., Minet, J. C., EAgrech, A., Thièse, I., Desenclos, J. C. (1998).** Epidémie de trichinellose en région midi-Pyrénées, France, janvier-mars 1998. Eurosurveillance, *3*(8), 83-5.

- **Hatchette, T. F., Gupta, R., Marrie, T. J. (2000).** *Pseudomonas aeruginosa* community-acquired pneumonia in previously healthy adults: case report and review of the literature. Clinical Infectious Diseases, *31*(6), 1349-1356.

- **Hervé, A., Cosette, G., Michèle, G. B., Fabienne, R. B., Raphaëlle, T. M. (2008).** Les bactéries lactiques en œnologie. Lavoisier.

- **Høiby, N. (2017).** A short history of microbial biofilms and biofilm infections. Apmis, 125(4), 272-275.

- **Hotchkiss, J.H., Chen, J.H., and Lawless, H.T.( 1999).** Combined effects of carbon dioxide addition and barrier films on microbial and sensory changes in pasteurized milk. Journal of Dairy Science, 82(4), 690–695.

**« J »**

- **Jamal, M., Ahmad, W., Andleeb, S., Jalil, F., Imran, M., Nawaz, M. A., Kamil, M. A. (2018).** Bacterial biofilm and associated infections. Journal of the Chinese Medical Association, 81(1), 7-11.

- **Joseph, B., Otta, S. K., Karunasagar, I., Karunasagar, I. (2001).** Biofilm formation by *salmonella* spp. on food contact surfaces and their sensitivity to sanitizers. International Journal of Food Microbiology, 64(3), 367–372.

**« K »**

- **Kadariya, J., Smith, T. C., Thapaliya, D. (2014).** *Staphylococcus aureus* and staphylococcal food-borne disease: an ongoing challenge in public health. BioMed Research International.

- **Kaur, S; Kaur, P; Nagpal, R. (2015).** In vitro biosurfactant production and biofilm inhibition by lactic acid bacteria isolated from fermented food products. International Journal of Probiotics & Prebiotics, 10(1), 17.

- **Khalid, K. (2011).** Présentation des bactéries lactiques. Journal international des biosciences, 1 (3), 1-13.

- **Kim, N.-N., Kim, W. J., Kang, S.-S. (2018).** Anti-biofilm effect of crude bacteriocin derived from Lactobacillus brevis DF01 on *Escherichia coli* and *Salmonella Typhimurium*. Food Control.

- **Kim, Y., Kim, S. H. (2009).** Released exopolysaccharide (r-EPS) produced from probiotic bacteria reduce biofilm formation of enterohemorrhagic *Escherichia coli* O157: H7. Biochemical and Biophysical Research Communications, 379(2), 324-329.

- **Klaenhammer, T. R. (1993).** Genetics of bacteriocins produced by lactic acid bacteria. FEMS Microbiology Reviews, 12(1-3), 39-85.

- **Knetsch ,M. L .W., Koole L H. 2011**. New strategies in the development of antimicrobial coatings: the example of increasing usage of silver and silver nanoparticles. Polymers 3: 340-366.

- **Kouitcheu Mabeku, LB, Ngue, S., Bonsou Nguemo, I., Leundji, H. (2020).** Potentiel des bactéries lactiques sélectionnées du jus de fruit fermenté de Theobroma cacao et des surnageants acellulaires des cultures comme inhibiteurs de Helicobacter pylori et comme bon probiotique. Notes de recherche BMC, 13 (1), 1-7.

- **Kroupitski, Y., Golberg, D., Belausov, E., Pinto, R., Swartzberg, D., Granot, D., Sela, S. (2009).** Internalization of Salmonella enterica in leaves is induced by light and involves chemotaxis and penetration through open stomata. Applied and Environmental Microbiology, 75, 6076–6086.

- **Ksontini, H., Kachouri F, Hamdi M. (2013).** Impact of *Lactococcus lactis* spp. lactis Bio Adhesion on Pathogenic *Bacillus cereus* Biofilm on Silicone Flowing System. Indian Journal of Microbiology 53: 269–275.

- **Kubota, H., Senda S, Nomura N, Tokuda H, Uchiyama H. (2008).** Biofilm formation 6 by lactic acid bacteria and resistance to environmental stress. Journal of Bioscience and Bioengineering106: 381-386.

- **Kuda, T., Yano, T., Kuda, M. T. (2008).** Resistances to benzalkonium chloride of bacteria dried with food elements on stainless steel surface. LWT - Food Science and Technology, 41(6), 988–993.

**« L »**

- **Labadie, J. (2001).** Les biofilms microbiens dans les ateliers de transformation de la filière viande : inconvénients et intérêts potentiels. INRA de Theix 63122. Saint Genes Champanelle. France.

- **Lahtinen ,S., Ouwehand A.C., Salminen S. ,Wright A.V**.. (**2012).** Lactic Acid Bacteria Microbiological and functional aspects Fourth edition Taylor & Francis Group. Boca Raton London New York .

**Laithier, C., Chatelin, Y. M., Talon, R., Barral, J., Tormo, H., Lefrileux, Y. (2005).** Efficacité en laboratoire puis en exploitations de procédures de nettoyage/désinfection sur la sélection positive des biofilms. Institut de l'Elevage-INRA, Paris, 367-370.

- **Lapidot, A., Romling, U., Yaron, S. (2006).** Biofilm formation and the survival of *Salmonella Typhimurium* on parsley. International journal of Food Microbiology, 109(3), 229–233.

- **Latorre, A. A., Van Kessel, J. A. S., Karns, J. S., Zurakowski, M. J., Pradhan, A. K., Boor, K. J., … Schukken, Y. H. (2011).**Increased *in vitro* adherence and on-farm persistence of predominant and persistent *L. monocytogenes* strains in the milking system. Applied and Environmental Microbiology 77: 3676-3684.

- **Lebeaux, D., Ghigo J. (2012)**. Management of biofilm-associated infections: What can we expect from recent research on biofilm lifestyles. Medecin science. 28, pp 8-9. pp 727-73.

- **Lebeer, S., De Keersmaecker, S. C., Verhoeven, T. L., Fadda, A. A., Marchal, K., Vanderleyden, J. (2007).**Functional analysis of luxSin the probiotic strain Lactobacillus rhamnosus GG reveals a central metabolic role Important for growth and biofilm formation. Journal of Bacteriology 189: 860–871.

- **Lee, H. H., Lee, K. T., and Shin, J. A. (2017).** Analytical method validation and monitoring of diacetyl in liquors from Korean market. Food Science and Biotechnology.

- **Leriche ,V., Chassaing D., Carpentier B. (1999).** Behaviour of *Listeria monocytogenes* in an artificially made biofilm of a nisin-producing strain of *Lactococcus lactis*. International Journal of Food Microbiology. 51: 169-182.

- **Lindgren, S.E., Dobrogosz, W.J. (1990).** Antagonistic activities of lactic acid bacteria in food and feed fermentations. FEMS Microbiology Reviews,87, 149-164.

- **Liu, Z., Zhang, Z., Qiu, L; Zhang, F., Xu, X., Wei, H., Tao, X. (2017).** Characterization and bioactivities of the exopolysaccharide from a probiotic strain of *Lactobacillus plantarum WLPL04*. Journal of Dairy Science, 100(9), 6895-6905.

**« M »**

- **Mao, Y., Zhang, X., Xu, Z. (2020).** Identification des substances antibactériennes de Lactobacillus plantarum DY-6 pour une action bactériostatique. Sciences Alimentaires et Nutrition.

- **Martinez, FAC, Balciunas, EM, Salgado, JM, González, JMD, Converti, A., de Souza Oliveira, RP. (2013).** Propriétés, applications et production de l'acide lactique : une revue. Tendances des Sciences et Technologies Alimentaires.

- **Maukonen, J., Mättö, J., Wirtanen, G., Raaska, L., Mattila-Sandholm, T., Saarela, M. (2003).** Methodologies for the characterization of microbes in industrial environments: a review. Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology, *30*(6), 327-356.

- **Menconi ,A., Kallapura G, Latorre JD, Morgan MJ, Pumford NR, Hargis BM, Tellez G (2014).** Identification and characterization of lactic Acid bacteria in a commercial probiotic culture. Bioscience Microbiota Food Health.

- **Menendez, S., Godinez M R, Rodriguez-Otero J L, Centeno J A. (1997).** Removal of *Listeria* spp. in a cheese factory. Journal of Food Safety 17: 133-139.

- **Merino, L., Procura, F., Trejo, F. M., Bueno, D. J., Golowczyc, M. A. (2017).** Biofilm formation by Salmonella sp. in the poultry industry: Detection, control and eradication strategies. Food Research International.

- **Meylheuc, T., Methivier C, Renault M, Herry J-M, Pradier C-M, Bellon-Fontaine M-N(2006).** Adsorption on stainless steel of biosurfactants produced by gram-negative and gram-positive bacteria : consequence on the bioadhesive behaviour of *Listeria monocytogenes*. Colloids and surfaces : Biointerfaces 50: 146-155.

- **Millsap, K., Reid, G., Van der Mei, H. C., Busscher, H. J. (1994).** Displacement of Enterococcus faecalis from hydrophobic and hydrophilic substrata by Lactobacillus and Streptococcus spp. as studied in a parallel plate flow chamber. Applied and Environmental Microbiology, *60*(6), 1867-1874.

- **Minei, C. C., Gomes, B. C., Ratti, R. P., D'ANGELIS, C. E., De Martinis, E. C. (2008).** Influence of peroxyacetic acid and nisin and coculture with Enterococcus faecium on Listeria monocytogenes biofilm formation. Journal of Food Protection, *71*(3), 634-638.

- **Mokoena, M.P. (2017).** Lactic acid bacteria and their bactériocines: Classification, biosynthesis and application against urpathogens. A Mini-Review. Molecules. 22(1255) :1-13.

- **Muhammad, M. H., Idris, A. L., Fan, X., Guo, Y., Yu, Y., Jin, X., Huang, T. (2020).** Beyond risk: bacterial biofilms and their regulating approaches. Frontiers in Microbiology, 11, 928.

**« N »**

- **Ng, Z. J., Zarin, M. A., Lee, C. K., Tan, J. S. (2020).** Application of bacteriocins in food preservation and infectious disease treatment for humans and livestock: A Review. RSC Advances, 10(64), 38937-38964.

- **Nguyen, D. H., Seok, W. J., Kim, I. H. (2020).** Organic acids mixture as a dietary additive for pigs—A review. Animals.

**« P »**

- **Parsek, M. R., Singh, P. K. (2003).** Bacterial Biofilms: An Emerging Link to Disease Pathogenesis. Annual Review of Microbiology, 57(1), 677-701.

- **Pasvolsky ,R., ZakinV, Ostrova I, Shemesh M. (2014)**. Butyric acid released during milk lipolysis triggers biofilm formation of *Bacillus* species. International Journal of Food Microbiology 181: 19-27.

- **Pritchard ,T. J., Flanders K J, Donnelly C W. (1995).** Comparison of the incidence of *Listeria* on equipment versus environmental sites within dairy processing plants. International Journal of Food Microbiology 26: 375-384.
- **Privat, K., Thonart, P. (2011).** Action des cultures protectrices : cas des germes lactiques sur la flore alimentaire indésirable. Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement.

**« R »**

- **Reuben, R. C., Roy, P. C., Sarkar, S. L., Alam, A. R. U., Jahid, I. K. (2020).** Characterization and evaluation of lactic acid bacteria from indigenous raw milk for potential probiotic properties. Journal of Dairy Science, 103(2), 1223-1237.

- **Ríos Castillo, Abel Guillermo and González Rivas, Fabián and Rodriguez-Jerez, Jose Juan. (2017).** Bactericidal Efficacy of Hydrogen Peroxide-Based Disinfectants Against Gram-Positive and Gram-Negative Bacteria on Stainless Steel Surfaces. Journal of Food Science. 82. 10.1111/1750-3841.13790.

- **Rodrigues ,L. R., van der Mei H C, Teixeira J A, Oliveira R.( 2004)**. Biosurfactant from *Lc. lactis* 53 inhibits microbial adhesion on silicone rubber. Applied Microbiology and Biotechnology 66: 306-311.

- **Rossolini, G. M., Mantengoli, E. (2005).** Treatment and control of severe infections caused by multiresistant Pseudomonas aeruginosa. Clinical Microbiology and infection, 11, 17-32.

**« S »**

- **Sabater, S., Guasch, H., Ricart, M., Romaní, A., Vidal, G., Klünder, C., Schmitt-Jansen, M. (2007).** Monitoring the effect of chemicals on biological communities. The biofilm as an interface. Analytical and Bioanalytical Chemistry, 387(4), 1425-1434.

- **Salehizadeh, M., Modarressi, MH, Mousavi, SN , Ebrahimi, MT (2020).** Évaluation de bactéries lactiques isolées de fèces de volaille comme probiotique potentiel et de son activité compétitive in vitro contre *Salmonella typhimurium*. Dans Veterinary Research Forum (Vol. 11, No. 1, p. 67). Faculté de médecine vétérinaire, Université d'Ourmia, Ourmia, Iran.

- **Sarjit, A., Dykes, G. A. (2017).** Antimicrobial activity of trisodium phosphate and sodium hypochlorite against *Salmonella* biofilms on abiotic surfaces with and without soiling with chicken juice. Food Control, 73, 1016–1022.

- **Schonewille, E., Nesse, L. L., Hauck, R., Windhorst, D., Hafez, H. M., Vestby, L. K. (2012).** Biofilm building capacity of Salmonella enterica strains from the poultry farm environment. FEMS Immunology and Medical Microbiology, 65(2), 360–365.

- **Settanni, L., Corsetti, A. (2008).** Application of bacteriocins in vegetable food biopreservation. International Journal of Food Microbiology, 121(2), 123-138.

- **Shakibaie M, Forootanfar H, Golkari Y, Mohammadi-Khorsand T, Shakibaie M R. (2014)**. Anti-biofilm activity of biogenic selenium nanoparticles and selenium dioxide against

clinical isolates of *S. aureus*, *P. aeruginosa* and *Proteus mirabilis*. Journal of Trace Elements in Medicine and Biology.

- **Sharma, D., Misba, L., Khan, A. U. (2019).** Antibiotics versus biofilm: an emerging battleground in microbial communities. Antimicrobial Resistance and Infection Control, 8(1), 1-10.

- **Sharma, D; Saharan, B. S; Kapil, S. (2016).** Substrates and Production of Biosurfactants. In Biosurfactants of Lactic Acid Bacteria (pp. 61-72). Springer.

- **Sharma, G., Sharma, S., Sharma, P., Chandola, D., Dang, S., Gupta, S., Gabrani, R. (2016).** *Escherichia coli* biofilm: development and therapeutic strategies. Journal of Applied Microbiology, 121(2), 309-319.

- **Shirtliff, M. E., Mader, J. T., Camper, A. K. (2002).** Molecular Interactions in Biofilms. Chemistry & Biology, 9(8), 859–871.

- **Shi, X., Zhu, X. (2009).** Biofilm formation and food safety in food industries. Trends in Food Science & Technology, 20(9), 407–413.

- **Silva, C. C., Silva, S. P., Ribeiro, S. C. (2018).** Application of bacteriocins and protective cultures in dairy food preservation. Frontiers in Microbiology, 9, 594.

- **Silva, I. M., Almeida, R. C. D. C., Alves, M. A. O., Almeida, P. F. D. (2003).** Occurrence of Listeria spp. in critical control points and the environment of Minas Frescal cheese processing. International journal of Food Microbiology, 81(3), 241-248.

- **Simões ,M., Simoes L C, Vieira M J. (2010).** A review of current and emergent biofilm control strategies. Food Science and Technology 43: 573-583.

- **Sonsa-Ard, N., Rodtong, S., Chikindas, M. L., Yongsawatdigul, J. (2015).** Characterization of bacteriocin produced by Enterococcus faecium CN-25 isolated from traditionally Thai fermented fish roe. Food Control, *54*, 308-316.

- **Soraya, R. (2022).** Inhibitory power and probiotic properties of lactic acid bacteria strains isolated from cow's milk from the Chlef region, Algeria. Ashok Yakkaldevi.

- **Srey ,S., Kabir Jahid I, Sang-Do Ha I. (2013)**. Biofilm formation in food industries: A food safety concern. Food Control 31: 572-585.

- **Speranza, B., Liso, A., Russo, V., Corbo, M. R. (2020).** Evaluation of the potential of biofilm formation of Bifidobacterium longum subsp. infantis and Lactobacillus reuteri as competitive biocontrol agents against pathogenic and food spoilage bacteria. Microorganisms, 8(2), 177.

- **Strus, M., Brzychczy-WÅ,och, M., Gosiewski, T., Kochan, P., Heczko, P. B. (2006).** The *in vitro* effect of hydrogen peroxide on vaginal microbial communities. FEMS Immunology & Medical Microbiology, 48(1), 56–63.

**« T »**

- **Tang, J., Zhang, R., Chen, J., Zhao, Y., Tang, C., Yue, H., Shi, H. (2015).** Incidence and characterization of *Staphylococcus aureus* strains isolated from food markets. Annals of Microbiology, 65(1), 279-286.

- **Thomas ,L., catherine C, Aude D (2016).** Agricultures et territoires chambre d'agriculture Bretagne, les produits alternatifs en production porcine.

- **Tremblay, Y. D., Hathroubi, S., Jacques, M. (2014).** Les biofilms bactériens: leur importance en santé animale et en santé publique. Canadian Journal of Veterinary Research, 78(2), 110-116.

**« V »**

- **Van Niel EW, Hofvendahl K , Hahn-Hagerdal B .(2002)** .Formation and conversion of oxygen metabolites by *Lactococcus lactis* subsp. lactis ATCC 19435 under different growth conditions. Applied and Environmental Microbiology, 68(9), 4350–4356.

- **Varankovich, N. V., Nickerson, M. T., Korber, D. R. (2015).** Probiotic-based strategies for therapeutic and prophylactic use against multiple gastrointestinal diseases. Frontiers in Microbiology, 6, 685.

- **Vasseur, C., Baverel, L., Hébraud, M., Labadie, J. (1999).** Effect of osmotic, alkaline, acid or thermal stresses on the growth and inhibition of Listeria monocytogenes. Journal of Applied Microbiology, 86(3), 469-476.

- **Velraeds ,M.M.C., Van der Mei H.C., Reid G., Busscher H.J. (1996).** Inhibition of initial adhesion of uropathogenic *Enterococcus faecalis* by biosurfactants from *Lactobacillus* isolates. Applied and Environmental Microbiology. 62 (6): 1958-1963.

- **Vilela, A., Bacelar, E., Pinto, T., Anjos, R., Correia, E., Gonçalves, B., Cosme, F. (2019).** Biotechnologie des boissons et des parfums alimentaires, nouvelles applications, techniques sensorielles et sensorielles : un aperçu. Aliments.

- **Vondruskova, HVUVLB, Slamova, RVUVLB, Trckova, M., Zraly, ZVUVLB , Pavlik, I. (2010).** Alternatives aux antibiotiques promoteurs de croissance dans la prévention de la diarrhée chez les porcelets sevrés : une revue. Veterinarni Medicina.

**« W »**

- **Wagner, M.K., Moberg, L.J. (1989)**. Present and future use of traditional antimicrobials. Food Technology, 43(1), 143-147.

- **Wang, H., Ye, K., Wei, X., Cao, J., Xu, X., Zhou, G. (2013).** Occurrence, antimicrobial resistance and biofilm formation of *Salmonella* isolates from a chicken slaughter plant in China. Food Control, 33, 378–384.

- **Wang, S., Yuan, X., Dong, Z., Li, J., Guo, G., Bai, Y., ... Shao, T. (2017).** Characteristics of isolated lactic acid bacteria and their effects on the silage quality. Asian-Australasian Journal of Animal Sciences, 30(6), 819.

- **Wang, W., Baloch, Z., Jiang, T., Zhang, C., Peng, Z., Li, F. (2017).** Enterotoxigenicity and antimicrobial resistance of *Staphylococcus aureus* isolated from retail food in China. Frontiers in Microbiology, 8, 2256.

- **Winkelstroter ,L. K., Gomes B C, Thomas M R S, Souza V M, Martinis C P. (2011)**. *Lb. sakei 1* and its bacteriocin influence adhesion of *L. monocytogenes* on stainless steel surface. Food Control 22: 1404-1407.

- **Woraprayote ,W., Malila Y, Sorapukdee S, Swetwiwathana A,Benjakul S,Visessanguan W. (2016).**Bacteriocins from lactic acid bacteria and their applications in meat and meat products Meat Science 120: 118-132.

**« Y »**

- **Yang, E., Fan, L., Jiang, Y., Doucette, C., Fillmore, S. (2012).** Antimicrobial activity of bacteriocin-producing lactic acid bacteria isolated from cheeses and yogurts. Amb Express, 2(1), 1-12.

- **Yao, A. A., Egounlety, M., Kouame, L. P., Thonart, P. J. A. M. V. (2009).** Les bactéries lactiques dans les aliments ou boissons amylacés et fermentés de l'Afrique de l'Ouest : leur utilisation actuelle. Annel Médecine Vétérinaire.

**« Z »**

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

- **Zalán, Z., Németh, E., Baráth, Á., Halász, A. (2005).** Influence of growth medium on hydrogen peroxide and bacteriocin production of Lactobacillus strains. Food technology and Biotechnology, 43(3), 219-225.

- **Zanzan, M., Achemchem, F., Hamadi, F., Latrache, H., Elmoslih, A., Amzil, K., Mimouni, R. (2018).** Anti-bacterial and anti-adherence activity of *Enterococcus* spp. against *Staphylococcus aureus* CECT 976. Research and Innovation as Tools for Sustainable Agriculture, Food and Nutrition Security.

- **Zhao, T., Doyle M P, Zhao P.( 2002).** Control of *L. monocytogenes* in food processing facilities by competitive inhibition microorganisms. Final report to American Meat Institute Foundation. 36 p.

جامعة محمد الصديق بن يحيى
مكتبة الكلية
كلية علوم الطبيعة و الحياة

| Présenté par : | Membres de jury : | Date de Soutenance : |
|---|---|---|
| M elle : Bensid Imane. | **Présidente :** Dr Amira Samya. | **08/09/2022.** |
| M elle : Djenoub Kaouther. | **Examinatrice :** Mme Benhamada Wahiba. | |
| M elle : Hadji Insaf. | **Encadrante :** Dr Ait Meddour Amel. | |


**Thème :**

**Rôle du pouvoir anti-adhésif exercé par des souches de bactéries lactiques dans l'industrie agroalimentaire**


## Résumé

Dans l'industrie agroalimentaire, les bactéries pathogènes et d'altération ont l'aptitude de former des biofilms dit « négatifs » qui sont des communautés de bactéries ayant la capacité d'adhérer sur les surfaces des équipements et de provoquer leur détérioration et aussi de contaminer les produits alimentaires, ce qui est à l'origine de toxi-infections alimentaires. Les bactéries lactiques ont attiré beaucoup d'attention avec leurs propriétés bénéfiques dans l'industrie agroalimentaire : d'une part par leur capacité à synthétiser des substances antibactériennes, utilisées pour le développement de surfaces anti-biofilms, d'autre part grâce à leur capacité d'adhésion et de former des biofilms connus par l'effet barrière vis-à-vis des bactéries indésirables.



**Mots clés :** adhésion, biofilms, bactéries lactiques, effet antiadhésif.



## Abstract

In the food industry, pathogenic and spoilage bacteria have the ability to form the so-called " negative" biofilms which are communities of bacteria that have the capacity to adhere to the equipment surfaces and cause their deterioration and also to contaminate food products, which is the cause of toxi-food infections. Lactic acid bacteria have attracted a lot of attention in the food industry due to their beneficial properties: on the one hand, by their capacity to secrete antibacterial substances used in the development of anti-biofilm surfaces. On the other hand, due to its adhesion and biofilm formation, known for its barrier effect against undesirable bacteria.



**Keywords:** adhesion, biofilms, lactic acid bacteria, anti-adhesive effect.



## الملخص

في الصناعة الغذائية والزراعية، تتمتع البكتيريا الممرضة والمفسدة بالقدرة على تكوين ما يسمى بالأغشية الحيوية السلبية، وهي عبارة عن مجتمعات من البكتيريا القادرة على الالتصاق بأسطح المعدات والتسبب في تلف وتلوث المنتجات الغذائية مما يؤدي إلى تسممات غذائية. جذبت البكتيريا اللبنية الكثير من الإهتمام بفضل خصائصها المفيدة في الصناعة الغذائية والزراعية فمن جهة لديها القدرة على إفراز مواد مضادة للبكتيريا المستخدمة لتطوير الأسطح المضادة للأغشية الحيوية ، ومن جهة أخرى نظرًا لتمكنها على الالتصاق وتشكيل الأغشية الحيوية المعروفة بتأثير الحاجز تجاه البكتيريا غير المرغوب فيها.



**كلمات مفتاحية:** الإلتصاق، الأغشية الحيوية ، البكتيريا اللبنية، تأثير مضاد للإلتصاق.