



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة محمد البشير الإبراهيمي برج بوعريبيج

Université Mohamed El Bachir El Ibrahimi- B.B.A.

كلية علوم الطبيعة والحياة وعلوم الارض والكون

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et des Sciences de la Terre et de l'Univers

قسم العلوم البيولوجية

Département des Sciences Biologiques

Mémoire

En vue de l'obtention du Diplôme de Master

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Sciences biologiques

Spécialité : Microbiologie appliquée

Intitulé

Les biosurfactants des bactéries lactiques

Présenté par : BELDJILALI Rachda

TOUAHRIA Nour elhouda

Soutenu le : 15 / 09 /2021

Devant le jury :

Président :	M ^r SADRATI Nouari	MCB	(Université de BBA)
Encadrant :	M ^{me} BOUGUERRA Asma	MAA	(Université de BBA)
Examineur :	M ^{me} TAMINE Milouda	MAB	(Université de BBA)

Année universitaire : 2020/2021

Remerciements

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

Nous remercions notre promotrice M^{me} BOUGUERRA Asma, pour ses encouragements, ses conseils, sa disponibilité et surtout pour sa patience durant la réalisation de ce mémoire.

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

- M^r. SADRATI Nouari de nous faire l'honneur de présider le jury.

-M^{me} TAMINE Milouda d'avoir accepté d'examiner et de juger ce mémoire.

Dédicaces

Je rends grâce à Allah le tout puissant pour tout le bien fait dont il m'a comblé.

Je dédie ce travail à :

Mon cher père et ma chère mère

*Je souhaite que vous restiez toujours près de moi et que Allah vous protège et vous donne
bonne santé*

A Mes belles sœurs : Ahlem et Hayet et Khouloud

A mon unique frère : Mohamed

A mes très chères amies : Chahinez , Dalel , Faiza

A mon binôme : Nourel houda et sa famille

A toute ma promotion de master –Microbiologie appliqué –

Rachda

Dédicaces

Grâce Allah

Je dédie ce travail à :

A ma chère mère et mon cher père

A mes frères : Abd alhamid et Hamza

A ma petite sœur Soumia et ma belle-sœur Chaima

A ma grande mère Fatima et Saliha et mon grand-père Said et Mohammed al Taher

A la famille de Ben Amrani ; mon père Ben Amrani Al razik et mon mari Mahmoud ; ses frères ; Brahim ; Ayoub ; Nadjib ; Abd al mouman et la belle Dounya .

A la famille belaib de ma mère Sophia et Souhila

A la famille fartasse , en particulier zina et Ilham

A la famille Touahri Rima ; Sara et en particulier mekhalfia Nassima et chaaoua Samira.

A mon binôme Rachda et sa famille

Nourelhouda

Résumé

Les biosurfactants sont produits par plusieurs bactéries telles que : *Bacillus et Pseudomonas*. Récemment plusieurs études ont montré que les bactéries lactiques ont aussi la propriété de produire ces molécules.

L'importance des biosurfactants est progressivement augmentée au cours de la dernière décennie grâce à leur vaste application comme : la thérapie, l'émulsification, la bioremédiation, etc.

D'après plusieurs études réalisées, plusieurs types de biosurfactants peuvent être obtenus par une variété de souches lactiques avec des activités antimicrobienne et antiadhésive ; jouant ainsi un rôle thérapeutique important.

Les mots clés : activité antimicrobienne, activité antiadhésive, bactéries lactiques, biosurfactants.

Abstract

Biosurfactants are produced by several bacteria such as: *Bacillus* and *Pseudomonas*. Recently, several studies have shown that lactic acid bacteria have the property to produce these molecules.

The importance of biosurfactants is gradually increasing during the last decade due to their wide application as: therapy, emulsification, bioremediation, etc.

According to several studies carried out, several types of biosurfactants can be obtained by a variety of lactic strains with antimicrobial and antiadhesive activities; thus playing an important therapeutic role.

Keywords : antimicrobial activities, antiadhesive activities, biosurfactants, lactic acid bacteria.

المخلص

تنتج عدة أنواع من البكتيريا مواد خافضة للتوتر السطحي مثل: *Bacillus* و *Pseudomonas*. أظهرت العديد من الدراسات مؤخرًا أن بكتيريا حمض اللاكتيك كذلك لها خاصية إنتاج هذه الجزيئات. ازدادت أهمية المواد الخافضة للتوتر السطحي تدريجياً خلال العقد الماضي بسبب تطبيقها الواسع مثل: العلاج ، الاستحلاب ، المعالجة البيولوجية ، إلخ. وفقاً للعديد من الدراسات التي تم إجراؤها، يمكن الحصول على عدة أنواع من المواد الخافضة للتوتر السطحي من خلال مجموعة متنوعة من سلالات حمض اللاكتيك ذات الأنشطة المضادة للميكروبات والالتصاق ؛ وبالتالي يلعب دورًا علاجيًا مهمًا.

الكلمات المفاتيح

النشاطات المضادة للميكروبات، النشاطات المضادة للالتصاق، المواد الخافضة للتوتر السطحي، بكتيريا اللبن

Sommaire

Résumé	
Abstract	
المخلص	
Liste des tableaux	
Liste des figures	
Abréviations	
Introduction.....	1
Synthèse Bibliographique	
I. Les bactéries lactiques.....	2
I.1. Généralités	2
I. 2. Habitat	3
I.3. Classification	4
II.2. Définition d'un surfactant microbien (biosurfactant)	5
II.3. Propriétés physico-chimiques des biosurfactants.....	6
a- Diminution des tensions de surface	6
b- Concentration micellaire critique (CMC)	6
II.4. Propriétés structurales des biosurfactants	7
II.4.1. Glycolipides	9
a- Rhamnolipides	9
b- Sophorolipides	9
II.4.2. Lipopeptides et lipoprotéines.....	9
II.4.3. Les acides gras et phospholipides.....	10
II.4.4. Biosurfactants polymères	10
II.5. Substrats et production des biosurfactants.....	11
II.5.1. Production des biosurfactants à partir du lactosérum des fromages	11
II.5.2. Production des biosurfactants à partir des déchets lignocellulosiques.....	12
II.5.3. Biosurfactants à partir d'un milieu synthétique.....	12
II.6. Paramètres influençant la production des biosurfactants	13
a. Effet de la source de carbone.....	13
b. Effet de l'azote.....	13
c. Effet du pH.....	13
d. Effet des sels minéraux.....	14
e. Effet de l'oxygène	14

La disponibilité de l'oxygène peut également affecter la production à travers son effet sur l'activité cellulaire ou la croissance (Gabet, 2004).....	14
f. Effet de la vitesse d'agitation.....	14
II.7. Les biosurfactants des bactéries lactiques.....	14
II.8. Applications des biosurfactants	16
II.9. Résultats des activités antibactériennes et antiadhésives des biosurfactants des BL d'après quelques travaux de recherche	17

Liste des tableaux

Tableau I: Composition en acides gras des biosurfactants isolés de diverses souches lactiques.....	10
Tableau II. Biosurfactants dérivés de diverses souches de BL (Sharma et <i>al.</i> , 2016).....	15

Liste des figures

Figure 1: Bactéries lactiques sous microscope électronique (Maghnia, 2011).	3
Figure 2: Arbre phylogénétique des principaux genres des bactéries lactiques et des genres associés obtenu par analyse des ARN 16S (Stiles et Holwapfel, 1997).	4
Figure 3: Représentation des molécules amphiphiles des agents de surfaces (Larpent, 1995). ..	6
Figure 4 : Représentation schématique d'une micelle de biosurfactant (Gabet, 2004).	7
Figure 5: Structures de quelques biosurfactants.	8
Figure 6: Diverses applications des biosurfactants des bactéries lactiques.	17

Abréviations

°C : Degré Celsius

ARN :Acide Ribonucléique

B : *Bacillus*

BL : Les bactéries lactiques

C/N : Carbone/Azote

CMC : Concentration Micellaire Critique

CMI : Concentration Minimale Inhibitrice

CO₂ : Dioxyde de Carbone

DBO : Demande Biochimique en Oxygène

DCO : Demande Chimique en Carbone

E. : *Enterococcus*

E. coli : *Escherichia coli*

GC-MS : Chromatographie en phase gazeuse- Spectrométrie de masse

GL: Glycolipide

GRAS : Generally Recognized As Safe

h : heure

H₂O₂ : peroxyde d'hydrogène

L : *Lactococcus*

Lb : *Lactobacillus*

mg/ml : milligramme par millilitre

mN/m : millinewtons sur mètre

pH: potentiel d'Hydrogène

QPS : Quality Presumption of Safety

S. : *Staphylococcus*

St. : *Streptococcus*

Introduction

L'origine des tensio-actifs est variée, les surfactants d'origines chimiques sont les plus utilisés. Les tensio-actifs d'origines biologiques (végétaux ou micro-organismes) sont appelés biosurfactants. Il s'agit de tensioactifs produits par des végétaux, des animaux, des champignons, des levures ou des bactéries. Les biosurfactants sont produits par des micro-organismes, et principalement les bactéries comme les bactéries lactiques (Cazals, 2020).

Les biosurfactants sont des molécules amphiphiles constituées d'une partie hydrophile polaire et d'une partie hydrophobe non polaire. Généralement, le groupement hydrophile est constitué d'acides aminés, peptides ou de polysaccharides (mono ou di) et le groupement hydrophobe est formé d'acides gras saturés ou non saturés (Djerbaoui, 2011).

Les biosurfactants sont utilisés dans l'industrie de diverses manières du fait de leurs propriétés amphiphiles : comme agents adhésifs, flocculants, mouillants, moussants, émulsifiants, dispersants ou comme détergents. Ils sont principalement utilisés par l'industrie cosmétique, notamment pour leur rôle d'émulsifiant, et par l'industrie pétrolière afin de permettre une augmentation des rendements d'extraction des puits de pétrole brut. En augmentant la solubilité apparente des composés pétroliers et en diminuant la tension interfaciale entre l'eau et le pétrole brut, la mobilité de ce dernier est augmentée, ce qui permet une augmentation des volumes récupérés (Cazals, 2020).

Dans ce contexte, cette présente étude s'intéresse aux activités et applications des biosurfactants des bactéries lactiques d'après des études antérieures.

I. Les bactéries lactiques

I.1. Généralités

L'utilisation de la fermentation par l'homme remonte à des temps très anciens. Les premiers produits fermentés ont certainement été obtenus par acidification spontanée des jus des végétaux (vins, bières...) ou suite à une contamination naturelle du lait.

Différents types d'aliments peuvent être fermentés ; il s'agit : des végétaux (concombres, betteraves, dattes, jus de fruits, soja, etc.), des produits animaux (viande, lait) ou du poisson. Elle permet de conserver les aliments mais aussi de leur donner une saveur différente du produit original (Penaud, 2006).

Les bactéries lactiques représentent le deuxième plus grand marché de production de biomasse, après les levures. Elles sont, principalement, utilisées lors d'applications dans l'industrie alimentaire (la fabrication des fromages, des laits fermentés, de certains légumes et produits carnés fermentés et de certains vins). Elles interviennent aussi dans l'industrie chimique pour la production d'acide lactique et de biopolymères et acquièrent, depuis quelques années, un rôle croissant en santé animale et humaine (Streit, 2008).

Les bactéries lactiques sont des cellules procaryotes, organotrophes, formant un groupe hétérogène constitué de cocci et de bacilles (Fig.1) (Badis et *al.*, 2005). Ce sont des bactéries à gram positif, asporulantes, aéro-anaérobies facultatives ou micro-aérophiles, généralement immobiles, acido-tolérantes et capables de croître à des températures comprises entre 10°C et 45°C (Zhang et Cai, 2014).

Elles rassemblent un certain nombre de genres qui se caractérisent par la production, liée à un métabolisme exclusivement fermentaire, de quantité importante d'acide lactique à partir des sucres. La fermentation est dite :

- Homolactique si l'acide lactique produit constitue plus de 90 % des produits de fermentation.
- Hétérolactique facultatives si elles produisent de l'acide lactique et de l'acide acétique
- Hétérolactique stricte si elles produisent de l'acide lactique, de l'acide acétique ou de l'éthanol et du CO₂ (Vandamme et *al.*, 1996).

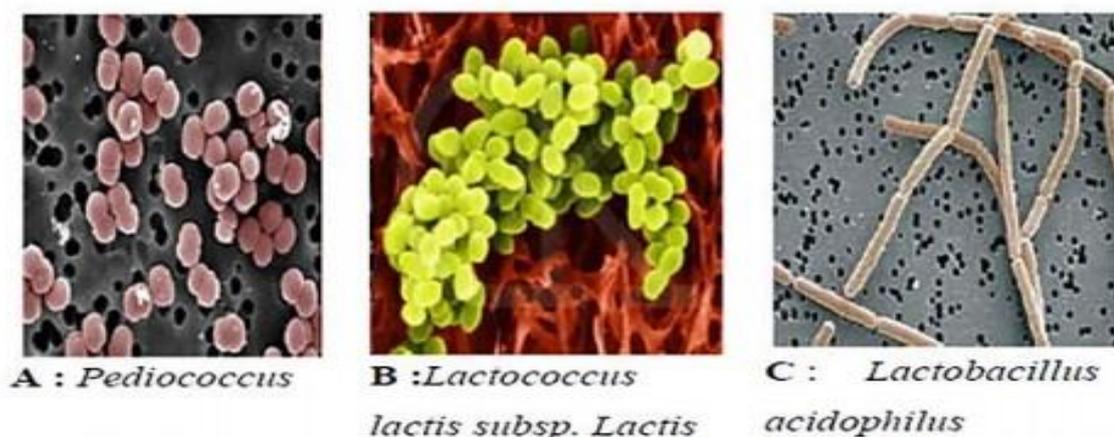


Figure 1: Bactéries lactiques sous microscope électronique (Maghnia, 2011).

En général, ces bactéries ne possèdent ni catalase, ni nitrate réductase, ni cytochrome oxydase (à l'exception de quelques souches sous certaines conditions), elles sont protéolytiques, ne liquéfient pas la gélatine et ne forment plus d'indole ni d'hydrogène sulfureux. Ces bactéries sont également incapables de fermenter le glycérol (Salminen et al., 2004 ; Zhang et Cai, 2014).

En plus de l'acide lactique et des autres acides organiques qui empêchent le développement des microorganismes indésirables par diminution du pH du milieu, les bactéries lactiques produisent d'autres métabolites ayant des propriétés antimicrobiennes tels que : H_2O_2 , reutérine, CO_2 , bactériocines, etc. (Dortu et Thonart, 2009).

Elles ont des exigences nutritionnelles complexes surtout pour les acides aminés. C'est la raison qui explique leur abondance dans le lait (Hogg, 2005).

Elles sont toutes considérées comme « GRAS » (Generally Recognized As Safe). A l'exception certaines espèces d'enterococci et certaines ayant le statut QPS (Quality Presumption of Safety) (Streit, 2008).

I. 2. Habitat

Les bactéries lactiques sont des bactéries ubiquistes. Elles ont pour habitat de nombreux milieux naturels. Elles se trouvent généralement associées à des aliments riches en sucres simples. Elles peuvent être isolées du lait, des fromages, de la viande et des végétaux (plantes et fruits) (König et Fröhlich, 2009).

Elles se développent avec la levure dans le vin, la bière et le pain. Quelques espèces colonisent le tube digestif de l'homme et on peut les trouver aussi dans les cavités buccales, vaginales et dans les fèces (Hassan et Frank, 2001).

Certaines espèces semblent s'adapter à un environnement spécifique et ne sont guère trouvées ailleurs que dans leurs habitats naturels (Bekouche, 2006).

I.3. Classification

La caractérisation phénotypique /biochimique classique demeure pratique 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 classification des bactéries lactiques peut se faire aussi selon des critères phylogénétiques par l'utilisation des méthodes moléculaires (Vandamme, 1996 ; Stiles et Holzopfel, 1997).

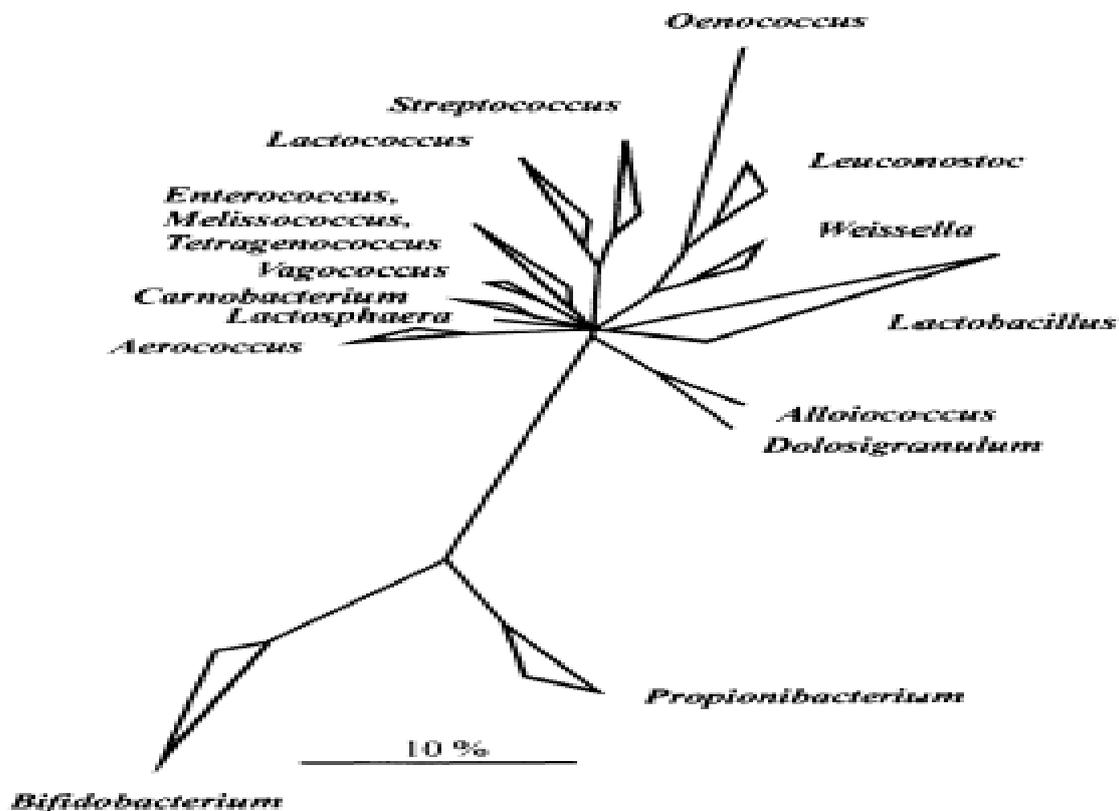


Figure 2: Arbre phylogénétique des principaux genres des bactéries lactiques et des genres associés obtenu par analyse des ARN 16S (Stiles et Holzopfel, 1997).

II. Les Biosurfactants

II.1. Généralités

Les biosurfactants sont des molécules tensioactives produites par certains microorganismes.

Leur nature tout comme leur pouvoir tensioactif est fortement dépendant du type de micro-organisme utilisé (bactérie, levure, champignon), de la souche testée ainsi que du substrat nutritif disponible pour leur développement cellulaire. Parmi les différents biosurfactants recensés, on trouve aujourd'hui des glycolipides, des lipopeptides, des phospholipides, des lipides neutres, des acides gras ou des lipopolysaccharides.

Tous comme leur analogue de synthèse chimique, ils peuvent avoir des propriétés émulsifiantes, moussantes, mouillantes ou encore dispersantes. Certaines de ces propriétés peuvent, de plus, être conservées dans des conditions extrêmes telles que pH acides, températures élevées, etc.

Compte tenu de leurs potentialités et de leur innocuité, ils sont toujours utilisés dans différents domaines d'application tels que l'environnement, l'industrie pétrolière, l'agronomie ou encore la cosmétologie et devraient rapidement trouver leur place dans de nouveaux secteurs d'applications tels que les industries agro-alimentaires, pharmaceutiques ou encore le domaine médicale (Herry et Bellon-Fontaine, 2001).

II.2. Définition d'un surfactant microbien (biosurfactant)

Les surfactants (SURFace ACTive AgeNTS) : sont des agents à activité de surface (Tensioactifs), synthétisés chimiquement ou par voie biologique (biosurfactants) (Al-Arajil *et al.*, 2007).

Le surfactant microbien (biosurfactant) : est un agent de surface ou tensioactif ayant un pôle hydrophile et un pôle hydrophobe, susceptible d'être produit par une grande variété de micro-organismes. Cette synthèse est le résultat d'une bioconversion effectuée par une souche microbienne à partir d'un substrat hydrocarbonate ou carbohydrate (Mimouni, 1995).

L'intérêt de l'utilisation des biosurfactants vient de leurs propriétés inter faciales qui sont une conséquence de leur structure moléculaire (pôle hydrophile et lipophile) (Fig. 3), leur conférant ainsi un pouvoir émulsifiant (Banat *et al.* 1991).

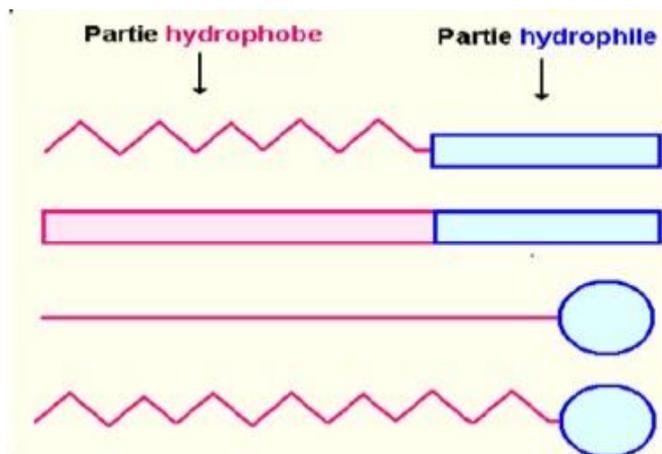


Figure 3: Représentation des molécules amphiphiles des agents de surfaces (Larpent, 1995).

II.3. Propriétés physico-chimiques des biosurfactants

D'après Larpent (1995), les biosurfactants sont des molécules amphiphiles ayant deux parties fonctionnelles :

- une partie lipophile, non polarisée (soluble dans les solutions apolaires).
- une partie hydrophile, polarisée (soluble dans les solutions aqueuses).

Cette structure confère aux molécules de biosurfactants un certain nombre de propriétés physico-chimiques particulières (Marcou, 1989 ; Larpent, 1995).

a- Diminution des tensions de surface

Les biosurfactants diminuent considérablement la tension superficielle de l'eau même dans les solutions très diluées (Laurila, 1985).

b- Concentration micellaire critique (CMC)

La CMC est par définition la concentration d'un agent de surface (bio surfactant) au-dessus de laquelle, une partie des molécules dispersées au sein de la solution aqueuse se rassemblent sous forme de micelle (Pore, 1992).

Les micelles se forment lorsque les portions hydrophobes sont incapables de former des liaisons hydrogènes en phase aqueuse créant ainsi une forte augmentation de l'énergie libre du système. Une façon d'abaisser cette énergie est d'isoler la partie hydrophobe de l'eau par adsorption sur des matrices organiques ou de former des micelles (Haigh, 1996).

En effet, dans les micelles les parties hydrophobes se regroupent vers le centre et les portions hydrophiles restent en contact avec l'eau (Fig. 4).

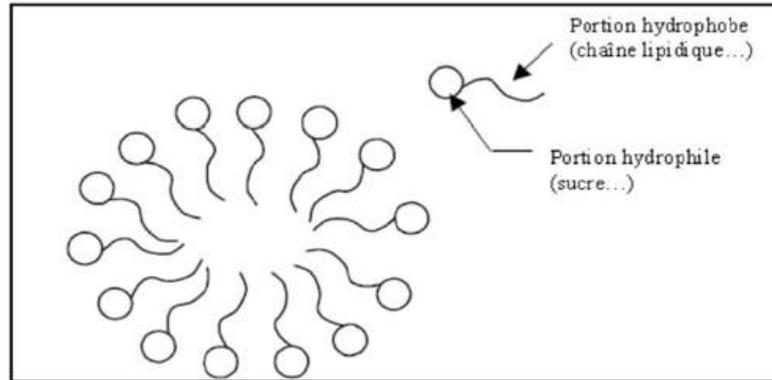


Figure 4 : Représentation schématique d'une micelle de biosurfactant (Gabet, 2004).

II.4. Propriétés structurales des biosurfactants

Les tensioactifs d'origine chimique sont caractérisés en fonction de leur nature. En revanche, les biosurfactants sont généralement caractérisés par leur composition chimique et leur origine.

La partie hydrophile (tête polaire) des biosurfactants est constituée d'acides aminés, de peptides, de polysaccharides. Alors que la partie hydrophobe (queue non polaire) est composée d'acides gras. Par conséquent, la principale classification des biosurfactants dérivés de la cellule microbienne comprend les glycolipides, les lipopeptides, les phospholipides, les acides gras et les tensioactifs particuliers (Fig. 5). Ainsi, le groupe le plus répandu de biosurfactants est celui des glycolipides (Sharma *et al.*, 2016).

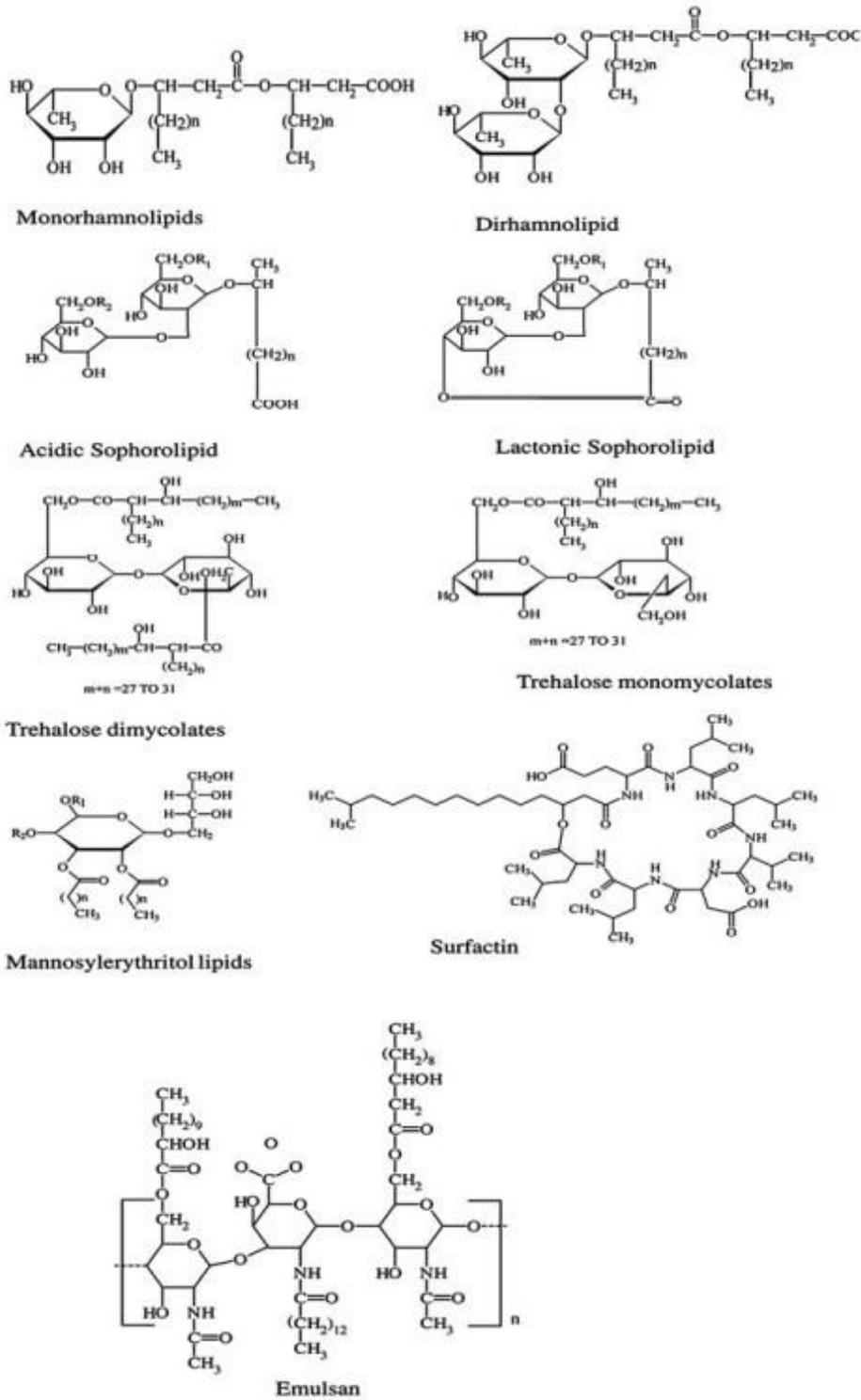


Figure 5: Structures de quelques biosurfactants.

II.4.1. Glycolipides

Les glycolipides se présentent généralement sous la forme d'une combinaison de glucides avec certains acides gras. En raison de leur rendement élevé et de la possibilité d'utiliser des substrats peu coûteux pour la production commerciale, les glycolipides suscitent un intérêt croissant dans la communauté scientifique. Parmi les molécules de glycolipides les plus utilisées, on trouve : les rhamnolipides, les biosurfactants mannosylerythriol, les lipides de tréhalose et des sophorolipides.

a- Rhamnolipides

Les rhamnolipides sont des glycolipides dans lesquels les molécules de sucre rhamnose sont liées à une ou deux molécules d'acide gras β -hydroxydécanoïque. Les rhamnolipides diminuent la tension superficielle de l'eau de 72,80 à 27 mN/m. En raison de leur biocompatibilité et de leurs biodégradabilités importantes, les rhamnolipides peuvent être utilisés dans diverses applications commerciales et environnementales telles que la récupération du pétrole, le contrôle des déversements d'hydrocarbures en mer et le lavage ou l'assainissement des sols. On suppose que les biosurfactants rhamnolipidiques interagissent avec la phosphatidyléthanolamine de la membrane plasmique biologique (Sharma et *al.*, 2016).

b- Sophorolipides

Les sophorolipides sont composés d'un hydrate de carbone (sophorose) lié à des chaînes d'acides gras hydroxylés. Les sophorolipides peuvent réduire la tension interfaciale entre le n-hexadécane et l'eau et montrent une stabilité significative face aux changements de pH et de température (Sharma et *al.*, 2016).

II.4.2. Lipopeptides et lipoprotéines

Les molécules des biosurfactants lipopeptides et lipoprotéines contiennent des peptides cycliques liés à de longues chaînes d'acides gras. Divers micro-organismes sont reconnus pour produire des lipopeptides et des lipoprotéines, par exemple, *Bacillus subtilis*. Les biosurfactants dérivés du *B. subtilis* sont très puissants et réduisent la tension superficielle de 72,8 à 27,9 mN/m à de très faibles concentrations de 0,005 %. Les lipopeptides et les lipoprotéines augmentent l'hydrophilie des cellules en barricader la partie hydrophobe sur les surfaces cellulaires (Sharma et *al.*, 2016).

II.4.3. Les acides gras et phospholipides

Plusieurs micro-organismes sont capables de se développer sur divers substrats hydrophobes, en rejetant d'énormes quantités de phospholipides, d'acides gras ou de lipides neutres pour permettre l'absorption de la source de carbone. La phosphatidyléthanolamine cultivée sur du n-alcane a réduit la tension interfaciale entre l'eau et l'hexadécane à moins de 1 mN/m avec une CMC de 30 mg. L⁻¹.

Plusieurs acides gras ont été signalés comme faisant partie de la fraction hydrophobe dans les biosurfactants dérivés des bactéries lactiques (Tab.1). Selon Sharma et *al.* (2015), la teneur en acides gras du biosurfactant a été déterminée par GC-MS. Il a été constaté que le biosurfactant obtenu à partir de *E. faecium* MRTL9 était principalement composé d'acides gras à longue chaîne (Sharma et *al.*, 2016).

Tableau I: Composition en acides gras des biosurfactants isolés de diverses souches lactiques

Souches	Acides gras
<i>L. lactis</i>	Acide octadécanoïque
<i>E. faecium</i>	Acide hexadécanoïque
<i>Lb.helveticus</i>	Acide hexadécanoïque
<i>Lb.pentosus</i>	Acide linoléique, acide oléique, acide palmitique et acide stéarique.
<i>Lb. fermentum</i>	Acide hexadécanoïque
<i>Lb. plantarum</i>	Acide palmitique acide oléique et acide octadécanoïque.

II.4.4. Biosurfactants polymères

L'émulsan, dérivé d'*Acinetobacter calcoaceticus*, est le biosurfactant le mieux observé et étudié. L'émulsan est principalement composé d'un squelette hétéropolysaccharide auquel des acides gras sont liés de manière covalente. Une illustration différente est le liposan, qui est composé d'un complexe glucide-protéine. Les acides gras présents sont liés de manière covalente à la partie polysaccharide par des liaisons o-ester. De même, un biosurfactant extracellulaire composé d'un mélange d'hydrates de carbone, de protéines et de lipides.

La principale cause qui limite sa commercialisation est la connaissance inadéquate de sa composition structurale, ce qui limite son application comme produit pharmaceutique et agent thérapeutique.

II.5. Substrats et production des biosurfactants

La production des biosurfactants à partir de divers déchets agro-industriels est une voie prometteuse pour les bioprocédés à faible coût. Parmi ceux ; les hydrolysats hémicellulosiques, les tourteaux de distillerie, les tourteaux d'arachide, la liqueur de moût de maïs, le marc de raisin et le lactosérum de fromage.

Ces substrats agro-industriels sont des exemples de déchets qui peuvent être utilisés comme matière première pour la production à grande échelle des biosurfactants. La valorisation de ce type de substrats joue un double rôle, l'obtention d'un produit fonctionnel et la réduction de la mise en décharge des déchets (Sharma et al., 2016).

II.5.1. Production des biosurfactants à partir du lactosérum des fromages

L'industrie laitière produit un volume important de divers sous-produits comme le lactosérum des fromages. Le lactosérum est un résidu liquide de la transformation des fromages, riche en lactose (environ 75 % de la matière sèche et comprenant également d'autres constituants solubles dans l'eau (environ 12-14 % de protéines). La collecte mondiale de lactosérum est supérieure à 160 millions de tonnes par an, avec un taux de croissance annuel progressif de 1-2 % (OCDE-FAO, 2008).

Le petit-lait à une valeur élevée de DBO et de DCO et son élimination peut être un défi exclusivement pour les pays dépendant de l'économie laitière. Cependant, près de la moitié du lactosérum obtenu dans le monde n'est pas correctement traité. Il est rejeté comme effluent non traité dans les masses d'eau locales.

Lactobacillus helveticus MRTL91 s'est avéré être un puissant microorganisme probiotique produisant des biosurfactants sur une culture discontinue en utilisant le lactosérum des fromages comme source alternative de nutriments. La plus forte réduction de la tension superficielle du milieu à base de lactosérum a été obtenue après 10 heures de fermentation, soit 39,5 m Nm⁻¹ (Sharma et al., 2014).

L'augmentation de la concentration du lactose dans le milieu de fermentation permet d'obtenir une biomasse et une concentration de tensioactif biologique plus élevées (Sharma et *al.*, 2016).

II.5.2. Production des biosurfactants à partir des déchets lignocellulosiques

Les déchets lignocellulosiques sont caractérisés par leur teneur élevée en carbone organique. Ils comprennent principalement trois types de bio polymères : la cellulose, l'hémicellulose, et la lignine qui sont intensément interconnectés et liés chimiquement par des liaisons transversales covalentes et non covalentes. La privation microbienne de ces bio-macromolécules par divers micro-organismes tels que les champignons et les bactéries a été largement rapportée.

En général, ces déchets ont été utilisés comme substrats à faible coût pour la production du bioéthanol et de certains acides organiques. Comme ils peuvent être utilisés pour produire d'autres métabolites microbiens importants citant par exemple les biosurfactants.

La production simultanée de l'acide lactique et d'un biosurfactant a été rapportée chez certaines souches de *Lactobacillus* sp. en utilisant des hydrolysats hémi cellulosiques provenant de différents restes agricoles. Les approches de production simultanées rendent les biosurfactants encore plus rentables (Sharma et *al.*, 2016).

II.5.3. Biosurfactants à partir d'un milieu synthétique

Les biosurfactants dérivés de plusieurs bactéries lactiques peuvent être produits en milieu défini chimiquement.

Les BL sont exceptionnellement exigeantes et adaptées à des nutriments complexes. Les BL n'ont pas seulement besoin d'une source de carbone comme d'énergie, mais elles ont également besoin de nucléotides, d'acides aminés et de vitamines pour leur croissance, en raison de l'inexistence de voies de biosynthèse. Les résultats observés avec des milieux nutritifs composés de deux sources d'azote ont montré de façon notable que l'amendement de l'extrait de levure est le paramètre vital pour la croissance bactérienne, suivi de l'extrait de viande. En ce qui concerne la production de tensioactifs, il apparaît que les peptones constituent le composant vital. Les quantités maximales de biosurfactants lié aux cellules ont été obtenues en utilisant des milieux composés de peptones (Sharma et *al.*, 2016)

II.6. Paramètres influençant la production des biosurfactants

Le type et la quantité des biosurfactants produits dépendent de la composition du milieu (source de carbone ou autres nutriments) et des conditions de culture (température, agitation, pH, etc.).

Plusieurs facteurs contribuent à la production des biosurfactants comme la source de carbone et de nombreux autres paramètres de culture comme le pH, la température, l'agitation et l'oxygénation du milieu. De plus, la salinité, c'est-à-dire, les concentrations en ions multivalents (Mg, Ca, K, Na et éléments traces), les concentrations de phosphate et d'azote ainsi que les sources de ces derniers peuvent influencer la production des biosurfactants. Ces paramètres peuvent jouer de façon positive ou négatives sur la production et varient de façon importante entre les espèces (Guerra-Santos *et al.*, 1986 ; Rahman *et al.*, 2002 ; Nitschke *et al.*, 2005).

a. Effet de la source de carbone

La source de carbone est l'un des paramètres influençant le plus la production des biosurfactants, soit par induction, soit par diminution de la quantité produite. Les sources de carbone solubles dans l'eau (glycérol, glucose, mannitol ou éthanol) sont utilisées pour produire des rhamnolipides. Cependant, les rendements semblent être inférieurs à ceux obtenus sur des substrats insolubles, comme des n-alcanes ou de l'huile d'olive (Desai et Banat, 1997).

b. Effet de l'azote

De nombreuses études ont montré que la synthèse de rhamnolipides se produisait lorsqu'il y avait un excès de carbone dans le milieu ou lorsque l'azote était en quantité limitante. L'azote peut être apporté sous différentes formes selon les bactéries productrices (Lang et Wullbrandt, 1999).

Pour avoir des rendements de production optimum, il est donc nécessaire d'avoir un rapport C/N idéal, et surtout que l'azote soit un facteur limitant (stress) pour favoriser la production de biosurfactant (Gabet, 2004).

c. Effet du pH

Pour une souche de *Pseudomonas aeruginosa*, le pH du milieu de culture doit se situer entre 6,0 et 6,5. A des pH inférieurs ou supérieurs, la production de biosurfactants chute rapidement (Arino *et al.*, 1996).

d. Effet des sels minéraux

Il semble qu'une concentration limitante en ions magnésium, calcium, potassium, sodium ou éléments traces induise une augmentation de production des biosurfactants (Guerra Santos *et al.*, 1986).

e. Effet de l'oxygène

La disponibilité de l'oxygène peut également affecter la production à travers son effet sur l'activité cellulaire ou la croissance (Gabet, 2004).

f. Effet de la vitesse d'agitation

Les milieux de culture sont agités lors de la production des biosurfactants. Pour les bactéries, une augmentation de la vitesse d'agitation induit une augmentation des vitesses de cisaillement et donc un rendement moindre. L'effet inverse est observé lorsque les organismes producteurs sont des levures (Desai et Banat, 1997)

II.7. Les biosurfactants des bactéries lactiques

Plusieurs études sur les biosurfactants obtenus à partir de lactobacilles ont été réalisées, mais leur structure est peu connue, probablement en raison de leur grande complexité. Les biosurfactants dérivés de diverses BL ont été classés comme des mélanges complexes qui limitent l'adhésion des microbes pathogènes aux surfaces biotiques et abiotiques, mais leur composition chimique n'a pas été rapportée de manière exhaustive et seuls quelques-uns ont été décrits de manière incomplète. Une meilleure information sur la composition des biosurfactants obtenus à partir des BL est vitale pour reconnaître efficacement leurs composants actifs et être capable de les transformer afin d'améliorer leurs propriétés (Tab. 2) (Sharma *et al.*, 2016).

Synthèse bibliographique

Tableau II. Biosurfactants dérivés de diverses souches de BL (Sharma et al., 2016).

Souche lactique	Biosurfactants produits
<i>Lb. acidophilus RC14</i>	Riche en protéines, grande quantité de polysaccharides et teneur en phosphate.
<i>St. thermophilus</i>	Glycolipide
<i>Lb. acidophilus</i>	Surlactine
<i>St. mutans</i> NS	Rhamnolipides
<i>St. thermophilus</i> A	Glycolipide
<i>Lb. casei</i>	Glycoprotéine
<i>L. lactis</i>	Xylolipides
<i>Lb. acidophilus</i>	Glycoprotéine
<i>Lb. plantarum</i>	Glycolipide
<i>Lb. plantarum</i>	Glycoprotéine
<i>Lb. pentosus</i>	Glycolipide
<i>Lb. casei</i> MRTL3	Glycolipide
<i>E. faecium</i> MRTL9	Xylolipide
<i>Lb. helveticus</i> MRTL91	Glycolipide
<i>Lb. pentosus</i>	Glycopeptide

Les biosurfactants dérivés de diverses souches lactiques ont été identifiés comme étant des multi-composants, contenant des protéines et des polysaccharides.

Le biosurfactant dérivé de *St. thermophilus* B a été décrit comme un mélange de différents constituants, comprenant des polysaccharides et des glycolipides. Le biosurfactant dérivé de *St. thermophilus* B s'est révélé être une molécule tensioactive efficace, réduisant la tension superficielle de l'eau à 35 mN/m. Des propriétés structurales similaires ont également été rapportées avec des biosurfactants produits par deux *Streptococcus mitis* différents qui sont composés de glycolipides avec un faible niveau de protéines. Les biosurfactants sécrétés par deux *St. mitis* différents, reconnus comme une molécule de type rhamnolipide, ont réduit la tension superficielle à 35 mN/m à une concentration de 1 mg/ml.

Gudiña et al. (2010) ont isolé un biosurfactant dérivé de *Lb. paracasei* qui a été caractérisé comme un biosurfactant multi composant.

Sauvageau et *al.* (2012) ont isolé des glycolipides de *Lb. plantarum* IRL 560 et ont caractérisé leur composition structurale en tant que α -D-Glcp-diglycérade (GL1), α -D-Galp- (1-2)- α -D-Glcp-diglycérade (GL2a), β -D-Glcp-(1-6)- α -D-Galp-(1-2)-6-O-acyl- α -DGlcp-diglycérade (GL2b), et β -DGlcp-(1-6)- α -D-Galp-(1-2)- α -D-Glcp-diglycérade (GL3). Ces arrangements de glycolipides ont également été trouvés chez *Lb. casei*. La compréhension de la confirmation définitive de l'arrangement des glycolipides produits permettra d'établir un lien avec les propriétés biologiques de *Lb. plantarum*.

II.8. Applications des biosurfactants

L'importance des biosurfactants a progressivement augmenté au cours de la dernière décennie. Les biosurfactants sont supérieurs aux surfactants chimiques en raison de leur origine biologique, de leur biodégradabilité et de leur faible toxicité. C'est pourquoi les biosurfactants ont été largement pris en considération pour des applications dans l'industrie alimentaire, les formulations cosmétiques, la récupération microbienne assistée des hydrocarbures, le lavage des sols, les matériaux émulsifiants et la bioremédiation (Marchant et Banat, 2012).

Les biosurfactants peuvent modifier l'adhésion microbienne lorsqu'ils s'accumulent aux interfaces de deux phases fluides (Van Hamme et *al.*, 2006). De même, les biosurfactants peuvent perturber les membranes plasmiques, ce qui entraîne une augmentation de la perméabilité de la membrane cellulaire et, finalement, un suintement du contenu cytoplasmique de la cellule (Bharali et *al.*, 2013). Parmi toutes les activités des biosurfactants microbiens, les propriétés antimicrobiennes et antiadhésives contre divers agents pathogènes et leur comportement probiotique sont les propriétés les plus significatives pour les applications thérapeutiques (Sharma et *al.*, 2015). Divers tensioactifs microbiens ont été décrits comme des substitutions appropriées aux médicaments synthétiques et antimicrobiens.

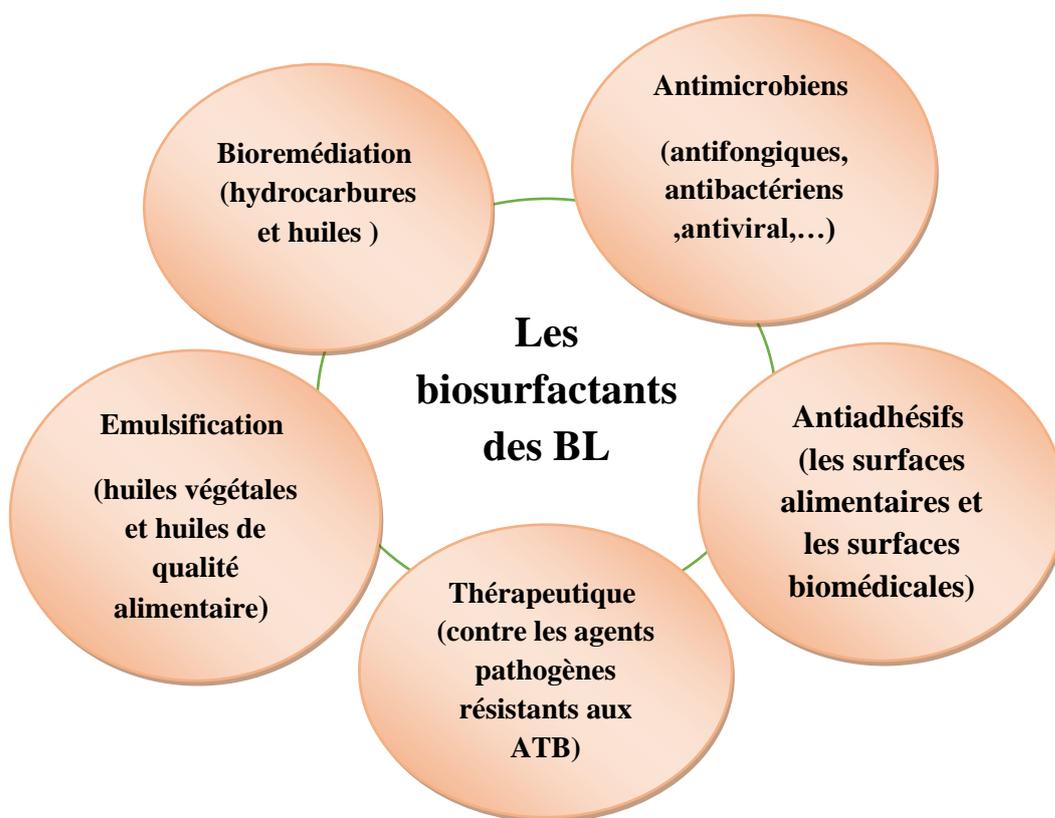


Figure 6: Diverses applications des biosurfactants des bactéries lactiques.

II.9. Résultats des activités antibactériennes et antiadhésives des biosurfactants des BL d'après quelques travaux de recherche

À ce jour, un grand nombre de chercheurs ont étudié les Lactobacilles produisant des biosurfactants, notamment *Lb. casei* sub spp. *Rhamnosus* 36 et ATCC 7469, *Lb. fermentum* B54 et *Lb. acidophilus* RC14. Ces souches produisent des biosurfactants au cours de leurs phases de croissance médiane (4-5 h) et stationnaire (18 h), abaissant ainsi la tension de surface.

De Man, Rogosa et Sharpe (1960) ont montré que les biosurfactants pouvaient inhiber l'adhésion des uropathogènes les plus courants dans les voies urinaires féminines.

Velraeds et ses collaborateurs (1996) ont démontré que la libération de biosurfactants par différentes souches de lactobacilles est maximale pour les cellules en phase de croissance stationnaire. Ils ont rapporté que des souches de *Lb. acidophilus* RC14 et *Lb. fermentum* B54 produisent un biosurfactant riche en protéines, où des fractions plus petites de polysaccharides et de phosphate ont également été détectées par spectroscopie infrarouge à

transformée de Fourier. En outre, leurs travaux sur d'autres souches à savoir *Lb. casei* sub spp. Rhamnosus 36 et *Lb. rhamnosus* ATCC7469 ont montré la production de protéines, de polysaccharides et de phosphates ainsi qu'un groupe ester carbonyle supplémentaire. Les bandes détectées étaient à 2932 cm⁻¹ (CH CH₂—CH₃), 1652 cm⁻¹ (bande AmI : étirement CAO dans les protéines), 1537 cm⁻¹ (bande AmII : flexion NOH dans les protéines). Les bandes à 1234 cm⁻¹ (bande PI : phosphates) et à 1066 cm⁻¹ (bande PII : polysaccharides) ont également été détectées.

Velraeds et al. (1998) ont également signalé qu'un biosurfactant riche en protéines de type surlactine provenant de *Lb. acidophilus* RC14 qui est un candidat idéal pour le développement de revêtements biologiques anti-adhésifs pour les dispositifs médicaux de type cathéter.

Des études menées par Gan et al. (2002) ont mis en évidence l'utilité des Lactobacilles et son biosurfactant dans la prévention de l'infection des implants chirurgicaux *in vivo*.

Rodrigues et al. (2006) ont observé que la production de biosurfactant par les lactobacilles se produit principalement au cours des 4 premières heures de culture, lorsque la croissance cellulaire est presque inexistante et que la consommation de substrat est très faible. Cependant, la production de biosurfactants se poursuit pendant toute la durée de la fermentation, bien qu'à un rythme plus lent.

Walencka et al. (2008) ont également isolé un biosurfactant produit par *Lb. acidophilus* qui inhibe le développement de biofilms chez *S. aureus* et *S. epidermidis* en affectant l'adhésion initiale, la formation du biofilm et la dispersion des cellules. Il a été suggéré que l'addition de biosurfactant à des biofilms préformés conduit à une dispersion rapide et modifie les changements morphologiques des structures du biofilm en raison de l'altération de l'hydrophobie de la surface des cellules des bactéries testées. Cela peut finalement entraver le taux de dépôt ainsi que le développement du biofilm.

Golek et al. (2009) ont signalé que *Lb. casei* peut produire une glycoprotéine de type biosurfactant riche en nature protéique avec un polysaccharide comme l'une des principales fractions. Ils ont également signalé la présence de biosurfactants (sans élucidation de la structure) à partir de *Lb. fermenti* 126, *Lb. acidophilus*, *Lb. casei* subsp. *Rhamnosus* CCM 1825 et ont montré leurs activités anti-adhésives contre *Klebsiella pneumoniae* sur des cellules épithéliales intestinales (en utilisant la lignée cellulaire Caco-2).

Fracchia et al. (2010) ont rapporté l'activité anti biofilm de CV8LAC contre les cultures de *Candida* qui a de nombreuses applications intéressantes.

Tahmourespour et al. (2011) ont initié des études et plus tard démontrées par Salehi et al. (2014) indiquant les effets du biosurfactant associé aux cellules, purifié à partir de *Lb. reuteri* (DSM20016) sur le profil d'expression génétique des gènes d'adhésion essentiels glucosyltransférases et de la fructosyltransférase chez *St. mutans* (ATCC 35668). Il est très important de noter que l'inhibition est principalement avantageuse en raison de sa sélectivité d'action et n'entrave pas les autres microbiotes buccaux autres que *S. mutans*.

Le biosurfactant associé aux cellules brutes dérivé de *Lb. rhamnosus* inhibe les biofilms produits par des bactéries potentiellement bactéries pathogènes, à savoir *S. aureus* et *P. aeruginosa*. Les biosurfactants associés aux cellules agissent de manière efficace sur la croissance et l'activité antibactérienne et anti-adhésive en association avec le mélange alcool polyvinylique-biosurfactant dans des plaques de verre et de plaques en plastique.

Moldes et al. (2013) ont caractérisé un biosurfactant de type glycoprotéine ou glycolipeptide produit à partir de *Lb. pentosus* par spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier montrant la présence de groupes OH et NH, l'étirement C=O des groupes carbonyles et la flexion NH (liaison peptidique) ainsi que CH₂—CH₃ et C—O indiquant la présence de fractions lipidiques. Ces spectres caractéristiques des biosurfactants ont été rapportés par plusieurs bactéries lactiques.

Sambanthamoorthy et al. (2014) ont étudié la production de biosurfactant par *Lb. jensenii* et *Lb. rhamnosus* et ont réalisé des études *in vitro* sur les capacités antimicrobiennes, anti-adhésives et anti-biofilms de la molécule liée aux cellules (structure non décrite) contre divers pathogènes tels que *E. coli*, *S. aureus* et *Acinetobacter baumannii* multi résistants. Sur des aspects similaires, Gomaa (2013) a rapporté la production de biosurfactant libre de cellules et de biosurfactant associé aux cellules en utilisant *Lb. acidophilus*, *Lb. brevis*, *Lb reuteri*.

Sharma et Singh Saharan (2014) ont utilisé *Lb. casei* MRTL3 comme souche productrice de biosurfactant et ont rapporté l'analyse du biosurfactant de type glycolipide par des études de chromatographie en couche mince. La présence de fragments de lipides et de sucres dans le biosurfactant a été confirmée par spectroscopie de résonance magnétique nucléaire ¹H. La présence de glycolipides esters méthyliques dans le biosurfactant a été

corrélée à une hydrophobie accrue et, par conséquent, à une amélioration non seulement de l'activité de surface du biosurfactant, mais aussi des activités hémolytiques et antifongiques.

Sharma et al. (2014) ont signalé un autre biosurfactant de type glycolipidique provenant de *Lactobacillus* spp. et comportant un mélange de fractions de sucre et de lipides, qui serait similaire au xylolipide. La spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier et l'analyse par résonance magnétique nucléaire ont confirmé la présence d'un glycolipide avec une chaîne d'acide gras hexadécanoïque (C16).

Vecino et al. (2015) ont rapporté la cellule de production associée de *Lb. pentosus* avec une composition à base d'acides gras (dans la partie de la chaîne hydrophobe) comprenant l'acide linoélaïdique, l'acide oléique, l'acide élaïdique, l'acide palmitique et l'acide stéarique. Les auteurs ont proposé que les chaînes d'acides gras du biosurfactant associées aux cellules soient très similaires aux fractions contenant des acides gras détectées dans le biosurfactant rhamnolipide.

Les études de Ceresa et al. (2015) ont démontré la production de biosurfactant acellulaire (structure non déterminée) à partir de *Lb. brevis* (CV8LAC) qui empêche l'adhésion de *C. albicans* sur des disques en élastomère de silicone de qualité médicale. Les auteurs ont ainsi prouvé que le biosurfactant est un espoir pour les approches biomédicales. A une concentration de 2000mg /ml, le biosurfactant a également réduit la formation des biofilms par *C. albicans* de 89 et 90% après 24 et 72 heures d'incubation.

Augustin et Hippolyte (2015) ont caractérisé le biosurfactant acellulaire (sans aucun détail de structure) de *Lactobacillus* spp. qui a été isolé du pendidam, un produit laitier fermenté (marque locale, Ngaoundere, Cameroun). La souche TM1 a montré un potentiel de production de biosurfactant dans l'effondrement des gouttes (7.30 mm de diamètre), la meilleure capacité d'émulsification (56.80%), et aussi une bonne réduction des valeurs de tension interfaciale (45.09 mN/m). Le biosurfactant acellulaire obtenu possède également un large spectre d'activité antimicrobienne contre des souches bactériennes comme *E. coli*, *B. cereus*, *Salmonella* spp. et *E. faecalis*.

Gudina et al. (2015) ont rapporté que la concentration bactérienne minimale des biosurfactants de *Lactobacillus paracasei* pour lutter contre *E. coli* et *S. aureus* était comprise entre 25 et 50 mg/ml. En outre, les propriétés antiadhésives les plus efficaces

(70 %) ont été démontrées contre *S. aureus* dans leur étude. Ils ont déclaré que le biosurfactant de *Lb. agilis* a montré un effet antiadhésif significatif contre *S. aureus*, *St. agalactiae*, et *P. aeruginosa*.

Rienzo et al. (2016) ont confirmé que les biosurfactants présentaient une activité antibactérienne plus importante contre *S. aureus* que contre *P. aeruginosa* et *E. coli*.

Sharma et Saharan (2016) ont étudié l'activité antimicrobienne des biosurfactants des BL (*Lb. helveticus* MRTL91) qui est isolé à partir de plusieurs sources, puis criblés (pour produire le biosurfactant). Les résultats ont montrés qu'une inhibition presque complète a été observée pour différentes concentrations de biosurfactant comprises entre 1,56 et 25 mg/ml sauf pour *Pseudomonas. aeruginosa*, *Salmonella typhi*, *Shigella flexneri* et *C. albicans*. La plus forte concentration de biosurfactant testée, à savoir 25 mg/ ml, a montré le plus haut pourcentage d'inhibition pour *Escherichia coli* (90,4 %), *Pseudomonas aeruginosa* (75,6%), *Salmonella typhi* (78,6%), *Shigella flexneri* (70,2%), *Staphylococcus aureus* (92,5 %), *Staphylococcus epidermidis* (98,4 %), *Listeria monocytogenes* (99,5 %), *Listeria innocua* (99,7 %) et *Bacillus cereus* (99%). En outre, il est remarquable qu'un degré élevé d'inhibition de la croissance a été observé (de 73,2 à 100%) avec la concentration de biosurfactant testée (25 mg/ml).

Morais et al .(2017) ont évalué les effets antimicrobiens des biosurfactants de *L. jensenii* P6A et de *Lb. gasseri* P65 (ces 2 souches sont isolées des fluides vaginaux de femmes en bonne santé) a montré des valeurs CMI similaires correspondant à 16 µg mL⁻¹ pour *E. coli*, et 128 µg mL⁻¹ pour *K. pneumoniae*, *Enterobacter. aerogenes* et *S. saprophyticus*. De plus, les extraits à une concentration de 16 µg mL⁻¹ ont complètement inhibé la croissance de *C. albicans*.

Conclusion

Dans l'industrie alimentaire, les biosurfactants ont été appliqués comme émulsifiants alimentaires, agents antioxydants, agents anti-film, agents antimicrobiens et antiadhésifs, par rapport aux tensioactifs chimiques. Les biosurfactants ont des avantages et des inconvénients qui sont les suivants : une faible productivité et un coût de production élevé, et les avantages sont : leur faible toxicité et de leur biodégradabilité plus élevée, meilleure compatibilité avec l'environnement, haute sélectivité, et efficacité à des températures, des salinités ou des pH extrêmes. Il est donc essentiel de trouver une méthode permettant d'assurer la production de biosurfactants à faible coût et avec un rendement plus élevé.

Les biosurfactants des bactéries lactiques peut également être intégré dans des formulations probiotiques pour combattre les infections des voies urinaires. Bien qu'il y ait potentiel immense dans les domaines biomédicales et alimentaires, leur application reste encore insuffisante en raison de l'insuffisance de données sur leurs détails structurels.

Références bibliographiques

- Arino S., Marchal R. et Vandecasteele J.P. (1996).** Identification and production of a rhamnolipidic biosurfactant by *Pseudomonas sp.* *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 45 :162-168.
- Al-Arajil., Abd Rahman R.N.Z.R., Basri, Salleh M.A.B. (2007).** Minireview : *Microbial Surfactant. (AsPac) J. Mol. Bio. Biotechnol.*, Vol. 15 No.3, p. 99-105.
- Augustin, M., Hippolyte, M.T., (2012).** Screening of biosurfactants properties of cell-free supernatants of cultures of *Lactobacillus spp.* isolated from a local fermented milk (Pendidam) of Ngaoundere (Cameroon). *Int. J. Eng. Res. Appl.*, 2, 974–985.
- Badis A., Laouabdia-Sellami N., Guetarni D., Kihal M.et Ouzroutr (2005).** Caractérisation phénotypique des bactéries lactiques isolées à partir de lait cru de chevre de deux populations caprines locales « Arabia et kabyle ». *Sciences & technologie N°23.*
- Banat I.M., Samarah N., Murad M., Horne R & Benerjee S. (1991).** Biosurfactant production and use in oil tank clean-up. *World journal of microbiology and biotechnology.* 7; pp 80-84.
- Bharali P, Saikia JP, Ray A, Konwar BK. (2013).**Rhamnolipid (RL) from *Pseudomonas aeruginosa* OBP1: a novel chemotaxis and antibacterial agent. *Colloids Surf B: Biointerfaces* 103:502–509
- Bekhouche F.(2006) .** *Bactéries lactiques du lait cru de vache et Microorganismes pectinolytiques des olives noires et vertes.* Thèse de doctorat. Université De Mentouri Constantine.
- Cameotra S.S. et Makkar R.S. (1998).** Synthesis of biosurfactants in extreme conditions. *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, 50 : 520-529.
- Cameotra S.S., Singh P., (2009).** Synthesis Of Rhamnolipid Biosurfactant And Mode Of Hexadecane Uptake By *Pseudomonas* species, *Microb Cell Fact.* Vol. 8, N°. 16.
- Cazals F. (2020).** *Combinaison du lavage par biosurfactants et de la biodégradation dynamisée, pour la dépollution des eaux souterraines de sites contaminés par des HAP.* Thèse de doctorat de l'université Paris-Est, Spécialité Science et Technique de l'environnement,p267
- Ceresa, C., Tessarolo, F., Caola, I., Nollo, G., et al., (2015).** Inhibition of *Candida albicans* adhesion on medical-grade silicone by a *Lactobacillus*-derived biosurfactant. *J. Appl. Microbiol.*, 118, 1116–1125
- De Man, J.C., Rogosa, M., Sharpe, M.E., (1960).** A medium for cultivation of *Lactobacilli*. *J. Appl. Bacteriol.*, 23, 130–135
- Desai J. D., Banat I.M. (1997).** Microbial Production Of surfactants And Their Commercial Potential, *microbial. And mol. Biol. Reviews*, 61 : 47-64.
- Djerbaoui,A.N., (2011).** *Utilisation de souches bactériennes autochtones dans la production de biosurfactant et la bioremédiation des sols de Hassi Messaoud contaminés par les Hydrocarbures.* Mémoire de magister. Université de Ouargla Kasdi Merbah.p133
- Dortu C.et Thonart P. (2009).** Les bactériocines des bactéries lactiques : Caractéristiques et intérêts pour la bioconversion des produits alimentaires. *Biotechnol.agron.Soc.Env.*13(1) :143-154.
- Fracchia, L., Cavallo, M., Allegrone, G., Martinotti, M.G., (2010).** A *Lactobacillus*-derived biosurfactant inhibits biofilm formation of human pathogenic *Candida albicans* biofilm producers, in: Méndez-Vilas, A. (Ed.), *Current Research, Technology and Education Topics in Applied Microbiology and Microbial Biotechnology (Microbiology Book Series, No. 2, vol. 2), FORMATEX, Spain.* pp. 827–837.
- Gabet S. (2004).** Remobilisation d'Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP) présents dans les sols contaminés à l'aide d'un tensioactif d'origine biologique. Thèse de doctorat de l'université de Limoges, spécialité Chimie et Microbiologie de L'eau, p.177

Références bibliographiques

- Gan, B.S., Kim, J., Reid, G., Cadieux, P., et al., (2002).** Lactobacillus fermentum RC-14 inhibits Staphylococcus aureus infection of surgical implants in rats. *J. Infect. Dis.*, 185, 1369–1372
- Golek, P., Bednarski, W., Brzozowski, B., Dziuba, B., (2009).** The obtaining and properties of biosurfactants synthesized by bacteria of the genus *Lactobacillus*. *Ann. Microbiol.*, 59, 119–126
- Gomaa, E.Z., (2013).** Antimicrobial and anti-adhesive properties of biosurfactant produced by Lactobacilli isolates, biofilm formation and aggregation ability. *J. Gen. Appl. Microbiol.*, 59, 425–436.
- Gudina EJ, Fernandes EC, Teixeira JA, Rodrigues LR.,(2015).** Antimicrobial and anti-adhesive activities of cell-bound biosurfactant from *Lactobacillus agilis* CCUG31450. The Royal Society of Chemistry
- Guerra-Santos L., Cappeili O. et Fiechter A. (1986).** Dependence of *Pseudomonas aeruginosa* continuous culture biosurfactant production on nutritional and environmental factors. *Appl Microbiol. Biotechnol*, 24 : 443-448.
- Haigh S.D. (1996).** A review of the interaction of surfactants with organic contaminants in soil. *The Science of the Total Environment*, 185 : 161-170.
- Hassan A N.and Frank J.F. (2001).** Starter cultures and their use. Applied dairy Microbiology (Marth E.H et Steele J.L) 2^e Ed., Marcel Dekker, Inc. New York. 151-205
- Herry et Bellon-Fontaine (2001).** Biosurfactants, surface-active biomolecules with wide potential application. *International Journal of Food science and Technologie* Vol.21; N^o. 6.
- Hogg T. (2005).** Essential microbiology. John Wiley & Sons Ltd. 188-190
- Huang X.F., Guan W., Liu J., Lu L. J., Xu J.C., Zhou Q. (2010).** Characterization and phylogenetic Analysis Of Biodemulsifier-Producing Bacteria, *Bioresource Technology*, Vol. 101, p. 317-323.
- König, H., Fröhlich, J.(2009).** Lactic acid bacteria, Biology of microorganismes on grapes ,in must and in wine .Springer-verlag Berlin Heidelberg
- Lang et Wullbrandt (1999),** Rhamnose lipids biosynthesis-Microbial production and application potential, *Appl. Microbiol. Biotechnol*, 51 : 22-32.
- Larpent C. (1995).** Tensio-actifs. Techniques de l'ingénieur traité constantes physicochimiques K 342; pp 1-13.
- Laurila M.A. (1985).** Biosurfactants production by mutants of *Pseudomonas aeruginosa*. Thèse de doctorat. Department of biotechnology, Swiss Federal Institut of technology Zurich, Switzerland. Pp 1-10 (117 p).
- Maghnia D., (2011).** Etude de potentiel technologique des bactéries lactiques isolées des aliments fermentés traditionnels algériens. Mémoire de magister en Microbiologie Alimentaire. Université d'Oran-Es-Senia. 126p
- Marchant R, Banat IM (2012)** Biosurfactants: a sustainable replacement for chemical surfactants? *Biotechnol Lett* 34(9):1597–1605
- Marcou L. (1989).** Les applications des agents de surfaces. Dans les phénomènes d'interfaces : Agents de surface, principe et mode d'action. (350 p).
- Mimouni (1995).** Sélection des souches bactériennes productrices de biosurfactant à partir de sols contaminés par les hydrocarbures. *Rapport d'avancement* N^o.1 ; pp 1-25.
- Moldes, A.B., Paradelo, R., Vecino, X., Cruz, J.M., et al., (2013).** Partial characterization of biosurfactant from *Lactobacillus pentosus* and comparison with sodium dodecyl sulphate for the bioremediation of hydrocarbon contaminated soil. *BioMed. Res. Int.*, 1–9

Références bibliographiques

- Penaud S.(2006).** Analyse de la séquence génomique et étude de l'adaptation à l'acidité de *Lb.delbrukiissp.Bulgaricus* ATCC11842. Thèse de doctorat. Institut National agronomique de paris-grignon
- Pore J. (1992).** Les agents de surface. Chapitre. 1. Dans Micro-émulsions, Emulsions multiples, Agents de surface. (270 p).
- Rienzo MAD, Stevenson P, Marchant R, Banat IM. (2016).** Antibacterial properties of biosurfactants against selected gram-positive and -negative bacteria. *FEMS Microbiology Letters* ; 363: 1-8.
- Rodrigues, L., Moldes, A., Teixeira, J., Oliveira,R .(2006).**“Kinetic study of fermentative biosurfactant production by *Lactobacillus* strains,” *Biochemical Engineering Journal*, vol. 28, no. 2, pp. 109–116.
- Salehi, R., Savabi, O., Kazemi, M., Kamali, S., et al., (2014).** Effects of *Lactobacillus reuteri*-derived biosurfactant on the gene expression profile of essential adhesion genes (gtfB, gtfC and ftf) of *Streptococcus mutans*. *Adv. Biomed. Res.*, 3, 169.
- Salminen, S.,Wright,A.V., Ouwehand A.C.(2004).**Lactic Acid Bacteria Microbiological and Functional Aspects Third edition Taylor& Francis Group.Boca Raton London New york
- Sambanthamoorthy, K., Feng, X., Patel, R., Patel, S., et al., (2014).** Antimicrobial and antibiofilm potential of biosurfactants isolated from *Lactobacilli* against multi-drug resistant pathogens. *BMC Microbiol.*, 14(1) - 197
- Sharma, D., Singh Saharan, B., Chauhan, N., Bansal, A., et al., (2014).** Production and structural characterization of *Lactobacillus helveticus* derived biosurfactant. *The Scientific World J.*, 1–9
- Sharma, D., Singh Saharan, B.,(2014).** Simultaneous production of biosurfactants and bacteriocins by probiotic *Lactobacillus casei* MRTL3. *Inter. J. Microbiol.*, 1–7
- Sharma D, Saharan BS, Chauhan N, Procha S, Lal, S (2015).** Isolation and functional characterization of novel biosurfactant produced by *Enterococcus faecium*. *SpringerPlus* 4 (1):1–14
- Sharma D, Saharan BS, Kapil S. (2016).** Structural Properties of Biosurfactants of Lab In : Biosurfactants of Lactic Acid Bacteria. *SpringerNature* ; Switzerland pp. 47-58
- Sharma D, Saharan BS, Kapil S. (2016).** Substrates and Production of Biosurfactants In : Biosurfactants of Lactic Acid Bacteria. *SpringerNature* ; Switzerland pp. 61-72
- Stiles, M. E., and Holzapfel, W. H. (1997).** Lactic acid bacteria of foods and their current taxonomy. *Int. J.Food Microbiology*, 36(1) : 1–29.
- Streit F. (2008).** *Influence des conditions de récolte et de concentration sur l'état physiologique et la Cryo tolérance de lactobacillus delbrueckii sub sp.bulgaricus CF11.*Thèse de doctorat .l'institut des sciences et industries du vivant et de l'environnement (Agro paris tech).
- Tahmourespour, A., Salehi, R., Kermanshahi, R.K., Eslami, G. (2011).** The anti-biofouling effect of *Lactobacillus fermentum*-derived biosurfactant against *Streptococcus mutans*. *Biofouling*, 27, 385–392
- Vandamme P.,pot B.,Gillis M.,Devvos P .,Keresters K. et al .(1996).** Polyphasic Taxonomy, a Consensus Approach to Bacterial Systematics. *Microbial . Rev .* 60 :407.
- Van Hamme JD, Singh A, Ward OP (2006)** Physiological aspects: Part 1 in a series of papers devoted to surfactants in microbiology and biotechnology. *Biotechnol Adv* 24(6):604–620
- Vecino, X., Barbosa-Pereira, L., Devesa-Rey, R., José, M.C., et al., (2015).** Optimization of extraction conditions and fatty acid characterization of *Lactobacillus pentosus* cell-bound biosurfactant/bioemulsifier. *J. Sci. Food Agric.*, 95, 313–320

Références bibliographiques

Velraeds, M.M.C., van der Mei, H.C., Reid, G., Busscher, H. (1996). Inhibition of initial adhesion of uropathogenic *Enterococcus faecalis* by biosurfactants from *Lactobacillus* isolates. *Appl. Environ. Microbiol.*, 62, 1958–1963

Velraeds, M.M.C., van de Belt-Gritter, B., van der Mei, H.C., Reid, G., et al., (1998). Interference in initial adhesion of uropathogenic bacteria and yeasts to silicone rubber by a *Lactobacillus acidophilus* biosurfactant. *J. Med. Microbiol.*, 47, 1081–1085.

Velraeds, M.M. C., Van der Mei, H.C., Reid, G., Busscher, H.G (1996). “Physicochemical and biochemical characterization of biosurfactants released by *Lactobacillus* strains,” *Colloids and Surfaces B*, vol. 8, no. 1-2, pp. 51–61

Walencka, E., Rozalska, S., Sadowska, B., Rozalska, B.(2008). The influence of *Lactobacillus acidophilus* derived surfactants on staphylococcal adhesion and biofilm formation. *Folia Microbiol.*, 53(1), 61–66

Zhang H .et Cai Y.(2014). Lactic Acid Bacteria Fundamentals and Practice. Springer Dordrecht Heidelberg New York London P535.

Résumé

Les biosurfactants sont produits par plusieurs bactéries telles que : *Bacillus* et *Pseudomonas*. Récemment plusieurs études ont montré que les bactéries lactiques ont aussi la propriété de produire ces molécules.

L'importance des biosurfactants est progressivement augmentée au cours de la dernière décennie grâce à leur vaste application comme : la thérapie, l'émulsification, la bioremédiation, etc.

D'après plusieurs études réalisées, plusieurs types de biosurfactants peuvent être obtenus par une variété de souches lactiques avec des activités antimicrobienne et antiadhésive ; jouant ainsi un rôle thérapeutique important.

Les mots clés : activité antimicrobienne, activité antiadhésive, bactéries lactiques, biosurfactants.

Abstract

Biosurfactants are produced by several bacteria such as: *Bacillus* and *Pseudomonas*. Recently, several studies have shown that lactic acid bacteria have the property to produce these molecules.

The importance of biosurfactants is gradually increasing during the last decade due to their wide application as: therapy, emulsification, bioremediation, etc.

According to several studies carried out, several types of biosurfactants can be obtained by a variety of lactic strains with antimicrobial and antiadhesive activities; thus playing an important therapeutic role.

Keywords : antimicrobial activities, antiadhesive activities, biosurfactants, lactic acid bacteria.

الملخص

تنجح عدة أنواع من البكتيريا مواد خافضة للتوتر السطحي مثل: *Bacillus* و *Pseudomonas*. أظهرت العديد من الدراسات مؤخرًا أن بكتيريا حمض اللاكتيك كذلك لها خاصية إنتاج هذه الجزيئات.

ازدادت أهمية المواد الخافضة للتوتر السطحي تدريجياً خلال العقد الماضي بسبب تطبيقها الواسع مثل: العلاج ، الاستحلاب ، المعالجة البيولوجية ، إلخ.

وفقاً للعديد من الدراسات التي تم إجراؤها، يمكن الحصول على عدة أنواع من المواد الخافضة للتوتر السطحي من خلال مجموعة متنوعة من سلالات حمض اللاكتيك ذات الأنشطة المضادة للميكروبات والالتصاق ؛ وبالتالي يلعب دوراً علاجياً مهماً.

الكلمات المفاتيح

النشاطات المضادة للميكروبات، النشاطات المضادة للالتصاق، المواد الخافضة للتوتر السطحي، بكتيريا اللبن