

---

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي  
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEURE ET DE LA RECHERCHE  
SCIENTIFIQUE  
جامعة عين تموشنت بلحاج بوشعيب  
Université d'Aïn-TémouchentBelhadj Bouchaib –UATBB-  
Faculté des sciences et de la technologie  
Département des sciences de la nature et de la vie



Projet fin d'étude  
Pour l'obtention de diplôme de master en : Microbiologie Appliquée  
Domaine : Sciences de la nature et de la vie  
Filière : Sciences biologiques  
Spécialité : Microbiologie appliquée

---

## L'étude de l'utilisation des Bactéries Lactiques Genre lactobacillus dans l'industrie Agro-Alimentaire

---

**Présenté par :**

- 1) Melle Cheurfi Soumia
- 2) Melle Aouidat Fatima Zohra

**Devant le jury composé de :**

---

<b>Dr Chrif N</b>	« MCB »	U.B.B.A.T
<b>Dr Chibani H</b>	« MCB »	U.B.B.A.T
<b>Dr Moudden R</b>	« MAA »	U.B.B.A.T

---

*Année universitaire: 2020-2021*

# Remerciements

Mes profonds remerciements vont à ALLAH qui m'a aidé pour effectuer ce travail.

J'adresse le grand remerciement à mon encadreur qui a proposé le thème de ce mémoire, pour ses conseils et ses dirigés du début à la fin de ce travail

Je lui suis également reconnaissant pour le temps conséquent qu'il m'a accordé, ses qualités pédagogiques et scientifiques, sa franchise et sa sympathie. J'ai beaucoup appris à ses côtés et je lui adresse ma gratitude pour tout cel

J'exprime ma profonde gratitude à Messieurs chrif.N et S. CHibani. qui m'on fait l'honneur de juger ce travail

A notre enseignant et président de jury Mrs Chrif N Je suis très reconnaissantes M d'avoir accepté la présidence de notre jury et le temps que vous avez consacré à la lecture du manuscrit. je vous remercie chaleureusement pour la qualité de votre enseignement pendant nos années d'apprentissage et le savoir que vous nous avez transmis. Que ce travail vous soit dédié en témoignage de notre gratitude et profond respect.

A notre enseignante et examinatrice Melle Chibani H Vous m'avez fait l'honneur par votre présence aujourd'hui étant membre de jury.

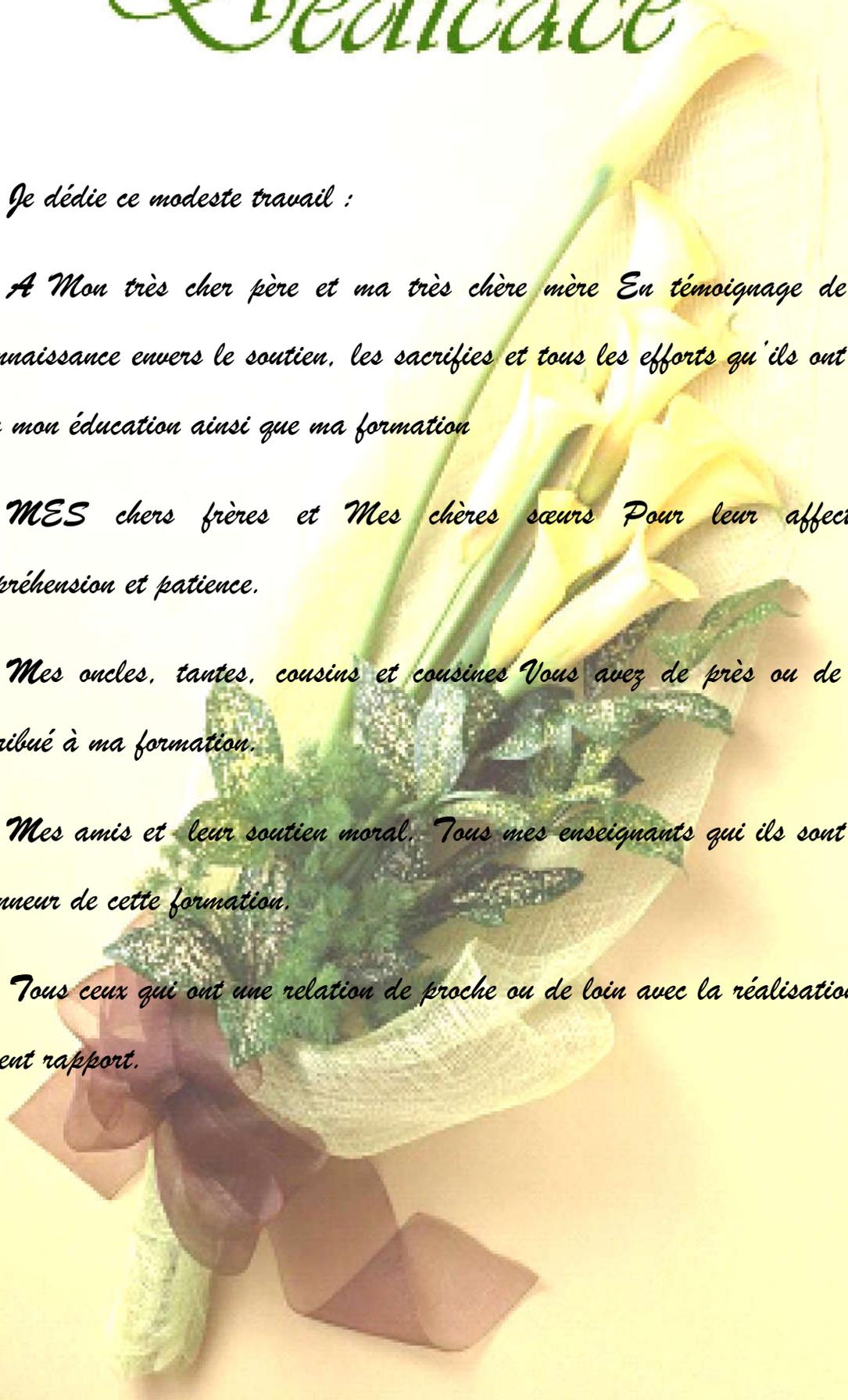
Je vous remercie d'avoir bien voulu examiner mon travail. Je ne pouvais être là aujourd'hui sans votre guide et votre aide précieuse à nous avoir menés à achever ce long parcours. Merci pour les valeurs que vous nous avez enseigné.

Merci pour le savoir que vous nous avez transmis.

Merci



# Dédicace



*Je dédie ce modeste travail :*

*A Mon très cher père et ma très chère mère En témoignage de ma reconnaissance envers le soutien, les sacrifices et tous les efforts qu'ils ont fait pour mon éducation ainsi que ma formation*

*MES chers frères et Mes chères sœurs Pour leur affection, compréhension et patience.*

*Mes oncles, tantes, cousins et cousines Vous avez de près ou de loin contribué à ma formation.*

*Mes amis et leur soutien moral. Tous mes enseignants qui ils sont fait l'honneur de cette formation.*

*Tous ceux qui ont une relation de proche ou de loin avec la réalisation du présent rapport.*

# *Table Des Matière*

<b>1- Introduction</b>	
<b>CHAPITRE I : BACTÉRIE LACTIQUE</b>	
<b>1- Historique</b>	03
<b>2- Généralité</b>	03
<b>3- Habitat</b>	04
<b>4- Taxonomie des bactéries lactiques</b>	05
<b>5- Classification des bactéries lactiques</b>	05
<b>6- Caractéristiques des principaux genres des bactéries lactiques</b>	07
<b>6-1 Le genre Lactobacillus</b>	07
<b>6-2 genre lactococcus</b>	09
<b>6-3 Le genre Streptococcus</b>	10
<b>6-4- genre enterococcus</b>	10
<b>6-5- Le genre Pediococcus :</b>	11
<b>6-6 genre Tétragencoccus</b>	12
<b>6-7 genre leuconostoc</b>	12
<b>6-8 Genre Oenococcus</b>	13
<b>6-9 Genre Bifidobacterium</b>	13
<b>7- La fermentation lactique :</b>	14
<b>7-1 Voie homofermentaire</b>	14
<b>7-2Voie hétérofermentaire</b>	14
<b>8- Identification des bactéries lactiques</b>	15
<b>9- les propriétés antimicrobiennes des bactéries lactiques</b>	22
<b>9-1 Ph et Acide organique :</b>	22
<b>9-2 Le peroxyde d'hydrogène :</b>	22
<b>9-3Le dioxyde de carbone :</b>	23
<b>9-4 Le diacétyle</b>	23
<b>9-5 La Reutéline</b>	23
<b>9-6 Les bactériocines</b>	24
<b>10- L'intérêt des bactéries lactiques</b>	25

<b>10-1 Dansl' industrie alimentaire</b>	25
<b>10-2 Dans le domaine thérapeutique</b>	27
<b>Chapitre II : genre lactobacillus</b>	
<b>1 définition</b>	29
<b>2-habitat</b>	30
<b>3-Caractère morphologiques</b>	32
<b>4-Caractère biochimique</b>	32
<b>5-caractère culturaux et exigences nutritionnels</b>	36
<b>6-principaux genre lactobacillus</b>	38
<b>6-1 lactobacillus acidophilus</b>	38
<b>6-2 lactobacillus casei</b>	38
<b>6-3 lactobacillus coryneformis</b>	39
<b>6-4- lactobacillus buchneri</b>	40
<b>6-5 Lactobacillus reuteri</b>	40
<b>6-6 lactobacillus salivarius</b>	41
<b>6-7 lactobacillus bulgaricus</b>	42
<b>Chapitre III : l'utilisation bactéries lactique dans les produits laitiers et les produits carnée</b>	
<b>I. Produits laitiers</b>	47
<b>1-La Fabrication du yaourt</b>	47
<b>1-1 Définition du yaourt</b>	47
<b>1-2 Les différents types du Yaourt</b>	47
<b>1-3 Le processus de fabrication du yaourt</b>	48
<b>1-4 Le rôle de bactérie lactique dans le yaourt :</b>	49
<b>1-5 L'intérêt des bactéries lactiques du yaourt</b>	51
<b>2- la fabrication du fromage :</b>	54
<b>2-1 Définition du fromage :</b>	54
<b>2-2 Les principaux types de fromage</b>	54
<b>2-3 -La fabrication du fromage</b>	55
<b>2-4 -Rôles des BL dans la fabrication fromage</b>	56
<b>3-fabrication de la crème :</b>	58
<b>3-1 définitions</b>	58
<b>3-2 Les différents types de crèmes</b>	58

<b>3-3 La fabrication de la crème</b>	<b>59</b>
<b>3-4 l'intérêt des bactéries lactique dans la fabrication de la crème</b>	<b>60</b>
<b>II- Les produits carnés</b>	<b>60</b>
Chapitre VI : Utilisation des bactéries lactiques dans la bioconservation dans l'industrie agro-alimentaire	
<b>1- Généralité et définition</b>	<b>63</b>
<b>2- L'application des bactériocines</b>	<b>64</b>
<b>2-1 La définition des bactériocines</b>	<b>64</b>
<b>2-2 Classification des bactériocines</b>	<b>64</b>
<b>2-3 La biosynthèse des bactériocines</b>	<b>67</b>
<b>CONCLUSION GENERALE</b>	<b>74</b>
<b>Référence bibliographique</b>	<b>76</b>

## *Listes des figures.*

FIGURES	Page
Figure 1: Arbre phylogénétique des principaux genres de bactéries lactiques (STILES et HOLZAPFEL, 1997)	07
Figure 2: morphologie de A : <i>lactobacillus casei</i> and B : <i>lactobacillus acidophilus</i> (Examen en microscopie électronique, ×7000) Photo (Bottazzi Vittorio).	08
Figure 3: morphologie en microscopie électronique le <i>lactococcus lactis</i> Sub sp. « <i>Diacetylactis</i> »(Teuber et Geis, 2006).	09
Figure 4: Morphologie en microscopie électronique de <i>Streptococcus thermophilus</i> (Liebefeld, 2002).	10
Figure 5: Morphologie en microscopie électronique de <i>Pediococcus</i> sp Photo Sylviane Lemarinier (Université de Caen.)	11
Figure 6: fixation des leuconostocs sur les moules en grés-vernissé. (Examens en microscopie électronique de balage, 11 500×)	12
Figure 7: Morphologie en microscopie électronique de <i>bifodobacterium animalis</i> Photo Sylviane Lemarinier (Université de Caen)	13
Figure 8: différente forme microscopique de bactéries lactiques obtenues au laboratoire de microbiologie appliquée de l'université d'Oran par SAIDI (2007). De gauche – droite, Diplocoques ( <i>Leuconostoc</i> sp.), ( <i>Lactobacillus</i> sp.), streptocoques et diplocoques ( <i>Lactococcus lactis</i> sp.)(Grossissement x 1000).	16
Figure 9 : frottis de yaourt coloration gram, observé au microscope grossissement 1000 fois, objectif à immersion.	17
Figure 10: test de catalase ( <u>June 11, 2018</u> by Sagar Aryal).	19
Figure 11: Résultat du profil fermentaire de la souche : <i>lactobacillus plantarum</i> Lb1 sur la galerie API 50 CHL.21	20
Figure 12: Résultat du profil fermentaire de la souche : <i>leuconostoc mesenteroides</i> subs <i>mesenteroide</i> Ln5 sur la galerie API 50 CHL après 48h d'incubation.	21
Figure 13: structure de la reutérine, 3-hydroxypropanal (Axelsson, 2004)	24

Figure 14: Lactobacillus sp (Anonyme 1,2020)	30
Figure 15: habitat des souches lactobacillus.(Systématique microbienne (J-Noël Joffin)	31
Figure 16 : Souche de lactobacilles observée par microscopie électronique à balayage. (Tirée de <a href="http://www.inra.fr">www.inra.fr</a> )	32
Figure 17: schéma succinct des principales voies métaboliques fermentaires des Lactobacillus (Source Perry et al., 2004 ).	34
Figure 18: Aspect macroscopique des colonies de lactobacilles isolées sur gélose MRS (De Vos P. 2009).	36
Figure 19: <i>Lactobacillus acidophilus</i> sur des <u>squames</u> de <u>cellules épithéliales</u> du <u>vagin</u>	38
Figure 20: <i>lactobacillus casei</i>	39
Figure 21: <i>lactobacillus coryneformis</i>	39
Figure 22: - <i>lactobacillus buchneri</i>	40
Figure 23: <i>lactobacillus reuteri</i>	41
Figure 24: <i>lactobacillus salivarius</i> . (dennis-kunkel-microscopyscience-photo-library).	41
Figure 25: <i>lactobacillus bulgaricus</i>	42
Figure 26: Les interactions de Streptococcus thermophilus et Lactobacillus bulgaricus (Mahaut et al., 2005).	51
Figure 27: protéolyse des caséines et catabolisme des acides aminés pendant l'affinage des fromages (MCSWEENEY et SOUSA, 2000).	57
Figure28 : les produits carnés ( <a href="http://www.agroscope/fr/alimentaion">www.agroscope/fr/alimentaion</a> ).	61
Figure 29 : séquence et structure de l'antibiotique de type Nisine.	65
Figure 30: Mécanisme du Quorum Sensing : Model nisine de Lactococcus lactis.	68
Figure 31: Mécanisme de production et de régulation des antibiotiques (la nisine).	69

## *Liste des tableaux*

<b>tableaux</b>	<b>Page</b>
<b>Tableau 1: Les différents genres des bactéries lactiques (Federighi, 2005).</b>	<b>06</b>
<b>Tableau 2: La forme des cellules des différents genres des bactéries lactiques (J. Bergey. 2009).</b>	<b>17</b>
<b>Tableau 3: Quelques applications des bactéries lactiques (Zhu et al., 2009).</b>	<b>26</b>
<b>Tableau 4: Habitat des Lactobacillus (Perryetal.,2004).</b>	<b>27</b>
<b>Tableau 5: Principaux groupes formés au sein du genre Lactobacillus, sur la base des caractéristiques phénotypiques (Saad, 2010)</b>	<b>35</b>
<b>Tableau 6: Exigences nutritionnelles des lactobacilles</b>	<b>37</b>
<b>Tableau 7: espèces à effet probiotique du genre lactobacillus (Tannock, 1999)</b>	<b>44</b>
<b>Tableau 8 :les effets bénéfiques des lactobacilles probiotiques sur la santé humaine selon la (FAO/OMS, 2001 et WGO, 2008).</b>	<b>45</b>
<b>Tableau 9: sequences de quelques bactériocines classe II.</b>	<b>66</b>

**Abréviation:**

Lc : Lactococcus

Lb : Lactobacillus

Ent : Enterococcus

P :Pediococcus

Strp : streptococcus thermophilus

Lb : Lactobacillus delbrueckii sp. bulgaricus

FAO: Food and Agriculture Organization

OMS: Organisation Mondiale de Santé

kDa : **unité de masse atomique unifiée**

ADN : Acide désoxyribonucléique

GC% : Taux de GC ou coefficient de Chargaff

°C :degré Celsius

MRS: Man Rogosa Sharpe

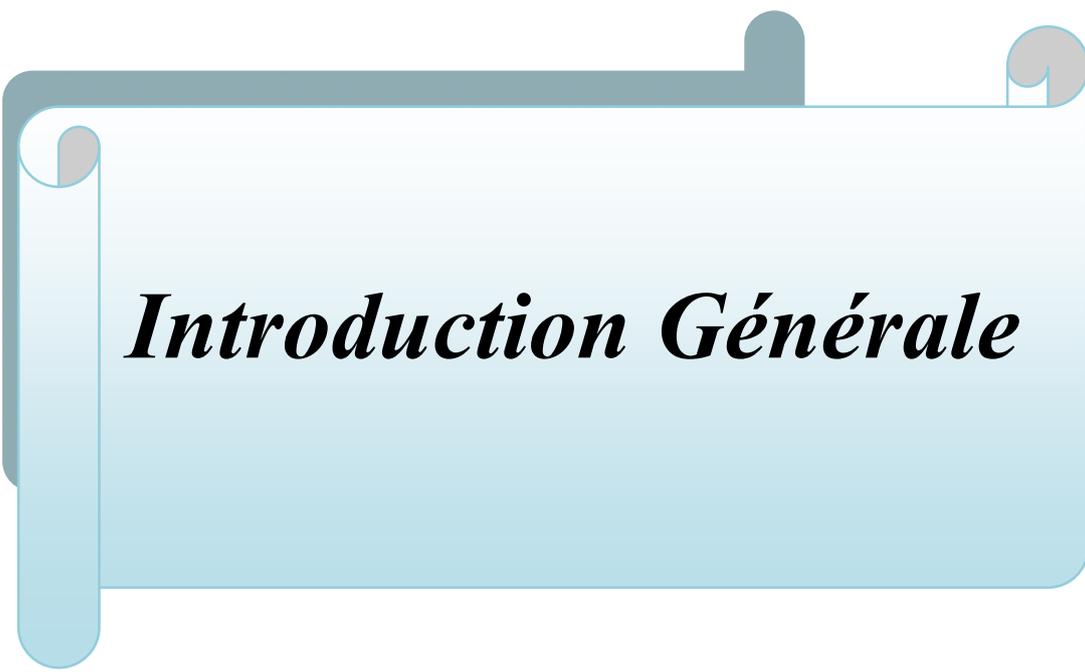
Ph : potential d'hydrogène

Co<sub>2</sub> : oxyde de carbone

%: pour cent

g: gramme

ARN: Acide Ribonucleique.



***Introduction Générale***

## **Introduction générale**

---

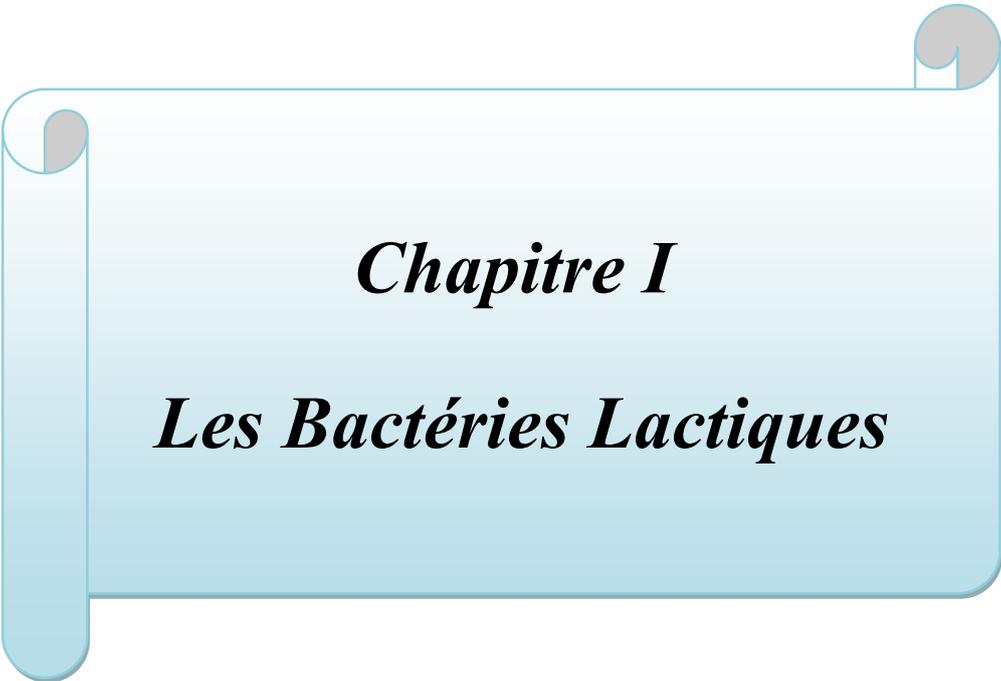
### **Introduction :**

Les bactéries lactiques sont des microorganismes très répandus dans la nature ; on les trouve dans le sol, sur les végétaux, Elles présentent un grand intérêt dans l'industrie. Elles sont largement utilisées dans l'élaboration des produits alimentaires par des procédés de fermentations lactiques.

Les bactéries lactiques assurent non seulement des caractéristiques particulières d'arômes et de texture mais aussi une bonne sécurité sanitaire alimentaire. Cette sécurité est favorisée grâce à la production d'acides organiques (acides lactiques et acétiques) qui font baisser le pH dans le milieu.

Les techniques de biologie moléculaires ont permis de mettre en évidence une forte diversité génomique qui a conduit à la classification récente de treize genres : Carnobacterium, Enterococcus, Lactobacillus, Lactococcus, Leuconostoc, Oenococcus, Pediococcus, Streptococcus, Tetragenococcus, Vagococcus, Weissella, Aerococcus, Bifidobacterium (Carine et al, 2009).

De plus, elles jouent également un rôle essentiel dans la conservation et l'innocuité de ces aliments, par la production des acides organiques et d'autres composés antimicrobiens ; comme les bactériocines qui inhibent la croissance des germes pathogènes et/ ou de contamination.



*Chapitre I*

*Les Bactéries Lactiques*

### **1 -Historique :**

Les bactéries sont de très anciens micro-organismes dont les ancêtres (**Dridier et Prevost, 2009**). Ils ont été utilisés pour la fermentation des aliments depuis plus de 4000 ans, sans pour autant comprendre la base scientifique de leur utilisation, mais tout en essayant de produire des aliments de meilleure conservation et de meilleure qualité (**Sallofe, 1994**). Ce n'est qu'à la fin du 19ème siècle, époque des grandes découvertes de la microbiologie, que certains chercheurs ont isolé un Streptocoque (**Poulain, 1994**), comme **Von Freudeinreich en 1897**. La production des cultures de bactéries et l'emploi de ferment se développent au début du 20ème siècle (**Dridier et Prevost, 2009**).

Le terme bactéries lactiques est intimement associé aux bactéries impliquées dans la fermentation des aliments pour l'homme et l'animal. La première culture pure était des *Bacterium lactis* probablement des *Lactococcus lactis*, obtenu par **Lister en 1873**.

Historiquement, les premiers genres à être décrits sont : *Lactobacillus*, *Leuconostoc*, *Pediococcus* et *Streptococcus* ; les genres ci-après : *Aerococcus*, *Carnobacterium*, *Enterococcus*, *Lactobacillus*, *Lactococcus*, *Leuconostoc*, *Oenococcus*, *Pediococcus*, *Streptococcus*, *Tetragenococcus*, *Vagococcus* et *Weissella* sont considérés comme les principales bactéries lactiques du point de vue technologique (**Guiraud, 2003 ; Limsowtin et al, 2004**).

### **2 -Généralité**

Les bactéries lactiques sont définies pour la première fois par Orla Jenson au début du vingtième siècle. Ce sont des cellules vivantes, procaryotes et chimio-organotrophes (**De Roissart, 1986**).

Elles forment un groupe hétérogène selon leur morphologie, leur structure et leur physiologie et leur nutrition. Ce sont des cocci ou des bâtonnets Gram positif, généralement immobiles et asporulés. (**Axelsson, 2004**). Selon les espèces et les conditions de culture, les bactéries lactiques peuvent être anaérobies mais aéro-tolérantes. Elles ont des exigences nutritionnelles complexes : les acides aminés, les peptides, les vitamines, les sels, les acides gras et les glucides fermentescibles (**Dellaglio et al., 1994 ; Hogg, 2005**). Elles tolèrent des PH acide (entre 4 et 4,5) (**Salminen et al., 2004; König et Fröhlich, 2009 ; Pringsulaka et al., 2011**), et capable de croître à des température comprise entre 10°C et 45°C.

les BL caractérisé par la production de l'acide lactique comme produit majeur du métabolisme (SALMINEN et al., 2004; KÖNIG et FRÖHLICH, 2009 ; PRINGSULAKA et al., 2011).

Selon le type de fermentation préférentielle les bactéries lactiques sont dites :

- **Homofermentaires**: l'acide lactique est le seul produit de la fermentation du glucose.
- **Hétérofermentaires facultatives**: la fermentation du glucose aboutit à la formation d'acide lactique ou d'acide lactique et d'acide acétique.
- **Hétérofermentaires strictes**: elles produisent en plus de l'acide lactique de l'acide acétique ou de l'éthanol et du CO<sub>2</sub> (Vandamme et al, 1996).

Les bactéries lactiques sont présentes à l'état libre dans l'environnement ou vivent en association avec un hôte, tel que l'Homme ou l'animal, dans un écosystème bactérien comme le tractus gastro-intestinal ou génital des mammifères (Klein et al., 1998). Elles sont ubiquistes et on les trouve dans différentes niches écologiques comme le lait et les produits laitiers, les végétaux, la viande, le poisson, les muqueuses humaines et animales (Douault et Corthier, 2000) et ont été également retrouvées dans le sol, les engrais, et les eaux d'égout (Holzapfel et al., 1998 ; Givry, 2006).

### 3 - Habitat :

Les bactéries lactiques colonisent les habitats riches en nutriments, tels les plantes, les fruits, les produits laitiers, les eaux et les eaux usées, les jus, ainsi que les cavités buccales, vaginales et intestinales de l'homme, sans pour autant lui provoquer des maladies, à l'exception de quelques cas causés par les streptococci et certains lactobacilli (König et Fröhlich, 2009).

Certaines espèces semblent adaptées à un environnement spécifique et ne semblent guère se retrouver ailleurs que dans leur habitat naturel. Grâce à leur souplesse d'adaptation physiologique, les LAB peuvent coloniser des milieux très différents du point de vue physico-chimique et biologique (DE ROISSARD et LUQUET, 1994)

Malgré leur importance économique, les bactéries lactiques n'ont pas toujours reçu l'attention nécessaire ni de la part des microbiologistes ni de celles des industriels. Depuis quelque années, elles deviennent un sujet d'étude privilégié de par le monde. (Stiles et Holzapfel, 1997).

#### **4 -Taxonomie des bactéries lactiques :**

Les bactéries lactiques ont été divisées en quatre genres, Streptococcus, Lactobacillus, Leuconostoc et PediococcusF. **(Ghazi, D.E. Henni, Z. Benmechernene, M. Kiha .2009).** et plusieurs nouveaux genres ont été ajoutés Aerococcus, Alloiococcus, Carnobacterium, Dolosigranulum, Enterococcus, Globicatella, Lactococcus, Oenococcus, Tetragenococcus, Vagococcus et Weissella**(T. Bintsis..2008).**

La taxonomie des bactéries lactiques a été basée sur la coloration de Gram et il est possible de les classer suivant la nature des produits du métabolisme bactérien obtenus à glucides.

En général, les bactéries ayant des propriétés très similaires étaient considérées comme appartenant à la même espèce, et les espèces ayant des propriétés similaires étaient classées comme appartenant au même genre**(G.K.Y. Limsowtin, M.C. Broome, I.B. Powell. 2002).**

Du point de vu taxonomique, les bactéries lactiques sont un vaste ensemble de microorganismes procaryotes qui se rattache au phylum des Clostridium des bactéries à Gram positif dont le pourcentage de G+C est inférieur à 50%. Elles appartiennent à la lignée des Firmicutes, à la classe des Bacilli et à l'ordre des Lactobacillales **(GARRITY et al., 2007).**

#### **5- La classification des bactéries lactiques :**

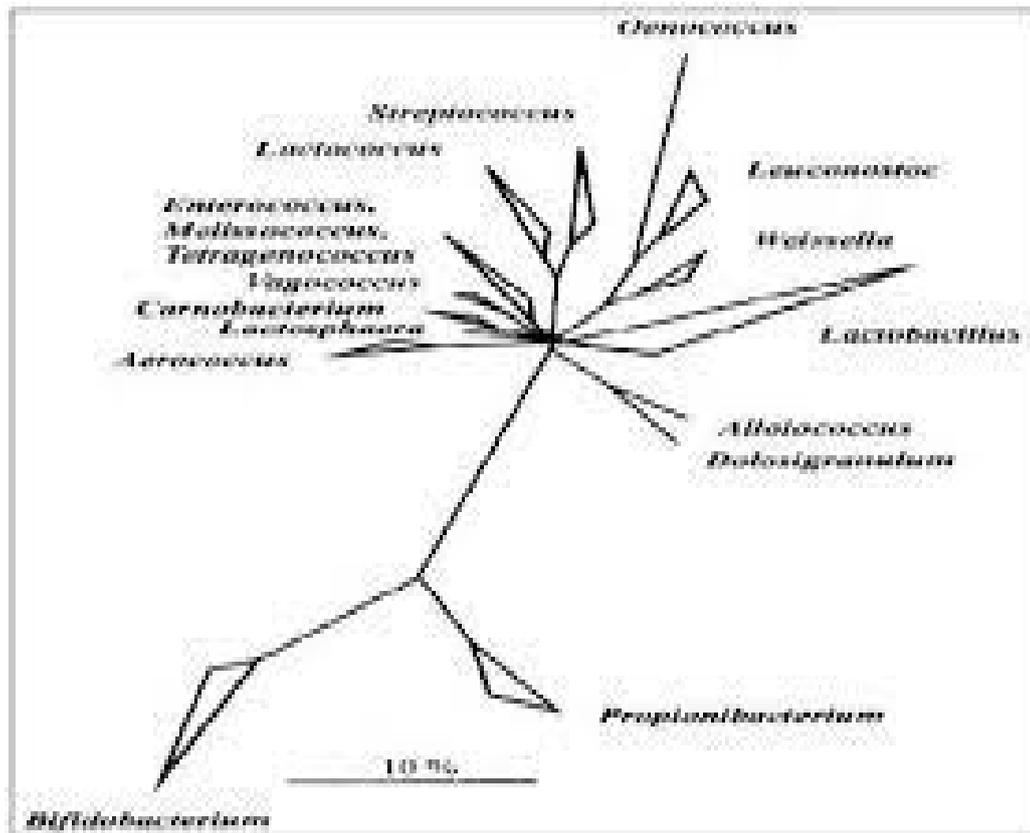
En 1919, ORLA-JENSEN a séparé les bactéries lactiques en deux groupes : homofermentaire et hétérofermentaire. Ces deux familles sont ensuite subdivisées en sous-familles selon des critères morphologiques et physiologiques **(DELLAGLIO et al., 1994).**

La classification des bactéries lactiques peut se faire aussi selon des critères phylogénétiques par l'utilisation des méthodes moléculaires. Cependant, la caractérisation phénotypique /biochimique classique demeure pratique dans l'identification préliminaire des microorganismes. La relation phylogénétique basée sur la comparaison des séquences d'ARNr 16S ainsi que les principales caractéristiques physiologiques et biochimiques entre les différents genres des bactéries lactiques.

Le tableau suivant donne les différents genres des bactéries lactiques d'intérêt en microbiologie des aliments et leurs principales caractéristiques :

<i>Genre</i>	<i>morphologie</i>	<i>fermentation</i>	<i>Caractéristiques principale</i>	<i>Habitat principaux</i>
<i>Lactobacillus</i>	Bacilles	Homofermentaire ou Hétérofermentaire	Thermophilus ou mésophiles	Homme, produits laitiers, carnés, végétaux
<i>Carnobacterium</i>	Bacilles	Hétérofermentaire	Psychotropes, peu acidotolérants	Produits carné, poissons, produits laitiers.
<i>Lactococcus</i>	Coques	Homofermentaire	Mésophiles, croissance à 10°C et non à 45°C	Produits laitiers, Végétaux.
<i>Streptococcus</i>	Coques	Homofermentaire	Thermophile	Produits laitiers.
<i>Enterococcus</i>	Coques	Hétérofermentaire	Mésophiles, croissance à 45°C et non à 10°, thermorésistante.	Intestin de l'homme et des animaux, produits laitiers.
<i>Pediococcus</i>	Coque	Homofermentaire	Mésophiles halotolérants.	Bière, produits végétaux, saucissons.
<i>Tetragencoccus</i>	Coque en tétrades	Homofermentaire	Mésophiles halophiles	Saumures
<i>Leuconostoc</i>	Coques	Hétérofermentaire	Mésophiles	Produits végétaux, produits laitiers.
<i>Oenococcus</i>	Coque	Hétérofermentaire	Mésophile	Vin
<i>Bifidobacterium</i>	Forme irrégulière	Acide acétique et lactique	Mésophile	Intestin de l'homme et des animaux.
<i>Vagococcus</i>	Coque mobile	Homofermentaire	Mésophile	Intestin de l'homme et des animaux, produits laitiers

**Tableau 1:** Les différents genres des bactéries lactiques (Federighi, 2005).



**Figure 1:** Arbre phylogénétique des principaux genres de bactéries lactiques

(STILES et HOLZAPFEL, 1997)

## 6- Caractéristiques des principaux genres des bactéries lactiques :

### 6-1 Le genre *Lactobacillus* :

*Lactobacillus* est le genre principal de la famille des *Lactobacillaceae*. Il s'agit de bacilles longs et fins, souvent groupés en chaînes, immobiles, asporulés, catalase négative, se développent à un optimum de température situé entre 30 et 40°C, aspogènes, anaérobies facultatifs, micro aérophiles, ne réduisent pas les citrates, n'hydrolysent pas la gélatine, et acidophiles (Garvie, 1984).

L'hétérogénéité des espèces est illustrée par le contenu en G+C qui peut varier de 32 à 53 % (Schleifer et Stackebrandt, 1983 ; Pilet M-F. et al., 2005).

Le genre *Lactobacillus* ont été classés en 03 groupes par (Orla-Jensen, 1919) :

**Groupe N°1 :**

- ***Thermobactérium*** : comprend les lactobacilles homofermentaire et thermophile. qui se développent à 45°C mais pas à 15°C. leur cellules sont longues, droites souvent en palissades (**Bottazzi, 1988**). parmi les espèces les plus fréquentes dans l'alimentation (Lait, yaourt, fromage) sont *Lb. helveticus*, *Lb. delbrueckii*, *Lb. acidophilus*.

**Groupe N°2 :**

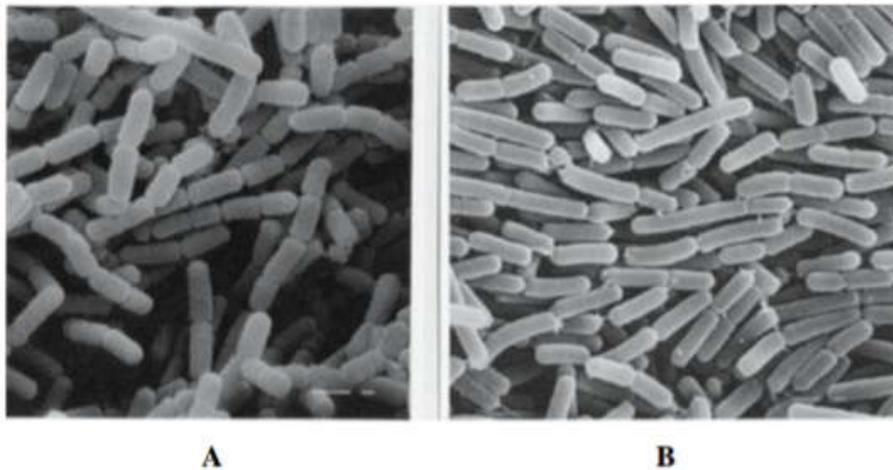
***Streptobacterium*** : rassemble les lactobacilles homofermentaire mésophiles qui se développent à 15°C. Les espèces les plus fréquentes dans l'alimentation sont *Lb. Casei*,

*Lb. Curvatus*, *Lb. Sake* et *Lb. PlantwWarum*.

**Groupe N°3 :**

***Betabacterium*** : regroupe les lactobacilles hétérofermentaires. Il comporte les espèces

*Lb. Fermentum*, *Lb. Brevis* et *Lb. sanfransisco*.



**Figure 2:** morphologie de A : *lactobacillus casei* and B : *lactobacillus acidophilus*

(Examen en microscopie électronique, ×7000) Photo (**Bottazzi Vittorio**).

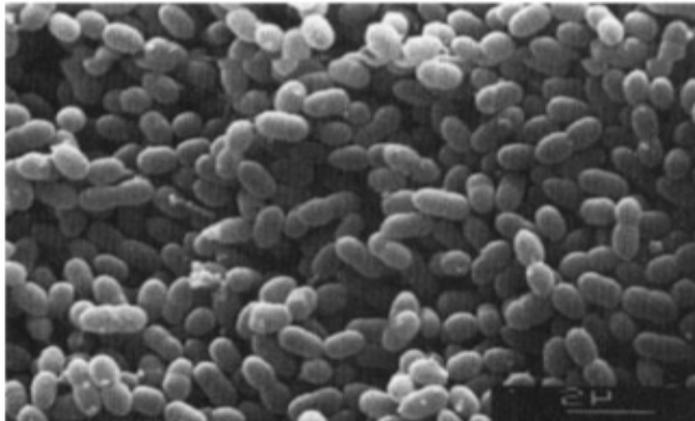
**6-2 genre lactococcus :**

Le genre *Lactococcus* (*streptocoque du groupe N*) représente les streptocoques dits lactique, se trouve sous forme de coque en paire ou en chaîne de longueur variable. Ce sont des bactéries anaérobies facultatives homofermentaires ne produisant que de l'acide lactique(+), seul *Lactococcus lactis* sp. *Lactis* biovar. *Diacetylactis* produit le diacétyle. Leur température optimale de croissance est proche de 30°C, capable de se développer à 10°C mais pas à 45°C.

Elles se développent généralement à 4% de NaCl et à un pH proche de la neutralité, leur croissance d'arrêtant lorsque le pH du milieu atteint 4,5. Et sont capable de développer à 3% de bleu de méthylène et d'hydrolyser l'arginine (Tamine, 2002). Quelques espèces produisent des exopolysaccharides et des bactériocines.

Actuellement, le genre *Lactococcus* comprend trois sous-espèces : *Lc. Lactis* ssp. *Lactis*,

*Lc. Lactis* ssp. *Cremoris* et *Lc. Lactis* ssp. *Hordniae* (Pot et al., 1996 ; Pot, 2008). Seules les deux premières interviennent dans la plupart des produits laitiers.



**Figure 3:** morphologie en microscopie électronique le *lactococcus lactis*

Sub sp. « *Diacetylactis* » (Teuber et Geis, 2006).

### 6-3 Le genre Streptococcus :

Le genre Streptococcus est toujours large et la classification est très mouvementée. Ce genre est généralement divisé en trois groupes : pyogène (la plus part des espèces pathogènes et hémolytiques), oral (tel que *St. salivarius*, *St. bovis*) et les autres streptocoques (Scheilfer, 1987).

Les cellules de ce genre sont des Cocci sphérique ou ovoïdes qui ont un diamètre inférieur à 2 µm regroupées en paires ou en chaînettes ; en général immobiles, leur fermentation est homofermentaire, elles produisent un certain nombre d'agents antimicrobiens.

Ce genre comprend la majorité des espèces de streptocoque, ces organismes ont un contenu en G+C de 35 à 46% (Pilet M-F et al., 2005).

La seule espèce de streptocoques qui soit utilisée en technologie alimentaire est *Streptococcus thermophilus* qui se différencie par son habitat (lait et produits laitiers) et son caractère non pathogène. La résistance à la température, la capacité de croître à 52°C et le nombre limité de déshydrates de carbone permettent de distinguer les *St. Thermophilus* de la plupart des autres streptocoques (Haddie, 1986 ; Pilet et al., 2005).

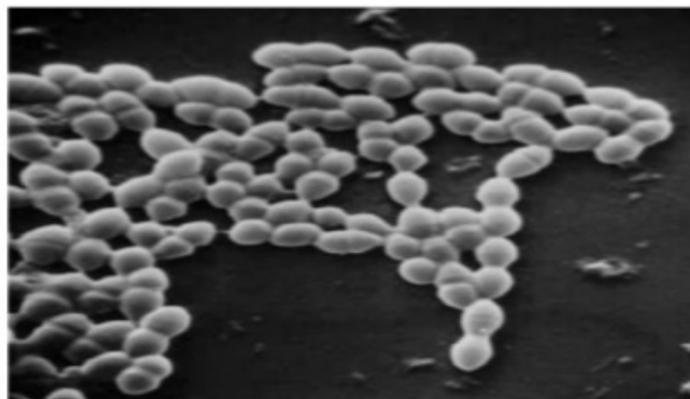


Figure 4: Morphologie en microscopie électronique de *Streptococcus thermophilus*

(Liebefeld, 2002).

### 6-4 Le genre Enterococcus :

Les Enterococcus rassemblent des streptocoques fécaux (*Enterococcus faecalis* et *Enterococcus faecium*) qui représente le groupe entérocoque.

Ce genre comprend des cellules ovoïdes isolées, en paire ou en courtes chaînes, peut être mobile, homofermentaire. Il se caractérise par leur développement à 10 et 45°C avec une

température optimale de croissance de 35 à 37°C (ZHANG et CAI, 2014), leur aptitude à croître en présence de 6,5 % NaCl, au Ph 9, et leur grande résistance aux facteurs de l'environnement. leur habitat est très varié : intestin de l'homme et des animaux, produit végétal, sol, produits laitiers (Giraffa et al., 1997). Les entérocoques jouent en essentiel dans la maturation des fromages.

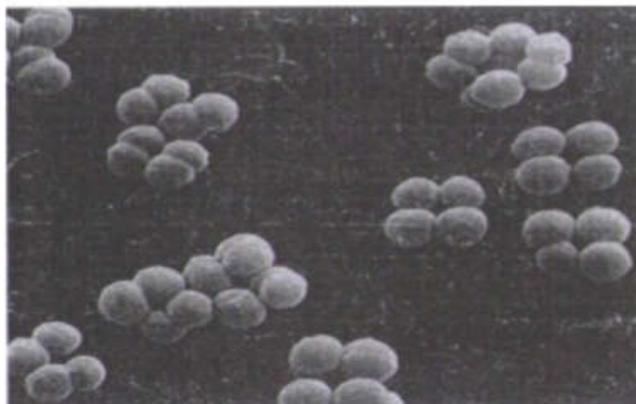
#### 6-5- Le genre *Pediococcus* :

Les *Pediococcus* sont des germes micro aérophiiles à besoins nutritifs complexe, se trouvent dans les habitats naturel se présentent comme étant des cellules de forme sphérique en paire ou en tétrades en chaîne

Sont des coques formées des cellules groupées en paire ou tétrades. Ils sont mésophiles , homofermentaire, le plus souvent incapable d'utiliser le lactose et leur développement nécessite la présence de divers facteurs de croissances. Leur température de croissance entre 25-40°C, et sont souvent responsables d'accidents de fabrications notamment en brasserie (Iveau et Boux, 1991).

Sept espèces de *Pediococcus* sont connues : *P. acidilactici*, *P. damnosus*, *P. dextrinicum*, *P. inopinatus*, *P. parvulus*, *P. pentosaceus* et *P. urinaeequi*.

Les *P. acidilactici* et *P. pentosaceus* ont démontré leur utilisation dans l'élaboration de plusieurs produits carnés fermentés naturels.



**Figure 5:** Morphologie en microscopie électronique de *Pediococcus* sp

Photo Sylviane Lemarinier (Université de Caen.)

**6-6 genre Tétragencoccus :**

Les espèces de Tétragencoccus ont un rôle crucial dans la fabrication des produits alimentaires à concentration élevée en sel comme les sauces de soja. Seulement deux espèces de Tétragencoccus sont connues : *T. halophilus* et *T. muriaticus*.

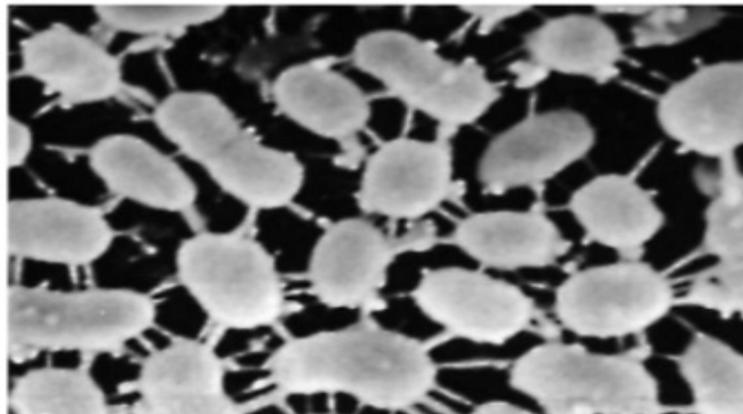
**6-7 genre leuconostoc :**

Le genre leuconostoc a été défini par Van Thieghem en 1878. Sont rassemblent des coques lenticulaire en paire ou en chaîne, hétérofermentaire, mésophile avec la production de l'acide lactique, de CO<sub>2</sub> et d'éthanol, sont soit acidifiante, soit aromatisantes et elles peuvent inhiber leurs microorganisme contaminant acido-sensible dans le milieu (**Bourgeois et Larpent, 1996**).

Leur température optimale de croissance est se situe entre 25 et 30 °C, leur croissance est lente, ne sont pas pathogène, généralement sont utile dans différente type de fromage (**Devoyod et Poullan, 1988 ; ogier et al ; 2008**) et aussi dans l'industrie laitière (beurre et crème)

Le genre comprend les espèces suivantes :

- 1- *Ln. mesenteroides*
- 2- *Ln. Paramesenteroide*
- 3- *Ln. Lactic*
- 4- *Ln.oenos*



**Figure 6:** fixation des leuconostocs sur les moules en grés-vernissé.

(Examens en microscopie électronique de balage, 11 500×)

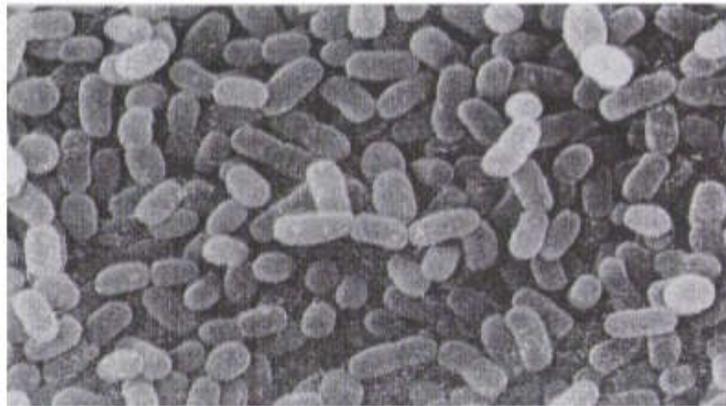
**Photo Micheline Rousseau-Christiane Le Gallo INRA-C.R.Jouy-en-Josas.**

**6-8 Genre Oenococcus :**

Sont des grams positifs, catalase négative, aérobie facultatif. Ce genre caractérise par l'absence de l'arginine déminasse et la production prédominante du D(-) – lactate à partir de glucose.

**6-9 Genre Bifidobacterium :**

Le genre bifidobacterium avait le nom de Bacillus Bifidus. Sont anaérobie, caractérisé par des cellules de forme très irrégulier peuvent être : cellule courte, conoïdales, ramifié, spatulée, isolées ou en chaîne disposé en V ou en palissade (**Larpent J6P., 1996a ; Pilet M-F. et al.,2005**). Leur contenu G+C est 55-67%, la présence d'une enzyme la fructose-6-phosphocétolase, celle-ci leur permet de fermenter les hexoses en produisant de l'acide lactique et de faible quantité d'éthanol et d'autre acide organique.



**Figure 7:** Morphologie en microscopie électronique de *bifodobacterium animalis*

**Photo Sylviane Lemarinier (Université de Caen)**

**7- La fermentation lactique :**

La fermentation lactique est une étape essentielle dans la fabrication des fromages et yaourts, des produits de charcuterie (saucisson, jambon... etc.) mais aussi de nombreux produits végétaux fermentés (olives, cornichons choucroute,... etc.), exploitant ainsi ses apports en matière organoleptique (acidification, aromatisation).

L'utilisation de la fermentation par l'homme remonte à des temps très anciens. Les ferments lactiques contenant une ou plusieurs cultures pures en proposition définies de différentes bactéries lactique, sont largement utilisés en agroalimentaire (**Holzappel, 2002**).

La fermentation des sucres s'effectue essentiellement en trois étapes (**ATLAN et al., 2008**) :

1-le transport du sucre à travers la membrane cellulaire

2-Le catabolisme intracellulaire du sucre

3-Formation et expulsion extracellulaire des métabolites terminaux.

Depuis 1920, ORLA-JENSEN a montré que les bactéries lactique peuvent se diviser en 2 groupes biochimiques, homofermentaire (**Embden-meyerhof-parnas, EMP**) et hétérofermentaire (voie des pentoses-phosphate). La différence entre ces deux groupes est par dégagement métabolique de CO<sub>2</sub>.

**7-1 Voie homofermentaire :**

Dans cette voie, le glucose est dégradé par des bactéries lactiques homofermentaire qui comprennent les espèces de Lactocoques, Pediocoques, ainsi que certains Lactobacilles. En formant l'acide lactique au cours des conditions optimales.

L'enzyme clé indispensable au fonctionnement clé de voie EMP est le fructose -1,6-bisphosphate aldolase (**Deroissart et Luquet, 1999**).

**7-2 Voie hétérofermentaire :**

Les bactéries lactiques hétérofermentaire qui sont les Leuconostoc et certains Lactobacilles fermentent le glucose en produisant, en plus de l'acide lactique, de l'acétate, de l'éthanol et du CO<sub>2</sub>.

Ces microorganismes sont dépourvus d'une FBA et le système de transport PTS (TOMPSON et GENTRY-WEEKS, 1994).

### 8- Identification des bactéries lactiques:

L'identification du genre ou de l'espèce est effectuée selon les critères suivants (Drancourt M., Bollet C.2000) :

- Si la comparaison de la séquence obtenue avec une séquence d'une espèce de référence classifiée a rapporté des pourcentages de similitude  $\geq 99\%$ , l'isolat inconnu sera assigné à cette espèce.
- Si les pourcentages sont entre 97% et 99% l'isolat inconnu sera assigné au genre correspondant.
- Si les pourcentages sont  $< 97\%$ , l'isolat inconnu sera assigné à une famille.

#### 8-1 Caractère morphologique:

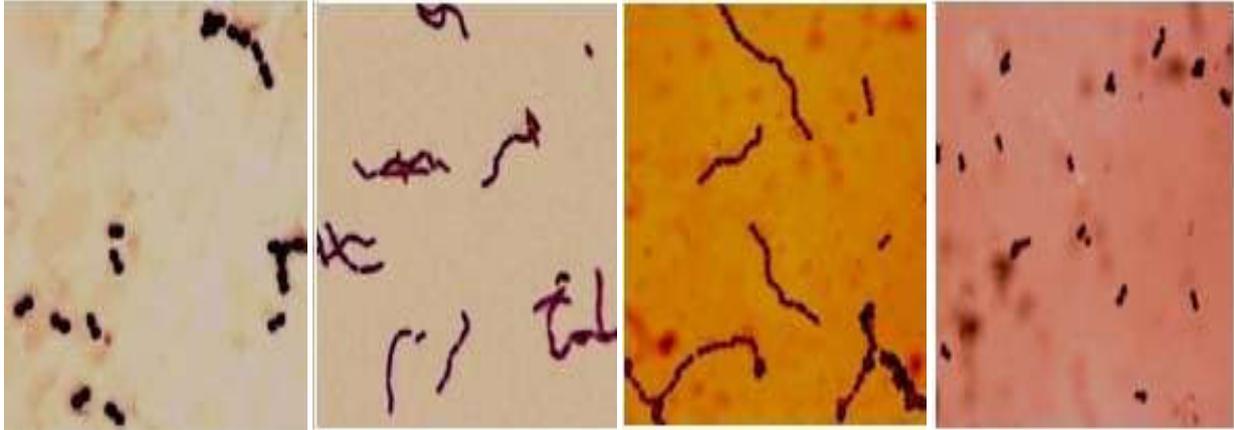
Cette étude est basée sur l'observation macroscopique et microscopique.

##### Examen macroscopique :

Ce test permet de mettre en évidence la morphologie de colonie obtenue sur des milieux solides, il s'agit d'une observation à l'œil nu qui consiste à déterminer les paramètres suivants (Taille, couleur et forme des colonies).

##### Examen microscopique :

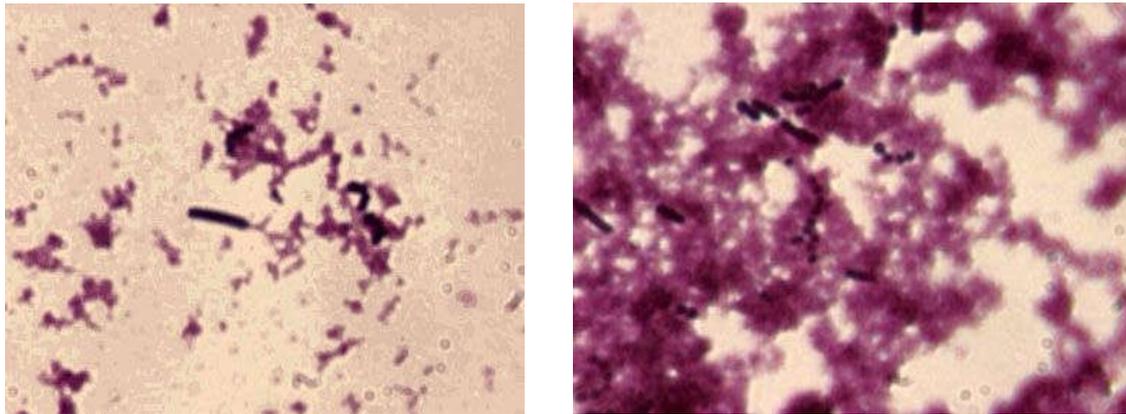
On utilise le microscope optique pour déterminer par la suite la forme et la disposition des cellules bactériennes ; ainsi que leur type de Gram (Gram+ pour les bactéries lactiques).



**Figure 8:** différente forme microscopique de bactéries lactiques obtenues au laboratoire de microbiologie appliquée de l'université d'Oran par SAIDI (2007). De gauche – droite, Diplocoques (*Leuconostoc* sp.), (*Lactobacillus* sp.), streptocoques et diplocoques (*Lactococcus lactis* sp.) (Grossissement **x 1000**).

➤ **La coloration de gram :**

Un frottis fixé à la chaleur est coloré pendant une minute au violet de cristal; il est ensuite rincé rapidement à l'eau courante, traité pendant une minute par une solution de Lugol, et de nouveau rincé rapidement. On soumet alors le frottis coloré à une étape de décoloration en le traitant avec l'éthanol 95%. Il s'agit de l'étape critique: la lame est maintenue inclinée et on fait couler le solvant sur le frottis pendant 2 à 3 secondes seulement jusqu'à ce que le colorant cesse de s'échapper librement du frottis. Celui-ci est alors immédiatement rincé à l'eau courante. À ce stade les cellules gram- seront incolores, les cellules gram+ violettes. On soumet ensuite le frottis à une contre coloration de 30 secondes à la fushine pour colorer les cellules gram- présentes. Après un bref rinçage, on sèche le frottis au buvard et on l'examine à l'objectif à immersion (grossissement X 1000) (Singleton, 1999).



**Figure 9** : frottis de yaourt coloration gram, observé au microscope grossissement 1000 fois, objectif à immersion.

- Les bactéries lactiques sont constituées d'un groupe hétérogène de bactéries Gram-positives. Dans lequel on distingue deux grands groupes morphologiques: les coques et les bacilles(**R. Temmerman, G. Huys, J. Swings. 2004**).

**Tableau 2**: La forme des cellules des différents genres des bactéries lactiques(**J. Bergey.2009**).

Genre	Forme
<i>Streptococcus</i>	<b>Cocci</b>
<i>Bifidobacterium</i>	<b>Bacille</b>
<i>Lactobacillus</i>	<b>Bacille</b>
<i>Pediococcus</i>	<b>Cocci</b>
<i>Enterococcus</i>	<b>Cocci</b>
<i>Lactococcus</i>	<b>Cocci</b>

**8-2 Caractère physiologique et biochimique :**

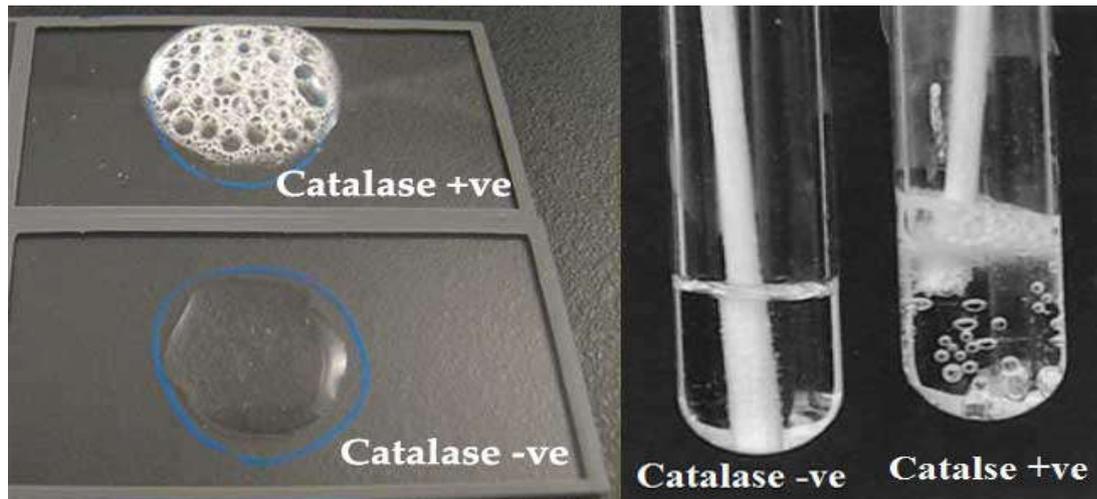
Regroupent la quantité et la configuration de :

- ♣ L'acide lactique produit.
- ♣ La température de la croissance minimale, optimale et maximale.
- ♣ La tolérance à l'oxygène et au chlorure de sodium.
- ♣ Production de gaz et d'arôme, La production d'ammoniaque à partir de l'arginine.
- ♣ La capacité d'hydrolyser l'esculine ou de résister aux sels biliaires et à différentes valeurs de pH (**LUQUET et de ROISSARD, 1994**).
- ♣ Le test de Sherman et la thermorésistance à 60.5 °C pendant 30 min (**Samelis et al. 1994**).
- ♣ La croissance, sur milieu M17 et MRS, a été suivie pour les températures de 5°C, 10°C et 15°C après incubation de 5-7 jours et 37°C ,40°C, 45°C et 50°C après incubation de 24 à 48 heures.

➤ **Le test de catalase :**

La catalase est une enzyme qui dégrade l'eau oxygénée (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) en eau métabolique (H<sub>2</sub>O) et oxygène. Pour différencier les lactocoques ou leuconostocs (catalase-) des entérocoques (catalase+) ; les lactocoques comme la majorité des bactéries lactiques sont des microaérophiles et n'ont pas besoin de synthétiser la peroxydase contrairement aux entérocoques qui sont aérobies.

Le test consiste à verser une goutte de peroxyde d'hydrogène dilué au dixième, sur une lame de verre et d'y ajouter, à l'aide d'une pipette pasteur, une colonie développée sur gélose MRS s'il y a effervescence l'activité de l'enzyme catalase est positive (Cat+). Le contraire est négatif (**LARPENT et LARPENT, 1990**).



**Figure 10:** test de catalase (June 11, 2018 by Sagar Aryal).

#### 🚩 Galerie API 50 CHL:

Le système API 50 CHL (Biomérieux, France) a été utilisé pour déterminer la production d'acide à partir des hydrates de carbone.

L'identification par la galerie API 50 CHL est faite en confirmant les profils obtenus avec les résultats des profils fermentaire de la galerie classique, et en comparant avec les données de la littérature.

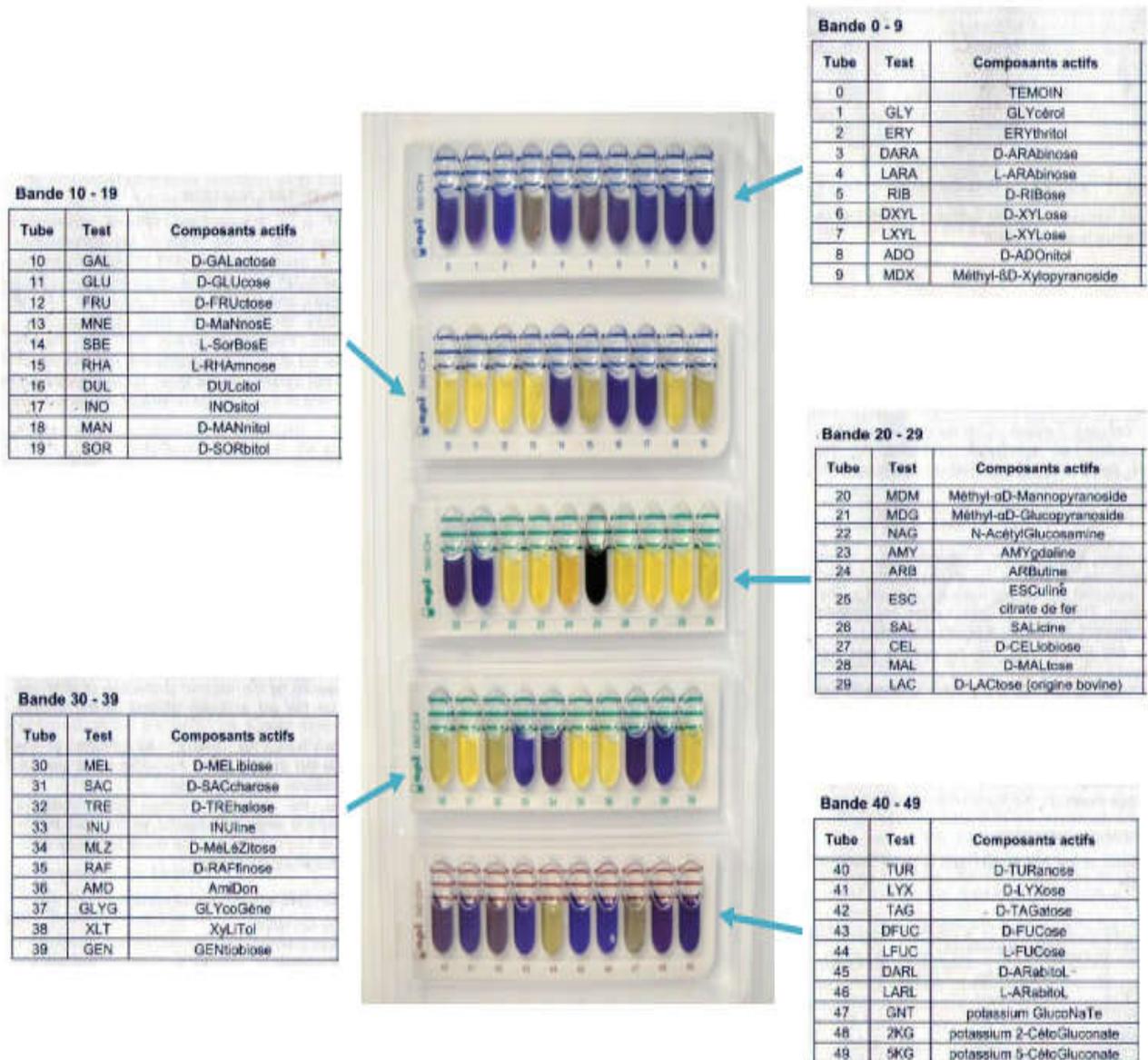


Figure 11: Résultat du profil fermentaire de la souche : *lactobacillus plantarum* Lb1 sur la galerie API 50 CHL.

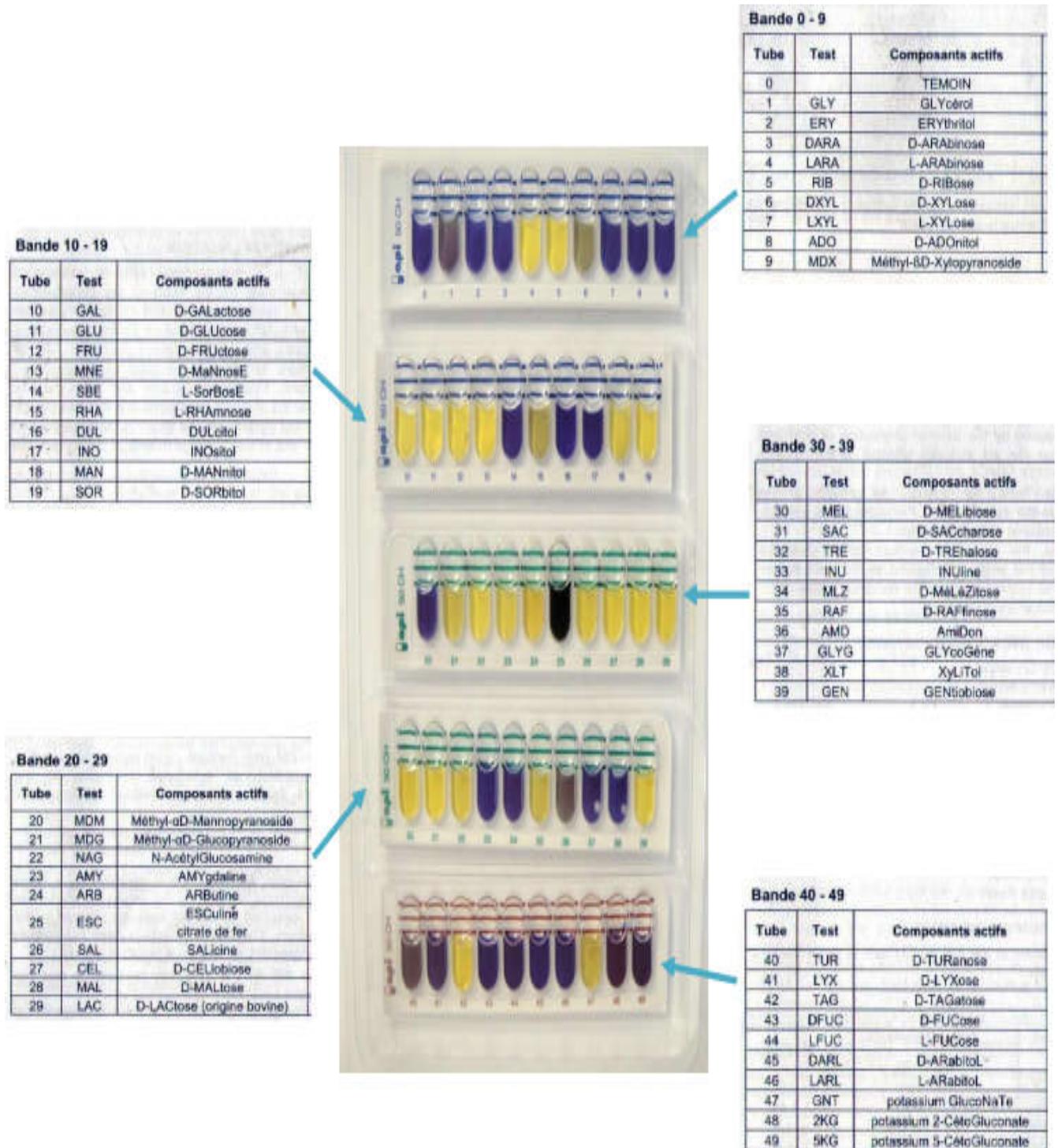


Figure 12: Résultat du profil fermentaire de la souche : *leuconostoc mesenteroides* subsp. *mesenteroide* Ln5 sur la galerie API 50 CHL après 48h d'incubation.

## **9- les propriétés antimicrobiennes des bactéries lactiques**

Les bactéries lactique capable de produire des molécules comme les acides organiques, peroxyde d'hydrogéné, le dioxyde de carbone, le d'acétyle et les bactériocines (**De Vuyst et Andamane, 1994**). Grâce à ces composés antimicrobiens des BL peuvent empêcher la croissance des bactéries pathogènes; contaminants possibles des produits fermentés (**Smith et Palumbo, 1983; Andersson, 1986; Adams et Hall, 1988; Berry et al., 1991; Cintaset al., 1998; Gill et Halley, 2003 et Guessaset al., 2006**).

Les mécanismes antimicrobiens particuliers des bactéries lactiques exploitées dans la bio préservation des aliments (**De vuyst et Vandamme, 1994 b; Stiles, 1996; Jacobsen et al., 2003 et Vermeirenet al., 2004**).

### **9-1 Ph et Acide organique :**

Au cours de processus de fermentation alimentaire, les bactéries lactiques sont produit l'acide organique comme l'acide lactique, l'acide acétique on l'acide propénoïque. Alors les acides organique sont un des agents classique de préservation des aliments ( **Brul et Cootel, 1999**) et sont reconnus comme des additifs alimentaires.

Cette production d'acides organiques cause une acidification du milieu qui peut limiter la croissance de certaines bactéries indésirable de ce fait une longue expositions dans un milieu acide peuvent entraîner la mort de plusieurs bactéries (**Champagne et al., 1992 ; kostineket al., 2005**).

Grace à cette production d'acides organiques, le Ph du milieu est diminué. En effet, la forme non dissociée de l'acide peut traverser passivement la membrane et acidifier le cytoplasme ce qui affecte le métabolisme cellulaire en inhibant certaines (**Klaenhammer, 1993 ; Brul et al, 1999 ; Caplice et al, 1999 ; Hsaio et al, 1999**).

### **9-2 Le peroxyde d'hydrogène :**

Le peroxyde d'hydrogène est reconnu comme un agent majeur de l'activité antimicrobienne des bactéries lactiques en particulier celle des lactobacilles.

Essentiellement dans le métabolisme aérobie ou en microaérobie, les bactéries lactique sont catalase négative et certaine souches peuvent accumuler du peroxyde d'hydrogène (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) .Il

peut inhiber certains microorganismes présents (**Condom, 1987**). L'action inhibitrice du peroxyde d'hydrogène est principalement due à son fort effet oxydant sur les lipides membranaires et les protéines cellulaires (**Caplice et Fitzgerald, 1999**).

### **9-3 Le dioxyde de carbone :**

Pendant la fermentation hétérolactique, les bactéries lactiques synthétisent le dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>).

Si le dioxyde de carbone est accumulé dans le milieu extérieur peut être toxique pour les microorganisme aérobie présent dans aliment ou bien accumuler dans la bicouche lipidique peut causer un dysfonctionnement de la perméabilité (**Ammor et al ., 2006**).

Toutefois, le CO<sub>2</sub> peut inhiber la croissance de nombreux germes l'altération et essentiellement les germes psychotropes à Gram négatif, et aussi stimuler la croissance de certaines bactéries (**Lindegren et Dobrgosz, 1990**).

### **9-4 Le diacétyle :**

Lediacétyle peut produire par beaucoup de bactéries lactiques comprenant des souches de *Leuconostoc*, de *Lactococcus*, de *Pediococcus* et de *Lactobacillus* (**Cogan, 1996**).

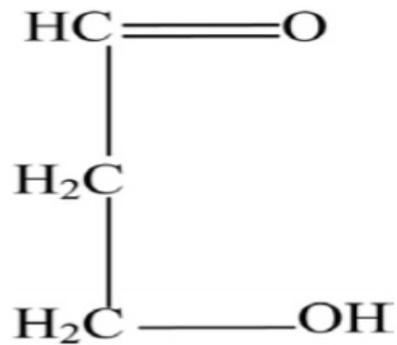
.Le di acétyle inhibe la croissance bactéries en interférant probablement avec les mécanismes gouvernant l'utilisation de l'arginine (**Motlagh et al, 1991**), et aussi responsable de l'arome (Beurre) des produits laitiers.

Les bactéries Gram-négatives sont plus sensibles au diacétyle que les bactéries Gram-positives (**Mathol et al., 1996**).

### **9-5 La Reutéline :**

La reutéline est une substance antimicrobienne que est produite comme métabolite intermédiaire pendant la fermentation anaérobique du glycérol. Elle a un large spectre d'activité antimicrobienne contre certaines bactéries à Gram+ et à Gram-.elle à des applications aussi bien dans le domaine médical que dans le domaine alimentaire (**Vollenweider, 2004**).

Salmonella, Shigella, Clostridium, Staphylococcus, Listeria, Candida, et Trypanosoma, sont parmi les microorganismes de détérioration sensibles à la reutéline.



**Figure 13:** structure de la reutérine, 3-hydroxypropanal (Axelsson, 2004)

### 9-6 Les bactériocines :

Les bactériocines sont des composés protéine ou complexe protéine avec une activité bactéricide contre des espèces proches de la souche productrice (Klaenhammer, 1988). Elles sont caractérisées par un faible poids moléculaire, actives à faible concentration (Belguesmiaet al., 2011, Cotter et al., 2005), Leur spectre d'activité est souvent étroit (Dortu et Thonart 2009).

Les Caractéristiques des bactériocines des bactéries lactiques :

- Stable à la chaleur.
- Stable à l'acidité.
- Résistante aux protéases qui se trouvent dans l'aliment.
- Active pendant une période prolongée.
- En activité au pH de l'alimentation (4,5 à 7,0).
- Avoir un effet bactéricide que bactériostatique.

**10- L'intérêt des bactéries lactiques :**

Les bactéries lactiques jouent un rôle important que ce soit dans l'industrie alimentaire ou dans le domaine thérapeutique.

**10-1 Dans l'industrie alimentaire :**

Les bactéries lactiques ont toujours occupées une place importante parmi les auxiliaires de fabrication alimentaire. Leur caractère varié et leurs multiples propriétés sont largement exploités dans l'agro-alimentaire. Les bactéries lactiques sont présentes dans notre alimentation quotidienne, ce que soit dans les produits laitiers (yaourt, fromage), certains produits végétaux, les boissons alcooliques fermentées (vin, bière, cidre), et la charcuterie (jambon, saucissons) **(Desmazeaud, 1996)**.

L'action des bactéries lactiques au cours de la fermentation a été associée tout d'abord à l'élaboration de l'arôme et de la texture du produit final mais aussi au maintien d'une bonne sécurité alimentaire grâce aux acides organiques produits. D'autres actions, et non des moindres, sont souvent rapportées.

Par exemple, les propriétés probiotiques des bactéries lactiques et l'inhibition des bactéries pathogènes sont particulièrement importantes, dès lors qu'il a été signalé que les aliments fermentés contribuaient à réduire la durée et la sévérité des diarrhées infantiles **(Mensah et al., 1990 ; Kimmons et al., 1999)**.

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

Le tableau suivant présente quelque application des bactéries lactiques :

<b>Souches lactiques</b>	<b>Applications</b>	<b>Références</b>
<i>Lactobacillus acidophilus</i> NCFM	Probiotique	<i>Altermann et al. (2005)</i>
<i>Lactobacillus brevis</i> ATCC367	Ferment de l'ensilage, levain, fermentation de la bière.	<i>Dubchak et al. (2006)</i>
<i>Lactobacillus casei</i> ATCC334	Probiotique, fermentation du lait, la flaveur des fromages.	<i>Dubchak et al. (2006)</i>
<i>Lactobacillus casei</i> BL23	Probiotique, fermentation du lait, la flaveur des fromages	<i>Kandler et wels (1986)</i>
<i>Lactobacillus delbrueckii</i> subsp, <i>bulgaricus</i> ATCC BAA-365	Fermentation du yaourt	<i>Tamime et robinson (1999)</i>
<i>Lactobacillus helveticus</i> DPC 4571	Industrie fromagère	<i>Callanan et al. (2008)</i>
<i>Lactobacillus johnsonii</i> NCC 533	Probiotique	<i>Primore et al. (2004)</i>
<i>Lactobacillus plantarium</i> WCFSI	Conservation des aliments, tels que le lait, la viande et les végétaux, probiotique	<i>Kleerebezem et al. (2003)</i>
<i>Lactobacillus reuteri</i> F275	Probiotique	<i>Morita et al (2008)</i>
<i>Lactobacillus sakei</i> subsp, <i>sakei</i> 23 k	Conservation des aliments, fermentation de la viande.	<i>Chaillou et al. (2005)</i>
<i>Lactobacillus lactis</i> subsp, <i>cremoris</i> MG1363	La fermentation des aliments laitiers, une souche modèle.	<i>Wegmann et al. (2007)</i>
<i>Leuconostoc mesenteroides</i> subsp, <i>mesenteroides</i> ATCC8293	Fermentation d'aliment : choucroute, des légumes, production de dextrane.	<i>Debchak et al. (2006)</i>
<i>Streptococcus thermophilus</i> LMC 18311	DU FROMAGE ET DU YAOURT.	<i>BOLOTIN ET AL. 52006°</i>

**Tableau3:** Quelques applications des bactéries lactiques (Zhu et al., 2009).

**10-2 Dans le domaine thérapeutique.:**

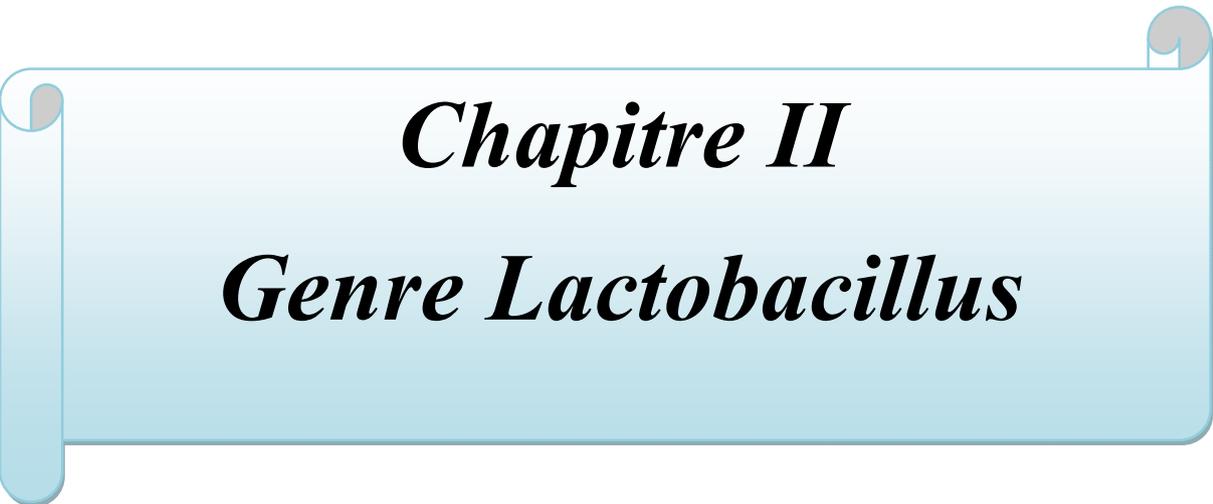
L'intérêt des bactéries lactiques en matière de santé humaine a été initialement proposé au début du siècle, en 1907, par le russe Metchnikoff (**Metchnikoff E., 1907**).

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

Dans plusieurs laboratoires afin de démontrer l'effet bénéfique des bactéries lactiques sur la santé(**Elmer G.W., Surawicz C.M., McFarland L.V.1996, Hitchins A.D., McDonough A., 1989. Vanderhoof J.A., Young R.1998**). Seul un petit nombre de bactéries lactiques dont les genres bactériens sont *Lb. acidophilus*, *Lb. rhamnosus*, *Lb. plantarum*, *E. faecium* ainsi que les bifidobactéries a été ainsi étudié. Les effets bénéfiques potentiels cités sont nombreux et variés.

Parmi leurs rôles bénéfiques sur la santé :

- elles élaborent des enzymes qui viennent en aide au métabolisme de leur hôte, plus particulièrement pour les individus déficients en lactase.
- leurs propriétés anti-cholestérol interviennent en diminuant le taux de cholestérol sérique.
- elles peuvent réduire les chances d'apparition du cancer du côlon en éliminant les substances pro-carcinogènes et en intervenant sur les enzymes fécales susceptibles de transformer les substances pro-carcinogènes en substances carcinogènes.
- elles interviennent sur la suppression des tumeurs par activation des macrophages.



***Chapitre II***  
***Genre Lactobacillus***

Chapitre II Genre *Lactobacillus*

## 1. Définition :

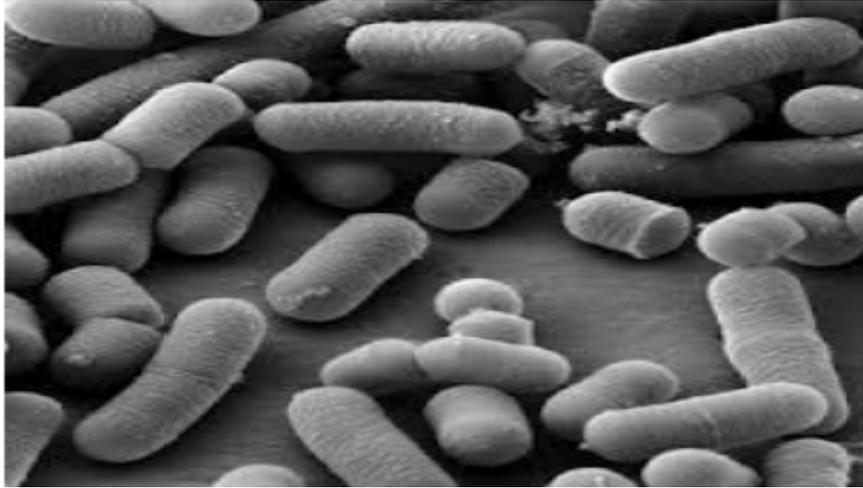
Au sein des bactéries lactiques, les *lactobacilles* forment un ensemble très disparate. Ils appartiennent au groupe des Firmicutes, à la classe des Bacilli, à l'ordre des *Lactobacillales* et à la famille des *Lactobacillaceae* (De Vos et al., 2009).

Ce genre aujourd'hui regroupe plus de 150 espèces (dont plusieurs sont divisées en sous-espèces). Le genre *Lactobacillus* est quantitativement le plus important des genres du groupe des bactéries lactiques. Les souches de *lactobacilles* présentent une morphologie en bâtonnet (bacilles) long et fin (parfois incurvés) ou de coccobacilles (Mattarelli et al., 2014).

Les *lactobacilles* sont des bâtonnets ou des coccobacilles à Gram positif, non sporulés, avec une teneur en ADN G + C généralement inférieure à 50% en moles. Ils sont strictement fermentatifs, aéro-tolérants ou anaérobies, aciduriques ou acidophiles et ont des besoins nutritionnels complexes (par exemple pour les glucides, les acides aminés, les peptides, les esters d'acides gras, les sels, les dérivés d'acide nucléique et les vitamines). Ils ne synthétisent pas les porphorinoïdes et sont donc dépourvus d'activités dépendant de l'hème. Les souches de certaines espèces peuvent utiliser des porphorinoïdes de l'environnement et présenter des activités de catalase, de réduction des nitrites ou même de cytochromes (Meisel, 1991).

La quantité d'acide lactique produite par différents organismes *lactobacillus* varie chez plusieurs espèces dont : *L. acidophilus*, *L. casei*, et *L. plantarum*. Le métabolisme du glucose est décrit comme homofermentaire, puisque l'acide lactique est le sous-produit principal représentant au moins 85 pour cent des produits métabolique finaux. Cependant, chez d'autre espèce telles que : *L. brevis*, *L. fermentum*, le métabolisme du glucose est hétérofermentaire, l'acide lactique constituant environ 50% des sous-produits métabolique et l'éthanol, l'acide acétique et le dioxyde partie des 50% restant. Certains autre organismes hétérofermentaire *lactobacillus* sont relativement inefficaces dans leur métabolisme du glucose et doivent tirer l'énergie d'autres types de composés organiques, tels que le galactose, le malate, ou le fructose.

La figure suivante montre l'aspect microscopique d'une souche de *lactobacilles* observée par microscopie électronique



**Figure 14:** *Lactobacillus sp* (Anonyme 1,2020)

## 2. Habitat :

Les LB sont isolés de diverses niches écologiques, ils sont principalement retrouvés dans les substrats riches en hydrates de carbone, ainsi que dans d'autres habitats tel que les muqueuses de l'homme et de l'animal (cavité buccale, intestinale et vaginale), ils sont retrouvés en faibles quantités sur les végétaux. (Tailliez, 2004).

Les lactobacilles sont des bactéries ubiquistes présentes en quantités infimes sur les surfaces végétales mais ils s'y développent rapidement lorsque celles-ci sont abîmées. L'homme a su utiliser ces bactéries pour conserver à moindre coût et transformer des matières premières végétales et animales (céréales, tubercules, fourrages verts, légumes, lait et produits laitiers, viande et poisson). Ces bactéries ont donc un rôle essentiel en alimentation humaine.

Les lactobacillus sont des bactéries classiques du yaourt (*lactobacillus bulgaricus* en association avec *streptococcus thermophilus*) dénuées de pouvoir pathogène. Ces bactéries interviennent d'ailleurs dans d'autres produits alimentaires comme le saucisson.



**Figure 15:** habitat des souches *lactobacillus*. (Systématique microbienne (J-Noël Joffin)

Dans les produits animaux, les *lactobacilles* ont aussi trouvé des environnements favorables à leur croissance. De nombreuses études ont permis d’identifier les espèces utilisées comme levains commerciaux et artisanaux dans la transformation du lait en fromage (CHAVAN JK, KADAM SS. 1989, REINHEIMER JA, QUIBERONI A, TAILLIEZ P, et al., Int Dairy J 1996).

On rencontre des *lactobacillus* dans la flore intestinale et la flore vaginale (sous le fameux nom de *lactobacillus acidophilus* ou flore de Doderlein).

Habitat	Espèces rencontrées	Activités ou produits
-Matériel végétal en décomposition. -laiterie	<i>Lb. plantarum</i> , <i>Lb. casei</i> , <i>Lb. acidophilus</i> , <i>Lb. delbrukii</i> , <i>Lb. Lactis</i>	Cornichons, ensilage et Fromage, Choucroute yaourts, etc
-Tractus gastro-intestinal des animaux -(Oral) -(Intestinal)	<i>Lb.salivarus</i> <i>L.gasseri</i> , <i>L. rhamnosus</i> <i>Lb.casei</i> , <i>Lb plantarum</i> , <i>Lb. gasseri</i>	Formation de Carie dentaire Flore normale
-Vagin des mammifères	<i>Lb.vaginalis</i> <i>Lactobacillus spp</i>	Flore normale

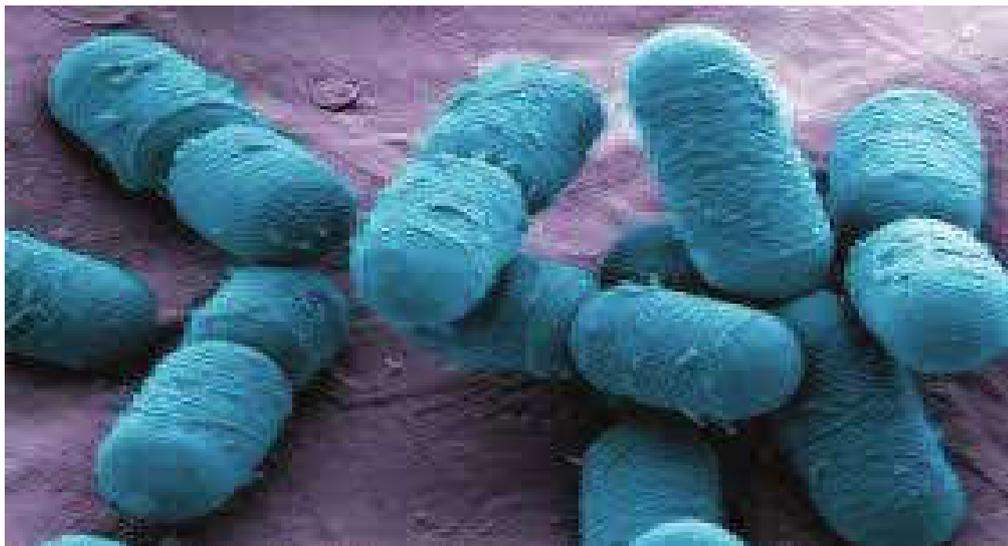
**Tableau 4:** Habitat des *Lactobacillus* (Perry et al., 2004).

### 3. Caractères morphologiques :

Au sein des bactéries lactiques, les lactobacilles forment un ensemble très disparate. Les Lb sont des bactéries asporulées, en forme bacille souvent allongées, regroupées en paires ou en chaînes (Laprent, 2000 ; Guiraud et Rosec, 2004).

Les cellules, à coloration de Gram positive, et généralement non mobiles, peuvent se présenter sous la forme de bâtonnets longs et fins, ou très courts, ou incurvés ou même ovoïdes. La formation de chaînes de cellules est courante (De Vos et al., 2009). La plupart des lactobacilles se multiplie dans une gamme de températures comprise entre 15 °C et 42 °C. Certaines souches de lactobacilles dites « thermophiles » restent viables à 55 °C.

ils peuvent être soit homofermentaire soit hétérofermentaire (Alkema, w et al, 2016) produisent de l'acide lactique comme principal produit final durant la formation des hydrates de carbone (Feliset al, 2007).



**Figure 16** : Souche de lactobacilles observée par microscopie électronique à balayage. (Tirée de [www.inra.fr](http://www.inra.fr))

### 4. Caractère biochimique :

Les LB sont catalase négative, certains ont une pseudocatalase. Ils sont dépourvus de cytochrome. Généralement, nitrate réductase négative, gélatinase négative et ils sont microaérophiles ou anaérobies. Le métabolisme énergétique des LB est exclusivement fermentaire (Prescott et al., 2003).

Les Lactobacilles sont subdivisés selon leur type fermentaire en trois groupes selon la classification d'Orla-Jensen remaniée par Kandler et Weiss (De vos et al., 2009).

**Groupe I :**

Regroupe les lactobacilles homo- fermentaires stricts qui ne fermentent que les hexoses par la voie d'Embden-Meyerhof en produisant presque exclusivement du lactate. Ce groupe comprend notamment *Lb. acidophilus*, *Lb. farciminis*, *Lb. johnsonii*, *Lb. amylovorus*, *Lb. Paralimentarius*(Cai et al.,1999),*Lb. delbrueckii subsp. delbrueckii*, *Lb. delbrueckii subsp. lactis*,*Lb.delbrueckiisubsp.Bulgaricus*(Torrianietal.,1999).

Se développent à 45°C mais pas à 15°C. Produisent uniquement de l'acide lactique à partir du glucose et qui sont incapables de fermenter les pentoses ou le gluconate. Ce groupe est constitué majoritairement d'espèces présentes chez l'homme et les animaux et qui participent à l'équilibre de la microflore de l'organisme (Guiraud et Rosec, 2004).

**Groupe II :**

Rassemblant les Lb qui métabolisent les hexoses en acide lactique par la voie homofermentaires mésophile d'Embden-Meyerhof-Parnas et dégradent les pentoses par voie hétérofermentaire facultatifs. Ils ne produisent pas de CO<sub>2</sub> lors de la fermentation du glucose mais ils en produisent lors de la fermentation du gluconate (Kandler et Weiss, 1986 ; Stiles et Holzapfel, 1997).

Ces LB sont mésophiles qui se développent à 15°C et comportent l'espèce *Lb. casei* qui est également le lactobacille dominant du lait (Guiraud et Rosec, 2004).

**Groupe III :**

regroupe les lactobacilles hétéro- fermentaires stricts qui fermentent les hexoses en lactate, acétate (ou éthanol) et CO<sub>2</sub> . Il s'agit notamment de *Lb. brevis*, *Lb. buchneri*, *Lb. fermentum*, *Lb. hilgardii*, *Lb. fructivorans*, *Lb. panis*(Wiese et al., 1996),*Lb. pontis*, *Lb. reuteri*, *Lb. hammesii*(Valcheva et al., 2005), *Lb. sanfranciscensis*, *Lb. spicheri*, *Lb. kimchii* et *Lb. Frumenti*(Mülleretal.,2000).

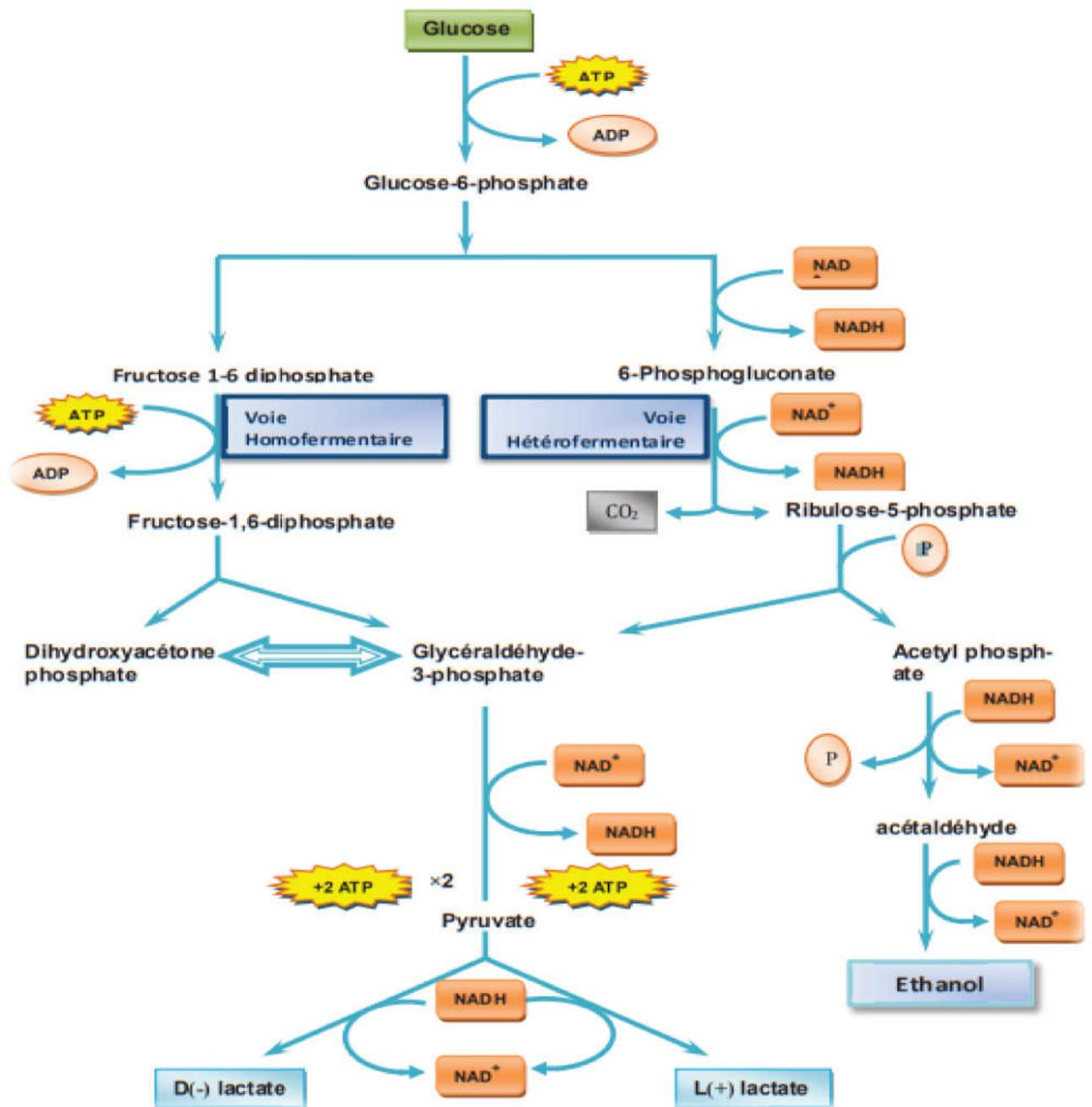


Figure 17: schéma succinct des principales voies métaboliques fermentaires des *Lactobacillus* (Source Perry et al., 2004 ).

Groupe I homofermentaire strict	Groupe II hétérofermentaire facultatifs	Groupe III hétérofermentaire strictes
<i>Lb. acidophilus</i>	<i>Lb. Acetotolerans</i>	<i>Lb. Brevis</i>
<i>Lb. Amylophilus</i>	<i>Lb. agilis</i>	<i>Lb. Buchneri</i>
<i>Lb. amylovorus</i>	<i>Lb. alimentarius</i>	<i>Lb. Collinoides</i>
<i>Lb. aviariussubsp.</i>	<i>Lb. Bifermentans</i>	<i>Lb. fermentum</i>
<i>Araffinosus</i>	<i>Lb. casei</i>	<i>Lb. fructivorans</i>
<i>Lb. aviariussubsp. Aviarius</i>	<i>Lb. coryniformis subsp.</i>	<i>Lb. Fructosus</i>
<i>Lb. crispatus</i>	<i>torquens</i>	<i>Lb. hilgardii</i>
<i>Lb.delbrueckii</i> subsp.	<i>Lb. coryniformis subsp.</i>	<i>Lb. Kefir</i>
<i>Bulgarius</i>	<i>Coryniformis</i>	<i>Lb. Malefermentans</i>
<i>Lb. delbrueckii</i> subsp.	<i>Lb. cuvatus</i>	<i>Lb. oris</i>
<i>delbrueckii</i>	<i>Lb. graminis</i>	<i>Lb. panis</i>
<i>Lb. delbrueckii</i> subsp. <i>lactis</i>	<i>Lb. Hamsteti</i>	<i>Lb. parabuchneri</i>
<i>Lb. farciminis</i> <i>Lb.</i>	<i>Lb. Homohiochii</i>	<i>Lb. parakefir</i>
<i>gallarum</i>	<i>Lb. intestinalis</i>	<i>Lb. pontis</i>
<i>Lb. gasseri</i> <i>Lb. helveticus</i>	<i>Lb. murinus</i>	<i>Lb. reuteri</i>
<i>bL.jensenii</i> <i>Lb. johnsonii</i>	<i>Lb. paracasei subsp.</i>	<i>Lb. Sanfrancisco</i>
<i>Lb. Kefiranofaciens</i> <i>Lb.</i>	<i>Paracasei</i> <i>Lb. paracasei</i>	<i>Lb. suebicus</i>
<i>kefirgranum</i> <i>Lb. mali</i> <i>Lb.</i>	<i>subsp tolerans</i>	<i>Lb. vaccinostercus</i>
<i>ruminis</i> <i>Lb. salivarius sub</i>	<i>Lb. Paraplantarum</i>	<i>Lb. Vaginalis</i>
<i>sp.</i>	<i>Lb. plantarum</i>	
<i>salicinus</i> <i>Lb. salivarius</i>	<i>Lb. Pentosus</i>	
<i>subsp.</i>	<i>Lb. rhamnosus</i>	
<i>salivarius</i> <i>Lb. sharpeae</i>	<i>Lb. Sake</i>	

**Tableau 5:** Principaux groupes formés au sein du genre *Lactobacillus*, sur la base des caractéristiques phénotypiques (Saad, 2010)

### 5- Caractère culturaux et exigences nutritionnels

La plupart des lactobacilles se multiplie dans une gamme de température comprise entre 15°C et 42°C. Certaines souches de lactobacilles dites « thermophiles » restent viables à 55 °C (Adams et Moss, 2000 ; Tailliez, 2004).

Les lactobacilles croissent au mieux dans des conditions acides, quand le pH avoisine les 4,5 à 6,4, mais leur développement s'arrête lorsque le pH avoisine 3,5(De Vos et al., 2009).

Le milieu le plus adapté à leur culture est celui De Man, Rogosa et Sharpe (MRS). Sur MRS gélifié, les colonies se développent en 24 à 48 heures. Elles sont généralement petites, incolores, blanchâtres ou jaunâtres, lisses ou rugueuses, arrondies ou **lenticulaires** (De Vos et al., 2009).



**Figure 18:** Aspect macroscopique des colonies de lactobacilles isolées sur gélose MRS(De Vos P. 2009).

En plus de la source de carbone et d'azote, les lactobacilles sont caractérisés par des exigences nutritionnelles nombreuses qui peuvent être classées selon De Man et al., (1960) ; De Vos et al., (2009) comme suit :

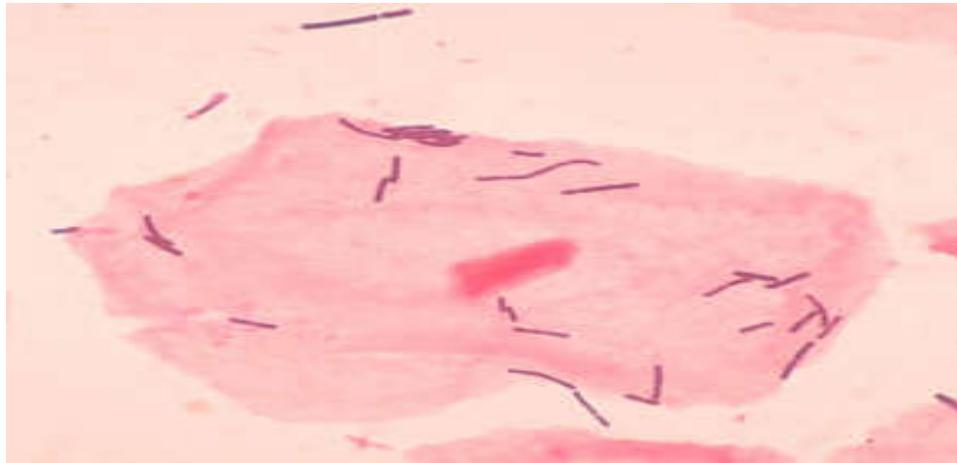
**Tableau 6:** Exigences nutritionnelles des lactobacilles

<b>Exigences en vitamines</b>	<p>Toutes les espèces ont un besoin absolu en vitamines telles que la pantothenate (B5), en niacine (B3) et en cobalamine (B12). Les déficiences en vitamine B12 peuvent induire une diminution de la synthèse de l'ADN et entrainer des changements morphologiques et les cellules deviennent filamenteuses. Une telle élongation cellulaire a été observée avec <i>L. helveticus</i> sp <i>jugurti</i> lors de déficiences en cobalamine (B12) ou en acide folique.</p>
<b>Exigences en bases azotées</b>	<p>Dans les milieux synthétiques, les lactobacilles, exigent la présence d'adénine, de cytosine, de désoxyguanosine, de guanine, de thymidine et d'uracile. Ces exigences sont variables selon les espèces.</p>
<b>Exigences en cations</b>	<p>Les ions <math>Mg^{2+}</math> et <math>Mn^{2+}</math> ou <math>Fe^{2+}</math> sont nécessaires pour la croissance des lactobacilles. Il a été démontré que le manganèse et le magnésium interviennent comme activateurs d'un grand nombre et réactions enzymatiques et comme stabilisateurs de la structure des acides nucléiques, de l'intégrité des ribosomes et de la membrane cellulaire des lactobacilles.</p>

## 6- Les principaux genres des lactobacillus :

### 6-1 *Lactobacillus acidophiles* :

- sont de forme de bâtonnet , Gram positif et non sporulée, non mobile, homofermentaire, anaérobie ,leur pH optimum de croissance se situant à 5,5 - 6,0 ; la croissance est possible pour pH>3,5, avec une température de croissance à 35–45 °C pour la plupart des souches et ne croissant pas à moins de 15 °C et à plus de 45–48 °C suivant les souches. Il est classé parmi les probiotiques et est utilisé en cette qualité dans des laits fermentés à l'acidophilus et comme anti-infectieux intestinal dans plusieurs produits.



**Figure 19:** *Lactobacillus acidophilus* sur des squames de cellules épithéliales du vagin

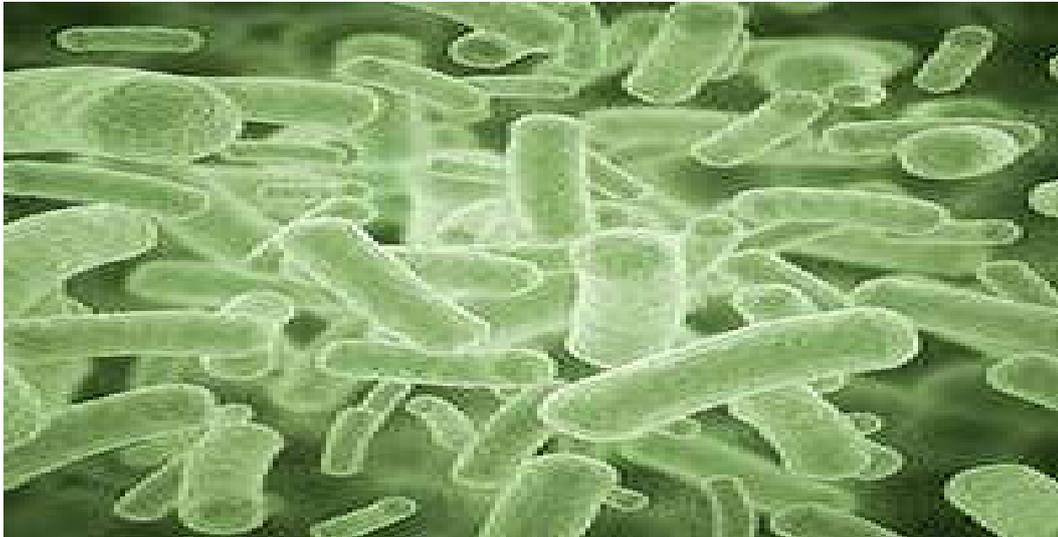
### 6-2 *Lactobacillus plantarum* :

*Lb. Plantarum* été nommé *Streptobacterium plantarum* par Orla-Jensen en 1919 et renommé *Lactobacillus plantarum* par **Pederson (1936)**. Elle est un bacille Gram positif, hétéro-fermentation facultative, Elle fait partie de notre alimentation depuis plus d'1,5 millions d'années. (**Molain et al., 1993**) sont utilisée comme probiotique et ferment lactique d'importance industrielle qui peut être trouvée dans les aliments fermentés (**Siezen et al., 2011**), dans les aliments probiotique, fonctionnels et thérapeutiques (**De Vries et al., 2006**)

*Lb. plantarum* a montré des réponses diverses pour certains facteur de stress : résistance à une température élevée de (55°C pendant 10 min), bile (0,5% oxgall®), stress oxydatif (0,1% H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>), pH bas (2,5), éthanol (10%); (7,5%) de NaCl et même à montrer une tolérance d'un détergent le SDS (dodécylsulfate de sodium à 0,05%) (**Parente et al., 2010**).

**6-3 *Lactobacillus casei* :**

Sont de forme bâtonnet, Gram positif, non sporulé, non mobile, leur fermentation est hétérofermentaire facultative. Sa croissance est optimale à 15C° mais pas à 45C°, on les trouve dans de nombreuses applications alimentaires.

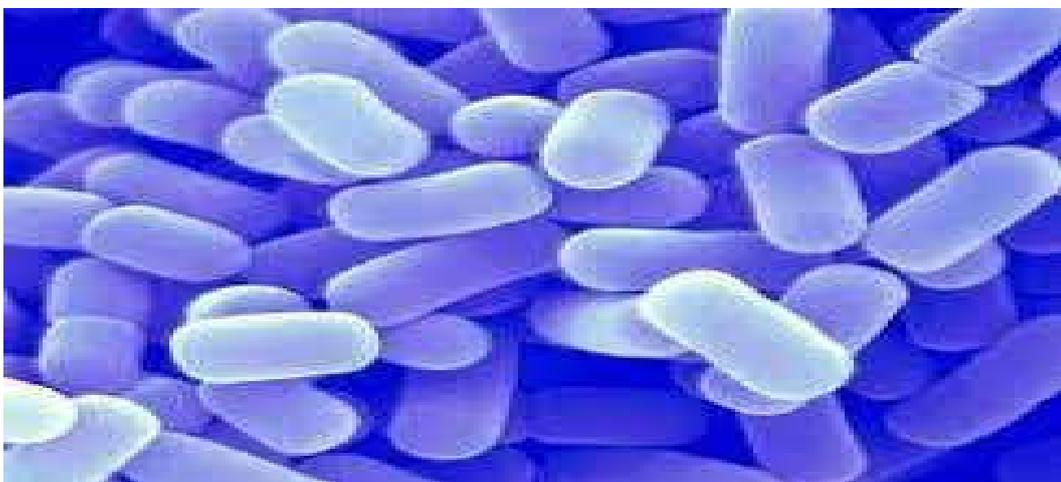


**Figure 20: *Lactobacillus casei***

**6-3 *Lactobacillus coryneformis* :**

Sont de forme bâtonnet, Gram positive, non sporulé, anaérobie facultative, hétérofermentaire, leur croissance est dans une température à 15C° mais pas à 45C°.

*Lactobacillus plantarum* intervient dans la production de nombreux produits alimentaires fermentés comme les fromages, les saucissons secs, la choucroute.



**Figure 21: *Lactobacillus coryneformis***

**6-4 *Lactobacillus buchneri* :**

*L. buchneri* est une bactérie hétérofermentaire qui produit de l'acide lactique et de l'acide acétique lors de la fermentation. Leur forme est bâtonnets, Gram positif, non sporulé, anaérobie.

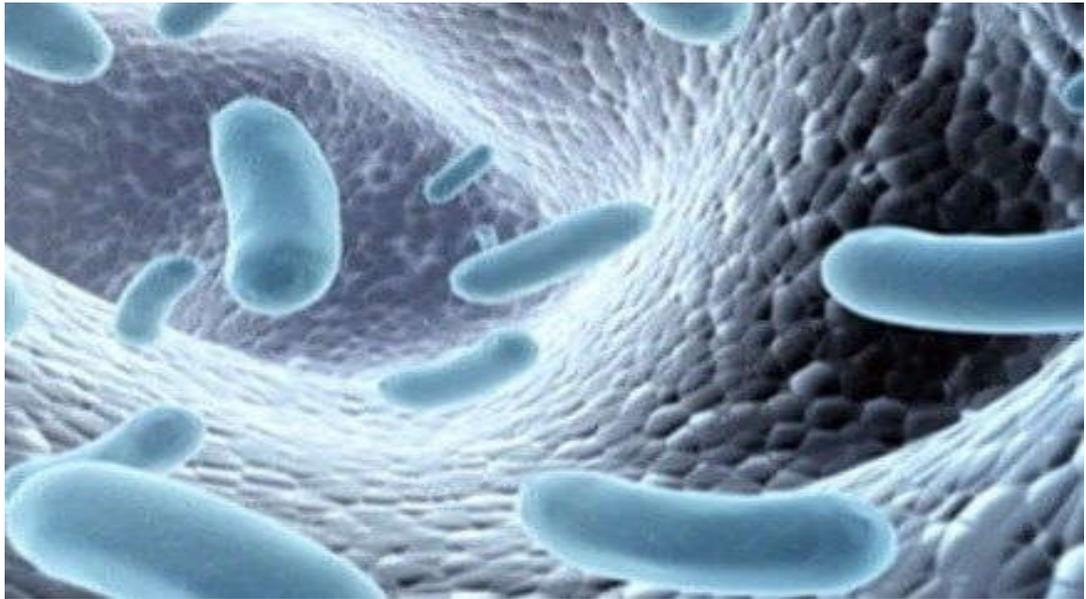
Il est utilisé comme inoculant bactérien pour améliorer la stabilité aérobie de l'ensilage. Ces bactéries sont inoculées et utilisées pour prévenir l'échauffement et la détérioration après exposition à l'air.



**Figure 22: - *Lactobacillus buchneri***

**6-5 *Lactobacillus reuteri* :**

*Lb. reuteri* est considéré comme une bactérie lactique probiotique, en forme de bâtonnet un peu courbe, non mobile, hétérofermentaire, anaérobie, la température optimum de croissance se situe entre 37 °C et 42 °C. Leur pH optimum est entre 6,0 et 6,8. Elle produisant de la reuterine et de la reutericycline, des substances antimicrobiennes.



**Figure 23:** *lactobacillus reuteri*

**6-6 *lactobacillus salivarius* :**

*Lactobacillus salivarius* est une espèce de bactérie à Gram positif, non sporulante, homofermentaire, anaérobie facultatif, non pathogène. Elle est considérée comme un probiotique, pour aider à prévenir les infections par d'autres micro-organismes.

*L. salivarius* produit également une enzyme, la lactase, ainsi que des bactériocines. Très prolifique dans l'intestin, elle est donc en mesure de se rivaliser avec de nombreuses bactéries pathogènes, y compris des lactobacilles.



**Figure 24:** *lactobacillus salivarius*. (dennis-kunkel-microscopyscience-photo-library).

**6-7 *Lactobacillus bulgaricus* :**

*Lactobacillus delbrueckii subsp. bulgaricus* est un micro-organisme du genre *Lactobacillus*. Sa découverte est due à l'étudiant bulgare de médecine Stamen Grigorov en 1905 (**Grigoroff, Stamen, 1905**) et nommé en 1919, *Thermobacterium bulgaricum*, par le Danois Orla Sigurd Jensen (**da**) (1870-1949).

De 1971 à 1983, son nom était *Lactobacillus bulgaricus*, renommé par Morrison Rogosa et le Danois Poul Arne Hansen (1902-1972).

Sont des bacilles gram positif, leur métabolisme est hétérofermentaire. Elles sont associées avec *Streptococcus thermophilus* dans la fabrication du yaourt et du lait fermenté.



**Figure 25: *Lactobacillus bulgaricus* (royalstockphoto, © Imagine Lab Pte Ltd 2021).**

## II- Lactobacille Probiotique :

Plusieurs définitions ont été proposées pour décrire les probiotiques, mais la plus appropriée est donnée par **Havenaar et al. (1992)**: Un probiotique est une culture pure ou mixte de microorganismes vivants qui quand ils sont appliqués à l'homme ou l'animal. Affectent de façon bénéfique l'hôte en améliorant les propriétés de la microflore endogène (**Havenaar et al., 1992**).

Pour être considéré comme probiotique, un micro-organisme ne doit présenter ni toxicité ni pathogénie. Les probiotiques doivent être capables de moduler la réponse immunitaire et/ou produire des substances antimicrobiennes. Ils doivent être aussi capables de survivre et de proliférer dans les milieux naturels occupés par des bactéries pathogènes (**Heyman et al., 2006**).

Les bénéfices potentiels des probiotiques vont de la suppression de l'activité de certains pathogènes à l'amélioration de l'utilisation du lactose (**De vrese et al., 2001**), de la réduction du cholestérol sanguin et du niveau de substances carcinogènes. et de l'inactivation de composés toxiques à la stimulation du système (**Bottazzi, 1994 ; De vrese et al., 2001**). Ils participent à l'activation de l'immunité et à la réduction d'allergies chez les sujets à risque (**Heyman et al., 2006**).

➤ dont les principaux effets bénéfiques sont :

- ✿ Prévention et traitement des diarrhées.
- ✿ Atténuation de l'intolérance au lactose.
- ✿ Diminution du risque de réapparition des infections urinaires.
- ✿ Prévention et retardement de l'apparition de certains cancers.
- ✿ Prévention et thérapie des vaginoses bactériennes.
- ✿ Réduction du taux de cholestérol et prévention de certaines maladies cardiovasculaires.
- ✿ Modulation et stimulation de la fonction immunitaire.
- ✿ Prophylaxie et thérapie des maladies intestinales inflammatoires : maladie de Crohn, et le syndrome du côlon irritable.
- ✿ Prévention et traitement de l'infection par *Helicobacter pylori* (**Reid et al., 2003, Hsieh et Versalovic, 2008 ; Vasiljevic et Shah, 2008**).

L'effet probiotique de certains lactobacilles a été et est encore largement étudié. Les lactobacilles font partie de la flore digestive et participent aux effets bénéfiques de la microflore sur l'hôte, que ce soit au niveau métabolique, trophique ou immunitaire (Maragkoudakis et al., 2010 ; Brinques et al., 2010 ; Gross et al., 2010 ; Dicks et Botes, 2010).

Les principales espèces de lactobacillus reconnue comme probiotiques sont présentées dans le tableau suivant (Tannock, 1999) :

**Tableau 7: espèces à effet probiotique du genre lactobacillus (Tannock, 1999)**

<i>Lb. acidophilus</i>	<i>Lb. crispatus</i>	<i>Lb. hamsteri</i>
<i>Lb. agilis</i>	<i>Lb. delbruckii subsp. bulgaricus</i>	<i>Lb. intestinalis</i>
<i>Lb. aviarius</i>	<i>Lb. gallinarum</i>	<i>Lb. plantarum</i>
<i>Lb. amylovorus</i>	<i>Lb. gasseri</i>	<i>Lb. rhamnosus</i>
<i>Lb. brevis</i>	<i>Lb. johnsonii</i>	<i>Lb. reuteri</i>
<i>Lb. casei</i>	<i>Lb. murinus</i>	<i>Lb. ruminis</i>
		<i>Lb. salivarius</i>

Le tableau suivant résume les effets bénéfiques des lactobacilles probiotiques sur la santé humaine selon la (FAO/OMS, 2001 et WGO, 2008).

Effet probiotique	Mode d'activité propose
<b>Réduction des risques des diarrhées</b>	- Résistance à la colonisation des pathogènes. - Stimulation du système immunitaire.
<b>Diminution des allergies alimentaires</b>	- Diminution du passage des protéines alimentaires par diminution de la perméabilité membranaire intestinale. - Stimulation du système immunitaire
<b>Amélioration de la digestion du lactose</b>	- Action de la $\beta$ galactosidase dans l'intestin grêle.
<b>Traitement des maladies inflammatoires</b>	- Modulation de la flore intestinale. - Stimulation du système immunitaire.

<b>Réduction du cholestérol</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Assimilation du cholestérol.</li> <li>- Déconjugaison des sels biliaires.</li> </ul>
<b>Prévention du cancer du côlon</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Stimulation du système immunitaire.</li> <li>- Production de composés antimutagéniques.</li> <li>- Modulation des enzymes fécales carcinogéniques.</li> <li>- Dégradation des carcinogènes.</li> <li>- Elimination des bactéries impliquées dans la production de carcinogènes.</li> </ul>

**Tableau 8 :** les effets bénéfiques des lactobacilles probiotiques sur la santé humaine selon la (FAO/OMS, 2001 et WGO, 2008).

### *II- L'utilisation des lactobacillus dans le domaine agro-alimentaire :*

Quelques espèces de lactobacilles interviennent pour la production de produits alimentaires fermentés comme le yaourt, le fromage, le vin, la choucroute, les pickles, ainsi que pour l'ensilage. Le pain au levain est fabriqué en utilisant une « culture de départ » qui est une culture symbiotique de levures et de bactéries lactiques cultivées dans un milieu constitué de farine et d'eau. Quelques boissons au yaourt contiennent des lactobacilles comme complément alimentaire. Le kimchi coréen est également fabriqué en utilisant des techniques de fermentation par l'acide lactique. Beaucoup de lactobacilles ont ce caractère exceptionnel parmi les êtres vivants qu'ils n'exigent pas de fer pour leur croissance et qu'ils ont une tolérance très haute envers l'eau oxygénée.

### ***Chapitre III***

***Utilisation des bactéries lactiques dans les produits laitiers et les produits carnée***

**I- Les Produits Laitiers**

**1- La fabrication du yaourt**

**1-1 Définition du yaourt:**

D'après le Codex Alimentarius et la FAO (**Food and agriculture organization, 1975**), le yaourt est un produit laitier coagulé obtenu par fermentation lactique grâce à l'action de *Lactobacillus delbrueckii sous-espèce bulgaricus (Lb. bulgaricus)* et de *Streptococcus salivarius, sous-espèce thermophilus (St. thermophilus)* à partir du lait frais ainsi que du lait pasteurisé (ou concentré, partiellement écrémé, enrichi en extrait sec). Doivent être ensemencé simultanément et se trouvé vivante dans le produit fini, les microorganismes du produit final doivent être viables et abondants (**Mahaut et al., 2005**).

Le yaourt doit contenir au moins 107 des bactéries lactiques Thermophiles vivantes par gramme et au moins 0.7% d'acide lactique (70°Doronic). Le lait frais peut être enrichi par du lait en poudre (maximum 5%) ; il subit une forte pasteurisation. Les qualités du yaourt sont très variées. Il peut être coagulé en emballage final, il peut aussi être fermenté en masse amené à une consistance crémeuse puis réparti (**Alais et al., 2008**). Il peut être consommé après brassage lui donnant une consistance crémeuse ou liquide, comme Il peut être congelé et consommé comme une glace (**Lupien, 1995**).

**1-2 Les différents types du Yaourt :**

En fonction de la technologie de fabrication, les yaourts sont divisés en deux groupes :

**-Yaourt fermes :**

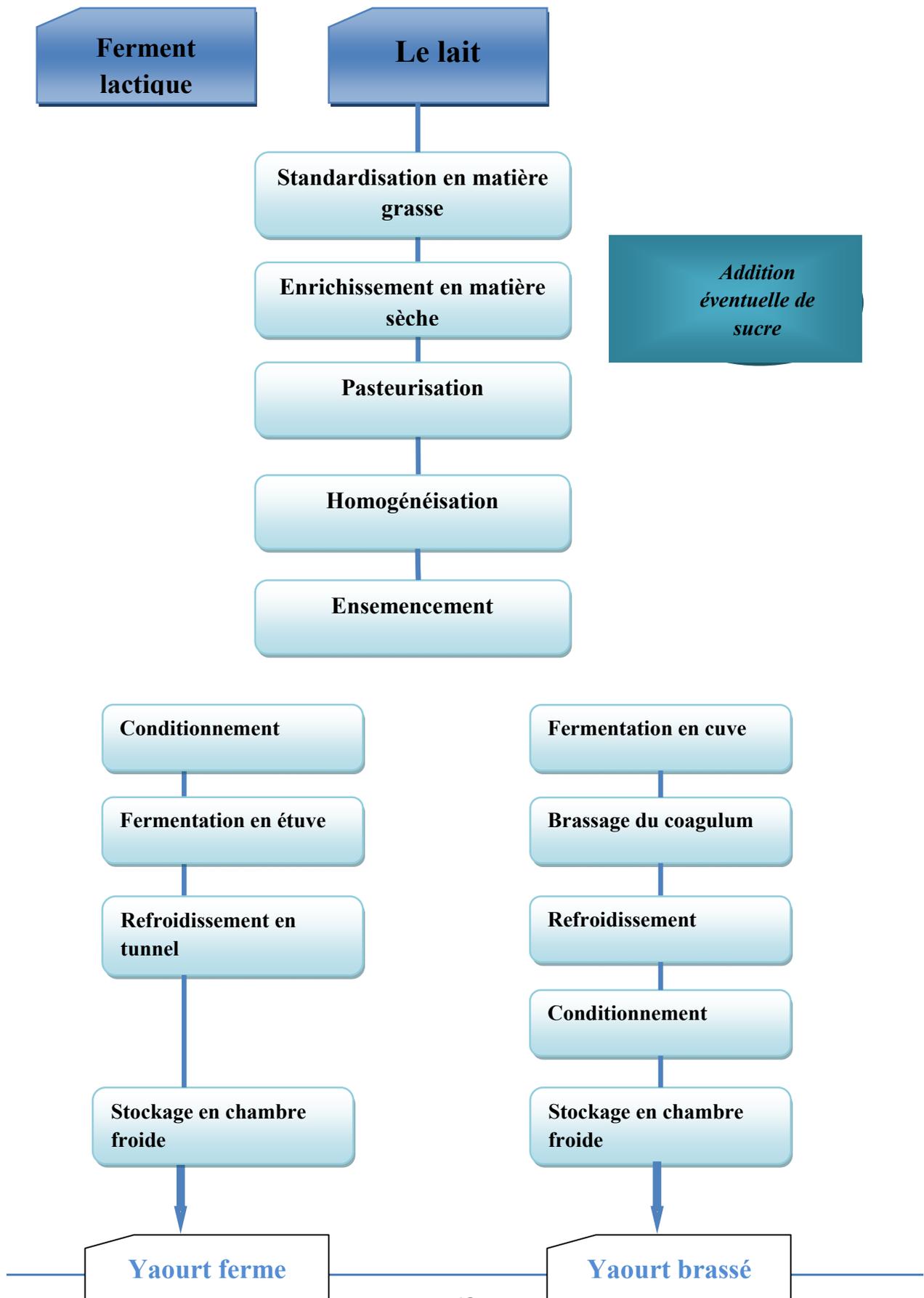
Dont la fermentation à lieu en pots ; ce sont généralement les yaourts nature et aromatisée.

**-Yaourts brassés :**

Dont la fermentation à lieu en cuve avant brassage et conditionnement : c'est le cas des yaourts veloutés nature ou aux fruits. La fabrication de ces deux types de yaourts peut être réalisée soit à partir de lait entier, soit à partir de lait partiellement ou totalement écrémé (3.5%, 1.0% ,0.0% de matière grasse).

1-3 Le processus de fabrication du yaourt :

Figure 26 : Diagramme de fabrication du yaourt (Lucey, 2004)



**1-4 Le rôle de bactérie lactique dans le yaourt :**

---

♣ **Streptococcus thermophilus**

Streptococcus thermophilus est l'une des bactéries lactiques thermophiles, elle est connue par une forte production d'arôme tel que l'acétaldéhyde, et par sa capacité de produire de l'acide folique et des exo polysaccharides, Elle est caractérisée par une activité homofermentaire, le plus souvent réduite à quelque sucre (glucose, lactose, saccharose) et une forte sensibilité au Na Cl (**hardie, 1986**). *Streptococcus thermophilus* est la seule espèce non pathogène du genre *Streptococcus* (**Hols et al., 2005 ; Delorme, 2008**).

Le rôle principal de Streptococcus thermophilus est la fermentation du lactose du lait en acide lactique, en plus de son pouvoir acidifiant, elle est responsable de la texture dans les laits fermentés, elle augmente la viscosité du lait par production de polysaccharides (composés de galactose, glucose, ainsi que de petites quantités de rhamnose, arabinose et de mannose) (**Bergamaier, 2002**).

♣ **Lactobacillus bulgaricus**

Lactobacillus bulgaricus est une bactérie thermophile, très exigeante en calcium et en magnésium et sa température optimale de croissance est d'environ de 42°C, possède un métabolisme strictement fermentaire avec production exclusive d'acide lactique comme principal produit fini à partir des hexoses de sucre par voie d'Embden Meyerhof, il est incapable de fermenter les pentoses.

Cette bactérie a un rôle essentiel dans le développement de qualité organoleptique et hygiénique du yaourt (**Marty-Teyssset et al. 2000**).

❖ ***Symbiose entre Streptococcus et lactobacillus bulgaricus :***

L'utilisation combinée de Streptococcus thermophilus et lactobacillus bulgaricus fait apparaître une interaction dite protocoopération. Dans des cultures mixtes ayant un intérêt à la fois d'ordre technologique et nutritionnel (**Driessen, 1981 ; Radke-Michell et Sandine, 1984 ; Radke-Michell et Sandine, 1986**).

La température optimale de ces deux espèces étant voisine, la croissance en association est possible entre 41 °C et 43 °C. **(Marshall et Law, 1984).**

La stimulation de *St. thermophilus* par *Lb. bulgaricus* est réalisée grâce à l'activité protéolytique du lactobacille, qui libère des petits peptides et des acides aminés au profit du streptocoque **(Driessen et Kingma, 1982 ; Tammamet al., 2000)**. Ces acides aminés les plus importants sont l'histidine, la thréonine, la valine **(Tamime et Robinson, 2003)**.

On outre, *St. thermophilus* fournit de l'acide formique et du CO<sub>2</sub> qui tous deux vont stimuler la croissance de *Lb. bulgaricus* **(Tamime et Robinson, 2003)**.

❖ ***Comportement associatif des deux bactéries lactiques :***

*Streptococcus thermophilus* et *Lactobacillus bulgaricus* se développent en association, appelée protocoopération, dans des cultures mixtes ayant un intérêt à la fois d'ordre technologique et nutritionnel, ces bactéries, par leur activité acidifiante, ont un effet bénéfique du point de vue qualité hygiénique de produit, en parallèle, elles engendrent des produits secondaires qui contribuent à la qualité organoleptiques du yaourt, d'un point de vue nutritionnel l'activité fermentaire de ces espèces lactiques favorise une solubilisation des différents constituants du lait améliorant ainsi leur biodisponibilité **(Ngounou et al., 2003)**.

La figure montre le développement en association de *Streptococcus thermophilus* et *Lactobacillus bulgaricus* dans des cultures mixtes.

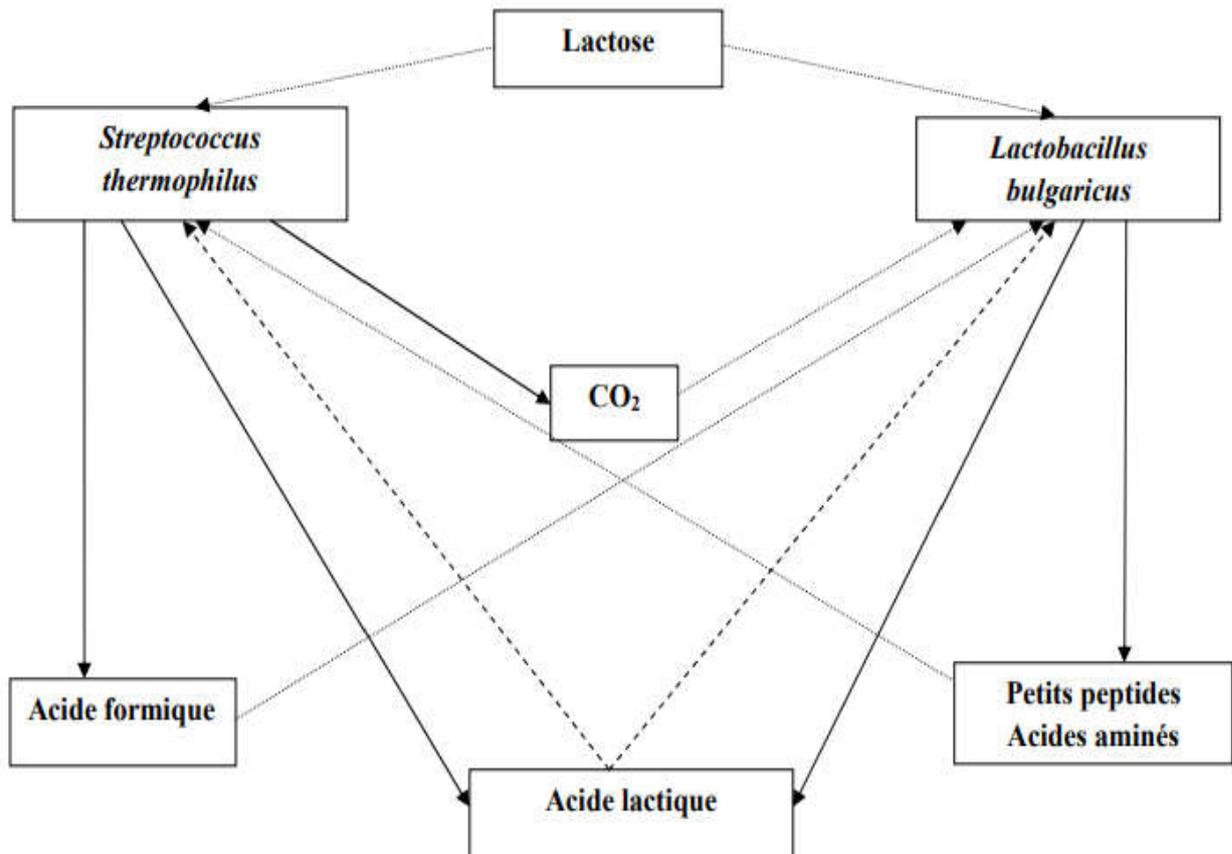


Figure 26: Les interactions de *Streptococcus thermophilus* et *Lactobacillus bulgaricus* (Mahaut et al., 2005).

- ✓ Production ———→
- ✓ Stimulation ———→
- ✓ Inhibition - - - - -→

## 1-5 L'intérêt des bactéries lactiques du yaourt

### 1-5-1 Activité acidifiante :

Les bactéries lactiques sont capables de produire l'acide lactique à partir de la transformation des glucides qui se trouve dans le lait en particulier du lactose. L'acide lactique est un acide organique qui joue un rôle dans divers processus biochimiques qui permet de concentrer et conserver la matière sèche du lait, en intervenant comme coagulant et antimicrobien. L'acidité du yaourt est communément exprimée en degré Dornic (1°D=0.1 g/l d'acide lactique). Elle se situe entre 100 et 130°D (Bouchahda et Sahnoun, 2016).

L'effet de l'acide lactique pendant la fabrication du yaourt est exprimée comme suit :

- Il aide à déstabiliser les micelles de caséines, ce qui conduit à la formation du gel.
- Il donne au yaourt son goût distinct et caractéristique, comme il contribue à la saveur et l'aromatisation du yaourt.
- Intervient comme inhibiteur vis-à-vis des microorganismes indésirables (**Bouchahda et Sahnoun, 2016**).

#### **1-5-2**    *Activité protéolytique :*

Les bactéries lactiques possèdent un système protéolytique complexe qui assure leur croissance dans des milieux à faibles concentrations en acides aminés libres et oligopeptides comme le lait .Ce système contient un ensemble d'enzyme qui se divise en deux groupes :

- ❖    Les protéases et les peptidase.

*St. Thermophilus* dégrade les polypeptides par son activité exopeptidasique en acide aminés libres.

*Lactobacillus bulgaricus* possède des protéases localisées, pour l'essentiel, au niveau de la paroi cellulaire, cette activité protéasique permet d'hydrolyser la caséine en polypeptides (**Annika et Marc, 2004**).

#### **1-5-3**    *Activité aromatique :*

Les bactéries lactiques peuvent produire de nombreux composés aromatiques tels que : l'acétolactate, l'acétaldéhyde, le diacétyl, l'acétoïne, le 2-3 butanediol, l'éthanol, l'acétate, le formiate...etc. (**Latreche, 2016**).

Les molécules aromatiques issues du catabolisme des acides aminés sont regroupées en fonction de leur nature chimique en cinq groupes de molécules : les aldéhydes, les alcools, les acides, les thiols et leurs dérivés et les autres composés divers.

On peut noter que ces molécules sont en grande partie dérivées des acides aminés aromatiques, en particulier de la phénylalanine, des acides aminés ramifiés et de la méthionine. Pette et Lokema ont été les premiers à suggérer que l'acétaldéhyde serait le composé aromatique principal de yoghourt, leur production est d'une grande importance et variable chez les bactéries lactiques.

L'acétaldéhyde est formé à partir du pyruvate par décarboxylation. Il est toutefois, vraisemblable que, dans le cas des bactéries du yaourt, le pyruvate formé à partir du lactose est affecté en totalité à la production d'acide lactique afin de permettre la glycolyse de se poursuivre [SUZUKI et al in ACCOLAS et al. 1980].

#### **1-5-4**    *L'activité texturant*

Les bactéries lactiques produisent des polysaccharides qui sont localisés soit dans le cytosol comme source d'énergie (glycogène), soit comme constituant de la membrane plasmique ou de la paroi (peptidoglycane, (Schleifer et Kandler, 1972), acides teichoïques (Archibald et Baddiley, 1966)), soit à l'extérieur de la paroi cellulaire sont des polysaccharides exocellulaires appelés aussi exopolysaccharides (EPS).

DELLAGLIO (1984) ; LOONES (1989) ; ZOURARI et al. (1991) ; HASSAN et al. (1996), considèrent que l'élaboration de polysaccharides dans le yaourt peut augmenter la viscosité de celui-ci et confère une agréable texture, par l'augmentation de la résistance aux manutentions notamment les traitements mécaniques du yaourt.

Il est couramment admis que la production des EPS est le résultat de l'action exercée par *St. thermophilus*. Mais d'après TAMIME (1999), *Lb. bulgaricus* possède une aptitude à produire des EPS composés de galactose, glucose, rhamnose à des rapports de 4/1/1

**2- la fabrication du fromage :**

**2-1 Définition du fromage :**

selon la norme (Codex STAN 283-1987),le fromage est le produit affiné ou non affiné, de consistance molle ou semi-dure, dure ou extra-dure qui peut être enrobé et dans lequel le rapport protéines de lactosérum /caséines ne dépasse pas celui du lait.

On obtenant le fromage à partir des matières d'origines exclusivement laitières suivantes : lait entier, lait partiellement ou totalement écrémé, matière grasse (MG), babeurre, ainsi, Les fromages sont des formes de conservation et de stockage ancestrales de la matière utile de lait dont les qualités nutritionnelles et organoleptiques sont très appréciées (Jeantet et al., 2007).

**2-2 Les principaux types de fromage :**

**Fromages frais**



Camembert

**Fromages à pâte molle croûte fleurie**



Faisselle



Comté

**Fromages à pâte molle croûte lavée**



Roquefort



Munster

**Fromages persillés**

**Fromages à pâte pressée non cuite**



Sainte-Maure de Touraine

**Fromages à pâte pressée cuit**



Saint-Nectaire

## **Fromages de chèvre**

## **Fromages fondus**



La vache qui rit

### ***2-3 -La fabrication du fromage :***

La fabrication du fromage à l'origine était un moyen de conservation du lait. Elle permettait de ne stocker que la partie solide du lait, après transformation. Les fromages pouvaient ainsi être descendus plus tard dans les vallées. La fabrication passe par différentes étapes en fonction des caractéristiques du produit final que l'on veut obtenir.

#### **Le coagulation :**

Des ferments lactiques ou de la présure sont ajoutés au lait pour provoquer sa coagulation il va alors se scinder en deux : – « le caillé » (la partie solide), qui va servir à faire les fromages – « le petit lait » (partie liquide), utilisé pour l'alimentation du bétail.

#### **L'égouttage :**

le caillé se contracte et le petit lait s'écoule. Cette séparation se fait spontanément. Il peut être accéléré par brassage, tranchage et chauffage.

#### **Le moulage :**

La mise en forme des fromages se fait soit dans des moules perforés, soit par pressage dans des toiles cerclées de bois ou d'autres matériaux.

#### **Le salage :**

Réparti à l'intérieur ou sur la surface, le sel permet de maîtriser le développement de micro organismes spécifiques, afin d'orienter le caillé vers l'aspect et le goût final recherché.

#### **L'affinage :**

Ou période de maturation du fromage, il dure de plusieurs jours à quelques mois. Le caillé se transforme en pâte, sous l'effet de la fermentation, le goût et l'odeur apparaissent. Les fromages font l'objet de soins manuels constants (retournement, brossages...). La température et

l'humidité ont une grande influence sur la progression de l'affinage pour atteindre la saveur finale.

**2-4 -Rôles des BL dans la fabrication fromagère :**

Les BL sont introduits dans le lait sous forme de " levains" lactiques, encore appelés "ferments".Les bactéries lactiques jouent un rôle primordial dans la production de nombreux fromages et de laits fermentés. Elles interviennent par la production d'acide lactique et elles participent à la production de composés d'arômes ou de leurs précurseurs **(Desmazeaud, 1983)**. Il apparaît donc naturel de sélectionner les bactéries lactiques sur leurs aptitudes à produire de l'acide lactique et à dégrader les protéines, ce qui est l'une des caractéristiques intervenant lors de l'affinage des fromages **(Grippon et al., 1977)**.

Elles appartiennent principalement à trois genres : Lactobacillus, Lactococcus et streptococcus qui se différencient. Entre autre, par leur activité acidifiante.

L'acidification est le rôle principal des bactéries utilisées comme ferments.Elle se manifeste par la production de l'acide lactique à partir de la fermentation des hydrates de carbone au cours de la croissance bactérienne **(MÄYRÄ-MÄKINEN et BIGRET, 2004 ; MONNET et al., 2008)**.

L'acide lactique, produit de dégradation du lactose par les microorganismes est un substrat de plusieurs réactions de l'affinage des fromages. Ce diholoside est clivé par la  $\beta$  galactosidase en glucose et galactose. Ces deux sucres sont ensuite dégradés selon la voie principale des hexoses phosphates (voie d'Embden-Meyerhoff) et secondairement selon la voie des pentoses phosphates. **(ALAIS et LINDEN, 1997)**.

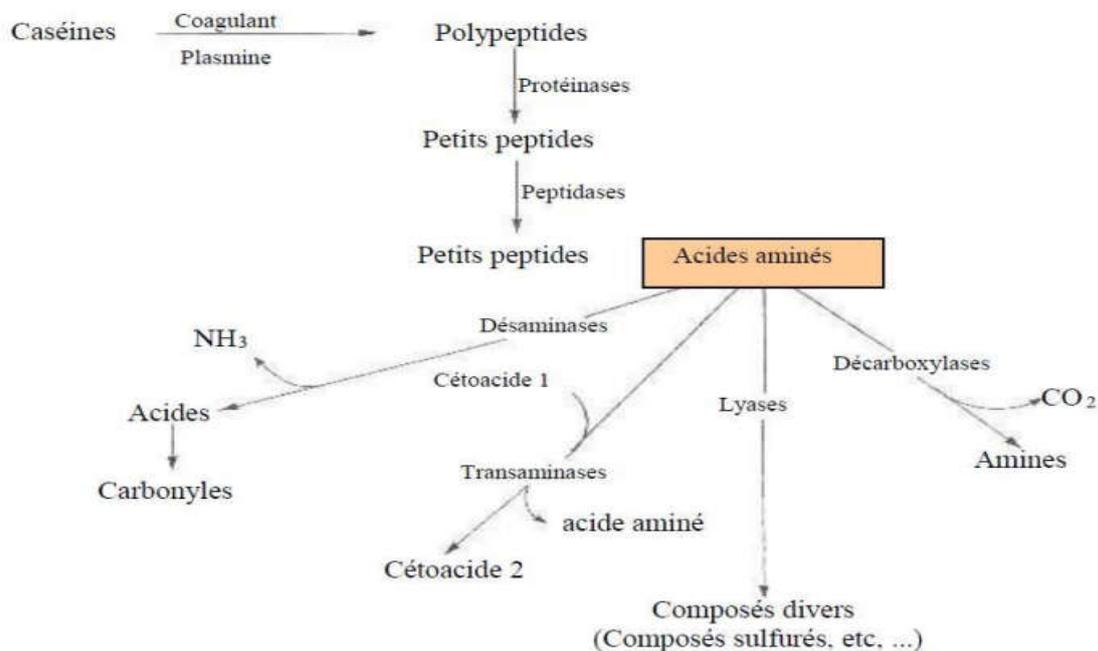
L'acide lactique subit d'autres fermentations produisant l'acide propionique, l'acide acétique, l'acide butyrique et le CO<sub>2</sub>. Ces produits peuvent être transformés en composants de flaveur comme les aldéhydes et les cétones **(MCSWEENEY, 2004)**.

les caractéristiques physico-chimiques créées par l'acidification préparent les conditions de développement des micro-organismes responsables de l'affinage (essentiellement levures et moisissures) et régulent l'activité des enzymes qui interviendront ultérieurement dans la modification des constituants du caillé **(Adda et al., 1982)**.

L'incapacité des bactéries lactiques à synthétiser les acides aminés nécessaires à la synthèse protéique nécessite un fonctionnement actif de leur système protéolytique dans les environnements où les protéines constituent la principale source d'azote (**LAW et HAANDRIKMAN, 1997**).

La protéolyse est une hydrolyse des liaisons peptidiques qui entraîne l'apparition à partir de la protéine de départ, des peptides et/ou des acides aminés libres. Elle apparaît comme l'un des phénomènes majeurs pendant l'affinage des fromages et c'est le plus complexe (**MCSWEENEY, 2004**). Elle contribue à la texture des pâtes, au goût, à l'ouverture et au croûtage par dégradation biochimique des protéines (**COURROYE, 1987**). Cette dégradation est réalisée par les systèmes enzymatiques des microorganismes, des enzymes coagulantes et des enzymes du lait. Les lactobacilles présentent généralement une activité protéolytique plus prononcée que les lactocoques (**DONKOR et al., 2007 ; MONNET et al., 2008 ; ROUDJ et al., 2009**). Ce phénomène se compose de 2 type de protéase associé à la paroi cellulaire :

- ❖ Type I : protéolyse de la caséine $\beta$ .
- ❖ Type II : protéolyse des caséines $\beta$ ,  $\alpha_1$  et  $\kappa$ .



**Figure 27:** protéolyse des caséines et catabolisme des acides aminés pendant l'affinage des fromages (**MCSWEENEY et SOUSA, 2000**).

Ainsi, Certaines bactéries lactiques sont capables de produire des composés d'arômes qui participent aux qualités organoleptiques des fromages. La plupart des composés d'arôme sont issus du métabolisme du citrate, l'acétoïne et le diacétyl sont les plus importants (GEORGALAKI et al, 2002, FRANÇOIS et al, 2007).

### **3- la fabrication de la crème :**

#### **3-1 La crème :**

La crème est un produit laitier, un concentré issu du lait riche en matière grasse. Elle est obtenue soit mécaniquement par centrifugation, soit naturellement par décantation du lait cru. La dénomination "crème" est réservée au lait contenant au moins 30g de matière grasse pour 100g du poids totale prévenant exclusivement du lait (Simon et al., 2002).

Les différentes bactéries lactiques utilisées dans la production de la crème sont :

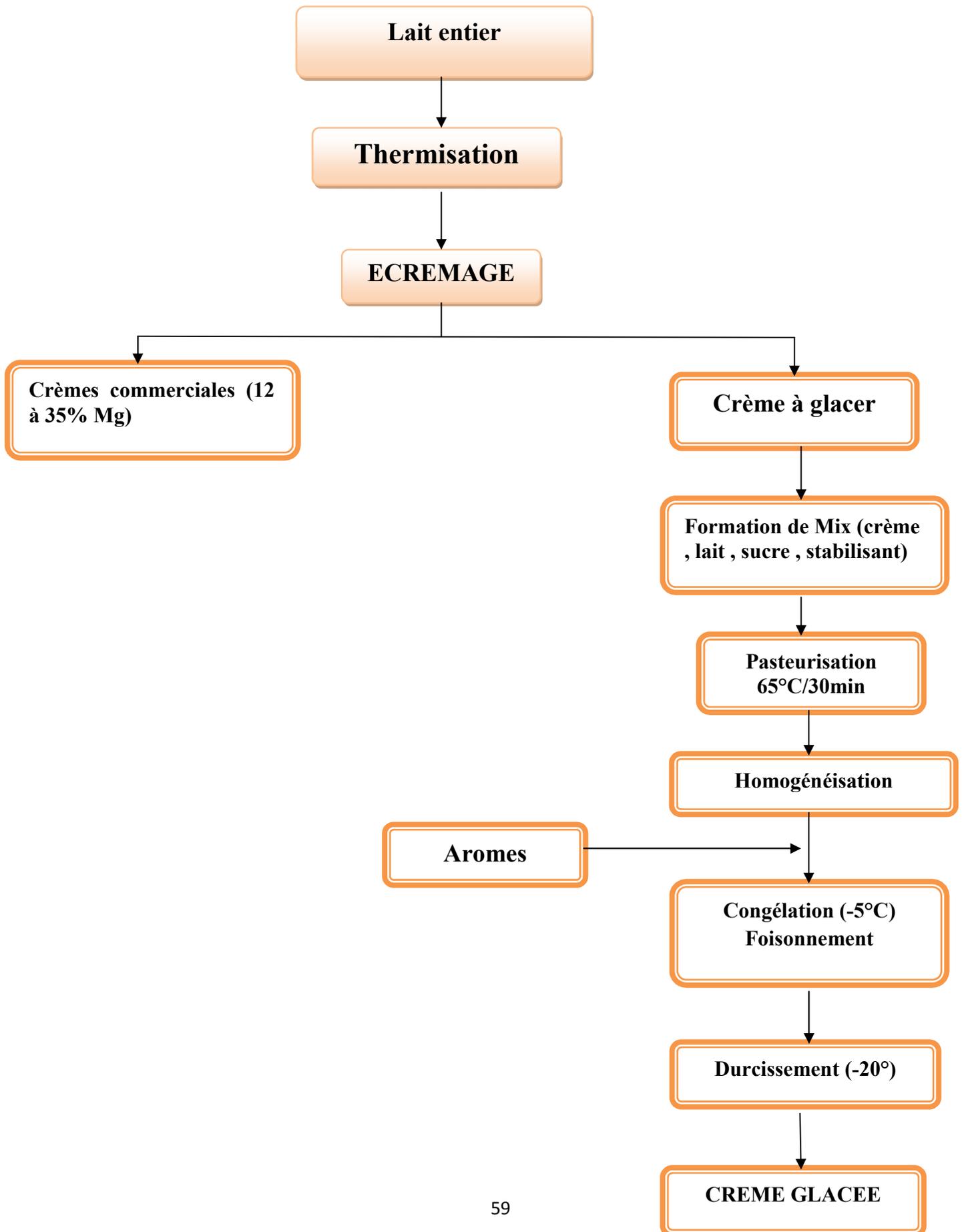
- ❖ Lc.Lactis.sp.lactis.
- ❖ Lc.Lactis.sp.crémoris.
- ❖ Lc.Lactis.

#### **3-2 Les différents types de crèmes :**

- **La crème crue**
- **La crème pasteurisée**
- **La crème UHT**
- **La crème liquide**
- **La crème épaisse**
- **La crème fraîche**
- **La crème fouettée**
- **La crème Chantilly**
- **La crème AOP**

3-3 La fabrication de la crème :

Le chemin suivant présent : la fabrication de la crème (Alais et al., 2008).



### **3-4 Intérêt des bactéries lactiques dans la fabrication de la crème :**

L'ensemencement des souches de bactéries lactiques mésophiles durant la fabrication de la crème) donne, au produit final, une meilleure protection par l'acide lactique et les bactériocines (nisine, diplococcine) et améliore son odeur, après la transformation du citrate ionisé en diacétyle par les *Leuconostoc* (Mahaut et al., 2000).

En outre, la maturation due au développement des bactéries lactiques acidifiantes fait baisser le pH et à partir de 5,2 et provoque la floculation de la caséine (Lupien, 1995).

## **II- Les produits carnés :**

Les saucisses et saucissons secs sont obtenus par fermentation de la viande. Les ferments (bactéries lactiques, Staphylocoques, levures et moisissures) utilisés vont influencer la couleur des saucissons, leur flaveur, leur texture et leur qualité microbiologique.

Les saucisses fermentées semi-séchées se caractérisent par une fermentation souvent rapide, à des températures relativement élevée (21 à 46°C) : les pH finaux sont donc souvent inférieurs à 5,3. Au contraire, les saucisses fermentées séchées ou les saucissons secs subissent une fermentation lente de plusieurs jours, à des températures relativement basses de 11 à 23°C (phase d'étuvage), avant d'être séchées pendant plusieurs semaines en chambre froide. Leur teneur en eau est basse. En prenant en exemple le saucisson sec français, on constate que les bactéries à Gram négatif disparaissent au cours de l'étuvage, les bactéries à Gram positif *Brochothrix* et *Enterococcus* se multiplient pendant la phase d'étuvage, mais leur croissance s'arrête dès le début du séchage, alors que les Micrococcaceae se multiplient, les lactobacilles ont, quant à eux, un développement rapide. Au début de l'étuvage se développent *Carnobacterium divergens* et *Cb. piscicola*. Ces espèces disparaissent en cours de maturation pour laisser la place à *Lactobacillus curvatus* et *Lb. sake* (Montel MC, 1992).

Pour obtenir des produits de qualité constante, on utilise en Europe des ferments sélectionnés composés de souche de *Micrococcus*, *Staphylococcus* et *lactobacillus*. La dégradation des lipides par des lactobacilles est faible dans les produits carnés fermentés. En revanche, on recherche une certaine protéolyse, parce que les peptides et les acides aminés sont des précurseurs d'arômes dans ces produits. Par ailleurs, les lactobacilles produisent des peroxydes et de l'eau oxygénée qui s'accumulent dans le milieu malgré la présence des catalases tissulaires et microbiennes. Ces composés ont une action antimicrobienne contre *Staphylococcus aureus* et *Pseudomonas*. Les lactobacilles produisent aussi des bactériocines active contre les germes potentiellement pathogènes comme *Listeria monocytogenes*. Les Pediocoques produisent

la pédiocine. *Lb. plantarum* sécrète deux plantaricines et *Lb. sake* synthétise la sakacine (Kiaenhammer TR, 1993)



**Figure28** : les produits carnés ([www.agroscope.fr/alimentaion](http://www.agroscope.fr/alimentaion))

## *Chapitre VI*

*Utilisation des bactéries lactiques dans la  
bioconservation dans l'industrie agro-alimentaire*

### 1- Généralité et définition :

Les bactéries lactiques et/ ou leurs métabolites utilisés depuis des millénaires d'une façon empirique par de nombreuses populations, peuvent contribuer à la conservation des aliments **(Ross et al., 2002)**.

En diminuant la perte économique due à la contamination de produits alimentaires, la Bioconservation pourrait remplacer l'utilisation de conservateurs chimiques et les traitements thermiques. Elle permettrait une conservation naturelle des aliments en préservant leurs propriétés organoleptiques et nutritionnelles, souvent perdues sous l'effet des agents chimiques ou de la chaleur **(Gálvez et al., 2007 ;Settanni et Corsetti, 2008)**.

La bioconservation consiste à ajouter sur un aliment un ou des microorganismes et/ou leurs métabolites, sélectionnés pour leurs capacités à inhiber la croissance de microorganismes indésirables, dans le but d'augmenter la durée de conservation des denrées alimentaires et/ou de limiter la croissance de certains micro-organismes pathogènes **(Dridier et Hervé ,2009)**.

Les bénéfices liés à l'utilisation de ce type de technologie sont nommés ci-après **(European commission. Bruselas: 2007) :**

- C'est une solution sûre présentant moins de limitations que les conservateurs chimiques, au vu de la présence de substances naturelle dans les matrices alimentaires.
- Aucune résistance n'est connue et l'impact sur l'environnement est minime, car elles sont rapidement éliminées par la chaîne alimentaire.
- Elles ont un spectre d'action très précis, leur activité est renforcée par le pH et elles ont un effet synergique avec d'autres agents antimicrobiens métaboliques.
- Leur utilisation est compatible avec l'étiquetage de produit biologique, étant donné que la conservation se fait sans produits chimiques ni conservateurs synthétiques.

## 2- L'application des bactériocines :

### 2-1 La définition des bactériocines :

Les bactériocines sont des peptides antimicrobiens synthétisés par voie ribosomique, se différencient par leur poids moléculaire, leurs propriétés biochimiques, leur origine génétique, ainsi que par leur spectre et mode d'action (**BenOmar et al., 2006 ; Dortu et Thonart, 2009 ; Ruiz-Barba et al., 2010**).

Parmi les bactéries lactiques qui produisent des bactériocines sont appartenant aux genres *Lactobacillus* (la bactériocine OR7), (bactériocine XDSM) et *Enterococcus* (l'entérocin E50-52 et l'entérocin E760) ont un spectre d'activité beaucoup plus large incluant des bactéries à Gram positif et à Gram négatif (*Campylobacter jejuni*, *Yersinia* sp., *Salmonella* sp., *Escherichia coli* O157:H7, *Shigella dysenteriae*, *Morganella morganii*, *Staphylococcus aureus*, et *Listeria* sp. (**Line J.E et al. 2008, Stern N.J et al. 2006, Svetoch E.A et al. 2008, Messaoudi S et al. 2011 Int, Messaoudi S et al. 2012 Food Microbiol**).

Ces substances protéiques présentent un intérêt certain pour l'homme, notamment pour la conservation des aliments, mais également pour être utilisées comme alternatives aux antibiotiques ou en association avec les antibiotiques naturels (**Cotter, P.D et al. 2005, Naghmouchi K et al. 2013, Naghmouchi K et al. 2012**).

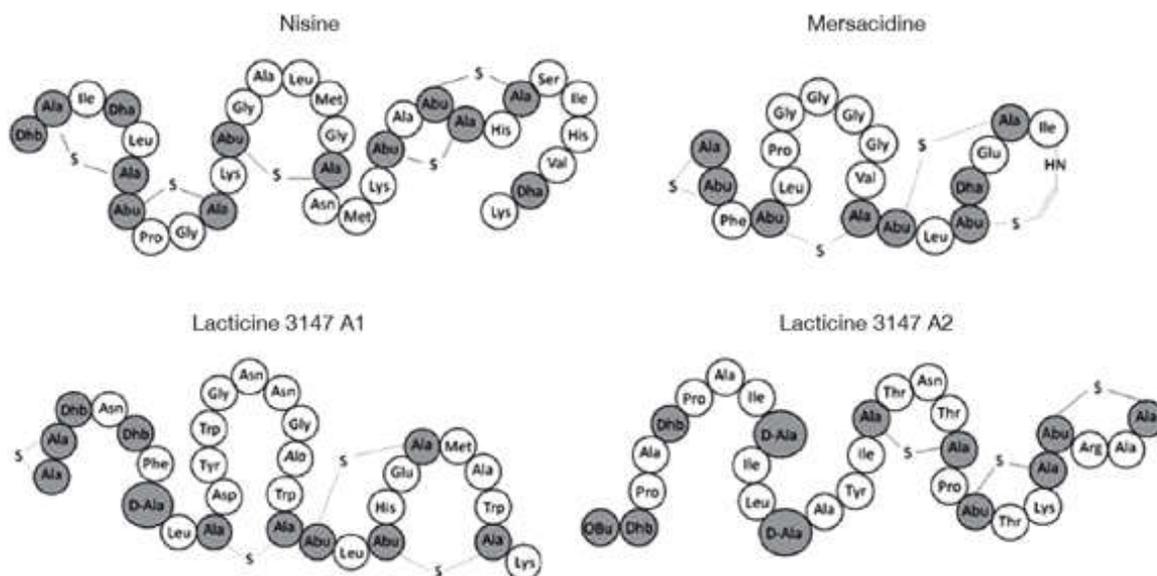
### 2-2 Classification des bactériocines :

Selon les séquences primaires en acides aminés, poids moléculaires (kDa), structures et stabilité à la chaleur et aux variations de pH, Les bactériocines produites par les bactéries lactiques sont réparties en quatre classes, comme proposé par **Klaenhammer (1993)**. Ces quatre classes sont :

#### **Classe I : les lantibiotiques**

. Les lantibiotiques sont petits peptides hydrophobes, produits par les bactéries lactiques du genre *Lactococcus*, *Lactobacillus* et *Streptococcus* (**Calvez S et al. 2009**), leur taille est

Certains lantibiotiques sont par ailleurs constitués de deux peptides agissant ensemble pour avoir une activité comme la lacticine 3147. Les séquences et structures d'un lantibiotique de chaque type se trouvent à la **figure 29** :



**Figure 1.** Séquence et structure de lantibiotiques de type A (Nisine), B (Mersacidine) et d'un lantibiotique « two-peptides » (Lacticine 3147 A1 et A2) — *Sequence and structure of a type A lantibiotic (Nisin), a type B lantibiotic (Mersacidin) and a « two-peptides » lantibiotic (Lacticin 3147 A1 and A2).*

Ils peuvent être divisés en deux types : la classe Ia qui comprend des peptides cationiques hydrophobes allongés contenant jusqu'à 34 acides aminés et la classe Ib qui comprend les peptides globulaires chargés négativement ou sans charge nette et contenant jusqu'à 19 acides aminés (McAuliffe et al., 2001 ; Twomey et al., 2002).

### Classe II :

Cette classe comporte un grand nombre de bactériocines. Ils renferment des peptides thermostables de faible poids moléculaire (<10 kDa), stables à la chaleur, ne contenant pas d'acides aminés modifiés. Leur point isolélectrique varie entre 8 et 10, et ne subissent pas de modification post traductionnelle.

Les bactériocines de la classe II comportent quatre sous classe ((IIa, IIb, IIc et IId) (Rihakova J et al. 2010).

Tableau 1. Séquence de quelques bactériocines de classe II — *Sequence of some class II bacteriocins.*

Classe IIa: « Pediocin-like bacteriocin »	
Mésentéricine Y105	MTNMKSVEAYQQLDNQNLKVVGGKYYGNVHCTKSGCSVNWGEAASAGIHRLANGNGFW
Sakacine P	-----MEKFIELSLKEVTAITGGKYYGNVHCGKHSCTVDWGTAIIGNIGNNAAANWATGWNAGG
Curvacine A	-----MNNVKELSMTELQTITGGARSYGNVYCNKNCWVNRGEATQSIIGGMISGWASGLAGM
Piscicoline 126	-----MKTVKELSVKEMQLTTGGKYYGNVSCNKNCTVDWSKAIGIIGNNAAANLTTGGAAGWNKG
Carnobactériocine Bm1	-----MKSVKELNKKEMWINGGAI SYGNVYCNKEKCVWNKAENKQAITGIVIGGWASSLAGMGH
Pédiocine PA-1	-----MKKIEKLTEKEMANIIGGKYYGNVTCGKHSCTVDWGTATTCTIINNGAMAWATGGHQGNHKC
Entéroccine A	-MKHLKILSIKETWLIYGGTTHSGRYYGNVYCTKNKCTVDWAKATTCTIAGMSIGGFLGGAIPGKC
Sakacine G	-----MKNTRSLTIQEIKSITGGKYYGNVSCNSHGCSVNWGWQAWTCGVNHLANGGHGGVC
Classe IIb: « Two-peptides bacteriocin »	
ABP-118	$\alpha$ KRGPNCVGNFLGGLFAGAAAGVPLGPAGIVGGANLGMVGGALTCL
	$\beta$ KNGYGGSGNRWVHCAGIVGGALIGAIGGPWSAVAGGISGGFTSCR
Lactocine 705	$\alpha$ MDNLNKFKLSDNKLQATIGG
	$\beta$ MESNKLEKFANISNKDLNKITGG
Lactococcine MN	M IRGTGKGLAAAMVSGAAMGGAIGAFGGPVGAIMGAWGGAVGGAMKYSI
	N GSIWGAIAGGAVKGAIAASWTGNPVGIGMSALGGAVLGGVTYARPVH
Plantaricine EF	E FNRGGYNFGKSVRHVVDAIGSVAGIRGILKSIR
	F VFHAYSARGVRNNYKSAVGPADWVISAVRGIHG
Classe IIc	
Plantaricine A	MKIQIKGMKQLSNKEMQKIVGGKSSAYSLSQMGATAIKQVKKLFKKWGW
Lactococcine A	MKNQLNFNIVSDEELSEANGGKLTPIQSTAAGDLYYNTNTHKYVYQQTQNAFGAAANTIVNGWMMG AAGGFGLHH
Lactococcine 972	MKTKSLVLALSAVTLFSAGGIVAQAEGTWQHGYGVSSAYSNYHHGSKTHSATVVNNNTGRQGKDTQ RAGVWAKATVGRNLTERASFYYNFW

Tableau 9: séquences de quelques bactériocines classe II.

**Classe III:**

Sont des peptides de taille supérieure à 30 kDa et sensibles à la chaleur. La structure et le mode d'action est différent complètement des autres bactériocines produites par les bactéries lactiques. Cette classe ne contient que quatre bactériocines : l'helveticin J produite par *Lactobacillus helveticus* A, l'enterolysin A produite par *Enterococcus faecium*, la zoocin A produite par *Spreptococcus zoepidemicus* et la millericin B produite par *Streptococcus milleri* (Nilsen et al., 2003 ; Papagianni, 2003 ; Nigutova et al., 2007).

**Classe IV :**

Sont des Peptides requérant une partie carbohydratée ou lipidique pour avoir une activité. A ce jour, Aucune bactériocine de cette classe n'a été décrite.

**2-3 La biosynthèse des bactériocines :**

Dans la voie ribosomique, la bactériocine est produite sous forme d'un prépeptide nonbiologiquement actif qui subira des modifications post-traductionnelles pour donner le peptide actif (**Dortu et Thonart, 2009**)

La production est régulée par un système de Quorum Sensing (expression de certains gènes en fonction de la densité de la population bactérienne).

**1- Biosynthèse des lantibiotiques (Modifications post-traductionnelles) :**

La synthèse des lantibiotiques est un processus qui nécessite deux étapes :

La première étapes : se fait par déshydratation de la sérine et de la thréonine pour former la déhydroalanine et la déhydrobutyrine.

La deuxième étapes : consiste en la formation d'un lien thioéther entre ces résidus déshydratés et les cystéines environnantes, donnant aux lantibiotiques une structure cyclique.

Parmi Les gènes impliqués dans la biosynthèse des lantibiotiques (ex : la nisine) sont :

\*Gène de structure (LanA)

\* Gènes (LanB et LanC ou LanM)

\* Gènes codant le transporteur ABC

\* Gènes d'immunité

Et les enzymes utilisée sont une déshydratase et une cyclase codée soit par les gènes LanB et LanC ou le gène LanM (**Mc Auliffe et al., 2001 ; Kleerebezem, 2004 ; Xie et Van Der Donk, 2004 ; Patton et Van Der Donk, 2005**).

**2- Biosynthèse des bactériocines de classe II :**

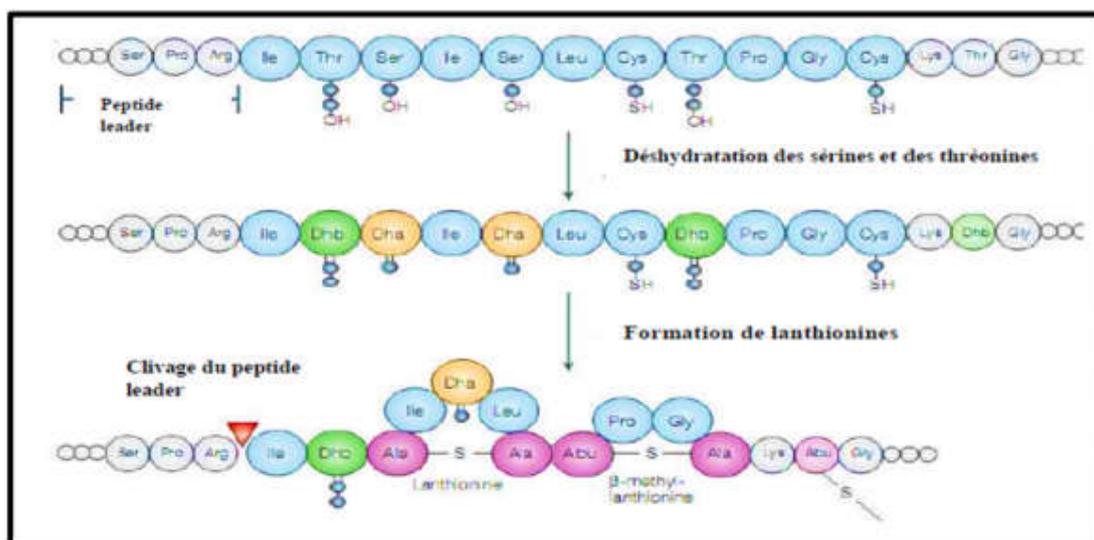
Certaines bactéries de cette classe utilisent un autre système de sécrétion qui est le " sec-dependent pathways " basé sur la translocation du peptide par un pore aqueux formé par plusieurs protéines.

la grande majorité des bactériocines de classe II est synthétisée sous forme d'un précurseur, aux exceptions notables de l'entéroïcine I (**Floriano et al., 1998**) et de l'entéroïcine Q (**Cintas et al., 2000**). Le précurseur, appelé aussi prébactériocine, possède une extension N-terminale (peptide leader)

Les gènes de modification post-traductionnelle est absente.

#### 2-4 Mécanisme de régulation :

Différentes protéines sont impliquées dans la régulation des bactériocines qui est souvent contrôlée par un mécanisme à deux composantes basé sur le Quorum Sensing (figure ....), un gène d'être exprimés en fonction de la densité de la population bactérienne (**Dortu et Thonart, 2009**)



**Figure 30:** Mécanisme du Quorum Sensing : Model nisine de *Lactococcus lactis* (Source :<https://slideplayer.com/slide/13841517/>).

Cette régulation repose sur la production de peptides phéromones qui peuvent être la bactériocine elle-même mais plus fréquemment un peptide spécifique (**MORRISET et al., 2005**).



**b- Les bactériocines de la classe II :**

Le mécanisme de régulation pour cette classe est similaire à celui des lantibiotiques à l'exception du stimulus extérieur qui est dans ce cas un prépeptide autre que la bactériocine **(Dortu et Thonart, 2009)**.

Cette régulation est assurée par trois composants qui sont un peptide d'induction, une histidine kinase et un régulateur de réponse.

**5-Mode d'action des bactériocines :**

Les bactériocines ont différents mécanismes d'action. Soit elles vont altérer la perméabilité membranaire des bactéries, soit inhiber la synthèse de leurs peptidoglycanes, soit encore agir en détruisant les liaisons peptidiques entre les peptidoglycanes.

le principal site d'action des bactériocines sur les bactéries sensibles est la membrane cytoplasmique **(Driessen et al., 1995)**.

D'après **(DROSINOS et al., 2009)**, le mode d'action des bactériocines est caractérisé par deux étapes :

**La première étape :**

Est réversible et éliminatrice de la bactériocine (par exemple présence de protéases) maintient la structure de la membrane intacte sans dommage des cellules bactériennes. cette étapes correspondrait à une adsorption sur des récepteurs de la membrane cellulaire de la bactérie hôte.

La deuxième étape : est irréversible et les dommages entraînés sont caractéristiques pour chaque bactériocine (formation de pores, action lytique ou inhibition de synthèse de composants cellulaires importants). cette étape correspond la dénaturation de la membrane cytoplasmique .

**Classe I (les lantibiotiques) :**

Les lantibiotiques interagissent avec les membranes cellulaires par interactions électrostatiques. Ce dernier forme des pores larges et non-spécifiques à la surface des cellules cibles ce qui induit la perte du potentiel électrique et du gradient pH transmembranaire **(WIEDEMANN et al., 2006 ; KUIPERS et al., 2011)**.

**Classe II :**

Les bactériocines de Classe II agissent de la même manière,

Le mode d'action des bactériocines de la sous-classe IIa réside dans l'induction de la membrane par liaison au feuillet  $\beta$  de la cellule cible conduisant à la dissipation de la force proton motrice et à la fuite de l'ATP intracellulaire à cause de la formation de pores membranaires (NISSEN-MEYER et al., 2009 ; KJOS et al., 2010).

Les bactériocines de la sous-classe IIb agissent par perméabilisation de la membrane de la cellule cible provoquant ainsi la fuite des composés intracellulaires tels que les ions Chapitre II Bactériocines 33 monovalents (cas des plantaricines E/F et J/K), des cations monovalents (cas de la Lactococcine G) par formation de pores (NISSEN-MEYER et al., 2011)

Ainsi, le cycle des bactériocines de la sous-classe IIc permet la stabilisation et nécessite à l'expression de leur activité biologique (NISSEN-MEYER et al., 2009).

**Classe III :**

Peu d'études sur le mode d'action des bactériocines de classe III ont été publiées (MORISSET et al., 2005). Cependant, le mode d'action de cette classe est complètement différent, elles agissent par hydrolyse des liens peptidiques entre les peptidoglycane de la membrane des bactéries sensibles. Selon le nombre de bactéries sensibles, le spectre d'action des bactériocines est plus ou moins large (étroit pour la zoocine A, large pour l'entérolisine A et la millericine B).

**2-5 Facteurs influençant la production des bactériocines :**

Les facteurs influençant la production des bactériocines :

- ♣ La température et Ph peuvent influencer la solubilité et la stabilité des bactériocines
- ♣ La présence de certaines enzymes peut dégrader la bactériocine
- ♣ Le différent mécanisme déstabilise les molécules de la bactériocine exemple mécanisme l'oxydation des lipides.
- ♣ La composition du milieu de culture en particulier la source et la teneur de carbone et d'azote influence considérablement la production de bactériocines.

♣ L'état physiologique de la bactérie productrice et les conditions expérimentales (concentration et pureté de la bactériocine, concentration de la cellule cible et milieu de culture) peuvent influencer l'activité des bactériocines (**TAALE, 2016**).

♣ Temps d'incubation cause une diminution du taux de bactériocine.



***CONCLUSION GENERALE***

## **CONCLUSION**

---

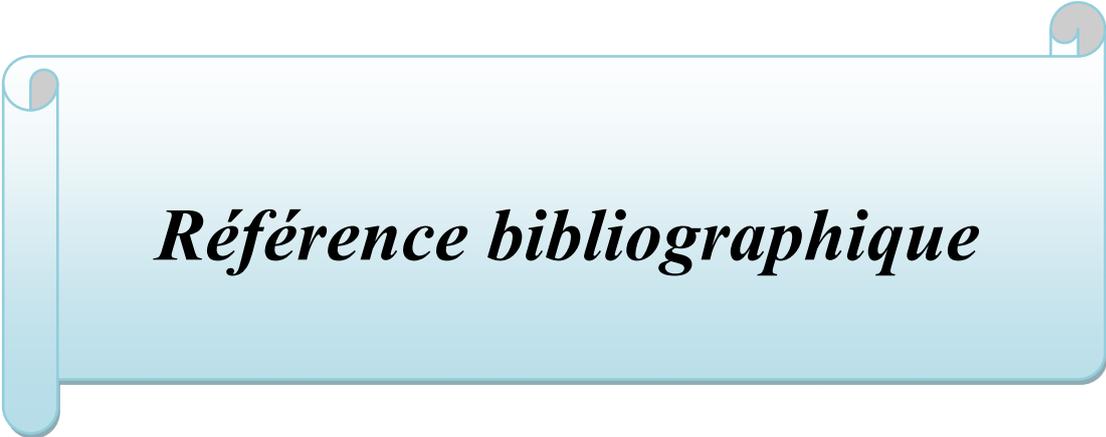
Les bactéries lactiques ont une longue histoire d'utilisation massive dans la fabrication des produits alimentaires, ces bactéries ont un réel rôle d'épuration microbienne en raison de leur production d'acide lactique, et éventuellement d'acide acétique, de l'abaissement du pH en résultant, ainsi que par la synthèse des bactériocines.

Elles sont principalement utilisées en tant que starter dans les produits alimentaires fermentés où elles permettent de développer certaines caractéristiques organoleptiques et d'augmenter la durée de conservation. En effet, les bactéries lactiques produisent de nombreux métabolites aux propriétés antimicrobiennes tels que les acides organiques, le peroxyde d'hydrogène, le dioxyde de carbone, la reutéline, le diacétyl et les bactériocines. Les bactériocines sont des peptides antimicrobiens inhibant la croissance de bactéries altérantes ou pathogènes.

*Le genre Lactobacillus* est constitué d'un groupe génétiquement et physiologiquement diversifié de Gram positive, en forme de bâtonnet, catalase négative.

*Les lactobacilles* sont les microorganismes les plus courants utilisés dans l'industrie agroalimentaire dans la fabrication des produits laitiers fermentés. Ces dernières, peuvent être utilisées comme bioconservateurs.

Notre travail représente une étude bibliographique sur les BL, qui nous a permis de comprendre mieux l'utilisation des BL genre *lactobacillus* dans l'industrie agroalimentaire, cette aperçu bibliographique permet de mettre en évidence l'importance des BL dans la bioconservation alimentaire.



*Référence bibliographique*

## *Référence bibliographique*

---

### *Référence bibliographique*

- **Adams, M.R., Hall, C.J. (1988).** Growth inhibition of food-borne pathogens by lactic and acetic acids and their mixtures. *Int. J. Food Sci. Tech.* P.23, 287-292.
- **Adda J., Gripon J. & Vassal L. 1982.** The chemistry of flavor and texture generation in cheese. *Food chem.* 9, 115-129.
- **Alais C. et Linden G : 1997.** *Biochimie alimentaire*, Eds Masson, Paris, 248 p.
- **ALAIS C. et LINDEN G., 2004.** *Biochimie alimentaire*. 5ème Ed: Lavoisier. Paris. 520p (162-164).
- **AMMOR S., TAUVERON G., DUFOUR E. and CHEVALLIER I., 2006.** Antibacterial activity of lactic acid bacteria against spoilage and pathogenic bacteria isolated from the same meat small-scale facility, 1-Screening and characterization of the antibacterial compounds. *Food Control.* vol. 17, 454-461.
- **Andersson, R. (1986).** Inhibition of staphylococcus aureus and spheroplasts of Gramnegative bacteria by an antagonistic compound produced by a strain of *Lactobacillus plantarum*. *Int. J. Food Microbiol.*,3:149-160.
- **Annika.M.M et Marc.B.2004.** *Industrial Use and Production of Lactic Acid Bacteria*. Ed Marcel Dekker.
- **ARCHIBAU A.R. and BADDILEY J., 1966.** The teichoic acids. *Adv. Carbohydr. Chem.* - 21, 323-375.
- **Atlan, D., Béal, C., Champonier-Vergès, M.C., Chapot-Chartier, M.P., Chouayekh, H., Coccagn-Bousquet, M., Deghorain, M., Gadu, P., Gilbert, C., Goffin, P., Guédon, E., Guillouard, I., Guzzo, J., Juillard, V., Ladero, V., Lindley, N., Lortal, S., Loubière, P., Maguin, E., Monnet, C., Monnet, V., Rul, F., Tourdot-Maréchal, R. et Yvon M. 2008.** *Métabolisme et ingénierie métabolique*. In Corrieu, G. et Luquet, F.M., *bactéries lactiques de la génétique aux ferments*. Tec & Doc, Lavoisier : 271-447.
- **Axelsson,L.(2004)** *Lactic Acid Bacteria :Classification and Physiology*.In :Salminen,S.Von Wright,A.and Ouwehand A.(Eds),*Lactic acid bacteria :microbiological and functional aspects*.3rd rev. And exp.ed.Marcel Dekker,Inc.,New York,pp.1-66 .
- **Belguesmia, Y., Naghmouchi, K., Chihib, N.-E., and Drider, D. (2011)** Class Iia bacteriocins: current knowledge and perspectives. In: Drider, D., and Rebuffat, S. (Eds). *Prokaryotic Antimicrobial Peptides: From Genes to Applications*. Springer Verlag. Nantes, France. pp 1-41.
- **Bergmaier D., Lacroix C. (2002)** Aggregate formation during chemostat culture with *Lactobacillus rhamnosus* RW-9595M. *Biotechnol Prog* soumis pour publication.

## *Référence bibliographique*

---

- **Bergey's manual. (2009).** Systematic of bacteriology. Second Edition. Volume three the firmicutes. Edition springer.
- **Bottazzi V., 1988.** An Introduction to rod-shaped lactic acid bacteria, *biochimie*, 70: 303-315.
- **Bottazzi, V., Mercenier, A. (1994).** Propriétés prophylactiques et thérapeutiques des bactéries lactiques. Dans : Bactéries lactiques. H De Roissart et F.M. Luquet. Eds, Loriga-Uriage, 2 : 409-418.
- **Bouchahda Z. et Sahnoun A., 2016.** Effet d'ajout du sirop de datte sur la qualité d'un lait fermenté type yaourt étuvé. *Biotechnologie Alimentaire*. Université Abdelhamid Ibn Badis-Mostaganem. P5.
- **Bourgeois C. M., Larpent J.P. 1996.** Aliments fermentés et fermentation alimentaire, *Microbiologie alimentaires*. Tome 2. Ed © Technique Documentation Lavoisier, Paris.
- **Brul S., Coote P., 1999.** Preservative agents in foods: mode of action and microbial resistance mechanisms. *Int. Food Microbiol.*, 50(1-2):1-17.
- **Cai Y. et al., 1999.** *Lactobacillus paralimentarius* sp. nov., isolated from sourdough. *Int. J. Syst. Bacteriol.*, **49**, 1451-1455.
- **Caplice E. et Fitzgerald G.F. 1999.** Food fermentation: role of microorganisms in food production and preservation. *Int. J. Food Microbiol.* 50: 131-149.
- **Corcy J.C. 1991.** La chèvre, Ed. La maison Rustique, Paris, P7-21.
- **Champagne (1992).** In **Boudjani, W., (2009).** Action de la flore lactique sur les bactéries contamination. Mémoire d'ingénieur, Institut de biologie, Université de Tlemcen. p 73.
- **Chavan JK & Kadam SS (1989)** Nutritional improvement of cereals by fermentation. *Crit Rev Food Sci Nutr* 28, 349-400.
- **Cintas L.M., Casaus P. Holo H. Hernandez P.E et Havarstin L.S .1998.** Enterocins L50A and L50B, two novel bacteriocins from enterococcus faecium L50, are related to staphylococcal hemolysins. *J. Bacteriol.* 180 :1988-1994.
- **Cintas, L. M., Casaus, P., Herranz, C., Havarstein, L. S., Holo, H., Hernandez, P. E. et Nes, I. F. (2000).** Biochemical and genetic evidence that *Enterococcus faecium* L50 produces enterocins L50A and L50B, the sec-dependent enterocin P, and a novel bacteriocin secreted without an N-terminal extension termed enterocin Q. *J Bacteriol.* 182, 23, 6806-14.
- 
- **Codex STAN 283-1987.**

## *Référence bibliographique*

---

- **Cogan, T. M. (1996).** History and taxonomy of starter cultures. In T. M. Cogan and J.- P. Accolas (ed.), Dairy starter cultures. VCH Publishers, Inc., New York, N.Y.
- **Condon,S., (1987).** Responses of lactic acid bacteria to oxygen. FEMS Microbiology Letters 46: 269-280.
- **Cotter, P.D.; Guinane, C.M.; Hill, C.; Ross, R.P. (2005).** Microbial solutions to microbial problems; lactococcal bacteriocins for the control of undesirable biota in food. J. Appl. Microbiol., 98, 1316-132
- **COURROYE M., (1987).** L'indice d'affinage. Un nouveau moyen de suivre la protéolyse des fromages à pâte cuite par cryoscopie. Les IAA, mars, 169-173.
- **De Man JC, Rogosa M & Sharpe ME (1960)** A medium for the cultivation of lactobacilli. Journal of Applied Microbiology 23, 130-135.
- **De Roissard H. et Luquet F.M , 1994.** Bactéries lactiques. 2volume, Loriga Uriage, 600 p, par volume.
- **De Roissart H, 1986.** Bactéries lactique In Ecosystème microbien d'un atelier fermier de salaison identification et propriétés des bactéries lactiques. Thèse de Doctorat. Université de Rennes-France.
- **De Vos P, Garrity GM, Jones D, Krieg NR, Ludwig W, Rainey FA, Schleifer KH, Whitmanet WB.** Genus Lactobacillus, Bacillus and Listeria. In : « Bergey's manual of systematic bacteriology - The Firmicutes » Vol 3. Springer éd., New York. pp. 2009
- **DE VRESE M.** The three ages of man in probiotics and health. Yakult international conference : Royal College of Physicians, London, 2001.
- **de Vries MC, Vaughan EE, Kleerebezem M & de Vos WM (2006)** Lactobacillus plantarum survival, functional and potential probiotic properties in the human intestinal tract. Int. Dairy J. 16, 1018-1028.
- **De Vuyst L. et Vandamane E.J, 1994.** Antimicrobial potential of lactic acid bacteria. In De Vuyst L, Vandamane E.J (ed). Bacteriocins of lactic acid bacteria : microbiology, genetic and application. Blackie Academic et Professional. London, United Kingdom. P. 91-142.
- **Dellaglio, F, H de Roissart, S Torriani, M.K Curk, et D Janssens.** Caractéristiques générales des bactéries lactiques. In Bactéries Lactiques. Édité par H Roissart, & F.M Luquet. Paris: Lavoisier, 1994.
- **Delorme C., 2008.** Safety assessment of dairy microorganisms: streptococcus thermophilus. International Journal of food Microbiology. 126: 274-277.
- **Dennis-kunkel-microscopyscience-photo-library**

## *Référence bibliographique*

---

- **Desmazeaud M.J., 1983.** Lait, 63, 267-316.
- **Desmazeaud, M. (1996).**L'état des connaissances en matériel de nutrition de bactéries lactiques. le lait, 63 : 267-16.
- **Devoyod J.J. et Poullan F, 1988.** Les Leuconostoc propriétés : leur rôle en technologie laitière, le lait, 68 (3) : 249-280.
- **DONKOR O.N., HENRIKSSON A., VASILJEVIC T. and SHAHA N.P., 2007.** Proteolytic activity of dairy lactic acid bacteria and probiotics as determinant of growth and in vitro angiotensin converting enzyme inhibitory activity in fermented milk. INRA, EDP Sciences. 86: 21-38.
- **Dortu, C et Thonart, P. (2009)** . Les bactéries des bactéries lactiques : caractéristiques et intérêts pour la bioconservation des produits alimentaires. BiotechnolAgron soc Environ. 13 : 143-154.
- **Dortu, C, and P Thonart.**"Les bactériocines des bactéries lactiques : caractéristiques et." Biotechnol. Agron. Soc. Environ 13 (2009): 143-154.
- **Drancourt, M., Bollet, C., Carlioz, A., Martelin, R., Gayral, J. P., et Raoult, D. 2000.**
- **Dreissen F.M. & Kingma F. 1982.** Standhouders J. Hol yougurt bacterian alkaar helpen grocien, Zuivelicht, 74, 176-178.
- **Dreissen F.M. 1981.** Protocooperation of yogurt bacteria in continuous culture In: Mixed cultures fermentation. M.E. Buchell, J.H.Slater (Eds). Academic Press. New York. PP 99-120.
- **Drider Dj ., Prevost H. (2009).** Bactéries lactiques : Physiologie, Métabolisme, Génomique et Applications industrielles, édition ECONOMICA, France, p1, 35, 36, 51, 53, 99
- **Driessen, A.J.M., Van den Hooven, H.W., Kuiper, W., Van de kamp, M., Sahl, H.G., Konings, R.N.H. et al.(1995).** Mechanistic studies of lantibiotic-induced permeabilization of phospholipid vesicles. Biochemistry 34 : 1606-1614.
- **Drouault S. and Cortbier G (2001).** Health effects of lactic acid bacteria ingested in fermented milk. VetoRes., 32, 101-117.
- **Elmer, G. W., Surawicz, C. M., & McFarland, L. V. (1996).**Biotherapeutic agents. A neglected modality for the treatment and prevention of selected intestinal and vaginal infections.
- **FAO/OMS.** Health and Nutritional Properties of Probiotics in Food including Powder Milk with Live Lactic Acid Bacteria.Food and Agriculture Organization of the United

## *Référence bibliographique*

---

- Nations and World Health Organization (Organisation Mondiale pour la Santé OMS) .Working Group Report.Cordoba, Argentina. 2001.
- **Floriano, B., Ruiz-Barba, J. L. et Jimenez-Diaz, R. (1998).**Purification and genetic characterization of enterocin I from *Enterococcus faecium* 6T1a, a novel antilisterial plasmid encoded bacteriocin which does not belong to the pediocin family of bacteriocins. *Applied*. 64, 10, 4883-4890
  - **François Z.N., Nour El houda , Florance F.A Paul M. F, Félicite T.M and EL soda M. 2007.** Biochemical properties of some thermophilic lactic acid bacteria strains from traditional fermented milk relevant to their technological performance as starters cultures. *Biotechnology*. 6(1): 14-21.
  - **G.K.Y. Limsowtin, M.C. Broome, I.B. Powell.** Lactic acid bacteria, taxonomy. *Encyclopedia of Dairy Sciences*. (2002). 1470–1478.
  - **Gálvez, A., Abriouel, H., Lopez, R. L., and Ben Omar, N. (2007)** Bacteriocin-based strategies for food biopreservation. *Int J Food Microbiol*.120: 51-70.
  - **GARRITY G.M., TIMOTHY G.L., JAMES R.C., SCOTT H.H., EUZEBY J. AND TINDALL B.J. (2007).** Taxonomic Outline of Bacteria and Archeae. Part 9- The Bacteria : phylum “ Firmicutes” : class “ Bacilli”. Release 7.7 march 6.
  - **Garvie E.I.,(1984).** Separation of species of the genus *Leuconostoc* and differentiation of the *leuconostoc*'s from other lactic acid bacteria: Method. *Microbiol. Academic Press*. New york. 16: 147-177.
  - **GEORGALAKI, M.D., PAPADELLI, M., ANASTASIOU, R., KALANTZOPOULOS, G., TSAKALIDOU, E. (2002).** Purification and characterization of the X-prolyl-dipeptidyl aminopeptidase (PepX) from *Streptococcus macedonicus* and cloning of the pepX gene. *Le Lait*, 82, 657–671.
  - **Ghazi, D.E. Henni, Z. Benmechernene, M. Kiha .2009.** Phenotypic and whole cell protein analysis by SDS-PAGE for identification of dominant lactic acid bacteria isolated from Algerian raw milk. *World J Dairy Food Sci* 4 (1): 78-87.
  - **Gill A.O., et Hally R.A., 2003.** Interactive inhibition of meat soilage and pathogenic bacteria by lysozym nisin and EDTA in the presence of nitrite and sodium chloride at 24°C. *Int. J. Food Microbiol*. 80 : 251-259.
  - **Giraffa G., Carminati D., Neviani E., 1997.** Enterococci isolated from dairy products. A review of risks and potential technological use. *J. Food Prot.*, 60: 732-737.
  - **Givry, S. (2006).** Optimisation de procédés de fermentation lactique sur sirop de son de blé et purification et caractérisation d'une arabinose isomérase de *lactobacillus*

## *Référence bibliographique*

---

- bifermentans*. Microbiologie industrielle. Reims : Université de Reims champagne Ardenne. 215.
- **Grippon J.C., Desmazeaud M.J., Le Bars D., Bergère J.L., 1977.** Lait, 55, 502-516.
  - **Guessas B., Ghazi F. Z., Aggad H., Henni D. et Kihal M., (2006).** Phenotypic identification and whole cell protein analysis by SDS-Page for dominant lactic acid bacteria isolated from Algerian raw milk. Journal Algérien des zones arides, 5: 25-35.
  - **Guiraud J.P et Rosec J.P. (2004).** Pratique des normes en microbiologie alimentaire. AFNOR : 241 p
  - **Guiraud J.P, 2003.** Microbiologie Alimentaire. Dunod- RIA. P 696.
  - **HADDIE J.M., 1986.** Other streptococci. In: Bergey's manual of systematic bacteriology (Sneath P.H.A., Mair N.S., Sharpe M.E., Holt J.G.W. et Baltimore W.). 1: 1070.
  - **Hassan A.N. et Frank J.F., (2001).** Starter Cultures and their use. In: Applied Dairy Microbiology (Marth E.H. et Steele J.L.) 2e Ed., Marcel Dekker, Inc. New York. 151-205.
  - **Heyman, M., Heuvelin, E. (2006).** Micro-organismes probiotiques et régulation immunologique le paradoxe. Nutrition clinique et métabolisme, 20: 85–9
  - **Hitchins, A. D., & McDonough, F. E. (1989).** Prophylactic and therapeutic aspects of fermented milk. [Review]. Am J Clin Nutr, 49(4), 675-684.
  - **Hogg T. 2005.** Essential Microbiology. *John Wiley & Sons, Ltd* 188-190.
  - **Hols P. Haney F. Fonatine L. Grossiord B. Prozzi D. Leblond-Bourget N. Decaris B. Blotin A. Delorme C. Dusko Ehrlich S. Guedon E. Monnet V. Renault P. Kleerebzem M. 2005.** New insights in the molecular biology and physiology of streptococcus thermophilus revealed by comparative genomics. FEMS Microbiology Reviews. 29: 435-463.
  - **Holzappel W.H., 2002.** Appropriate starter culture technology from small-scale fermentation in developing countries. Int. J. Food Microbiology., 75 : 197-212.
  - **Holzappel W.H., Haberer P., Snel J., Schillinger U., Hui S., In T. and Veld J.H (1998).** Overview of gut flora and probiotics. Int. J. Food Microbiol. 41: 85-101.
  - **Hsieh MH, Versalovic J.** The Human Microbiome and Probiotics: Implications for Pediatrics. Curr. Probl. Pediatr. Adolesc. Health. Care. 2008; 38:309-27.
  - **Jacobsen, T., Budde, B.B., Hornbaek, T., Barkholt, V. and Koch, A.G. (2003)** *Leuconostoc carnosum* 4010 has the potential for use as a protective culture for vacuum-packed meats: culture isolation, bacteriocin identification, and meat application experiments. International Journal of Food Microbiology p 83, 171–184.

## *Référence bibliographique*

---

- **JEANTET R., CROGUENNEC T., MADRANT., SCHUCK P. et BRULE G., 2008.** Les produits laitiers, 2 ème édition TEC et DOC Lavoisier, 185p.
- **Kandler O. et Weiss N. (1986).** genus lactobacillus. In : Recherche des bactéries lactiques productrices de bactériocines à large spectre d'action vis-à-vis des germes impliqués dans les toxi-infections alimentaires en Algérie. Thèse de doctorat en Microbiologie Appliquée. Université d'Oran. 1- 156p. Edité par. Mami A.
- **Kandler, O. et Weiss, N.** Genus Lactobacillus: Bergey's Manual of Systematic Bacteriology, vol 2, 9ième ed. Ed. Sneath PHA, Mair NS, Sharpe ME, Holt JG. Williams and Wilkins, Baltimore USA. 1986.
- **Kimmons J.E., Brown K.H., Lartey A., Collison E., Mensah P.P., Dewey K.G.** The effects of fermentation and/or vacuum flask storage on the presence of coliforms in complementary foods prepared in Ghana. *Int. J. Food Sci. Nutr.*, 1999, 50, 195-201.
- **Klaenhammer T.R, 1988.** Bacteriocins of lactic acid bacteria. *Biochimie.*, 70 :337-349.
- **Klaenhammer, T.R. (1993),** Genetics of bacteriocins produced by lactic acid bacteria. *FEMS Microbiol. Rev.*, 12(1-3): 39-85.
- **Kleerebezem, M. (2004)** Quorum sensing control of lantibiotic production; nisin and subtilin autoregulate their own biosynthesis. *Peptides* 25: 1405-1414.
- **Klein, G., Pack, A., Bonaparte, C., and Reuter, G. (1998)** Taxonomy and physiology of probiotic lactic acid bacteria. *Int J Food Microbiol.* 41: 103-125.
- **König H., Fröhlich, J. 2009.** Lactic acid bacteria, in: biology of Microorganisms on grapes, in Muast and in Wine. Springer, Berlin, Heidelberg. 3-29.
- **Kostinek, M., Specht, I., Vinod, A., Edward., Ulrich Schillinger, U., Hertel, C., Wilhelm, H., Holzappel., Charles, M. A. P., Franza. (2005).** Diversity and technological properties of predominant lactic acid bacteria from fermented cassava used for the preparation of Gari, a traditional African food. *Systematic and Applied Microbiology*, 28: 527–540.
- Lactobacillus identification by sequencing. *J. Clin. Microbiol* , 38: 3623-3630.
- **Larpent J.P. (2000).** Introduction à la nouvelle classification bactérienne. Les principaux groupes bactériens : p180.
- **LARPENT J.P. and LARPENT G.M., 1990.** Mémento technique de microbiologie 2ème Ed. Technique et documentaire lavoisier, Paris, P: 417.
- **Larpent J-P. 1996a.** Les bactéries lactiques en microbiologie alimentaire : Aliments fermentés et fermentation alimentaire. Bourgois C.M., Larpent J-P. Tome 2. Tec& Doc, Lavoisier, pp : 4-33.

## *Référence bibliographique*

---

**Latreche A., 2016.** Temperature dependence of the inhomogeneous parameters of the Mo/4H–SiC Schottky barrier diodes. **Semiconductor Science and Technology, Volume 31, Number 8.**

- **LAW J. and HAANDRIKMAN A., 1997.** Proteolytic enzymes of lactic acid bacteria. *Int. Dairy J.* 7: 1-11.
- **LEVEAU J.Y., BOIUX M. et De ROISSART H.B., 1991.** La flore lactique : technique d'analyse et de contrôle dans les industries agro- alimentaires. 2 ème Ed., Tec & Doc, Lavoisier. Paris. 3: 2-40.
- **Liebefeld, 2002.** Microbiologie des cultures. Unité de recherche « lait, fromage ».
- **Lindegren S.E et Dobrgosz W.J, 1990.** Antagonistic activities of lactic acid bacteria in food and feed fermentation. *FEMS Microbiol. Rev.* 87 : 149-164.
- **Loones A, 1994.** Laits fermentés par les bactéries lactiques. In « De roissart H et Luquet F.M » Bactéries lactiques : Aspects fondamentaux et technologique. Vol 2. Ed. Loriga. Uriage, pp135-154.
- **LUCEY, J.A.** Culture dairy products: an overview of their gelation and texture properties. *Int. J. Dairy Technol.* **2004.**
- **Lupien, S.J., Lecours, A.R., Schwartz, G., Sharma, S., Meaney, M.J., Nair, N.P.V., 1995.** Longitudinal study of basal cortisol levels in healthy elderly subjects: evidence for subgroups. *Neurobiol. Aging* 17, 95–105.
- **MAHAUT M., JEANTET R. et BRULE G., 2000.** Initiation à la technologie fromagère. Tec & Doc Lavoisier. 194p.
- **Maragkoudakis et al.** Lactic acid bacteria efficiently protect human and animal intestinal epithelial and immune cells from enteric virus infection. *Int J Food microbial.* 2010
- **MARSHALL V.M.(1987).** Fermented milks and their future trends: I. microbiological aspect. *J. Dairy Res.*, 54, 559-574.
- **Marth E. H. et Steele J. M.,(2001).** Applied dairy microbiology, 2nd Edition, Marcel Dekker, Inc, New York, USA, 744 p.
- **MARTY-TEYSSET C. DE LA TORRE F. and GAREL J-R. (2000).** Increased production of hydrogen peroxide by *Lactobacillus delbrueckii ssp bulgaricus* upon aeration: involvement. *Applied.*
- **Mathot A.G., Beliard E., Thnault D., 1996.** Propriétés antimicrobiennes des bactéries lactiques in microbiologie alimentaire: Aliments fermentés et fermentation alimentaires. Bourgeois C.M., Larpent J-P. Tome 2, Tec & Doc, Lavoisier, p: 432-450.

## *Référence bibliographique*

---

- **Mattarelli P, Biavati B, Hammes W et H Holzapfel W (2014).** Guidelines for characterizing LAB, bifidobacteria and related genera for taxonomic purposes. In Holzapfel WH et Wood BJB (Ed.), *Lactic Acid Bacteria: Biodiversity and Taxonomy*. Chichester, UK.: John Wiley & Sons, Ltd, p583-592. doi:<http://dx.doi.org/10.1002/9781118655252.app1>
- **MÄYRÄ-MÄKINEN A. and BIGRET M., 2004.** Industrial use and production of lactic acid bacteria. In: *Lactic acid bacteria: microbiology and functional aspects* (Salminen S., Wright A.V. et Ouwehand A.). 3e Ed., Marcel Dekker, Inc. New York. 73-102.
- **MC SWEENEY P.L.H. and SOUSA M.J., 2000.** Biochemical pathways for the production of flavor compounds in cheese during ripening: a review. *Lait* 80: 293-324.
- **MC SWEENEY P.L.H., 2004.** Biochemistry of cheese ripening. *Int J Dairy Technol* 57: 127- 148.
- **McAuliffe O., R. P. Ross and C. Hill (2001),** Lantibiotics: structure, biosynthesis and mode of action. *FEMS MicrobiologyReviews*. 25, 3, 285- 308.
- **McAuliffe, O, T O'Keeffe, C Hill, and R.P Ross.**"Regulation of immunity to the two-component lantibiotic, lactacin 3147, by the transcriptional repressor LtnR." *Mol Microbiol* 39 (2001): 982-993
- **Mensah P., Tomkins A.M., Drasar B.S., Harrison T.J.** Fermentation of cereals for reduction of bacterial contamination of weaning foods in Ghana. *Lancet*, 1990, 336, 140-143.
- **Metchnikoff E., (1907).** The prolongation of life. In *Optimistic Studies* (Heinemann W., Ed.), pp. 1-100. G. P. Putnam and Sons, London, UK.
- **MONNET V., LATRILLE E., BEAL C. et CORRIEU G., 2008.** Croissance et propriétés fonctionnelles des bactéries lactiques. In : *Bactéries lactiques de la génétique aux ferments* (Corrieu G. et Luquet F.M.). Tec & Doc, Lavoisier. Paris. 512-592.
- **Montel MC, Talon , Cantonnet M, Berda-gué JL.** Activités métaboliques des bactéries lactiques des produits carnés. In: *les bactéries lactiques. Recherche et application industrielles en agro-alimentaire*. Colloque ADRIA-Normandie-Université de Caen: Centre de publications de l'Université de Caen éd, 1992: 177-88.
- **Motlagh, A.M., Johson M.C. & Ray B. 1999.** Viability loss of foodborne pathogens by starter culture metabolites. *J. food protect*, 873- 878.
- **Müller M., Ehrmann M. & Vogel R., 2000.**Lactobacillus frumentisp.nov., a new lactic acid bacterium isolated from rye-bran fermentations with a long fermentation period.*Int. J. Syst. Evol. Microbiol.*, 50, 2127-2133.

## *Référence bibliographique*

---

- **Naghmouchi, K., Baah, JH., Hober, D., Jouy, E., Rubrecht, C., Sane, F. et al. (2013).** Synergistic effect between colistin and bacteriocins in controlling Gram-negative pathogens and their potential to reduce antibiotic toxicity in mammalian epithelial cells. *Antimicrob Agents Chemother.* 57:2719-2752.
- **Ngounou C., Ndjouenkeu R., Mbofung F. & Noubi I. 2003.** Mise en évidence de la biodisponibilité de calcium et de magnésium au cours de la fermentation du lait par des bactéries lactiques isolées du lait caillé du Zébu. *Journal of food Engineering*, 57, 301-307.
- **Nigutova K., L. Serencova, M. Piknova, P. Javorsky and P. Pristas (2008),** Heterologous expression of functionally active enterolysin A, class III bacteriocin from *Enterococcus faecalis*, in *Escherichia coli*. *Protein Expression and Purification.* 60, 1, 20-4
- **Nilsen T., I. F. Nes and H. Holo (2003),** Enterolysin A, a cell wall-degrading bacteriocin from *Enterococcus faecalis* LMG 2333. *Applied and Environmental Microbiology.* 69, 5, 2975-84
- **Nissen-Meyer, J., Rogne, P., Oppegard, C., Haugen, H.S. et Kristiansen, P.E.(2009).** structure-function relationships of the non-lanthionine-containing peptide (class II ) bacteriocins produced by gram-positive bacteria. *Curr Pharm Biotechnol.* 10:19-37.
- **Ogier J.C.,Casalta E., Farrokh C . et Saihi A.2008.** Safety assessment of dairy microorganisms :the leuconostoc genus .*Int.J.Food Microbiol.*126:286-290.
- **Orla-Jensen S., 1919.** the lactic acid bacteria. *Dairy bacteriology*, Fred Host and Son, Copenhagen.
- **Parente, E., Ciocia, F., Ricciardi, A., Zotta, T., Felis, G.E., Torriani, S., 2010.** Diversity of stress tolerance in *Lactobacillus plantarum*, *Lactobacillus pentosus* and *Lactobacillus paraplantarum*: A multivariate screening study. *International Journal of Food Microbiology.* 144, 270-279.
- **Patton, G.C., and van der Donk, W.A. (2005)** New developments in lantibiotic biosynthesis and mode of action. *Current Opinion in Microbiology* 8: 543-551
- **Perry JJ, Staley JT, Lory S (2004).** Bactéries Gram-Positives : Firmicutes et Actinobacteria. In: « Microbiologie ». Dunod éd., Paris. France. pp. 471-50
- **Pilet M-F., Magras C. et Federigh M., 2005.** Bactéries lactiques. In : bactériologie alimentaire (Federighi M) 2e Ed ., Economica. Paris.219-240.

## *Référence bibliographique*

---

- **Pot B. 2008.** The taxonomy of lactic acid bacteria. In: Corrieu G., and Luquet F.M. (Eds). Bactéries lactiques. De la génétique aux ferments. Lavoisier. Paris, France pp 1–152.
- **POT B., DEVRIESE L.A., URIS D., VANDAMME P., HAESEBROUCK F. and KERSTERS K., 1996.** Phenotypic identification and differentiation of Lactococcus strains isolated from animals. Syst. Appl. Microbiol. 19: 213-222.
- **Poulain.F. (1994).** Evolution de la préparation commerciale des ferments lactiques in : les bacteries lactiques, T1, Aspects fondamentaux et technologies. Ed, Lorica, Lavoisier. p 604.
- **Prescott LM, Harley JP, Klein DA.** Les bactéries: les Gram positif pauvre en GC. In : « Microbiologie ». 2ème édition Française. Paris, pp. 2003; 529-72.
- **Pringsulaka, O., Thonggam, N., Suwannasal, N., Atthakor, W., Pothlvejkul K., Rangsiruji A. (2011).** Partial characterization of bacteriocins produced by lactic acid bacteria isolated from Thai fermented meat and fish products. *Food control*, 23: 547-551.
- **Radke-Michell L & Sandine W.E. 1984.** Association growth and differential enumeration of streptococcus thermophilus and lactobacillus bulgaricus: a review, journal of food protection. 12, 383-391.
- **Radke-Michell L & Sandine W.E. 1986.** Influence of temperature on associative growth of streptococcus thermophilus and lactobacillus bulgaricus, Journal of dairy sciences. 69,2558-2568.
- **Reid G, Jass J, Sebulsky MT, McCormick JK (2003).** Potential Uses of Probiotics in Clinical Practice. Clin. Micro. Rev. 16(4): 658–672
- **Reid, G., Kim, S. O. et Köhler, G. A.** Selecting, testing and understanding probiotic microorganisms. FEMS. Minireview. 2005; 46:149-57.
- **Rihakova, J., Cappelier, J. M., Hue, I., Demnerova, K., Federighi, M., Prevost, H., and Drider, D. (2010)** In vivo activities of recombinant divercin V41 and its structural variants against Listeria monocytogenes. Antimicrob Agents Chemother. 54: 563-564.
- **Ross, R. P., Morgan, S., and Hill, C. (2002)** Preservation and fermentation: past, present and future. Int J Food Microbiol. 79: 3-16.
- **ROUDJ S., BELKHEIR K., ZADI-KARAM H. et KARAM N.E., 2009.** Protéolyse et autolyse chez deux lactobacilles isolés de lait camelin du Sud Ouest Algérien. European. J. Sci. Res. 34 (2): 218-227.

## *Référence bibliographique*

---

- **Saidi Nouredine. 2007.** La microflore lactique du lit cru de chèvre locale. Etude microbiologique, biochimique et génétique des bactéries lactiques d'intérêt bio-préservateur. Thèse Doctorat Université d'Oron. P216.
- **Sallofe.Coste. (1994).**Lactis acid bacteries. Dannone News latter n°5 July.
- **Salminen S., Wright A.V., Ouwehand A 2004.** Lactic acid bacteria. Microbiological a,d functional aspects. Marcel Dekker. Inc., U.S.A.
- **SAMELIS J., MAUROGENAKIS F. and METAXOPOULOS J., 1994.** Characterisation of lactic acid bacteria isolated from naturally fermented Greek dry salami, Inter. J. Food. Microbiol., 23, pp. 179-196.
- **SCHLEIFER K.H. and KANDLER O., 1972.** Peptidoglycan types of bacterial cell walls and their taxonomic implications. Bacteriol. Rev. 36, 407-477.
- **Schleifer K.H. et Kilpper Bälz R., 1987.** Molecular and chemotaxonomic approaches to the classification of Streptococci, Enterococci and lactococci. a review. Syst. All. Microbiol., 10:1-19.
- **Schleifer K.H., Stackebrandt E., 1983.** Molecular systematic of procaryotes. Annu. Rev. Microbiol., 37: 143-187.
- **Settanni, L., and Corsetti, A. (2008)** Application of bacteriocins in vegetable food biopreservation. Int J Food Microbiol.121: 123-138.
- **Siezen, R., van HylckamaVlieg, J. (2011).** Genomic diversity and versatility of Lactobacillus plantarum a natural metabolic engineer. Microbial CellFactories. 10, 1- 13
- **Simon, M., Grossart, H., Schweitzer, B., and Ploug, H.:** Microbial ecology of organic aggregates in aquatic ecosystems, Aquat. Microb. Ecol., 28, 175–211, <https://doi.org/10.3354/ame028175>, 2002.
- **Singleton, P. 1999.**Bactériologie.4eme Edition. Dunod, Paris. 317 pages.
- **Smith L. et Palumbo S.A., 1983.** Use to starter culture in meat. J. Food Prot. 46 : 11, 997-1006.
- **Stern, N.J,** et al. "Isolation of a Lactobacillus salivarius strain and purification of its bacteriocin, which is inhibitory to Campylobacter jejuni in the chicken gastrointestinal system." Antimicrob Agents Chemother 50 (2006): 3111-3116
- **Stile M.E et Holzapfel W.H. 1997.** Review article lactic acid bacteria of food and their current taxonomy. Int. J. food Microbiol. 36: 1-29.
- **Stiles M.E, 1996.** Biopreservation by lactic acid bacteria. Antonie Leeuwenhoek. 70 :331-345.

## *Référence bibliographique*

---

- **Suzuki, I., S. Kato, T. Kitada, N. Yano and T. Morichi, 1986.** Growth of *Lactobacillus bulgaricus* in milk. I. Cell elongation and the role of formic acid in boiled milk *Journal of Dairy Science* 69 (2), 311-320.
- **T. Bintsis.** Lactic acid Bacteria as starter cultures: an update in their metabolism and genetics. *AIMS microbiology*. (2018). 4(4): 665–684.
- **Tailliez, P. (2004).** Les lactobacilles: propriétés, habitats, rôle physiologique et intérêt en santé humaine. *Antibiotiques*, 6(1), 35-41
- **Tamime A.Y et Robinson R.K, 2003.** *Yogurt. Science and technologie.* CRC press, New York. P 661.
- **Tamime A.Y et Robinson R.K. 1999.** *Yoghurt: science and technomogy.* Woodhead, Cambridge.
- **Tamine AY. 2002.** Fermented milk: a historical Food with modern application, a review. *Eu.J. clinical Nut.*, 56(4) : S2-S15.
- **Tammam J.D., Williams A.G., Noble J. & Lloyd D. (2000).** Amino acid fermentation in non-starter *Lactobacillus* ssp. isolated from Cheddar cheese, *Letters in Applied Microbiology*, 30,370-374.
- **Tannock G W, editor.** *Probiotics: a critical review.* Norfolk, United Kingdom: Horizon Scientific Press; 1999. pp. 1–4. [[Google Scholar](#)]
- **Teuber Michael, Geis Arnold, 2006.** The genus *Lactococcus*. *Prokaryotes* 4:205-228.
- **Tompson J ., Gentry-Weeks C.R. 1994.** Métabolisme des sucres par les bactéries lactiques. In : *Bactéries lactiques* (De Roissart H et Luquet F.M). Lorica. Uriage. 1 : 239-290.
- **Torriani S, Zapparoli G, Dellaglio F.** Use of PCR-based methods for rapid differentiation of *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* and *L. delbrueckii* subsp. *lactis*. *App Environ Microbiol* 1999; 65: 4351-6
- **Twomey, D, M Ryan, B Meaney, and C Hill.** "Lantibiotics produced by lactic acid bacteria: structure, function and applications ." *Anton Van Leeuw* 82 (2002): 165-185
- **Valcheva R. et al., 2005.** *Lactobacillus hammesii* sp. nov., isolated from french sourdough. *Int. J. Syst. Evol. Microbiol*, 55, 763-767
- **Vandamme, P., Pot, B., Gillis, M., de Vos P., Kersters, K et Swings, J .(1996).** Polyphasic taxonom, a concensus approach to bacterial systematics. *Microbiol. Rev.* 60: 407-438.
- **Vanderhoof, J. A., & Young, R. J. (1998).** Use of probiotics in childhood gastrointestinal disorders. [Review]. *J Pediatr Gastroenterol Nutr*, 27(3), 323-332.

## *Référence bibliographique*

---

- **Vermeiren L., Devlieghere F. & Debevere J., (2004).** Evaluation of meat born lactic acid bacteria as protective cultures for the biopreservation of cooked meat products. *Int. J. Food Microbiol.*,96(2), 149-164.
- **Vollenweider S., 2004.** 3-hydroxypropionaldehyde : applications and perspectives of biotechnological production. *Appl. Microbiol. Biotech.*, 64 : 16-27.
- **Wiedemann, I., Bottiger, T., Bonelli, R. R., Wiese, A., Hagge, S. O., Gutschmann, T., Seydel, U., Deegan, L., Hill, C., Ross, P., and Sahl, H. G. (2006).** The mode of action of the lantibioticlactacin 3147--a complex mechanism involving specific interaction of two peptides and the cell wall precursor lipid II. *Mol Microbiol.*61: 285-296.
- **Wiese B., Strohm W., Rainey F. & Diekmann H., 1996.** *Lactobacillus panis* sp. nov., from sourdough with a long fermentation period.*Int. J. Syst. Bacteriol.*, 46(2), 449-453.
- **[www.agroscope/fr/alimentaion](http://www.agroscope/fr/alimentaion).**
- **Xie, L., L. M. Miller, C. Chatterjee, O. Averin, N. L. Kelleher, and W. A. van der Donk. 2004.** Lactacin 481: in vitro reconstitution of antibiotic synthetase activity. *Science.* 303: 679-681.
- **ZHANG H. and CAI Y.,2014.***Lactic Acid Bacteria Fundamentals and Practice.*Springer Dordrecht Heidelberg. New York London. 536p.
- **Zhu, Y., Zhang, Y. et Li, Y. 2009.** Understanding the industrial application potential of lactic acid bacteria through genomics. *Appl Microbiol Biotechnol.* 83: 597-610.
- **Zourari A, Roger S, Chabanet C, Desmazeaud M.J. 1991.** Caractérisation des bactéries lactiques thermophiles isolés du yaourt artisanaux Grecs: I- souches de *Streptococcus thermophilus salivarius* subsp *thermophilus*, *Lait* 71: 445-461.

## Résumé :

Les bactéries lactiques sont utilisées dans la fermentation et la bio conservation des aliments grâce à la production des acides organiques et d'autres substances antimicrobiennes telles que les bactériocines qui inhibent certaines souches pathogènes. Notre étude a été consacrée dans un premier temps à l'utilisation des bactéries lactiques genre lactobacillus dans le demaine de l'industrie agro-alimentaires.

Différentes action enzymatiques (protéolyse, reduction de nitrites, activités peroxydasiques, degradation des lipids) exercées par les bactéries lactiques, permet l'apparition de la flaveur, la texture et la couleur, intéressentes pour le consommateur.

les bactéries lactiques sont exploités dans la bioconservation des nourritures et pour l'étude des interactions entre les sonuches lactiques.

**Mot Clé:** les bactéries lactiques, lactobacillus, bioconservation, l'industrie agro-alimentaire.

## المخلص:

تُستخدم بكتيريا حمض اللاكتيك في التخمير والحفظ البيولوجي للأغذية من خلال إنتاج الأحماض العضوية والمواد المضادة للميكروبات الأخرى مثل البكتيريا التي تثبط بعض السلالات المسببة للأمراض. تم تخصيص دراستنا لأول مرة لاستخدام بكتيريا حمض اللاكتيك من جنس العصيات اللبنية في مجال صناعة الأغذية.

الإجراءات الأنزيمية المختلفة (التحلل البروتيني ، تقليل النيتريت ، أنشطة البيروكسيديز ، تحلل الدهون) التي تمارسها بكتيريا حمض اللاكتيك ، تسمح بظهور النكهة والملمس واللون التي تهم المستهلك.

تستخدم بكتيريا حمض اللاكتيك في الحفظ البيولوجي للأطعمة ودراسة التفاعلات بين بكتيريا حمض اللاكتيك.

الكلمات المفتاحية: بكتيريا حمض اللاكتيك ، العصيات اللبنية ، الحفظ الحيوي ، صناعة المواد الغذائية

## Abstract:

Lactic acid bacteria are used in the fermentation and bio-preservation of food through the production of organic acids and other antimicrobial substances such as bacteriocins which inhibit certain pathogenic strains. Our study was first devoted to the use of lactic acid bacteria of the lactobacillus genus in the field of the food industry.

Different enzymatic actions (proteolysis, reduction of nitrites, peroxidase activities, degradation of lipids) exerted by lactic acid bacteria, allow the appearance of flavor, texture and color, of interest to the consumer.

lactic acid bacteria are used in the biopreservation of foods and for the study of interactions between lactic acid bacteria.

**Key words:** lactic acid bacteria, lactobacillus, bioconservation, the food industry.