



Faculté des sciences de la nature et de la vie et des sciences de la terre

Département de biologie

Filière : sciences biologiques

Option : microbiologie appliquée

Mémoire de Fin de Cycle
En vue de l'obtention du diplôme de Master en
Microbiologie appliquée

Thème

**Etude du pouvoir acidifiant des
bactéries lactiques**

Présenté par :

- LAHMER BEN MOUSSA
- HAMRAT SID AHMED
- MERZOUG MANEL

Devant le jury composé de :

Mme. M. OUAZIB
Mme. K. KALBAZA
Mme. S. BENSEHAILA

Président
Encadreur
Examineur

Année universitaire : 2019 / 2020

Dédicace

Je dédie ce modeste travail

En premier lieu à mes chers parents sources de mes joies et le secret de ma force

Ma très chère mère Mme LAHMER FATMA ZOHRA

Que ce travail soit pour toi témoignage de mon infini reconnaissance, pour ton aide précieuse et toutes ces années de compréhension

Mon très cher père Mr. LAHMER ALI

Tu est un pilier solide incontournable pour ma personne et mon parcours, que dieu te donne santé et te garde pour nous toute la vie.

A ma femme DAHMANI FATIMA qui me donne un grand soutien durant mes études,

A mes chers frères et mes chères sœurs.

A NOTRE promotrice Madame KALBAZA KHADIDJA

A tous les membres de ma famille sans exception.

A my best Friends pour ses encouragements

A tous ceux que je porte dans mon cœur qui me sont chers et proche

Ben moussa

Dédicace

*Nous rendons grâce à Allah le tout puissant « hamdoalleh »
A Celui qui m'a toujours encouragé et soutenu durant toutes mes années d'études.*

Merci pour ton amour et ta confiance totale.

À toi mon cher papa.

*A Celle qui m'a tant bercé, tant donné et tant enseigné, toi qui m'as guidé dans le
droit chemin, toi qui m'as appris que rien n'est impossible...*

A toi Ma cher mama

A

Ma chère grand-mère que dieu lui donne une longue vie

A

Mes chères sœurs : Ahlem Hadjer chaima et Alae

A

Mon frère Moussa

A

Mes tantes, Mes oncles et toutes leurs familles.

A

A notre promotrice Madame Kalbaza Khadidja

*Vous nous avez toujours accueillis avec une grande sympathie et bienveillance
tout au long de ce travail, vous nous avez guidées dans la méthodologie de
recherche et avec votre aide précieuse et vos remarques constructives, nous
sommes parvenues à achever ce travail. On vous remercie très sincèrement
d'avoir accepté la responsabilité de ce travail malgré vos nombreuses obligations.*

Merci pour votre disponibilité, votre écoute

Veillez trouver dans ce travail, le témoignage de notre profonde reconnaissance

MANAL

Dédicaces

Je remercie Dieu le plus puissant de m'avoir donnée la force afin de réaliser ce travail que je dédie particulièrement à :

Mes chers parents, pour leurs dévouements,

Leur amour, leurs sacrifices et leurs encouragements jusqu'au bout,

Que Dieu leurs accorde longue vie

Encore une fois

Merci

Mes chers frères Aymen Mohamed Mounir

Mes chères sœurs Sarra Manel et Mira

A ma belle famille

A mon très cher ami Moussa

A tous ceux qui m'ont soutenu et aidé pour la réalisation de ce modeste travail et
tous **ceux qui me sont chers**

SID AHMED

Remerciements

Avant tout, nous remercions Dieu le tout puissant, le Miséricordieux, de nous avoir donné le courage, la force, la santé et la persistance et de nous avoir permis de finaliser ce travail dans de meilleurs conditions.

*A notre encadreur **Dr. KALBAZA KHADIDJA**, Maitre de conférences à l'Université de KHEMIS MILIANA*

Vous nous avez toujours accueilli avec une grande sympathie et bienveillance tout au long de ce travail, vous nous avez guidé dans la méthodologie de recherche et avec votre aide précieuse et vos remarques constructives, nous sommes parvenue à achever ce travail.

Nous vous remercions très sincèrement d'avoir accepté la responsabilité de ce travail malgré vos nombreuses obligations. Votre disponibilité, votre écoute nous a marqués, Veuillez trouver dans ce travail, le témoignage de notre profonde reconnaissance.

*Nous remercions les membres du jury **Mme OUAZIB. M** et **Mme BENSEHAILA** d'avoir accepté de d'examiner ce travail.*

Très nombreux sont les gens qui, de près ou de loin, ont participé à la réalisation de ce travail. Tout en s'excusant auprès d'eux de ne pas les citer, nous leur exprimons nos vives reconnaissances.

Nous adressons également nos remerciements à :

***Dr. GUETARNI HACINA** chef département de biologie à l'université de Khemis-Miliana*

Nous remercions les techniciens du laboratoire de microbiologie de l'université de Khemis-Miliana pour leur aide, leur gentillesse et d'avoir partagé leur savoir-faire avec nous.

Résumé

Les bactéries lactiques sont des microorganismes utiles pour l'homme, en participant à l'élaboration de nombreux produits alimentaires fermentés, elles permettent l'établissement des caractéristiques organoleptiques, nutritionnelles et sanitaires de ces aliments. Elles produisent de l'acide lactique et éventuellement d'autres produits de fermentation. L'acidité produite permet la conservation de l'aliment en inhibant le développement de très nombreuses bactéries. La production d'acide lactique à partir d'hexoses est une activité métabolique particulière des bactéries fermentatives tels que *Lactococcus*, *Lactobacillus*, *Enterococcus* et *Streptococcus* qui sont couramment employées comme cultures de départ pour la transformation industrielle de produits laitiers fermentés.

Mots clés: Bactéries lactiques, acidité, acide lactique, fermentation, produits fermenté

Abstract

Lactic acid bacteria are useful microorganisms for humans, by participating in the development of many fermented food products, they allow the establishment of the organoleptic, nutritional and health characteristics of these foods. They produce lactic acid and possibly other fermentation products. The acidity produced allows the food to be preserved by inhibiting the development of a large number of bacteria. The production of lactic acid from hexoses is a particular metabolic activity of fermentative bacteria such as *Lactococcus*, *Lactobacillus*, *Enterococcus* and *Streptococcus* which are commonly used as starter cultures for the industrial processing of fermented dairy products.

Key words: Lactic acid bacteria, acidity, lactic acid, fermentation, fermented products

الملخص

تعد البكتيريا اللبنية كائنات دقيقة مفيدة للإنسان ، من خلال المشاركة في تطوير العديد من المنتجات الغذائية المخمرة ، فهي تسمح بإنشاء الخصائص الحسية والتغذية والصحية لهذه الأطعمة. كما إنها تنتج حمض اللبن و منتجات أخرى. تسمح الحموضة المنتجة بالحفاظ على الطعام عن طريق تثبيط نمو عدد كبير من البكتيريا. إن إنتاج حمض اللبن من الهكسوزات هو نشاط استقلابي خاص بالبكتيريا اللبنية مثل *Lactococcus* و *Lactobacillus* و *Enterococcus* و *Streptococcus* والتي تُستخدم عادة كمزارع بداية للمعالجة الصناعية لمنتجات الألبان المخمرة.

الكلمات المفتاحية: بكتيريا حمض اللاكتيك ، الحموضة ، حمض اللاكتيك ، التخمر ، المنتجات المخمرة

Table des matières

Introduction	1
1. Chapitre 1 : Caractéristiques générales des bactéries lactiques	3
1.1. Généralités	4
1.1. Habitat et origine des bactéries lactiques	5
1.2. Taxonomie et classification des bactéries lactiques	5
1.2.1. Genre <i>Lactobacillus</i>	5
1.2.2. Genre <i>Lactococcus</i>	6
1.3. Exigences nutritionnelles des bactéries lactiques	6
1.4. Métabolisme des bactéries lactiques	6
1.4.1. Voie homofermentaire (EMP) ou la glycolyse	7
1.4.2. Voie hétérofermentaire	8
1.5. Facteurs agissant sur la croissance et le métabolisme des bactéries lactiques	8
1.5.1. Influence des substrats carbonés	8
1.5.2. Température	8
1.5.3. pH	8
1.5.4. Oxygène	9
1.5.5. Autres facteurs	9
2. Chapitre 2 : Aptitude acidifiante des bactéries lactiques	10
2.1. Aptitudes technologiques des bactéries lactiques	11
2.2. Aptitude acidifiante	12
2.2.1. Métabolisme du lactose en acide lactique	12
2.3. Détermination de l'activité acidifiante	14
2.4. Facteurs affectant la production de l'acide lactique chez les bactéries lactiques	15
2.4.1. Effet de la température	15
2.4.2. Effet de PH	16
2.4.3. Effet des hydrates de carbones	16
3. Chapitre 3 : Intérêt des bactéries lactiques	17

3.1. Intérêt de la fonction acidifiante des bactéries lactiques	18
3.1.1. Dans l'industrie alimentaire	18
3.1.2. Dans le domaine thérapeutique.....	19
3.2. Rôle probiotique des bactéries lactiques	20
3.3. Applications industrielles des bactéries lactiques	20
Conclusion.....	23
Référence bibliographiques.....	25

Introduction

Les bactéries lactiques sont généralement reconnues comme étant saines, de statut "GRAS" (Generally Recognized As Safe), elles ont toujours occupé une place importante parmi les auxiliaires de fermentation et de conservation alimentaire, que ce soit en tant que microflore naturelle ou comme culture ajoutée sous des conditions contrôlées (**Garry et Le Guern, 1999 ; O'Sullivan et al., 2002**).

La fermentation des hydrates de carbone, et la dégradation des protéines et des lipides par les bactéries lactiques mène à la synthèse d'une large gamme de composés, tels que les acides organiques, les peptides, les composés antimicrobiens et aromatiques et les exopolysaccharides. Ces métabolites peuvent contribuer aux caractéristiques organoleptiques, technologiques et nutritionnelles des aliments fermentés (**Mozzi et al., 2010**).

Depuis une dizaine d'années, un intérêt considérable s'est développé autour de l'utilisation des cultures lactiques à effets bénéfiques pour la santé ou "probiotiques" pour des applications alimentaires, pharmaceutiques ou encore en alimentation animale (**Moller et al., 2007**).

Les recherches scientifiques sur les levains lactiques a conduit à l'utilisation d'associations complexes de bactéries lactiques. La possibilité de produire des souches pures permettrait de les associer de façon raisonnée suivant des critères technologiques (vitesse d'acidification, qualité aromatique), ou mieux, de les produire en mélange en contrôlant leur qualité. Dans ces deux cas, la connaissance des interactions entre ces souches serait très appréciable (**Julliard et al., 1987**).

Lairini et al., (2014) ont trouvé que les lactobacilles et les leuconostocs acidifient le lait plus en association par rapport à la culture pure de chaque souche.

L'objectif de ce présent mémoire est de mettre le point sur les caractéristiques technologiques des bactéries lactiques notamment leur pouvoir acidifiant.

1. Chapitre 1 : Caractéristiques générales des bactéries lactiques

1.1. Généralités

Les bactéries lactiques ont été définies par **Orla-Jensen** dans l'année **1919**, elles rassemblent plusieurs genres caractérisés par leur aptitude à produire de l'acide lactique suite à la fermentation des glucides (sucre). Ce sont des cocci ou des bâtonnets Gram positif, généralement immobiles et asporulés. (**Axelsson, 2004**). Ce sont des bactéries anaérobies mais aérotolérantes. 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**).

Les bactéries lactiques utilisées dans les fermentations laitières peuvent être divisées en deux groupes sur la base de leur croissance optimale (**Bissonnette et al., 2000**). Les bactéries mésophiles avec une température optimum de croissance entre 20°C et 30°C et les thermophiles entre 50°C et 70°C. Alors que la majorité de souches se développent à pH 4,0-4,5 (**Jozala et al., 2005**). Ces propriétés sont utilisées en agroalimentaire pour transformer la matière et empêcher le développement de la plupart des bactéries d'altération ou pathogènes.

Les bactéries lactiques sont dites :

- **Homofermentaires** : l'acide lactique est le seul produit de la fermentation du glucose ;
- **Hétérofermentaires** : la fermentation du glucose aboutit à la formation d'acide lactique et d'autres composés : éthanol, CO₂ et autres acides organiques (**Carr et al., 2002**).

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 (**Holzappel et al., 1995 ; Givry, 2006**).

Selon **Dasmazeaud, (1992)**, les espèces du genre *Streptococcus* ; *Lactococcus* et *Leuconostoc* se rencontrent plutôt chez les hommes ainsi que chez les animaux. Dans le domaine laitier. Elles existent en quantité considérable. Les espèces du genre *Lactobacillus* sont encore plus répandues dans la nature ; par exemple : on les trouve chez les végétaux ; on les trouve aussi dans l'intestin des animaux et de l'homme. Elles sont également isolées des cavités naturelles d'organismes (**de Roissard et Luquet 1985**).

1.1. Habitat et origine des bactéries lactiques :

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

1.2. Taxonomie et classification des bactéries lactiques :

La classification des bactéries lactiques peut se faire selon des critères phylogénétiques par l'utilisation des méthodes moléculaires. Cependant, la caractérisation phénotypique et biochimique classique demeure efficace dans l'identification préliminaire des microorganismes. Certaines caractéristiques phénotypiques sont utilisées pour identifier les espèces à l'intérieur des genres comme la capacité à : fermenter les hydrates de carbone, tolérer différentes concentrations en bile, produire des polysaccharides extracellulaires, exiger des facteurs de croissance, produire de l'acétoïne et synthétiser certaines enzymes. La composition en G+C de l'ADN, la composition en acides gras, la mobilité électrophorétique de la lactate déshydrogénase sont également d'autres critères qui peuvent être étudiés pour l'identification des espèces lactiques (**Vandamme, 1996 ; Stiles et Holzopfel, 1997 ; Ho et al., 2007**). Selon la dernière édition de *Bergey's manual of systematic bacteriology* (2009), les bactéries lactiques sont classées dans le Phylum des Firmicutes, la Classe des *Bacilliet* L'Ordre des *Lactobacillales* renfermant trente-cinq genres répartis sur six familles. (*Lactobacillaceae, Aerococcaceae, Carnobacteriaceae, Enterococcaceae, Leuconostocaceae, Streptococcaceae*) (**Ludwig et al., 2009**).

1.2.1. *Lactobacillus* :

Lactobacillus est le genre principal de la famille des *Lactobacillaceae*, il contient de nombreuses espèces qui sont des agents de fermentation lactique intervenant dans de nombreuses industries ou elles sont rencontrées comme contaminants. Il s'agit de bacilles longs et fins (parfois incurvés) souvent groupés en chaînes, immobiles, asporulés, catalase négative, se développent à un optimum de température situé entre 30 et 40°C. Les Lactobacilles ont des exigences nutritionnelles très complexe en acide aminé, en vitamines, en acide gras, en nucléotides, en glucides et en minéraux (**Khalid et Marth, 1990 ; Leclerc et al., 1994**).

1.2.2. *Lactococcus* :

Le genre *Lactococcus* est formé de bactéries à Gram positif dont les cellules, en forme de coques, sont associées par paires ou en chaînettes de longueur variable. Elles sont dépourvues de catalase et ne sont pas capables d'utiliser l'oxygène mais se multiplient en sa présence (anaérobies aérotolérantes). Ces bactéries sont thermosensibles et ne peuvent pas croître en présence de 6,5% de NaCl ou à pH 9,6. Leur température optimale de croissance s'étend de 25 à 35°C, respectivement pour les souches de *Lc. cremoris* et *Lc. lactis*. Les *Lactococcus* sont capables de croître à 10°C mais pas à une température supérieure à 40°C. (Dellaglio et al., 1994). Le genre *Lactococcus* représente les Streptocoques dits « lactiques », car ils sont associés à de nombreuses fermentations alimentaires et ne possèdent aucun caractère pathogène. Les produits végétaux constituent leur réservoir principal, mais ils sont largement présents dans le lait et les produits laitiers. (Pilet et al., 2005).

1.3. Exigences nutritionnelles des bactéries lactiques :

La croissance des bactéries lactiques dépend de plusieurs facteurs : des facteurs nutritionnels spécifiques (Desmazeaud, 1983,1990,1994) et des facteurs de l'environnement tels que la température de croissance, le pH du milieu et la présence d'autres micro-organismes (Rhee et Pack, 1980 ; Novel, 1993). Les bactéries lactiques sont des micro-organismes très exigeants en nutriments et nécessitent pour leur croissance, la fourniture exogène de sucres fermentescibles, des acides aminés et de plusieurs vitamines (Desmazeaud, 1983). La différence existante dans le taux de croissance entre les espèces et les souches des bactéries lactiques est due au taux de nutriments utilisés (Desmazeaud, 1983). Les vitamines jouent un rôle irremplaçable de coenzymes dans le métabolisme cellulaire. Les bactéries lactiques sont incapables d'assurer la synthèse des vitamines (Novel, 1993 ; Desmazeaud et de Roissart, 1994).

1.4. Métabolisme des bactéries lactiques :

Toute croissance nécessite la production d'énergie et les bactéries lactiques ne font pas exception à la règle, parce qu'elles ne possèdent pas un système respiratoire fonctionnel, elles doivent obtenir leur énergie par phosphorylation au niveau de substrat (Atlan, 2008 ; Lahtinemet Simonet M, 1994).

Toutes les bactéries lactiques possèdent un métabolisme fermentaire, leur permettant en utilisant des sucres fermentescibles, de produire principalement de l'acide lactique mais aussi d'autres acides organiques (acide acétique, acide formique) (Dellaglio *et al.*, 1973 ; Raynaud, 2006).

Selon le genre ou l'espèce, les bactéries lactiques utilisent principalement l'une des deux voies majeures du métabolisme des sucres, il s'agit des voies homofermentaires Embden-Meyerhof-Parnas (EMP) et hétérofermentaire (voies des pentoses-phosphates). (Atlan, 2008).

1.4.1. Voie homofermentaire (EMP) ou la glycolyse :

Les bactéries lactiques homofermentaires comprennent les espèces de lactocoques, pédiocoques, ainsi que certains lactobacilles (Tompson et Gentry-Weeks, 1994), les bactéries appartenant aux genres *Streptococcus* et certaines espèces de *Lactobacillus* comme *Lactobacillus bulgaricus*, *Lactobacillus casei*, *Lactobacillus caucasicus*, *Lactobacillus lactis* et *Lactobacillus plantarum* et par *Thermobacterium myoghurti*. Cette voie conduit dans des conditions optimales de croissance à la production de deux molécules de lactate et deux molécules d'ATP par molécules de glucose consommée. (Tompson et Gentry-Weeks, 1994).

Des sucres autres que le glucose peuvent également être fermentés via cette voie : monosaccharides, dissaccharides, hexitols. Ces microorganismes présentent un métabolisme de type homolactique lorsque le lactate représente plus de 90% des produits de fermentation. Dans certaines conditions de croissance (certains sucres, limitation carbone ...etc.), le métabolisme de ces bactéries se diversifie vers un métabolisme mixte avec production en plus du lactate, de formiate, de CO₂, d'acétate et d'éthanol (Loubiere et Cocaign-Bousquet, 2009). Toutes les bactéries lactiques à l'exception des genres : *Leuconostoc*, *Oenococcus*, *Weissella* et certaines espèces du genre *Lactobacillus*, entravent la voie de la glycolyse pour dégrader les hexoses (ex: glucose). La fructose-1,6-biphosphate aldolase (FBA), est une enzyme clé présente chez toutes les espèces homofermentaires et indispensable au fonctionnement de la voie EMP. Après son transfert vers la cellule, le glucose subit une phosphorylation pour se transformer en fructose qui est à son tour phosphorylé en fructose 1-6 biphosphate (FBP) puis clivé en dihydroxyacétone phosphate (DHAP) et glycéraldéhyde phosphate (GAP). Ces deux derniers sont convertis en pyruvate. Le pyruvate est dans une dernière étape réduit en acide lactique qui est le produit unique : c'est la fermentation homolactique (Mozzi *et al.*, 2010).

1.4.2. Voie hétérofermentaire :

Les bactéries lactiques qui fermentent le glucose en produisant, en plus de l'acide lactique (moins de 1.8 moles par mole de glucose), de l'acétate, de l'éthanol et du CO₂ sont dites hétérofermentaires (Tompson et Gentry-Weeks, 1994). La voie hétérofermentaire, communément appelée voie des pentoses phosphate (transcétolases) se produit chez des espèces appartenant à *Lactobacillus*, telles que *Lactobacillus brevis*, *Lactobacillus fermenti* et chez *Leuconostoc*, telles que *Leuconostoc mesenteroides* et *Leuconostoc pentosaceus*. Ces bactéries dégradent les hexoses avec formation quasi stœchiométrique d'une molécule d'acide lactique, d'une molécule de CO₂ et d'une molécule d'éthanol. Les sucres à cinq atomes de carbone ou pentoses, peuvent parfois être fermentés et donnent alors une molécule d'éthanol et une molécule d'acide lactique. Outre ces produits, qui représentent plus de 80% des métabolites obtenus, on obtient également de l'acide acétique et du glycérol (Makhloufi, 2012).

1.5. Facteurs agissant sur la croissance et le métabolisme des bactéries lactiques :

1.5.1. Influence des substrats carbonés :

Les concentrations élevées en substrat carbonés permettent d'accroître la vitesse de croissance des bactéries lactiques, mais cela jusqu'à un seuil maximal au-delà duquel la vitesse reste constante et devient indépendante de la concentration, comme le décrit la relation de Mickaelis-Menten (Desmazeau et de Roissart, 1994).

1.5.2. Température :

Les bactéries lactiques ont une température optimale de croissance comprise entre 10 et 45°C, mais certaines peuvent croître à 0°C (Mataragasa et al., 2003; Chaillou et al., 2005). Les rendements en biomasse et en acide lactique sont à leurs niveaux maximum lorsque les fermentations sont réalisées aux températures optimales de croissance. La température peut aussi influencer l'isomérisation de l'acide lactique formé (Lino et al., 2003).

1.5.3. pH :

La majorité des bactéries lactiques se multiplient préférentiellement à des pH voisins de la neutralité (6,5 à 7,5), mais elles sont capables de croître dans une large gamme de pH. La croissance bactérienne est inhibée lorsque le pH du milieu devient acide (Torrino et al., 2001; Liu, 2003). Le pH influence sur la croissance des bactéries lactiques mais il peut aussi agir sur la

voie de fermentation des sucres (homo ou hétérofermentaire), le rendement de la fermentation, et l'isomérisation de l'acide lactique formé (**Rhee et Pack, 1980**).

1.5.4. Oxygène :

Les bactéries lactiques ont une meilleure croissance en anaérobiose mais elles peuvent être aérotolérantes. Certaines souches peuvent croître en présence de 20 % d'oxygène, à 8 °C, mais ont des taux de croissance supérieurs en anaérobiose et en présence de faibles quantités de dioxyde de carbone (10 % de CO₂, 90 % de N₂) (**Amanatidou et al., 2001**). Les bactéries lactiques homofermentaires en anaérobiose, produisent moins de lactate, plus d'acétate, et moins d'éthanol et de formate en présence d'oxygène. Cela peut être expliqué par l'augmentation de l'activité pyruvate oxydase, ou l'extrême sensibilité du pyruvate-formate lyase à l'oxygène (**Condon, 1987**).

1.5.5. Autres facteurs :

D'autres facteurs peuvent agir sur la croissance et le métabolisme des bactéries lactiques. La concentration en NaCl agit en abaissant le taux de croissance des bactéries ou encore en orientant l'isomérisation du lactate formé et la voie de fermentation (**Blickstad, 1984 ; Bobllo et Marshall, 1992 ; Cotte et al., 1999**). **Ammor et al., (2005)** ont observé que la présence de NaCl dans le milieu de culture peut élargir la plage de température de croissance de *Lactobacillus sakei*.

L'acétate de sodium a également une influence prouvée sur le métabolisme de certaines espèces de bactéries lactiques telles que *Lb. curvatus*, *Lb. paracasei*, *Lb. plantarum* et *Lb. sakei* (**Lino 2001; Lino et al., 2002 ; 2003a**). **Lino et al., (2003)** ont montré que la quantité de L(+)-LDH augmente de 30 % en présence d'acétate de sodium à 50 mM et la production de D(-)-LDH est diminuée. Cela favorise la production de L-lactate. Une meilleure croissance bactérienne, donnant une plus grande biomasse finale a aussi été observée.

2. Chapitre 2 : Aptitude acidifiante des bactéries lactiques

2.1. Les aptitudes technologiques des bactéries lactiques :

Le secteur des industries agroalimentaires utilise un certain nombre d'auxiliaires technologiques, parmi lesquels les bactéries lactiques, pour élaborer des aliments fermentés. Elles sont principalement utilisées en tant que starter dans les produits alimentaires fermentés (**tableau 1**) ou elles permettent de développer certaines caractéristiques organoleptiques et d'augmenter la durée de conservation (**Hgenholtz et al ,1990 ; Abee, 1995**).

Tableau 1 : Principales espèces de bactéries lactiques utilisées en industrie (**Leveau et al., 1993**).

Espèce	Type fermentaire	Température de croissance	Principaux domaines d'utilisation
<i>Lactococcus lactis ssp lactis</i>	Homo	10 -40°C	Fromages, laits et crèmes fermentées
<i>Lactococcus lactis ssp cremoris</i>	Homo	10 -40°C	Fromages, laits et crèmes fermentées
<i>Lactococcus lactis ssp diacetylactis</i>	Homo	10 -40°C	Fromages, laits et Crèmes fermentées vins
<i>Streptococcus thermophilus</i>	Homo	40 -45°C	Laits fermentés. fromages
<i>Leuconostoc mesenteroides ssp oenos</i>	Hétéro	10 -30°C	Fromage, laits et crèmes fermentées
<i>Leuconostocmesenteroidessspcrem oris</i>	Hétéro	12 -37°C	Fromage, laits et crèmes fermentées, vins
<i>Pediococcus pentosaccus</i>	Homo	25 -35°C	Saucissons, ensilage
<i>Pediococcus acidilactici</i>	Homo	25 -50°C	Saucissons, ensilage

<i>Lactobacillus delbrueckii ssp bulgaricus</i>	Homo	45 -50°C	Laits fermentés. Fromages
<i>Lactobacillus delbrueckii ssp lactis</i>	Homo	45 -50°C	Fromages
<i>Lactobacillus helveticus</i>			
<i>Lactobacillus acidophilus</i>	Homo	45 -50°C	Fromages
<i>Lactobacillus casei ssp casei</i>	Homo	35 -45°C	Probiotiques
<i>Lactobacillus casei ssp rhamnosus</i>	Hétéro	15 -40°C	Fromages
<i>Lactobacillus plantarum</i>	Hétéro	15 -40°C	Probiotiques
<i>Lactobacillus sake</i>	Hétéro	15 -40°C	Saucissons,
<i>Lactobacillus curvatus</i>			pains Ensilages,
<i>Lactobacillus brevis</i>	Hétéro	5 -40°C	probiotiques
	Hétéro	5 -40°C	Viandes,
	Hétéro	15-40°C	saucissons
			Viandes,
			saucisson, pains,
			kéfir

Homo : Homofermentaire, Hétéro : Hétérofermentaire

2.2. Aptitude acidifiante :

2.2.1. Métabolisme du lactose en acide lactique :

La fermentation des sucres par des bactéries lactiques aboutit principalement à la production d'ATP et d'acide lactique (plus de 85%) pour les homofermentaires et à la production d'ATP, d'acide lactique (50%), d'acétate, d'éthanol et de CO₂ pour les hétérofermentaires (Figure1) (De Roissart, 1986).

La molécule de lactose est coupée en deux pour former du glucose et du galactose par la bêta-galactosidase. Le glucose est phosphorylé par la glucokinase qui joue un rôle majeur dans le mécanisme intracellulaire et qui est dépendante de l'ATP. Le glucose-6P emprunte la voie de la glycolyse tandis que le galactose-P la rejoint ultérieurement par la voie du tagatose.

Ces réactions peuvent se séparer en deux groupes du glucose-6P aux trioses P d'une part et des trioses P à l'acide pyruvique d'autre part.

L'action de la phosphohexose-isomérase est régulée selon le mode allostérique. Elle est inhibée par l'ATP et le citrate, tandis que l'AMP et le Pi lèvent l'inhibition. La transformation du 3P glycéraldéhyde en acide pyruvique est catalysée par la 3P glycéraldéhydedéshydrogénase NAD⁺-dépendante, et par une kinase qui conduit à la formation d'énergie. La pyruvate kinase, activée par le fructose 1-6 diP, favorise la formation d'ATP et la libération d'acide pyruvique. Enfin en anaérobiose, l'acide pyruvique est réduit en acide lactique par la lactate déshydrogénase NADH dépendante. Elle est activée en présence de tampon phosphate et de fructose 1-6 diP (De Roissart, 1986).

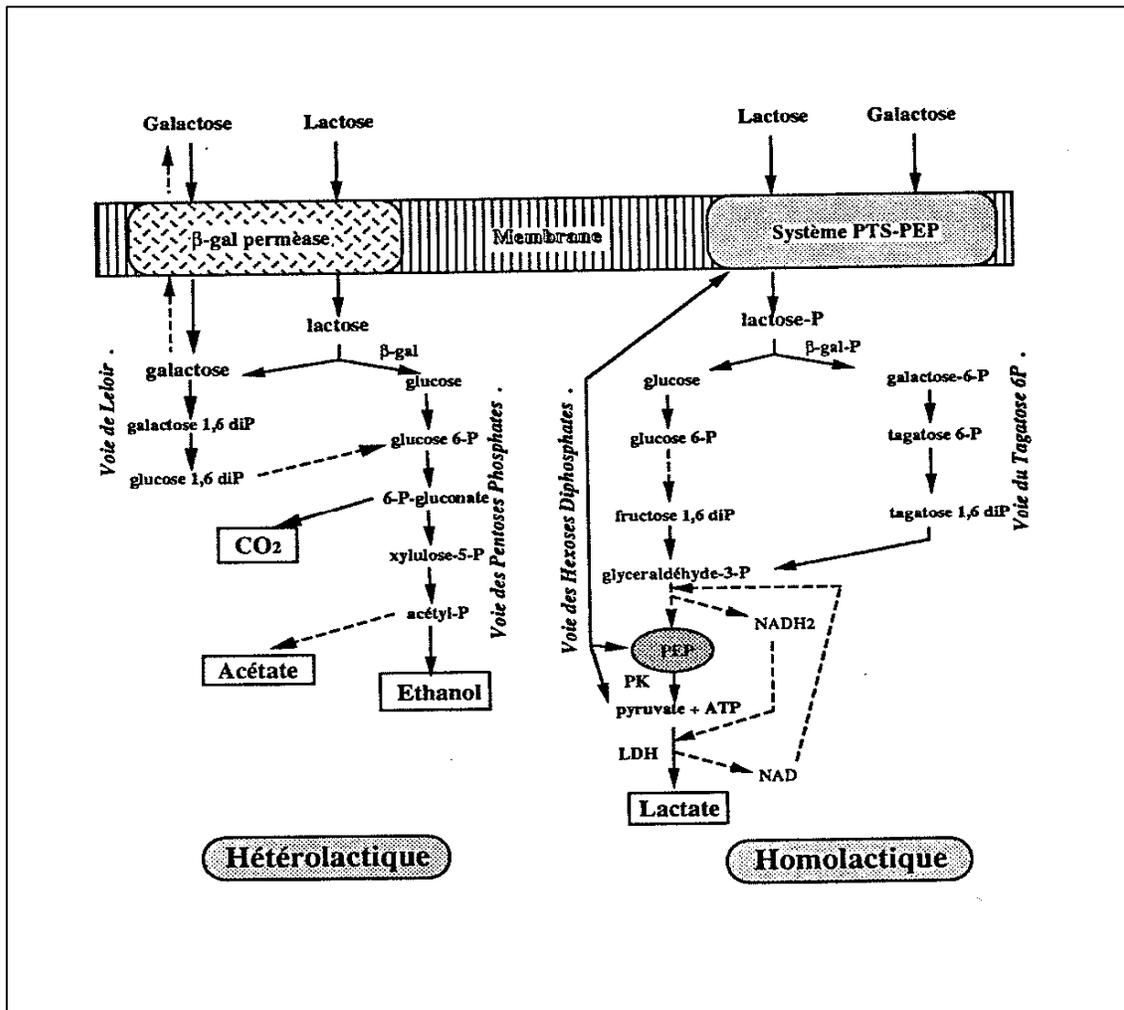
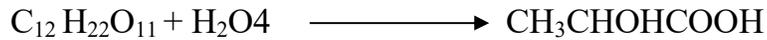


Figure 1: Transport et métabolisme homofermentaire et hétérofermentaire du lactose et galactose chez les bactéries lactiques (De Roissart ,1986)

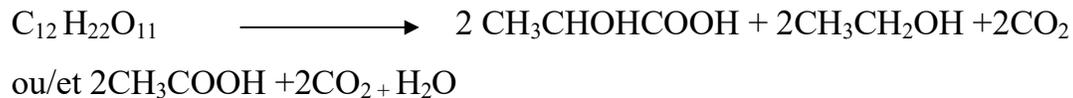
En fait, cette dernière étape s'avère utile pour régénérer le NAD⁺ en NADH qui est utilisé pour la déshydrogénation du glycéraldéhyde-3P. Encore une fois, les gènes codant pour les enzymes des différentes voies métabolique ont été caractérisés par **Poolman (1993)**.

La réaction globale pour une bactérie **homofermentaire** est la suivante :



Quant aux bactéries hétérofermentaires, elles possèdent une activité pour les enzymes clés de la voie des hexoses monophosphates. Le glucose-6P est transformé en acide 6Pgluconique puis décarboxylé en xylulose-5P avec libération de CO₂. Ce pentose-P est alors métabolisé en glycéraldéhyde-3P et en acétyl-P et ce dernier en éthanol ou/en acétate.

Pour une bactérie hétérofermentaire la réaction globale est décrite comme suit :



2.3.Détermination de l'activité acidifiante :

Le degré d'acidité des produits alimentaires est un thème central pour le secteur alimentaire. Les différences culturelles et en matière de goût et les critères d'aptitude au stockage rendent le contrôle du degré d'acidité des aliments indispensable.

Le degré d'acidité des aliments constitue un paramètre important. L'acidité a une incidence non seulement sur le goût de l'aliment en question, mais également sur la capacité de développement des micro-organismes, tels que les bactéries et les champignons. En général, plus un aliment est acide, moins il a de chances d'accueillir des micro-organismes. Prenons l'exemple du micro-organisme le plus dangereux et certainement le plus connu que l'on trouve dans les aliments : le *Clostridium botulinum*, une bactérie produisant plusieurs toxines et responsable de décès innombrables. L'acidité inhibe le développement de la bactérie et permet aux fabricants de produits alimentaires de recourir à un processus de remplissage à chaud, plutôt que le procédé classique à une température minimale requise de 121 °C. Cela réduit considérablement le coût du remplissage.

L'acidité des aliments se mesure en général à l'aide de pH-mètres et de titreur. Les pH-mètres (et les électrodes) déterminent la valeur du pH. Le titrage permet, quant à lui, de mesurer précisément la teneur en acide des aliments. L'acidité indique souvent également si un aliment est frais et/ou s'il a été stocké correctement. Voici quelques exemples :

- Si du lait frais présente un pH inférieur à 6,8, cela indique une infection des leucocytes du bétail.
- Le pH de l'eau de lavage des huîtres indique si le processus de nettoyage est terminé. S'il n'est pas terminé, la personne ingérant l'huître pourrait être mortellement intoxiquée.
- L'abaissement du pH des aliments pasteurisés et des salades froides (souvent d'un pH de 5,3) à 4,1 prolonge leur durée de conservation.
- De légères variations au niveau du pH de l'eau de source ou de puits peuvent indiquer un colmatage des strates géologiques.

Le titrage constitue la méthode idéale pour déterminer l'acidité et la teneur en acide de toutes sortes d'échantillons.

La valeur du pH est un autre paramètre mesuré très fréquemment qui est lié à l'acidité. Le pH n'est pas seulement mesuré dans les échantillons de produits agroalimentaires, puisqu'il s'agit d'un paramètre élémentaire dans la grande majorité des laboratoires. Auparavant, la mesure fournie par un papier pH suffisait. De nos jours, les résultats doivent être plus précis, plus exacts et traçables. C'est pourquoi on recourt désormais à des pH-mètres et des électrodes pour paillasse ou portables.

2.4. Facteurs affectant la production de l'acide lactique chez les bactéries lactiques :

2.4.1. Effet de la température

L'effet de la température sur la croissance et la production d'acide L-lactique de *Lactobacillus casei* G-03 a été étudié dans un bioréacteur de 7 L. Il a été constaté que la vitesse de croissance spécifique maximale ($0,27 \text{ h}^{-1}$) et la concentration d'acide L-lactique ($160,2 \text{ g L}^{-1}$) étaient obtenues à une température de 41°C . Pendant ce temps, le rendement maximal en acide L-lactique, la productivité et le poids des cellules sèches atteignaient jusqu'à 94,1%, $4,44 \text{ g L}^{-1} \text{ h}^{-1}$ et $4,30 \text{ g L}^{-1}$, respectivement. À une température plus basse ou plus élevée, *Lactobacillus casei* G-03 a montré une production d'acide et une biomasse inférieure. De plus, la principale distribution

des métabolites de la réponse de la souche G-03 aux variations de température a été étudiée. Les résultats suggèrent que la température a un effet remarquable sur la distribution des métabolites, et le flux de carbone maximum vers l'acide lactique au nœud pyruvate a été obtenu à 41 ° C (**Gexy et al,2011**)

2.4.2. Effet de PH

L'effet du pH acide (4, 5, 6 et non contrôlé) sur la fermentation de l'acide lactique à partir des déchets alimentaires a été étudié par des expériences de fermentation en lots utilisant des boues méthanogènes (**Jialing et al 2017**), des déchets alimentaires frais et des boues activées anaérobies comme inocula. Les résultats ont montré qu'en raison de l'augmentation de l'hydrolyse, de la vitesse de dégradation du substrat et de l'activité enzymatique, la concentration et le rendement optimaux de l'acide lactique ont été obtenus à pH 5, quel que soit l'inoculum utilisé. La concentration en acide lactique la plus élevée (28,4 g / L) et le rendement (0,46 g / g-TS) ont été obtenus avec des déchets alimentaires frais comme inoculum. De plus, après utilisation complète du substrat, la population de bactéries lactiques a fortement diminué et l'acide lactique produit a été converti en acides gras volatils (AGV) à pH 6 en peu de temps (**Bioresour,2017**).

2.4.3. Effet des hydrates de carbonnes

Dans des études ultérieures sur la fermentation des pentoses (xylose et arabinose) et autres glucides (glucose, fructose, galactose, mannose, saccharose, lactose, maltose, mélézitose et raffinose) (**Fred et al., 1919**), il a été trouvé que les quantités d'acides acétique et lactique produites par des cultures de bactéries lactiques (types *Lactobacillus pentosus*, *Lactobacillus arabinosus* et *Lactobacillus pentoaceticus*) sont équivalentes à environ 90 pour cent du sucre détruits. Étant donné que la production d'acide par certaines bactéries lactiques varie selon le type d'hydrate de carbone utilisé dans le milieu de culture (**Bymerrili et al 1946**).

3. Chapitre 3 : Intérêt des bactéries lactiques

3.1. Intérêt de la fonction acidifiante des bactéries lactiques :

Les bactéries lactiques jouent un rôle important que ce soit dans l'industrie alimentaire ou dans le domaine thérapeutique. Différentes applications des bactéries lactiques sont présentées dans le tableau 2.

3.1.1. Dans l'industrie alimentaire :

Les bactéries lactiques sont impliquées dans la fermentation et la bio-conservation de différents aliments. Ainsi, les souches de *Lactobacillus bulgaricus* *Sterptococcus thermophilus* sont utilisées pour la production du yaourt, des fromages et des laits fermentés (Yateem et al., 2008). Le vin, les poissons, les viandes, les charcuteries, le pain au levain entre autres sont aussi des produits de fermentation par des bactéries lactiques (Badis et al., 2005). L'utilisation de ces dernières a pour but l'amélioration des caractéristiques organoleptiques des produits fermentés et l'augmentation de leur durée de conservation sans l'utilisation de conservateurs chimiques grâce aux substances antimicrobiennes qu'elles secrètent (Dortu et Thonart, 2009).

Les souches utilisées en industrie alimentaire (Tableau 2) 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).

Tableau 2 : Quelques applications des bactéries lactiques (Zhu et al., 2009).

Souches lactiques	Applications	Références
<i>Lactobacillus acidophilus</i> NCFM	Probiotique	Altermann et al. (2005)
<i>Lactobacillus brevis</i> ATCC 367	Ferment de l'ensilage, levain, Fermentation de la bière.	Dubchak et al. (2006)
<i>Lactobacillus casei</i> ATCC 334	Probiotique, fermentation du lait, la saveur des fromages	Dubchak et al. (2006)

<i>Lactobacillus casei</i> BL23	Probiotique, fermentation du lait, la flaveur des fromages	Kandler et Welss (1986)
<i>Lactobacillus delbrueckii</i> subsp, <i>bulgaricus</i> ATCC BAA-365	Fermentation du yaourt	Tamime et Robinson (1999)
<i>Lactobacillus helveticus</i> DPC 4571	Industrie fromagère	Callanan et al. (2008)
<i>Lactobacillus johnsonii</i> NCC 533	Probiotique	Primoree et al. (2004)
<i>Lactobacillus plantarium</i> WCFSI	Conservation des aliments, tels que le lait, la viande et les végétaux, probiotique	Kleerebezemé et al. (2003)
<i>Lactobacillus reuteri</i> F275	probiotique	Morita et al. (2008)
<i>Lactobacillus sakei</i> subsp, <i>sakei</i> 23 K	Conservation des aliments, fermentation de la viande	Chaillou et al. (2005)
<i>Lactobacillus lactis</i> subsp, <i>cremoris</i> MG1363	La fermentation des aliments laitiers, une souche modèle	Wegmann et al. (2007)
<i>Leuconostoc mesenteroides</i> subsp, <i>mesenterides</i> ATCC 8293	Fermentation d'aliment. choucroute, des légumes, production de dextrane.	Debchak et al. (2006)
<i>Streptococcus thermophilus</i> LMC 18311	Fermentation du fromage et du yaourt	Bolotin et al. (2006)

3.1.2. Dans le domaine thérapeutique

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

Parmi leurs rôles bénéfiques 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.

3.2. Rôle probiotique des bactéries lactiques :

De nos jours, les bactéries lactiques sont de plus en plus recherchées, pour des qualités thérapeutiques dans des préparations appelées probiotiques (**Patriganani et al., 2006**).

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

Des travaux, montrent que la souche probiotique *Lb. rhmnosus* GG administrée à des mère a risque atopique, quatre semaines avant la naissance, et au nouveau-né durant les premiers mois de vie a permis une réduction significative des manifestations allergiques (**Kalliomaki et al., 2001 ; Rautava et al., 2002**).

3.3. Applications industrielles des bactéries lactiques :

Les bactéries lactiques présentent des activités métaboliques assez diversifiées et une capacité d'adaptation à différents environnements. Cette diversité est responsable de leur large gamme d'applications à l'échelle industrielle (**Streit et al, 2007**)

Dans l'industrie alimentaire, ces microorganismes permettent la conversion d'une grande variété de matières premières (Tableau 3), conduisant ainsi à de nombreux produits : saucissons, les laits fermentés et les fromages représentent des produits fabriqués à partir de matières premières d'origine animale, tandis que la choucroute, les olives et certains vins (fermentation malolactique) sont des exemples de transformation de matières premières d'origine végétale. Ils sont aussi utilisés en boulangerie traditionnelle. Parmi ces applications, l'industrie laitière est, sans doute, le

plus grand consommateur de ferments lactiques commerciaux, pour la production de laits fermentés, fromages, crèmes et beurres (**Daly et al, 1998 ; Hugenholtz et al, 2002 ; Axelsson, 2004 ; Streit et al, 2007**).

Selon **Mäyrä-Mäkinen et Bigret (1998)**, la fermentation du lait par des bactéries lactiques est à l'origine de plus de mille produits différents, chacun avec ses caractéristiques spécifiques d'arôme+, de texture et de qualité.

En plus de l'industrie fromagère, les lactobacilles sont utilisés dans d'autres produits laitiers. Parmi ces produits, on trouve le Kuele naoto et le Kwerioonik qui sont des produits ethniques du lait fermenté (**Vizoso Pinto et al, 2006**), le Laban zeer, le M^oBannick, le Koumiss et le Zincica (**Codex alimentarius, 2003**).

Pour les laits fermentés, l'acidification provoque la coagulation du lait (en facilitant l'action de la présure) et l'augmentation de la formation du caillé. Selon les produits, la texture recherchées est ferme (yaourt ferme) ou onctueuse (yaourt brassé ; kéfir). Pour obtenir une consistance déterminée ; l'utilisation des souches plus ou moins acidifiantes peut être couplée à celle des souches productrices de polysaccharides et de mannitol (**Satura et Federighi, 1998**).

La production en dehors de l'acide lactique, d'autres produits tels que acétoïne, le diacétyl et l'acétaldéhyde ou l'éthanol sont responsables des saveurs caractéristiques (**Boudjema, 2008**).

Le lait ne pouvant pas être conservé longtemps, ses valeurs nutritionnelles sont gardées sous la forme d'un fromage. L'immense variété des fromages est en partie relative à une grande variété de souches employées dans leurs fabrications, modifiant ainsi le goût et la texture de ces produits. En effet les bactéries lactiques sont responsables de l'apparition de qualités organoleptiques souhaitables de ce produit transformé, en plus de sa protection et sa conservation (**Van de Gudite et al, 2002**).

En fromagerie, les lactobacilles sont généralement utilisés pour la préparation de pâtes dures ou semi-dures typique des fromages suisses et italiens (**Alice et Sanchez-Rivas, 1997**).

Ces espèces participent dans l'affinage des fromages par leur activité protéolytique, et la formation d'arômes qui en résulte (**Lane et al, 1996 ; Lynch et al, 1996**).

La production de CO₂ par les bactéries lactiques provient de l'hétérofermentation du lactose et l'utilisation du citrate. Dans la technologie des fromages à pâtes persillées, notamment

le Roquefort, le CO₂ produit est à l'origine de la formation des cavités dans le caillé, qui seront ensuite peuplées par *Penicillium roqueforti* (Bourel et al, 2001).

Le CO₂ produit donne aussi l'aspect onctueux du beurre (Kihal, 1996). Dans le cas de l'Emmental « fromage à pâte pressée cuite », une fois les meules formées, après caillage du lait et pressage, ils les immergent dans l'eau salée pour permettre la fabrication d'une croûte. Ensuite débute un affinage de 45 jours, dans les caves tempérées. Les meules sont ensuite transférées dans des caves plus chaudes. Une fermentation hétérofermentaire débute alors. Les bactéries lactiques libèrent à l'intérieur de la pâte du CO₂. Ne pouvant s'échapper des meules dont la croûte est imperméable, ces bulles de gaz créent des trous (dits aussi « ouvertures » ou « yeux ») dans la pâte. C'est également ce qui explique que les meules plates deviennent peu à peu bombées, sous l'effet de la pression (Boundri, 2013).

Ces trous sont l'identité de l'Emmental et permettent de savoir si le fromage est correctement affiné. L'affineur sonne régulièrement le fromage avec un petit marteau pour vérifier l'évolution de la meule. Les trous font caisse de résonance, il peut ensuite sonder la meule en prélevant un cylindre pour confirmer si l'affinage est fini ou pas encore (Boundri, 2013)

Le gruyère et l'Emmental sont tous deux des fromages à pâte pressée cuite. Leur principale différence réside dans l'aspect de leur pâte : parsemée de larges trous pour l'Emmental mais le gruyère (le vrai gruyère donc « suisse ») n'en contient pas (Figure 2).



Figure 2 : Comparaison entre L'Emmental et le gruyère (Fromages à pâtes pressées cuites).

A : Emmental (les trous d'air causés par le CO₂) **B :** Gruyère (pas de trous d'air)

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

Genre	Substrat	Exemples de produits
<i>Bifidobacterium</i>	lait	laits fermentés
<i>Lactobacillus</i>	lait	yaourts, laits fermentés, kéfirs, fromages
	viande	saucissons secs, jambons secs
	végétaux	choucroute, olives, "yaourts" au lait de soja
	céréales	pain au levain, bières
<i>Lactococcus</i>	lait	fromages, kéfirs
<i>Leuconostoc</i>	Végétaux	choucroute, olives, vin
	lait	fromages, kéfirs
<i>Pediococcus</i>	végétaux	choucroute
	viande	saucisses semi-séchées
<i>Oenococcus</i>	végétaux	vin
<i>Streptococcus</i>	lait	yaourts, laits fermentés, fromages

L'intérêt des bactéries lactiques en matière de santé humaine a été initialement proposé au début du XXème siècle, en 1907 par le Russe Metchnikoff, selon lui les *Lactobacillus.sp* pouvaient réduire la putréfaction intestinale en modifiant sa flore. Le rôle des bactéries lactiques sur la santé était dans le cadre des probiotiques (**Langella et al, 2001 ; Calvez et al, 2009**).

Les bienfaits des bactéries lactiques sont de plus en plus étudiés, certains sont bien établis d'autres restent encore contre versés (Voir les bienfaits des probiotiques) (**Langella et al, 2001 ; Calvez et al, 2009**).

L'extraordinaire diversité de structures des exopolysaccharides (EPS) en fait une classe de molécules dont les applications directes ou indirectes dans le domaine médical sont en plein essor. Le dextrane et ses dérivés sont utilisés en laboratoire pour la purification de composés d'intérêt médical comme certaines enzymes, mais aussi comme outil thérapeutique en tant que « plasma artificiel ». Ils peuvent servir pour l'encapsulation de médicaments dans le but d'un relargage contrôlé ou en exploitation des propriétés biologiques de ces polymères (**Roger, 2002**).

La préparation de vaccins à partir d'EPS évite l'utilisation d'extrait cellulaires et donc les effets secondaires provoqués par les métabolites tels que les lipopolysaccharides et les protéines **(Benasla, 2012)**.

Il a été montré qu'un certain nombre d'exopolysaccharides possédaient des activités biologiques innovantes comparables à celles des héparinomimétiques, propriétés antitumorales ou antivirales par exemple. L'extrême diversité des EPS a rendu possible l'identification d'homologies de structures avec des polysaccharides provenant de cellules eucaryotes. Ces analogues structuraux pourront être utilisés en substitut ou en complément des produits naturels **(Benasla, 2012)**.

Conclusion

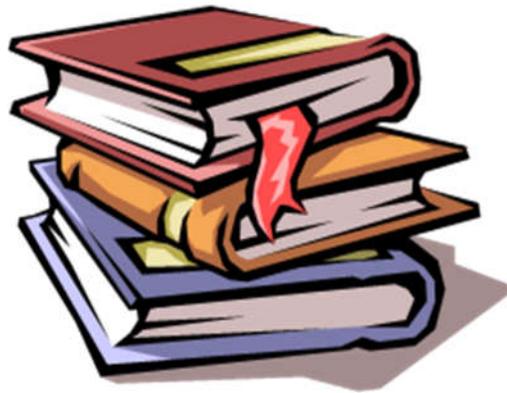
Les bactéries lactiques présentent un grand intérêt dans l'industrie , Elle sont largement utilisées dans l'élaboration des produits alimentaires par fermentation lactique, les bactéries lactiques assurent non seulement des caractéristiques particulières (d'arôme et de texture) mais aussi une bonne sécuritaire sanitaire et alimentaire , cette sécurité est favorisée grâce à la production d'acides organiques (acide lactique et acétique) qui font baisser le pH dans le milieu.

Les bactéries lactiques (LAB) fermentent les plantes, les produits de pêche, la viande et le lait et les transforment en délicieux produits alimentaires avec une durée de conservation accrue; d'autres LAB aident à digérer les aliments et à créer un environnement intestinal sain.

L'importance économique et sociale de ces bactéries est relativement énorme. Leurs adaptations à des environnements riches en nutriments fournissent des comportements fascinants et souvent mènent à de nombreuses questions biologiques fondamentales sur l'évolution, et qui nécessitent une approche de la biologie des systèmes.

La fonction acidifiante constitue la propriété métabolique la plus recherchée des bactéries lactiques, utilisée dans les industries alimentaires, 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.

Références Bibliographiques



A

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.

Abee T., 1995. Bactériocines porogènes des bactéries Gram + et mécanismes d'autoprotection des organismes producteurs. FEMS Microbiol. Lett., 129, 1-9.

Amanatidou A. Smid E. Bennik MHJ. Gorris LGM. 2001. Antioxidative properties of *Lactobacillus sake* upon exposure to elevated oxygen concentrations. vol. 203, p. 87-94.

Ammor S. Dufoura E. Zagorecb . Chailloub S. Chevallier I. 2005. Characterization and selection of *Lactobacillus sakei* strains isolated from traditional dry sausage for their potential use as starter cultures. **Food Microbiology.** vol. 22, p.529-538.

B

Blickstad E. 1984. The effect of water activity on growth and end-product formation of two *Lactobacillus* spp. and *Brochothrix thermosphacta* ATCC 11509T. Applied Microbiology Technology. vol. 19, p.13-17.

Bobllo M, Marshall VM0. 1992. Effect of acidic pH and salt on acid end-products by *Lactobacillus plantarum* in aerated, glucose-limited continuous culture. vol. 73, p. 67-70.

Bottazzi V et Mercenier A. 1994. Propriétés prophylactiques et thérapeutique des bactéries lactiques. Dans : Bactéries lactiques. De Roissart H et Luquet FM. Eds, Loriga- Uriage. vol. 2, p409-418.

Tang J, Wang XC, Hu Y, Zhang Y, Li Y. 2017. Effect of pH on lactic acid production from acidogenic fermentation of food waste with different types of inocula. Bioresour Technol. 224

Badis, A., Guetarni, D., Kihal, M., Ouzrout, R. 2005. « Caractérisation phénotypique des Bactéries lactiques isolées à partir de lait de chèvre de deux populations locales. Sciences & Technologie. C, Biotechnologies.

Bintsis T , Athanasoulas A. 2015. Dairy starter culture . in Papademas P , editor . Dairy microbiology , a practical approach , CRC Press Boca Raton , FL ; 114-154

Boundri H. 2013. Procédé de fabrication et contrôle qualité du fromage Emmental. Mémoire de Master Sciences et Techniques. Université Fès.

C

Carr F. J, Cill D et Maida N. 2002. The lactic acid bacteria: A literature survey Critical Rev. Microbiol. 28, 281-370.

Catte M, Gancel F, Dzierzinski F, Tailliez R. 1999. Effect of water activity, NaCl and smoke concentrations on the growth of *Lactobacillus plantarum* ATCC 12315. vol. 52, p.105-108.

Chaillou S, Champomier-Vergès MC, Cornet M, Crutz-Le Coq AM, Dudez AM, Martin V, Beaufils S, Darbon-Rongère E, Bossy R, Loux V, Zagorec M. 2005. The complete genome sequence of the meat-borne lactic acid bacterium *Lactobacillus sakei* 23K. (2005), vol. 23, p. 1527-1533.

Condon S. 1987. Responses of lactic acid bacteria to oxygen. vol. 46, p. 269 – 280.

Cleveland Jennifer , Thomas J. Montville Mictael L , Chikindas " bacteriocins , safe , naturel antimicrobials for food preservation " international journal of food microbiology Vol .2001 p-1-20

D

Dellaglio F., Botazzi V. and Trovatelli L.D. 1973. Deoxyribonucleic acid homology and base composition in some thermophilic lactobacilli. *Journal of General Microbiology* 74, 289–297

Dellaglio F., DE Rossart H., Torrianis S., Curk M et Janssens D.1994. Caractérisation générale des bactéries lactiques .Tec & Doc (Eds), Lorica,I,p :25-116

Desmazeaud M.J. Comment les bactéries lactiques se comportent-elles dans le lait ? *Technique laitière.* (1983), vol. 976, p. 11-13.

Desmazeaud M.J. et de Roissart H (1994). Métabolisme général des bactéries lactiques. In « Bactéries lactiques ». Edition Lorica. T1 : 169-204 p.

Desmazeaud M.J. Le lait milieu de culture. *Microbiologie Aliment-Nutrition.* (1990), vol. 8, p. 373-375.

Dellaglio F., Botazzi V. and Trovatelli L.D. 1973. Deoxyribonucleic acid homology and base composition in some thermophilic lactobacilli. *Journal of General Microbiology* 74, 289–297

Desmazeaud M. 1992. Les bactéries lactiques in Hernier, J., Lenoir, J. et Webert, Les groupes microbiens d'intérêt laitier. Lavoisier. p 9-57.

Desmazeaud M.J. et de Roissart H (1994). Métabolisme général des bactéries lactiques.

In « Bactéries lactiques ». Edition Lorica. T1 : 169-204 p.

(De Vrese et al., 2001), The three ages of man in probiotics and health. Yakult international conference : Royal College of Physicians, London, 2001.

Dortu, C. et Thonart, P. (2009). « Les bactériocines des bactéries lactiques : caractéristiques et intérêt pour la bioconservation des produits alimentaires ». *Biotechnol.Agron. Soc.*

Environ., 13: 143-154.

Dertu Carine , philippe Thorart "les bacteriocines des bacteries lactiques ; caractéristique et interet pour la bioconservation des produits alimentaires " Biotechnol Agron . Soc Environ .Vol 13N°01 2009 , p 143-154

F

Fred, E. B., Peterson, W. H., and Davenport, A., *J. Biol. Chem.*, **39,347 (1919)**.

G

Ge XY, Yuan J, Qin H, Zhang WG. 2011. Improvement of L-lactic acid production by osmotic-tolerant mutant of *Lactobacillus casei* at high temperature. *Appl Microbiol Biotechnol* 89(1):73-8.

H

Holzappel W. H, Geisen, R et Schillinger U. (1995). Biological preservation of foods with reference to protective culture cultures, bacteriocins and food-grade enzymes. *Int J Food Microbiol.* 24,343-362.

Hassan A.N., 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.

Hugenholtz J. & Kleerebezem M., 1990. Génie métabolique des bactéries lactiques: aperçu des approches et des résultats du réacheminement des voies impliqués dans les fermentations alimentaires. *Curr. Opin. Biotechnol.*, 10 (5), 492-497.

Heyman M et Heuvelin E. Micro-organismes probiotiques et régulation immunologiques le paradoxe. (2006), vol. 20, p. 85-9.

J

Juillard .V, H.E. Spinnler, M.J. DES Mazeaud, C.V. Boquien. Phénomènes de coopération et d'inhibition entre les bactéries lactiques utilisées en industrie laitière. (1987), vol. 67 n°2, p. 149-172

Tang J, Chang ZC. Wang XC, Hu Y, Zhang Y, Li Y. 2017. Effects of additional fermented food wastes on nitrogen removal enhancement and sludge characteristics in a sequential batch reactor for wastewater treatment *Bioresource Technology* Publisher: Elsevier

K

Khalid N.M et Marth E.H. (1990). Lactobacilli, their enzymes and role. In: Ripening and spoilage of cheese. *Rev. Dairy Sci.* 73, 158-167.

Klein G, Pack A, Bonaparte C et Reuter G. (1998). Taxonomy and physiology of probiotic lactic acid bacteria. *Int J Food Microbiol.* 41, 103-125.

Kalliomaki M, Isolauri E. Probiotics during pregnancy and breast-feeding might confer immunomodulatory protection against atopic disease in the infant. (2002), vol. 109, n° 1, p. 119-121.

L

- Leclerc H., Gaillard F.L., Simonet M. 1994.** Les grands groupes de bactéries. In: Microbiologie générale : la bactérie et le monde microbien. DOIN. Paris. 445.
- Lahtinem H., Gaillard F L. ET Simonet M., 1994.** Les grands groupes de bactéries. In : Microbiologie générale : la bactérie et le monde microbien. DOIN. Paris. 445
- Ludwig.w, Schieifer.W 2009.** Bergeys Taxonomic outlines-Revised Road map to the Phylum Firmicutes, Volume
- Leveau J.Y. et Bouix M. 1993.** Les levures. Dans : Microbiologie industrielle, les microorganismes d'intérêt industriel. Eds.Tech. et Doc. Lavoisier. Paris, pp : 2-39
- Loubiere P., Cocaign-Bousquet M. 2009.** Métabolisme des bactéries lactiques: devenir du carbone. Dans Bactéries Lactiques. Physiologie, Métabolisme, Génomique et Applications industrielles. Paris, France: Drider, D. and Prévost, H, p. 29-50
- Lairini S. Beqqali N. Bouslamti R. Belkhou R. et Zerrouq F.** Isolement des bactéries lactiques à partir des produits laitiers traditionnels Marocains et formulation d'un lait fermenté proche du Kéfir. (2014), vol. 10, n°4, p. 267-277
- Leveau, J. Y. & Bouix, M. (1993).** Microbiologie industrielle : les microorganismes d'intérêt industriel. Tec et Doc, Lavoisier, Paris. 612 p
- Lino T, A. Manome, S. Okada, T. Uchimura, and K. Komagata.** Effects of sodium acetate on the production of stereoisomers of lactic acid by *Lactobacillus sakei* and other lactic acid bacteria. (2001), vol. 47, p. 223-239.
- Lino T, T.Uchimura, Komagata K.** The effect of sodium acetate on the growth yield,the production of L- and D-lactic acid, and the activity of some enzymes of the glycolytic pathway of *Lactobacillus sakei* NRIC 1071T and *Lactobacillus plantarum* NRIC 1067T.(2002), vol. 48, p. 91-102.
- Lino T, T.Uchimura, Komagata K.** The effect of sodium acetate on the activity of Land D-lactate deshydrogenases in *Lactobacillus sakei* NRIC 1071 and other lactic acid bacteria. (2003a), vol. 5,p. 49-51.
- Liu S-Q.** Practical implications of lactate and pyruvate metabolism by lactic acid bacteria in food and beverage fermentations. (2003), vol. 83, p. 115-131.

M

- Moller C., boukhelmann W., Ammann A., Heller K.J.** production of yoghurt with mild test by a *Lactobacillus delbrueckii* sub sp bulgaricus mutant with altered proteolysis properties. (2007), vol. 2, n°4, p. 469-479
- Mozzi F., Raya R.R. et Vignolo G.M., 2010.** Biotechnology of lactic acid bacteria: Novel applications. Blackwell. Publishing, 13p.
- Makhloufi K. M. 2012.** Caractérisation d'une bactériocine produite par une bactérie lactique *Leuconostoc pseudomesenteroides* isolée du boza. Thèse de doctorat de l'université pierre et marie curie. Spécialité : microbiologie, biochimie (école doctorale iviv)

Mataragasa M. Metaxopoulou J. Galiotoub M, Drosinosa EH. Influence of pH and temperature on growth and bacteriocin production by *Leuconostoc mesenteroides* L124 and *Lactobacillus curvatus* L442. (2003), vol. 64, p. 265-271.

N

Nielsen D.S, Jacobsen T, Jespersen L, Koch A.G et Arneborg N. (2008) Occurrence and growth of yeasts in processed meat products - Implications for potential spoilage. *Meat Science*. Vol 9. 80, 19-926.

Novel G. (1993). Les bactéries lactiques. In « microbiologie industrielle ».Ed. TECHNOLOGIE

Pilet M.F, Magras C, Federighi M. (2005). Bactéries lactiques. In : Bactériologie alimentaire (Federighi M.). 2e Ed., Economica. Paris. 219-240.

P

POOLMAN, B., 1993, Biochemistry and molecular biology of galactoside transport and metabolism in lactic acid bacteria, Le Lait, 73, 87-96

Patrignani F ; Lanciotti R ; Mathara JM ; Guezoni ME and Holzappel WH. Potential of functional strains, isolated from traditional maasa milk, as starters for the production of fermented milk. (2006),

R

Rhee SK, Pack MY. Effect of Environmental pH on Fermentation Balance of *Lactobacillus bulgaricus*. (1980), vol. 144, p. 217-221

Raynaud S., 2006. Régulation métabolique et transcriptionnelle de l'auto acidification chez *Lactococcus lactis*. Thèse de doctorat. L'institut national des sciences appliquées de Toulouse : 21p

Rhee SK, Pack MY. Effect of Environmental pH on Fermentation Balance of *Lactobacillus bulgaricus*. (1980), vol. 144, p. 217-221.

Roger O. 2002. Etude d'oligosaccharides bioactifs issus d'exopolysaccharides bactériens : obtention, caractérisation et relation structure/fonction. Thèse de doctorat en chimie. Université de Paris

Roissart, H., 1986, Lait et produits laitiers (Tome III), Ed. LUQUET F., Lavoisier Scientifique

S

Stiles M.E et Holzappel w.H. (1997), Int.J. food Microbiol .36,1-29

Tompson J., Gentry-Weeks C.R. 1994. Métabolisme des sucres par les bactéries lactiques. In : Bactéries lactiques (De Roissart H et Luquet F.M). Loriga. Uriage. 1 : 239-290.

Torrino MI. Taranto MP. Sesma F. Valdez GFd. Heterofermentative pattern and exopolysaccharide production by *Lactobacillus helveticus* ATCC 15807 in response to environmental pH M. (2001), vol. 91, p. 846-852.

V

Vandamme P., Pot B., Gillis M., DeVos P., Kersters K. and Swings J. 1996. Polyphasic taxonomy, a consensus approach to bacterial systematics. *Microbiol. Rev.* 60: 407

Y

(Yateem, A., Balba, M. T., Al-Surrayai, T., Al-Mutairi, B., Al-Daher, R. (2008).« Isolation of lactic acid bacteria with probiotic potential from camel milk ». *Int. J. Dairy Sci.* , 3: 194-199. Kabyle». *Scien&Tech*, 23 : 30-37

Z

(Zhu *et al.*, 2009). Understanding the industrial application potential of lactic acid bacteria through genomics . *Appl Microbiol Biotechnol.*83:597-610

Zhou ;X.X.,Pan ;Y.J.,Wang, Y.B.et Li,W.F .(2008).Optimization of medium composition for nisin fermentation with response surface methodology . *J food Sci.*73:245-249

Zhang ;Y.,Liu ,Y.,et Zhang ,H.(2010) influence of pH, Heat and Enzymatic treatment on the activity of antibacterial substance in mrs and milk media produced by *Lactobacillus fermentum* F6 *Agrucultural Sciences in china* .9:911-920.