

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA



FACULTE DES SCIENCES

DEPARTEMENT DE MICROBIOLOGIE & BIOCHIMIE

N° :

DOMAINE : SCINCES DE LA NATURE ET DE LA VIE

FILIERE : SCIENCES BIOLOGIQUES

OPTION : MICROBIOLOGIE APPLIQUEE

Mémoire présenté pour l'obtention

Du diplôme de Master Académique

Par : Ghanes Asma, Zerroukhi Maroua, Lamara Amina, Benyettou Nawal

Intitulé

Les biosurfactants : Caractéristiques et Applications

Soutenu devant le jury composé de :

Dr. GUETOUACHE Mourade	Université Mohamed Boudiaf M'silla	Président
Dr. ARIECH Mounira	Université Mohamed Boudiaf M'silla	Rapporteur
Dr. BOUBEKEUR Hafsa	Université Mohamed Boudiaf M'silla	Examinateur

Année universitaire : 2022 /2023

Dédicace

*Je dédie ce mémoire A la pensée de ma grande mère **Zohra***

Que Je prie Allah de la bénir de sa miséricorde

Et de l'amener dans son paradis

Au meilleur des pères A ma très chère maman Qu'ils trouvent en moi la

Source de leur fierté A qui je dois tout.

A mes frères et sœurs A qui je souhaite un avenir radieux plein de réussite

A mon mari : Pour tout l'encouragement, le respect que tu m'as offert, Je te

Dédis ce travail, qui n'aurait pas pu être achevé sans ton éternel soutien et

Optimisme.

*A docteur **Dr. HARAR ABDENASSAR** qui a*

Partagée avec moi tous les astuces et les orientations lors de la réalisation de

Ce travail, que dieu te protégé mon meilleur enseignant au monde.

*A mes amies **Maïssa, Amina, Asma et Maroua***

A mes camarades de la promotion

Sans oublier tous les professeurs que ce soit

Du primaire, du moyen, du secondaire ou de

L'université.

Nawal

Dédicace

J'ai l'honneur de dédier ce travail :

Mon bon Dieu de m'avoir aidé à réaliser ce mémoire.

*A la lumière de mes jours, la source de mes efforts à mon bonheur maman **Nadjet**, le symbole de tendresse, école de mon enfance, qui a veillé le long de ma vie à m'encourager afin de suivre le bon chemin dans ma vie.*

*A l'homme de ma vie, mon exemple éternel, mon soutien moral celui qui a toujours sacrifié pour me voir réussir, à toi mon père **Tayeb**. Merci pour tes sacrifices sans cesse pour mon éducation et mon bien être.*

*A mes adorables et chères sœurs que la vie m'a données, mes fidèles accompagnantes dans les moments les plus difficiles, mes fleurs **Wafa Khawla Anfal Sara Aziza Chafia**.*

*A mes adorables petits frères **Saber** et **Basste**. Que Dieu les protège et les garde pour moi.*

A tous ceux qui n'ont jamais cessé de m'encourager.

*A toute ma famille **Ghanes**.*

Asma

Dédicace

J'ai l'honneur de dédier ce travail :

Mon bon Dieu de m'avoir aidé à réaliser ce mémoire.

*A l'amour de ma vie, ma raison de vivre, la lumière de mes jours, mon bonheur ma maman **Nasira** chérie qui n'a jamais cessé d'être à mes côtés et de m'encourager tout au long de mon. Je te remercie pour tout le soutien et l'amour que tu me portes depuis mon enfance et j'espère que ta bénédiction m'accompagne toujours. Tu es l'exemple de dévouement qui n'a pas cessé de m'encourager et de prier pour moi. Puisse Dieu, le tout puissant, te préserver et t'accorder santé, longue vie et bonheur.*

*A mon papa **Saleh** aussi, rien au monde ne vaut les efforts fournis jour et nuit pour mon éducation et mon bien être. Votre chaleur paternelle a été et sera toujours pour moi d'un grand réconfort. Ce travail est le fruit de vos sacrifices que vous avez consentis pour mon éducation et ma formation. Je souhaite que vous trouviez en moi source de fierté.*

*A mon très cher frère **Mounir** pour son appui et son*

Encouragement a tout ma famille

A tous mes enseignants depuis l'école primaire jusqu'à ce jour. A tous ceux que j'aime et qui m'aiment, que Dieu vous réserve bonne santé, bonheur et longue vie.

Maroua

Dédicace

Je dédie ce mémoire à

*Mes chers parents pour leur amour inestimable, leurs sacrifices, leur confiance,
leur soutien et toutes les valeurs qu'ils ont su m'inculquer.*

À mon mari, merci d'être toujours là pour moi et pour m'encourager.

*À mes frères : **Oussama, Hamza, Akram** et mes sœurs : **Karima, Asma.***

*À mes enfants : **Anes et Dina** et la famille de mon mari*

Mes amies et mes collègues de travail

A toute ma promotion de master- microbiologie appliquée

Amina

Remerciement

Au terme de ce modeste travail, nous tenons à exprimer notre profonde et nos vifs remerciements :

*Avant tout, nous remercions **ALLAH** pour nous avoir donné la*

Force et la patience pour mener à terme ce travail.

A nos parents qui nous ont toujours encouragés et soutenus durant toutes nos études.

*Nous remercions très chaleureusement notre promotrice **Dr AREICH Monira**, nous lui exprimons notre gratitude pour sa disponibilité et l'aide précieuse qu'elle nous a offert pour que ce mémoire puisse voir le jour.*

*Nous remercions très chaleureusement **Dr. HARAR Nacer**, qui est surtout qui nous a encouragé, aidé et guidé avec ses précieux conseils et sa disponibilité pour nous avoir dirigé et accomplir ce travail*

Nous remercions les membres du jury pour avoir accepté l'évaluation de ce mémoire.

Enfin, il nous serait difficile d'omettre de remercier tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à ce travail. Qu'ils trouvent dans ses quelques lignes l'expression de nos sincères remerciements

Sommaire

Résumé	i
Liste des abréviations	ii
Liste des figures	iii
Liste des tableaux	iv
Introduction.....	1
ChapitreI. Caractéristiques des biosurfactants	2
I.1. Surfactants.....	2
I.2. Biosurfactants.....	2
I.2.1. Définition	2
I.3. Classification des biosurfactants:	3
I.3.1. Les glucolipides.....	4
I.3.2. Lipoprotéines et lipopeptides	6
I.3.3. Acides gras	6
I.3.4. Les phospholipides	7
I.3.5. Biosurfactants polymériques	7
I.3.6. Biosurfactants en particules	7
I.4. Les propriétés des biosurfactants	7
I.4.1. Activité sur les surfaces et les interfaces	8
I.4.2. Emulsifiant	9
I.4.3. Dispersant	9
I.4.4. Adsorbant	9
I.4.5. Mouillant	9
I.4.6. Moussant	10
I.4.7. Toxicité et biodégradabilité.....	10
I.5. Production microbienne de biosurfactants.....	11
I.6. Rôle physiologique des biosurfactants dans les micro-organismes	12

I.7. Extraction des biosurfactants	12
I.8. Avantages des biosurfactants	13
I.9. Facteurs influençant la production de biosurfactants	14
I.9.1. Sources de Carbone	14
I.9.2. Sources d'azote	14
I.9.3. Les facteurs environnementaux	14
I.9.4. Aération et agitation.....	15
I.9.5. Concentration en sel.....	15
ChapitreII. Application des biosurfactants	16
II.1. Application dans l'environnement	16
II.2. Les biosurfactants dans les industries de transformation du pétrole	17
II.3. Biosurfactants et bio remédiation	19
II.4. Application des biosurfactants dans la nanotechnologie	20
II.5. Application dans l'agriculture.....	20
II.6. Biosurfactants comme bio pesticide.....	21
II.7. Application dans l'industrie alimentaire	21
II.8. Application en médecine	22
II.8.1. Activité antimicrobienne.....	23
II.8.2. Activité anti-cancéreuse.....	24
II.8.3. Comme agents antiadhésives	24
II.8.4. Activité antivirale (Les biosurfactants : Une perspective Covid-19)	25
II.9. Dans l'industrie cosmétique	27
II.10. Application dans le domaine pharmaceutique	28
II.11. Autres applications des biosurfactants	29
Conclusion	31
Références bibliographiques	32

ملخص

تم إنتاج المواد الخافضة للتوتر السطحي الميكروبي صناعياً وتطبيقها في العديد من المجالات حول العالم. يتزايد إنتاج المواد الخافضة للتوتر السطحي كل عام، مما يعكس الموقف العالمي تجاه المنتجات الآمنة والصديقة للبيئة. تتمتع المواد الخافضة للتوتر السطحي المشتقة حيويًا بالعديد من المزايا مقارنة بنظيراتها المركبة كيميائياً، بما في ذلك التحلل البيولوجي، والخصوصية، وانخفاض السمية.

تتكون المواد الخافضة للتوتر السطحي من أجزاء محبة للماء ومضادة للماء، ويكون الجزء الكارهة للماء في معظم الحالات هيكل دهني، ومع ذلك، فإن السكريات والأحماض الأمينية والبروتينات والفوسفات تمثل الجزء المحب للماء. تم الإبلاغ عن العديد من الكائنات الحية الدقيقة لإنتاج المواد الخافضة للتوتر السطحي. إن إنتاج ونوع الخافض للتوتر الجرثومي متعلق بالأنواع الجرثومية ويعتمد على العوامل الغذائية والبيئية. يمكن تصنيف المواد الخافضة للتوتر السطحي وفقاً لخصائصها الفيزيائية أو الكيميائية، كما يعتبر التركيب الكيميائي للمواد الخافضة للتوتر السطحي معيار التصنيف الرئيسي.

Abstract

Industrially produced biosurfactants, also known as tensioactive microbes, have been used in many different fields all over the world. Each year, the production of microbiological tensioactives rises, reflecting the global attitude toward environmentally safe and responsible products, who reflects the global mindset toward safe products that respect the environment. Comparing biologically derived tensioactives to their chemically synthesized counterparts, there are several advantages. Specifically, the biodegradability, specificity, and least toxicity were chemically synthesized, as well as a lesser toxicity. Biosurfactants are made up of hydrophilic and hydrophobic groups, with the hydrophobic component typically being a lipidic structure. Nevertheless, the hydrophilic portion is made up of sugars, amino acids, proteins, and phosphates. Several microorganisms have been identified as producing tensioactive substances. The output Production processes and the type of surfactant microbiota produced are unique to each species and are influenced by nutritional and environmental factors. The classification of biosurfactants can be done according to their physical or chemical properties. The primary criterion for classification of biological tensioactives is their chemical structure.

Résumé

Les tensioactifs microbiens ont été produits industriellement et appliqués dans de nombreux domaines à travers le monde. La production de tensioactifs microbiens augmente chaque année, ce qui reflète l'attitude mondiale à l'égard des produits sûrs et respectueux de l'environnement. Les tensioactifs d'origine biologique présentent plusieurs avantages par rapport à leurs homologues synthétisés chimiquement, notamment la biodégradabilité, la spécificité et non toxicité. Les biosurfactants sont composés de parties hydrophiles et hydrophobes, la partie hydrophobe étant dans la plupart des cas une structure lipidique. Cependant, les sucres, les acides aminés, les protéines et les phosphates représentent la partie hydrophile. De nombreux micro-organismes ont été signalés comme produisant des agents tensioactifs. La production et le type de surfactant microbien produit sont spécifiques à l'espèce et dépendent de facteurs nutritionnels et environnementaux. Les biosurfactants peuvent être classés en fonction de leurs propriétés physiques ou chimiques. La structure chimique des tensioactifs biologiques représente le principal critère de classification.

Liste des abréviations

BS : biosurfactants.

IFT : interfaciale tension.

FST : surface tension.

EPS : Exopolysaccharides.

CMC : Concentration Micellaire Critique.

SDS : Dodécylsulfate de sodium.

BSA : Albumine Sérique Bovine.

MEOR: Microbial Enhanced Oil Recovery.

EOR: Enhanced Oil Recovery.

SL: Sophorolipides.

EC50: Effective Concentration to decrease 50% of test population.

Liste des figures

Figure I.1. Représentation schématique du tensioactif et de son comportement à l'interface eau-huile.	2
Figure I.2. Structure chimique de quelques biosurfactants communs.....	3
Figure I.3. Des structures générales des tentioactifs.	4
Figure I.4. Structure de mono et di rhamnolipides	5
Figure I.5. Structures communes des sophorolipides.....	6
Figure I.6. Représentation des différentes propriétés fonctionnelles des Biosurfactant.	8
Figure II.1. Mécanisme de récupération améliorée du pétrole par les biosurfactants	19
Figure II.2.. Multifonctionnel prospective des biosurfactants dans l'agriculture.....	20
Figure II.3. Représentation schématique des biosurfactants à activité antimicrobienne produits par des micro-organismes associés à la santé humaine	23
Figure II.4. (A) Structure d'une molécule de biosurfactants. (B) Interaction de la solution de biosurfactants avec la saleté. (C) Effet attendu des biosurfactants sur le coronavirus	26
Figure II.5. L'angle de contact diminue avec la baisse de la tension superficielle	27
Figure II.6. Analyse des forces, faiblesses, opportunités et menaces des biosurfactants pour les applications pharmaceutiques	29

Liste des tableaux

Tableau I.1. Principales classes de biosurfactants et micro-organismes producteurs	11
Tableau II.1. Application des biosurfactants dans l'industrie pétrolière	18

Introduction

Introduction

Biosurfactant est un mot composé de deux parties : "bio" et "surfactant "ce qui signifie surfactant, agent tensioactif, produit à partir d'une origine biologique. L'origine biologique est principalement constituée de bactéries, de champignons et de levures (Mukherjee, Das *et al.* 2006) , bien que les cellules animales et végétales produisent également des biosurfactants. (S.J, Banat *et al.* 2018). Sur le plan structurel, les biosurfactants sont un groupe diversifié d'amphiphiles composés de deux entités (parties) :hydrophile (polaire) et hydrophobe (non polaire).(Pacwa-Płociniczak, Płaza *et al.* 2011)

En raison de leurs activités de surface, les biosurfactants ont été signalés par (Desai et Banat 1997) comme étant d'excellents dispersants, émulsifiants, moussants et agents mouillants prometteurs, ce qui les rendent applicables dans plusieurs industries (Muthusamy *et al.*, 2008) telles que la production alimentaire, la pharmacie, les cosmétiques, l'agriculture et la chimie. (Banat, Franzetti *et al.* 2010)

Les biosurfactants présentent divers avantages par rapport aux biodégradabilité dans la nature, non toxicité, leur faible coût de production à partir de sources renouvelables et leur stabilité dans des conditions extrêmes telles que l'eau, l'air et l'eau de mer, une large gamme de pH et la salinité. (Inamuddin *et al.*,2023)

En outre, les consommateurs sont de plus en plus conscients de la nécessité de réduire l'utilisation de composés artificiels ou synthétisés chimiquement et de les remplacer par des ingrédients et additifs alimentaires plus naturels. (Shepherd, Rockey *et al.* 1995).

Le marché des biosurfactants s'élevait à 3,99 milliards USD en 2016 et devrait atteindre 5,52 milliards USD d'ici 2022, taux de croissance annuel composé de 5,6 % au cours de la période de prévision. L'Asie-Pacifique est le marché des biosurfactants qui connaît la croissance la plus rapide en raison des avancées technologiques et des pays émergents de la région qui demandent des produits innovants et les pays émergents de la région demandent des produits innovants, biodégradables, renouvelables et non toxiques. (Markets and Markets., 2016).

Les biosurfactants présentent de nombreux avantages et applications dans l'industrie ,l'agriculture, médecine, l'alimentationetc mais est ce que ces molécules qui dérivés à des origines biologiques peuvent-ils être plus efficace que les surfactants synthétisés chimiquement ?

Chapitre I : Caractéristiques des biosurfactants

Chapitre I. Caractéristiques des biosurfactants

I.1. Surfactants

Les surfactants sont des composés amphiphiles contenant à la fois des parties hydrophobes (non polaires) et hydrophiles (polaires), qui leur confèrent la capacité de s'accumuler entre les phases fluides comme l'huile/l'eau ou l'air/l'eau, réduisant les tensions superficielles et interfaciales et formant des émulsions (Desai and Banat 1997). Les propriétés d'activité de surface font des surfactants l'une des classes de produits chimiques les plus importantes et les plus polyvalentes, utilisée pour une variété d'applications dans les ménages, l'industrie et l'agriculture (Deleu and Paquot 2004).

I.2. Biosurfactants

I.2.1. Définition

Le terme " biosurfactants " fait référence à une classe de molécules tensioactives qui sont structurellement diverses et fréquemment produites par des micro-organismes (bactéries, levures, champignons et algues halophiles) (Ron and Rosenberg 2001, Chen, Baker et al. 2007, Kebbouche-Gana, Gana et al. 2009). Les BS sont des biomolécules amphiphiles qui contiennent à la fois une partie hydrophile appelée "tête" et une partie hydrophobe appelée "queue". Généralement, le groupe hydrophile est composé d'acides aminés, peptides ou polysaccharides ; le groupe hydrophobe est constitué d'acides gras saturés ou insaturés (Rodrigues, Banat et al. 2006). Parmi les différents biosurfactants décrits, on trouve ceux à base de glycolipides, de lipopeptides, de phospholipides, de lipides neutres, d'acides gras ou de lipopolysaccharides (Meylheuc, Herry et al. 2001).

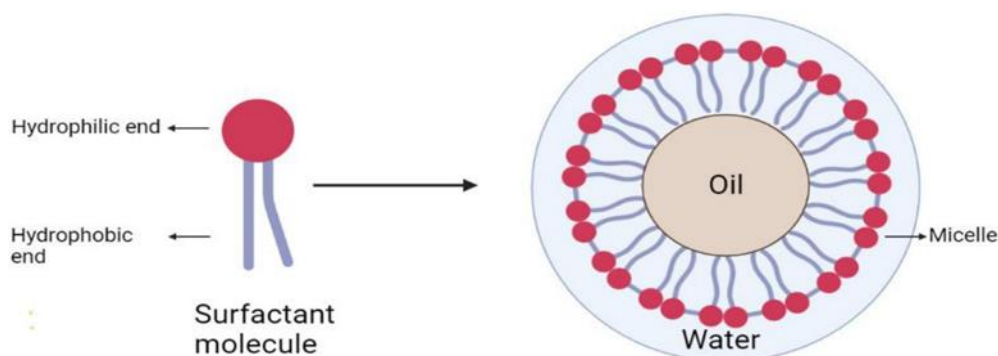


Figure I.1. Représentation schématique du tensioactif et de son comportement à l'interface eau-huile, conduisant à la formation de micelles (Sharma, Lavania et al. 2021).

I.3. Classification des biosurfactants:

Les biosurfactants sont principalement classés en fonction de leur structure chimique et de leur origine microbienne. Les principales classes de biosurfactants glycolipides, les phospholipides, les biosurfactants polymériques et les lipopeptides (surfactine). Les glycolipides les plus connus sont les rhamnolipides, les sophorolipides et les tréhalolipides (Md 2012).

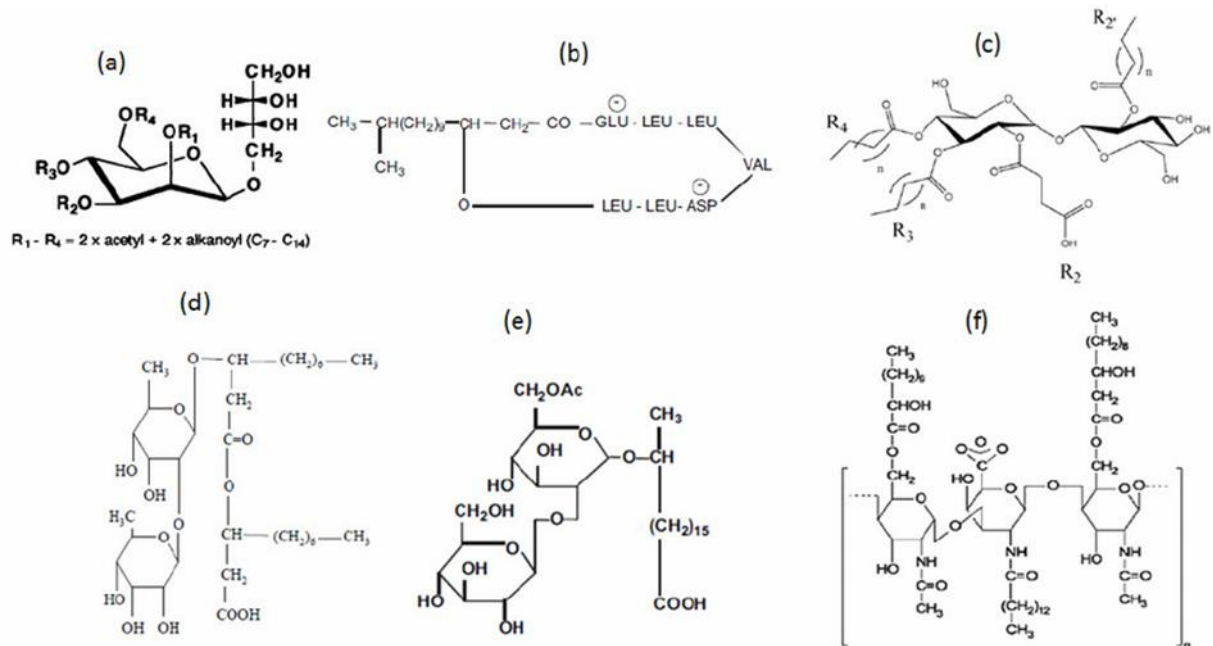


Figure I.2. Structure chimique de quelques biosurfactants communs (Md 2012).

a) Lipide mannosylerythritol. (b) Surfactine. (c) Lipide trehalose. (d) Sophorolipides. (e) Rhamnolipide. (f) Emulsane.

Les tensioactifs peuvent être classés en fonction de la nature de la modification de la fraction polaire (Rahman and Gakpe 2008).

** Les tensioactifs anioniques sont chargés négativement (généralement utilise sulfonate ou groupe soufre).

**Les tensioactifs non ioniques sont dépourvus de composants ioniques et la majorité des tensioactifs non ioniques sont des produits de polymérisation.

** Les tensioactifs cationiques sont caractérisés par un groupe qui est chargé positivement.

**Les agents tensioactifs amphotères ont des parties chargées positivement et négativement dans la même molécule.

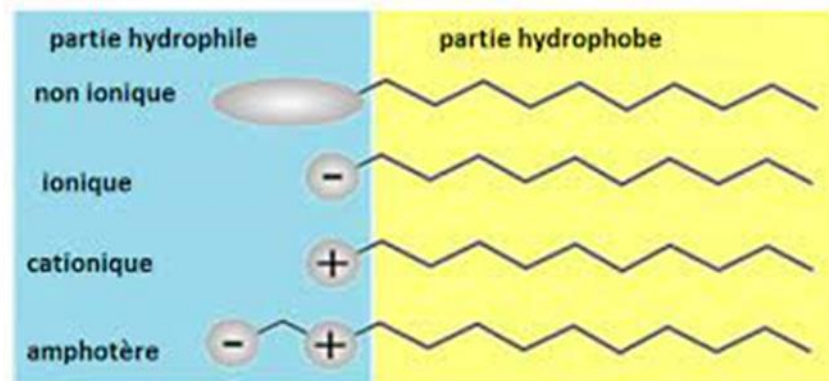


Figure I.3. Des structures générales des tensioactifs.

Les biosurfactants peuvent être divisés en molécules de faible masse moléculaire, qui réduisent efficacement la tension superficielle et interfaciale, et polymères de masse moléculaire élevée, qui sont plus efficaces en tant qu'agents stabilisateurs d'émulsion. Les principales classes d'agents tensioactifs de faible masse sont les suivantes : les glycolipides, les lipopeptides et les phospholipides, tandis que les tensioactifs de masse comprennent les tensioactifs polymériques et particuliers. La plupart des biosurfactants sont anioniques ou neutres et la partie hydrophobe est basée sur des acides gras à longue chaîne ou des dérivés d'acides gras, tandis que la partie hydrophile peut être un hydrate de carbone, un acide aminé, un phosphate ou un peptide cyclique (Nitschke and Costa 2007).

I.3.1. Glycolipides

Les biosurfactants les plus connus sont les glycolipides. Il s'agit d'hydrates de carbone combinés à un acide aliphatique à longue chaîne ou à un acide hydroxy aliphatique. Parmi les glycolipides, les plus connus sont les rhamnolipides, les tréhalolipides et les sophorolipides (Nitschke and Costa 2007).

I.3.1.1 Rhamnolipides

Le groupe de tensioactifs glycolipidiques composés d'acides gras 3-hydroxy (partie hydrophobe) et de rhamnose, une partie hydrophile disaccharide, est appelé "rhamnolipides" (Lang and Wullbrandt 1999). Les rhamnolipides ont été largement étudiés et produits par *Pseudomonas*

aeruginosa sous la forme d'un mélange homologue de différentes espèce (Rahman, Rahman *et al.* 2002).

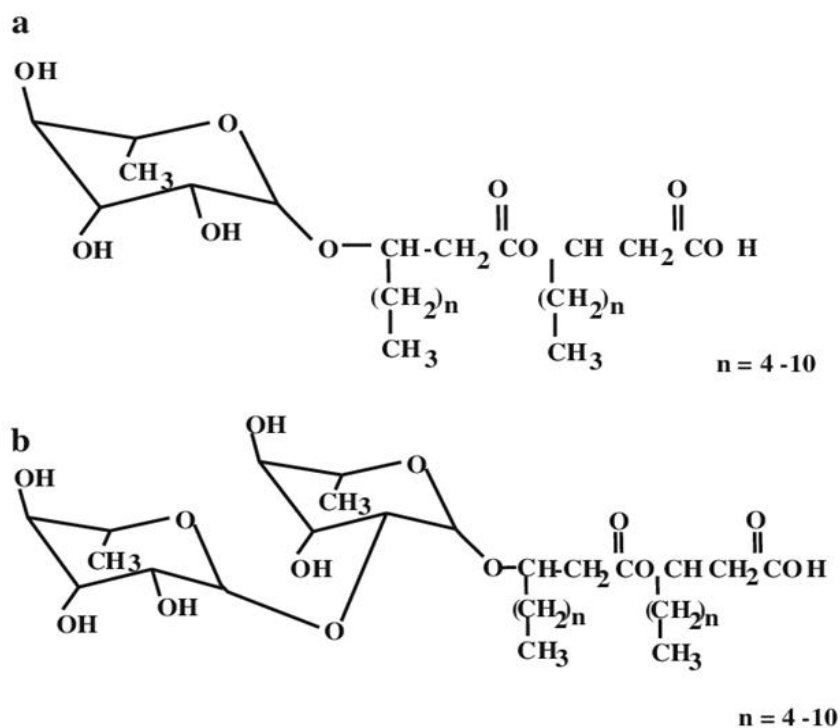


Figure I.4. Structure de mono et di rhamnolipides (Gunther, Nunez *et al.* 2006).

I.3.1.2 Sophorolipides

Les sophorolipides sont un groupe de glycolipides tensioactifs composés d'un acide gras hydroxylé et de sophorose, un sucre dimérique. Ces deux entités sont liées l'une à l'autre (Asmer, Lang *et al.* 1988) . Par une liaison β -glycosidique. On distingue deux types de sophorolipides : lactoniques et non lactoniques ,dans les sophorolipides lactoniques, le groupement acide gras hydroxyle de l'acide gras forme un anneau lactone cyclique avec le groupe 40 -du groupe hydroxyle du sophorose par estérification intramolécule, tandis que dans les sophorolipides non lactoniques, la fraction acide gras hydroxyle de l'acide gras possède un groupe fonctionnel acide carboxylique libre (Hu and Ju 2001). *Torulopsis sp* est le micro-organisme largement utilisé pour la production de sophorolipides.

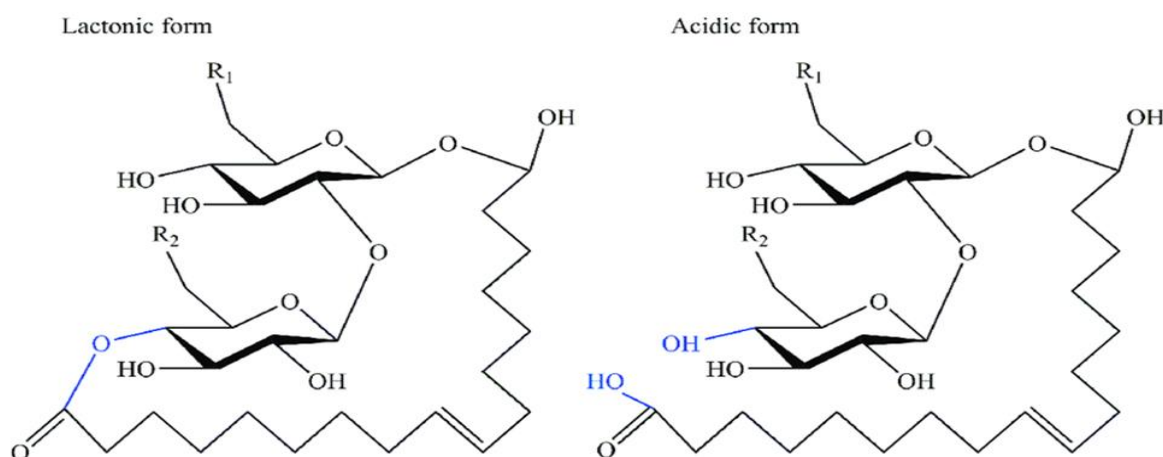
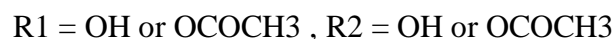


Figure I.5. Structures communes des sophorolipides: forme lactoniques et forme acide (Borchers and Pieler 2010).



I.3.1.3 Tréhalolipides

Les tréhalolipides sont des glycolipides biosurfactants composés de tréhalose (disaccharide hydrophile) lié à une chaîne d'acide gras β -hydroxy avec de longues ramifications α , acide mycolique. Les tréhalolipides produits par différents micro-organismes peuvent présenter de plusieurs façons : structure (degré d'insaturation) et taille (nombre d'atomes de carbone) de l'acide mycolique (Desai and Banat 1997).

I.3.2. Lipoprotéines et lipopeptides

Généralement, les biosurfactants de type lipopeptide, la surfactine, sont produits par la bactérie Gram positive *Bacillus sp.* Une boucle peptidique représente la partie hydrophile de la surfactine, tandis qu'une chaîne d'acides gras de 13 à 15 carbones de long représente la partie hydrophobe. La boucle peptidique est composée de sept acides aminés successifs (Chen, Juang *et al.* 2015), à savoir l'acide L-aspartique, la L-leucine, l'acide glutamique, la L-leucine, la L-valine et deux D-leucine.

I.3.3. Acides gras

L'oxydation microbienne des alcanes peut produire des acides gras qui ont été signalés par (Rehn et Reiff. ,1981) en tant qu'agents tensioactifs. Ces acides gras peuvent être à chaîne droite ou complexes avec des branches d'alkyle et des groupes hydroxyles (Rahman and Gakpe 2008). L'équilibre entre l'hydrophilie et l'hydrophobie de l'acide gras est fortement lié à la longueur de la

chaîne de l'hydrocarbure et à son degré de complexité. La plupart des acides gras tensioactifs ont une longueur comprise entre 12 et 14 atomes de carbone (Borchers and Pieler 2010).

I.3.4. Phospholipides

Les molécules amphipathiques des phospholipides sont composées d'un composant hydrophobe et d'un composant hydrophile. Les phospholipides ont un groupe phosphate hydrophile à une extrémité et des acides gras hydrophobes à l'autre. Les biosurfactants phospholipidiques sont des composants majeurs de la membrane plasmique microbienne. Les niveaux de phospholipides augmentent fortement si la souche microbienne se développe en présence d'hydrocarbures (Rahman and Gakpe 2008).

I.3.5. Biosurfactants polymériques

Les biosurfactants polymériques isolés à partir de souches bactériennes sont des exopolysaccharides (EPS) et se caractérisent par leur rôle dans la résistance aux antibiotiques, car ils offrent de nombreuses voies de régulation pour agir contre les antibiotiques. Les biosurfactants polymériques les plus étudiés dans le monde sont l'alsan, l'émulsan, le liposan, lipomanan et d'autres complexes de protéines et de polysaccharides. À de très faibles concentrations (0,001 % à 0,01 %), l'émulsan a été utilisé comme agent émulsifiant d'hydrocarbures dans l'eau (Lang 2002).

I.3.6. Biosurfactants en particules

Les biosurfactants particuliers partitionnent les vésicules des membranes extracellulaires pour former une microémulsion qui exerce une influence sur l'absorption des alcanes dans les cellules microbiennes. *Acinetobacter spp* possède des vésicules d'un diamètre de 20 à 50 nm et d'une densité de flottaison de 1,158 g/cm cube, composées de protéines, de phospholipides et de lipopolysaccharides (Chen, Juang *et al.* 2015).

I.4. Propriétés des biosurfactants

Les biosurfactants sont des biomolécules tensioactives qui sont utilisées dans de nombreuses industries en raison de leurs propriétés polyvalentes (Vijayakumar and Saravanan 2015). Tout comme les agents de surface synthétiques, ils ont la capacité de s'auto-assembler et de former des micelles. Cela leur permet d'avoir des structures morphologiquement différentes les unes des autres et d'accroître leur spécificité. Leur capacité à abaisser la tension superficielle et la tension interfaciale les rend aptes à des applications commerciales (de Jesús Cortés-Sánchez, Hernández-Sánchez *et al.* 2013) par rapport aux tensioactifs chimiques, elles sont plus efficaces car elles diminuent la tension superficielle et la tension interfaciale et car leur valeur de concentration critique en micelles est plusieurs fois inférieure (Cameotra and Makkar 2004). En d'autres termes

Cela signifie que pour une diminution maximale de la tension de surface, la quantité de biosurfactant nécessaire est moindre .

Les propriétés uniques et distinctes des biosurfactants qui en font des alternatives durables par rapport à leurs homologues synthétisés chimiquement sont les suivantes :

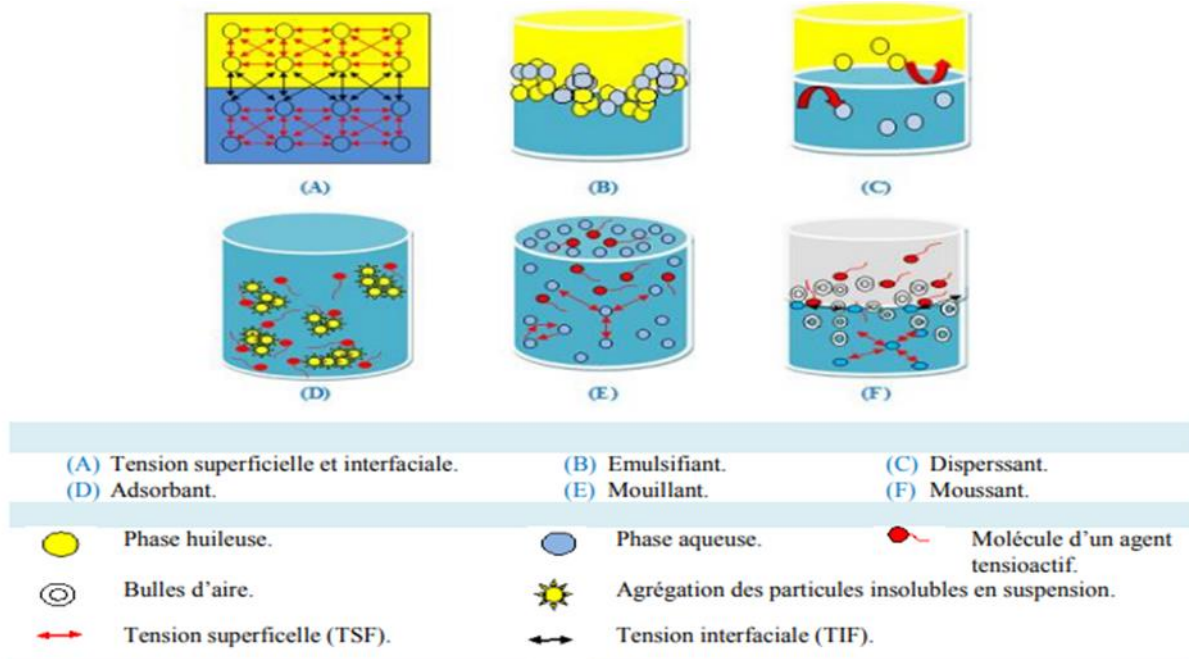


Figure I.6. Représentation des différentes propriétés fonctionnelles des Biosurfactant(Ariech 2018).

I.4.1. Activité sur les surfaces et les interfaces

La force systématique entre les molécules de liquide est connue sous le nom de tension superficielle. La condition d'indiscernabilité s'applique également à l'interface entre deux liquides non miscibles, tels que l'huile dans l'eau, qui est identifiée comme la tension interfaciale IFT il s'agit d'une force d'attraction intermoléculaire entre les molécules d'un liquide. Un liquide ayant une faible IFT sont plus facilement émulsifiés. La tendance d'un agent tensioactif microbien est déterminée par sa stabilité à réduire la tension superficielle du milieu. Un biosurfactant efficace est capable d'abaisser la tension superficielle de l'eau.

Certains rapports ont clairement montré que *Bacillus subtilis* produit une surfactine qui réduit efficacement la tension superficielle dans des conditions difficiles. Une autre étude a montré que le rhamnolipide, un biosurfactant produit par *Pseudomonas aeruginosa*, diminue de manière significative la tension superficielle de l'eau par rapport aux autres surfactants (Kim, Jung *et al.* 2015) . Un rapport de Mulligan (2005) a montré le rôle efficace des tensioactifs microbiens dans

la diminution de la tension superficielle de l'eau de 72,0 à 35,0 mN/m, ce qui reflète le potentiel des tensioactifs biologiques.

I.4.2. Emulsifiant

La création d'une émulsion sous forme microscopiques peut également être induite par des substances tensioactives, aboutissant à un mélange des deux liquides incompatibles. Ces tensioactifs peuvent éventuellement séparer ces deux phases non miscibles. En conséquence, les micelles formées se dispersent, se montent, puis se réassemblent, conduisant à la séparation des deux phases (Satpute, Banpurkar *et al.* 2010).

I.4.3. Dispersant

Les tensioactifs améliorent la solubilité des matériaux insolubles et des structures micellaires se forment à des concentrations élevées de tensioactifs. Néanmoins, les molécules insolubles sont souvent encapsulées dans des structures micellaires et dissoutes. Cette propriété est cruciale pour transformer des produits chimiques insolubles dans l'eau en solutions aqueuses ou des substances solubles dans l'eau en solvants organiques. Pour dissoudre un mélange de composés complexes dans une solution aqueuse, les biosurfactants sont plus efficaces que les surfactants synthétiques. (Perfumo *et al.*, 2009) ont rapporté les rôles des biosurfactants dans l'accessibilité des substrats hydrophobes. La même observation concernant les effets des médicaments tensioactifs synthétiques par rapport aux médicaments biologiques a également été rapportée par (Wong *et al.*, 2004).

I.4.4. Adsorbant

La capacité de se lier aux surfaces hydrophobes permet aux surfactants d'améliorer la récupération du pétrole. Par conséquent, l'adsorption favorise une forte interaction entre les molécules de la substance tensioactive et la roche ainsi que le pétrole, ce qui augmente la récupération du pétrole. Le système pulmonaire tensioactif est la meilleure illustration de l'adsorption des substances tensioactives.

Le mélange de lipides et de protéines du tensioactif, présent à l'interface air/alvéole des oiseaux, réduit la tension superficielle FST il s'agit de la force par unité de longueur exercée par un liquide au contact d'un solide ou d'un autre liquide. à des valeurs extrêmement faibles, facilitant la respiration et prévenant l'embolie alvéolaire (Satpute, Banpurkar *et al.* 2010).

I.4.5. Mouillant

Un agent mouillant puissant se caractérise par l'augmentation de la capacité d'étalement d'un liquide sur une surface et par l'abaissement de l'angle de contact d'un liquide aux solides. Ceci est

extrêmement important lors de la reconstitution de poudres sèches, de billes sèches ou de réactifs dans des dispositifs en phase solide. Les propriétés de mouillage, d'émulsification et de solubilisation micellaire des agents de surface non ioniques tels que le Rokanol L10, le Triton .X-100 et BS JBR 425 ont été étudiés (Pastewski, Hallmann *et al.* 2006).

I.4.6. Moussant

Moussant : Les agents tensioactifs se concentrent à l'interface gaz-liquide, ce qui entraîne la formation de bulles. À l'interface gaz-liquide, et donc la formation de mousse. Les techniques de bullage permettent d'étudier les propriétés moussantes de la surfactine, du dodécylsulfate de sodium (SDS), et de l'albumine sérique bovine (BSA). La surfactine présente d'excellentes propriétés moussantes par rapport au SDS (Dubey, Juwarkar *et al.* 2005).

I.4.7. Toxicité et biodégradabilité

Lorsqu'ils sont utilisés les agents de surface se retrouvent dans les eaux usées, qui finissent par être rejetées dans les masses d'eau et posent des problèmes de santé publique (Ivanković and Hrenović 2010). Le degré de nocivité dépend essentiellement de leur concentration. La concentration en tensioactifs augmente avec le temps. la croissance des algues et d'autres micro-organismes est affectée lorsque la concentration en biosurfactants est élevée dans l'eau leurs membranes cellulaires deviennent plus perméables et la structure cellulaire se désintègre progressivement (Yuan, Xu *et al.* 2014).

Plus un agent tensioactif est hydrophobe, plus sa toxicité aquatique est élevée. Si la concentration de l'agent tensioactif est suffisamment élevée, certains niveaux de toxicité seront transmis aux animaux en raison de la chaîne alimentaire animale, les poissons étant les plus à même d'absorber les agents de surface par la surface de leur corps et leurs branchies, puis de les distribuer au reste de leur corps par la circulation sanguine (Ivanković and Hrenović 2010).

Ce sont là quelques-unes des principales raisons pour lesquelles les industries cherchent à utiliser des agents tensioactifs d'origine biologique plutôt que des agents synthétiques chimiques.

Il a également été constaté que la présence de biosurfactants peut améliorer la biodégradabilité, principalement en solubilisant les polluants (Akintunde, Abioye *et al.* 2015). (Moldes, Paradelo *et al.* 2011) ont mené une étude sur l'utilisation de biosurfactants pour la biorestauration de sols contaminés à l'octane. Après 15 jours de traitement, les biosurfactants de *Lactobacillus pentosus* ont réduit la concentration d'octane dans le sol. la concentration d'octane dans le sol à environ 60 %, tandis qu'après 30 jours de traitement, 76% de l'octane dans le sol était biodégradé. En l'absence de biosurfactants, le taux d'élimination était au moins trois fois plus lent.

I.5. Production microbienne de biosurfactants

Le biosurfactant est produit par un certain nombre de bactéries, dont les plus populaires sont diverses souches de *Pseudomonas aeruginosa*, *Pseudomonas putida*, *Pseudomonas cepacia*, *Serratia marcescens*, *Bacillus subtilis*, *Bacillus licheniformis*, *Bacillus mycoides*, *Bacillus mojavensis*, *Acinetobacter bouvetii*, etc. et un certain nombre de champignons, à savoir *Candida petrophilum*, *Candida lipolytica*, *Candida tropicalis*, *Penicillium sp.*, *Aspergillus* etc. (Bordoloi and Konwar 2008);(Aparna, Srinikethan *et al.* 2012) ;(Chan, Chang *et al.* 2013) ;(Chaprão, Ferreira *et al.* 2015) ;(Khan, Tanveer *et al.* 2017) ;(Luna, Rufino *et al.* 2012) ;(Ron and Rosenberg 2002) ;(Shekhar, Sundaramanickam *et al.* 2015) ;(Tugrul and Cansunar 2005) ;(Wei, Lai *et al.* 2007) ;(Youssef, Duncan *et al.* 2004). Différents types de micro-organismes produisent différents types de biosurfactants en termes de propriétés chimiques.

Tableau I.1. Principales classes de biosurfactants et micro-organismes producteurs respectifs (Pacwa-Płociniczak, Płaza *et al.* 2011) ;(Sobrinho, Luna *et al.* 2013).

Classe/type de biosurfactants	Microorganismes
Glycolipides Rhamnolipides Sophorolipides Tréhalolipides	<i>Pseudomonas aeruginosa</i> <i>Torulopsis bombicola</i> , <i>T. apicola</i> <i>Rhodococcus erythropolis</i> , <i>Mycobacterium</i>
Lipopeptides et lipoprotéines Peptide-lipide Viscosine Serrawettine Surfactine Subtilisine Gramicidine Polymyxine	<i>Bacillus licheniformis</i> <i>Pseudomonas fluorescens</i> <i>Serratia marcescens</i> <i>Bacillus subtilis</i> <i>Bacillus subtilis</i> <i>Bacillus brevis</i> <i>Bacillus polymyxa</i>
Acides gras, lipides neutres et phospholipides Acide gras Lipides neutres Phospholipides	<i>Corynebacterium lepus</i> <i>Nocardia erythropolis</i> <i>Thiobacillus thiooxidans</i>

Polymères tensioactifs Emulsan Biodispersan Liposan Glucides Mannan-lipide-protéine	<i>Acinetobacter calcoaceticus</i> <i>Acinetobacter calcoaceticus</i> <i>Candida lipolytica</i> <i>Pseudomonas fluorescens</i> <i>Candida tropicalis</i>
Agents de surface sous forme de particules Vésicules	<i>Acinetobacter calcoaceticus</i>

I.6. Rôle physiologique des biosurfactants dans les micro-organismes

Les biosurfactants sont produits par une variété de micro-organismes ; ils sont sécrétés soit de manière extracellulaire, soit attachés à des parties de cellules, principalement pendant la croissance sur des substrats non miscibles à l'eau (Desai and Banat 1997). Le rôle physiologique principal des biosurfactants est de permettre aux micro-organismes de se développer sur des substrats non miscibles à l'eau en réduisant la tension superficielle à la limite de phase, rendant ainsi le substrat plus facilement disponible pour l'absorption et le métabolisme, bien que le mécanisme moléculaire lié à l'absorption de leurs substrats ne soit pas encore clair ni entièrement compris (Desai and Banat 1997). (Ron and Rosenberg 2002) ont suggéré que lorsque la surface devient limitante, la biomasse augmente de façon arithmétique plutôt qu'exponentielle, la preuve que l'émulsification est un processus naturel provoqué par des agents extracellulaires est indirecte et il existe certaines difficultés conceptuelles pour comprendre comment l'émulsification peut fournir un avantage (évolutif) aux organismes vivants produisant les émulsifiants. Un autre rôle physiologique des biosurfactants est leur activité antimicrobienne à l'égard de divers micro-organismes. En règle générale, un tensioactif différent inhibe une taxonomie différente. En outre, il a été démontré que les biosurfactants ont été impliqués dans l'adhérence cellulaire, ce qui leur confère une plus grande stabilité dans des conditions environnementales hostiles et une plus grande virulence. ainsi que dans la désorption cellulaire lorsque les organismes doivent trouver de nouveaux habitats pour survivre (Desai and Banat 1997) ;(Md 2012) .

I.7. Extraction des biosurfactants

Pour extraire les biosurfactants extracellulaires des milieux de culture, il faut d'abord les bactéries sont isolées de ce milieu (par exemple par centrifugation).

Il est bien connu que la plupart des produits de fermentation sont libérés dans la phase aqueuse diluée. Ainsi, dans de nombreux cas, le processus consiste en environ 60% du rendement total du produit. Pour des raisons économiques, la plupart des applications de biosurfactants impliquent la culture de bouillons microbiens ou la préparation brute (Kretschmer, Bock et al. 1982).

Le choix de la méthode de récupération pour un biosurfactant donné dépend de sa charge ionique, de sa solubilité dans l'eau et de son caractère cellulaire ou extracellulaire. Ils comprennent l'extraction par solvant, l'extraction par solvant après adsorption, la précipitation et la cristallisation. Centrifugeuse pour séparer la mousse. La plupart des biosurfactants sont sécrétés dans le milieu et séparés après filtration ou centrifugation, éliminant ainsi les cellules (Kretschmer, Bock et al. 1982).

I.8. Avantages des biosurfactants

Les biosurfactants présentent de nombreux avantages par rapport à leurs équivalents synthétisés chimiquement :

***Biodégradabilité:** Les tensioactifs biologiques sont facilement dégradés par les microorganismes (Mohan, Nakhla et al. 2006).

***Non toxicité :** Les tensioactifs biologiques présentent une toxicité plus élevée que les tensioactifs d'origine chimique. Il a également été signalé que les tensioactifs biologiques présentaient des valeurs EC 50 (concentration efficace pour diminuer 50 % de la population testée) plus élevées que les dispersants synthétiques. de la population testée) plus élevées que les dispersants synthétiques (Desai and Banat 1997).

***Disponibilité des matières premières :**

Les biosurfactants peuvent être produits à partir de matières premières très bon marché et disponibles en grandes quantités. La source de carbone peut provenir d'hydrocarbures, d'hydrates de carbone et/ou de lipides, qui peuvent être utilisés séparément ou en combinaison les uns avec les autres et/ou de lipides, qui peuvent être utilisés séparément ou en combinaison les uns avec les autres (Kosaric 2001).

***Facteurs physiques :** De nombreux biosurfactants ne sont pas affectés par les facteurs environnementaux tels que la température, le pH et la force ionique tolérances. La lichenysine produite par la souche *Bacillus licheniformis* n'a pas été affectée par des températures allant jusqu'à par des températures allant jusqu'à 50°C, un pH compris entre 4-5- 9,0, une concentration de NaCl de 50g/l et une concentration de Calcium de 25g/l (Muthusamy, Gopalakrishnan et al. 2008).

***Activité de surface et d'interface :**

A déclaré qu'un bon tensioactif peut abaisser la tension superficielle de l'eau de 75 à 35 mN/m et la tension interfaciale eau/hexadécane de 40 à 1mN/M (Mulligan 2005). Les surfactines possède

la capacité de réduire la tension superficielle de l'eau à 25m N/M et la tension interfaciale eau/hexadécane à < 1mN/M (Muthusamy, Gopalakrishnan *et al.* 2008).

***Autres avantages :**

sont la biocompatibilité et la digestibilité ce qui permet leur application dans les cosmétiques, les produits pharmaceutiques et comme additifs alimentaires fonctionnels (Kosaric 2001).

I.9. Facteurs influençant la production de biosurfactants

La composition et l'activité émulsifiante du biosurfactant dépendent non seulement de la souche productrice, mais aussi des conditions de culture. Ainsi, la nature de la source de carbone, la source d'azote ainsi que le rapport C : N, les limitations nutritionnelles, les paramètres chimique et physiques, tels que la température, l'aération, les cations divalents et le pH influencent non seulement la quantité de bio surfacture, mais aussi la qualité de l'eau. La quantité de biosurfactant produite, mais aussi le type de polymère produit (Salihu, Abdulkadir *et al.* 2009).

I.9.1. Sources de Carbone

La qualité et la quantité de la production de biosurfactant sont affectées et influencées par la nature du substrat carboné (Rahman and Gakpe 2008). Le diesel, le pétrole brut, le glucose, le Saccharose et le glycérol ont été signalés comme étant une bonne source de substrat carboné pour la production de biosurfactants (Desai and Banat 1997).

I.9.2. Sources d'azote

L'azote est important dans le milieu de production du biosurfactant car il est essentiel à la croissance microbienne, car la synthèse des protéines et des enzymes en dépend. Différents composés azotés ont été utilisés pour la production de biosurfactants tels que l'urée, la peptone, l'extrait de levure, le sulfate d'ammonium, le nitrate d'ammonium, le nitrate, le nitrate de sodium, l'extrait de viande et les extraits de malt. Bien que l'extrait de levure est la source d'azote la plus utilisée pour la production de biosurfactants, son utilisation en termes de concentration dépend de l'organisme et du milieu de culture. Les sels d'ammonium et l'urée sont les sources d'azote préférées pour la production de biosurfactants par *Arthrobacter paraffineus*, tandis que le nitrate favorise la production maximale de tensioactifs chez *P. aeruginosa* (Adamczak and Bednarski 2000).

I.9.3. Facteurs environnementaux

Ils sont extrêmement importants pour le rendement et les caractéristiques du biosurfactant produit. Pour obtenir de grandes quantités de biosurfactants, il est toujours nécessaire d'optimiser le

bioprocédé, car le produit peut être affecté par des changements de température, d'humidité ou de température, de pH, d'aération ou de vitesse d'agitation. La plupart des productions de biosurfactants sont réalisées à des températures comprises entre 25 et 300 °C (Desai and Banat 1997). L'effet du pH sur le biosurfactant produit a été étudié (Zinjarde and Pant 2002) était de 8,0, ce qui correspond au pH naturel de l'eau de mer.

I.9.4. Aération et agitation

L'aération et l'agitation sont des facteurs importants qui influencent la production de biosurfactants, car ils facilitent tous deux le transfert d'oxygène de la phase gazeuse à la phase aqueuse. Ils peuvent également être liés à la fonction physiologique de l'émulsifiant microbien. Il a été suggéré que la production de bio émulsifiants peut améliorer la solubilisation des substances insolubles dans l'eau. par conséquent, faciliter le transport des nutriments vers les micro-organismes (Adamczak and Bednarski 2000). Ont observé que la meilleure valeur de production de l'agent tensioactif (45,5g/l) était lorsque le débit d'air était de 1vvm et que la concentration en oxygène dissous était maintenue à 50 % de la saturation.

I.9.5. Concentration en sel

La concentration en sel d'un milieu particulier a également eu un effet correspondant sur la production de biosurfactants car les activités cellulaires des micro-organismes sont affectées par la concentration en sel. Néanmoins, des observations contraires ont été faites pour certains produits biosurfactants qui n'ont pas été affectés par des concentrations allant jusqu'à 10 % (poids/volume), bien que de légères réductions de la Concentration Micellaire Critique CMC aient été détectées (Desai and Banat 1997).

Chapitre II : Application des biosurfactants

Chapitre II. Application des biosurfactants

Les biosurfactants sont des composés amphiphiles d'origine microbienne qui ont un potentiel considérable pour des applications commerciales dans diverses industries. Ils présentent des avantages par rapport à leurs biodégradabilité et l'efficacité à des températures ou à des pH extrêmes, ainsi que non toxicité. Les biosurfactants commencent à être considérés comme des molécules potentiellement efficaces dans divers domaines. À l'heure actuelle, les biosurfactants sont principalement utilisés dans les études sur la récupération assistée du pétrole et la biorestauration des hydrocarbures. La solubilisation et l'émulsification de produits chimiques toxiques par les biosurfactants ont également été rapportées. Les biosurfactants ont également des applications potentielles dans l'agriculture, pharmaceutique, les cosmétiques, les détergents, les produits d'hygiène personnelle, l'industrie alimentaire, la fabrication de textiles, les produits de blanchisserie, le traitement et la transformation des métaux, la pâte à papier et l'industrie chimique. Leurs utilisations et leurs applications commerciales potentielles dans ces domaines sont décrites dans le présent document (Banat, Makkar *et al.* 2000).

II.1. Application dans l'environnement

De nombreuses substances toxiques ont été introduites dans l'environnement par les activités humaines. Ces composés constituent un danger pour la santé humaine lorsqu'ils sont en contact ultime ou immédiat avec les particules du sol. Les méthodes conventionnelles de réduction, de dégradation et d'élimination de ces substances sont associées à un certain risque. Ces dernières années, les micro-organismes ont prouvé qu'ils jouaient un rôle unique dans la dégradation et la détoxification des sols et des eaux polluées. Ce processus a été baptisé "bio-récupération". La diversité des bio émulsifiants/biosurfactants en fait un groupe attrayant et des rôles clés importants dans divers domaines d'applications industrielles et biotechnologiques. Tels que la récupération assistée du pétrole, la biodégradation des polluants et la pharmacie. L'application des tensioactifs microbiens dans l'environnement c'est révélé prometteuse en raison de la solubilisation de composés peu solubles, d'une faible toxicité et de l'utilisation d'agents de surface microbiens, solubilité des composés peu solubles, la non toxicité observée et l'efficacité dans l'amélioration de la biodégradation. Cependant, il est toutefois, il est important de noter que des tests à grande échelle et d'avantage d'informations sont nécessaires pour prédire le comportement et le modèle de la fonction de l'agent tensioactif sur l'écosystème des surfactants sur le processus d'assainissement avec les biosurfactants (Usman, Dadrasnia *et al.* 2016).

II.2. Biosurfactants dans les industries de transformation du pétrole

Les biosurfactants peuvent être utilisés pour différentes applications dans l'industrie pétrolière, telles que l'extraction du pétrole brut des réservoirs, son transport dans les pipelines, ainsi que le nettoyage des réservoirs de stockage. Les biosurfactants conviennent à ces applications pour les raisons suivantes leur capacité à améliorer la mobilisation des hydrocarbures, et donc le mouvement du pétrole brut (Silva, Almeida *et al.* 2014).

L'intérêt pour l'utilisation des biosurfactants dans les industries liées au pétrole est principalement lié à la récupération assistée du pétrole (EOR). Les biosurfactants sont appliqués (en remplacement ou en complément des tensioactifs synthétiques) pour améliorer la récupération du pétrole dans le sol, ce qui en premier lieu, n'est pas toujours le cas. Pétrole dans le sol, ce qui n'est possible qu'à hauteur de 30 % environ par les méthodes de pompage primaire du réservoir. La présence de surfactants (ou de biosurfactants) abaisse les tensions superficielles et interfaciales du pétrole dans le réservoir, ce qui facilite l'écoulement et la pénétration du pétrole à travers les pores du réservoir lors de l'utilisation de l'eau, de la vapeur ou du feu, telles que pratiquées dans le cadre de la RAH (ou RAH microbienne, EOR, MEOR). Pour la production de l'agent tensioactif (*extra situm*), la culture sélectionnée est cultivée dans des bioréacteurs, le biosurfactant est récupéré ou simplement concentré dans le bouillon, puis pompé dans le réservoir. Cette production externe du biosurfactant doit se faire en grande quantité, dans des conditions optimales de fermentation, en fournissant une aération suffisante à la culture dans le bioréacteur. L'utilisation de substrats bon marché et de déchets pour cette application serait particulièrement avantageuse. Une approche logique et plus attrayante consiste à produire le biosurfactant dans le réservoir lui-même (*in situ*) en fournissant des nutriments à la population microbienne indigène dans le réservoir ou à une culture de semences qui est produite *extra situm*, mélangée au milieu et pompée dans le puits.

Cependant, les micro-organismes introduits de cette manière dans le réservoir sont soumis à un certain nombre de contraintes qui peuvent affecter leur croissance ou même inhiber la croissance et la production de biosurfactants. Les températures dans le réservoir peuvent être trop élevées et l'effet de la pression sur les microbes qui y sont placés n'est pas non mieux compris, la croissance microbienne et la production de biosurfactants sont également affectées par le pH, la salinité, les métaux lourds qui peuvent également différer considérablement de ceux qui sont présents dans le réservoir qui permettent une production optimale de biosurfactants. L'une des principales difficultés pour maintenir la croissance microbienne et donc la production de biosurfactants dans le réservoir est le manque d'oxygène et d'eau et de mélange approprié dans le réservoir pour assurer un bon transfert de masse et le métabolisme des nutriments par les organismes. En outre, les biosurfactants produits *in situ* doivent exercer leur action sur les sites ciblés, ce qui ne peut pas

être facilement contrôlé. Une partie du pétrole brut présent dans le réservoir pourrait également être métabolisée. Cependant, l'oxygène est nécessaire pour métabolisme des hydrocarbures et l'aération des puits de forage est un fléau pour les producteurs de pétrole qui se donnent beaucoup de mal pour désoxygéner les fluides d'injection. L'oxygène provoquerait également la corrosion des métaux et dégraderait le produit in situ, transformant un pétrole léger de grande valeur en un pétrole lourd de qualité inférieure qui serait encore plus difficile à extraire par injection d'eau. Ce problème Si cela pouvait être contrôlé, il serait même bénéfique d'avoir un bouchon préférentiel et de diriger ainsi l'inondation. Un autre inconvénient de la MEOR est que l'eau ne peut plus être traitée avec du chlore ou des biosides organiques. Ainsi, dans le cas d'une MEOR longue, l'inondation continue de l'eau entraînerait dans le réservoir des bactéries ne produisant pas de biosurfactant dans le réservoir, ce qui, si les conditions sont réunies, pourrait donner naissance à une population secondaire qui entrerait en concurrence avec le substrat pour les biosurfactants qui entrerait en compétition avec le substrat pour les producteurs de biosurfactants. Outre toutes les difficultés susmentionnées liées à la récupération in situ, la quantité de pétrole restant dans le réservoir après que les méthodes de récupération secondaires ont été essayées représente une quantité énorme de pétrole (60-70% du pétrole d'origine) pour l'extraction, et la poursuite des efforts en matière de MEOR est un défi (Kosaric 1992).

Tableau II.1. Application des biosurfactants dans l'industrie pétrolière (Mazaheri Assadi and Tabatabaee 2010).

Biosurfactants dans l'industrie pétrolière	Applications
Extraction	<ul style="list-style-type: none"> - Modification de la mouillabilité des réservoirs. - Réduction de la viscosité de l'huile. - Boues de forage. - Contrôle du dépôt de paraffine/asphalte. - Augmentation du déplacement de l'huile. - Réduction de la viscosité de l'huile.
Le transport	<ul style="list-style-type: none"> -Réduction de la viscosité de l'huile -Stabilisation des émulsions d'huile -Dépôt de paraffine/asphalte

Réservoir/conteneur	Réduction de la viscosité de l'huile
Nettoyage	-Emulsification des boues huileuses -Dispersion d'hydrocarbures

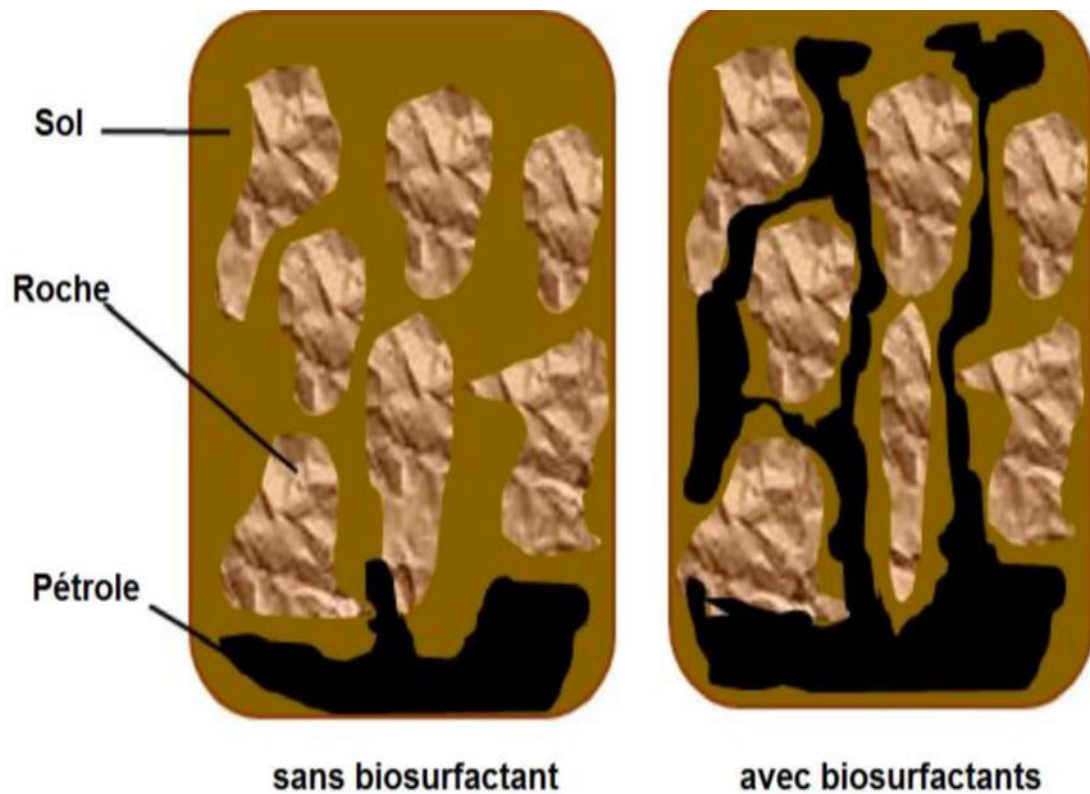


Figure II.1. Mécanisme de récupération améliorée du pétrole par les biosurfactants (Santos, Rufino *et al.* 2016).

II.3. Biosurfactants et bio remédiation

Les avantages spécifiques tels que non toxicité, la meilleure biodégradabilité, la faible concentration micellaire critique CMC, les propriétés physico-chimiques utiles et la bio activité des biosurfactants étendent les applications à divers aspects tels que les cosmétiques, les soins de santé, les industries biomédicales, pharmaceutiques et alimentaires. En raison de sa grande stabilité, de sa biodégradabilité et de sa non-toxicité, les chercheurs considèrent le tensioactif lipopeptidiques comme un outil prometteur dans les applications de bio remédiation. En raison de ses remarquables propriétés de surface et de ses propriétés biologiques (Kumar and Nguagni 2021).

II.4. Application des biosurfactants dans la nanotechnologie

La synthèse verte de nanoparticules métalliques telles que l'or, l'argent, le zinc, le titane, le cuivre, le fer, le palladium, le platine, etc., à l'aide d'extraits de plantes, est une nouvelle tendance en chimie appliquée (Jimoh and Lin 2019). Cependant, très récemment, la synthèse de nanoparticules métalliques en réduisant les sels métalliques avec un biosurfactant microbien apparaît comme un substitut à la synthèse de nanoparticules à base de plantes en raison de son potentiel de production en masse et parce qu'il agit en même temps comme un agent stabilisateur en coiffant les nanoparticules. Par exemple, diverses souches et espèces de *Pseudomonas*, *Bacillus*, *Lactobacillus*, etc. sont largement exploitées pour la synthèse de nanoparticules d'argent, d'or, de cadmium et de zinc. Mais sont encore très limitées (Ahamed and Prasad 2021).

Le biosurfactant n'est pas seulement un agent réducteur ou stabilisateur, il est aussi un agent de délivrance de médicaments à l'échelle nanométrique, ce qui permet de transporter et de libérer le médicament de manière contrôlée. Ces rôles des biosurfactants sont examinés en détail ci-après (Ahamed and Prasad 2021).

II.5. Application dans l'agriculture

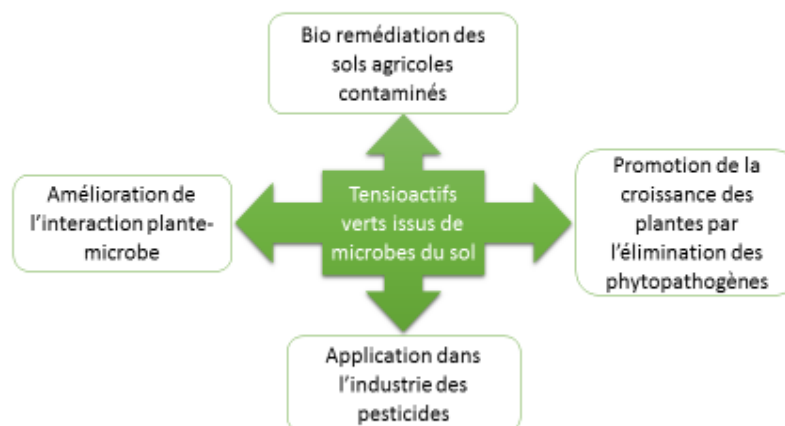


Figure II.2.. Multifonctionnel prospective des biosurfactants dans l'agriculture (Sachdev and Cameotra 2013).

Compte tenu de la double nature hydrophobe/hydrophile des tensioactifs biologiques provenant de sources microbiennes, ces tensioactifs verts présentent plus d'avantages que les tensioactifs synthétisés chimiquement. Ces biosurfactants peuvent être largement exploités dans les domaines liés à l'agriculture pour renforcer la biodégradation des polluants afin d'améliorer la qualité des sols agricoles, pour favoriser indirectement la croissance des plantes car ces biosurfactants ont une activité antimicrobienne et pour augmenter l'interaction entre les plantes et les microbes, ce qui est bénéfique pour les plantes. Ces biosurfactants peuvent remplacer les tensioactifs agressifs actuellement utilisés dans l'industrie des pesticides, car ces tensioactifs naturels sont utilisés comme source de carbone par les microbes vivant dans le sol, ce qui explique l'élimination biologique des biosurfactants du sol agricole. La partie suivante de l'étude met en lumière les rapports sur le rôle des biosurfactants et des microbes producteurs de biosurfactants dans le secteur commercial le plus important, à savoir l'agriculture (Sachdev and Cameotra 2013).

Les biosurfactants sont également utilisés dans les pratiques agricoles en tant que composants essentiels des pesticides et des herbicides. Ils agissent comme des bio émulsifiants qui rendent les feuilles des plantes hydrophobes par nature, ce qui empêche le contact direct entre les microbes et les feuilles des plantes. Ce qui minimise les risques d'infection des plantes et peut également empêcher la croissance microbienne en agissant comme un antimicrobien (Ahamed and Prasad 2021).

II.6. Biosurfactants comme bio pesticide

La stratégie conventionnelle de lutte contre les arthropodes implique l'application de produits chimiques et de pesticides à large spectre, qui produisent souvent des effets indésirables. En outre, l'émergence de populations d'insectes pesticides et l'augmentation des prix des nouveaux pesticides chimiques ont stimulé la recherche de nouveaux outils de lutte anti vectorielle respectueux de l'environnement. Les biosurfactants lipopeptidiques produits par plusieurs bactéries présentent une activité insecticide contre la mouche des fruits *Drosophila melanogaster*. et sont donc prometteurs pour être utilisés comme bio pesticides (Mulligan 2005).

II.7. Application dans l'industrie alimentaire

Dans le domaine de l'industrie alimentaire, le facteur le plus important est la qualité des produits, qui est étroitement liée à leur l'origine, l'entretien et le stockage, ainsi qu'à la sécurité des produits pour la santé des consommateurs (Nalini, Parthasarathi *et al.* 2020).

Par conséquent, la texture, la consistance, l'arôme, le goût et la sécurité ont joué un rôle dans la perception de l'aliment et l'attribution de l'excellence. Dans ce contexte, les agents de surface dérivés de micro-organismes sont plus avantageux que les agents chimiques, car ils sont non toxiques, biodégradables et respectueux de l'environnement (Nalini, Parthasarathi *et al.* 2020).

Les biosurfactants ont été utilisés pour diverses transformations alimentaires application, mais ils jouent généralement un rôle en tant qu'ingrédient de formulation alimentaire et des agents anti adhésifs, qu'ils favorisent la formation et la stabilisation de l'émulsion en raison de leur capacité à diminuer la tension superficielle et interfaciale. Il est également utilisé pour contrôler l'agglomération des globules gras, stabiliser les systèmes aérés, améliorer texture et durée de conservation des produits contenant de l'amidon, modifier la rhéologie propriétés de la pâte de blé et améliorent la consistance et la texture des produits à base de matières grasses (Muthusamy, Gopalakrishnan *et al.* 2008).

C'est intrigant, (Moukala, Kayath *et al.* 2019) et (Mohd Isa, Shamsudin *et al.* 2020) a attiré l'attention sur les boissons alimentaires fermentées locales en tant que source de molécules bioactives avec les substances bioactives intrinsèques telles que les polyphénols, les flavonoïdes et les caroténoïdes. Les BSs produits par les souches *L. plantarum* et *P. aeruginosa*, isolées respectivement du vin de banane et des aliments fermentés malaisiens, pourraient jouer un rôle non seulement dans l'industrie alimentaire, mais aussi dans l'état de santé de la population locale. Les BS peuvent également être des molécules importantes pour l'industrie nutraceutique afin de stabiliser la formulation grâce aux propriétés d'émulsifiassions et de stabilisation, ainsi qu'aux capacités antiadhésives et antimicrobiennes.

II.8. Application en médecine

Les biosurfactants ont de nombreuses applications, dont beaucoup sont liées au domaine médical, l'administration de gènes et de médicaments, l'activité antivirale et antimicrobienne, ainsi que l'immunologie sont quelques-uns des principaux domaines de recherche concernant les biosurfactants en médecine (Fracchia, Banat *et al.* 2015).

II.8.1. Activité antimicrobienne

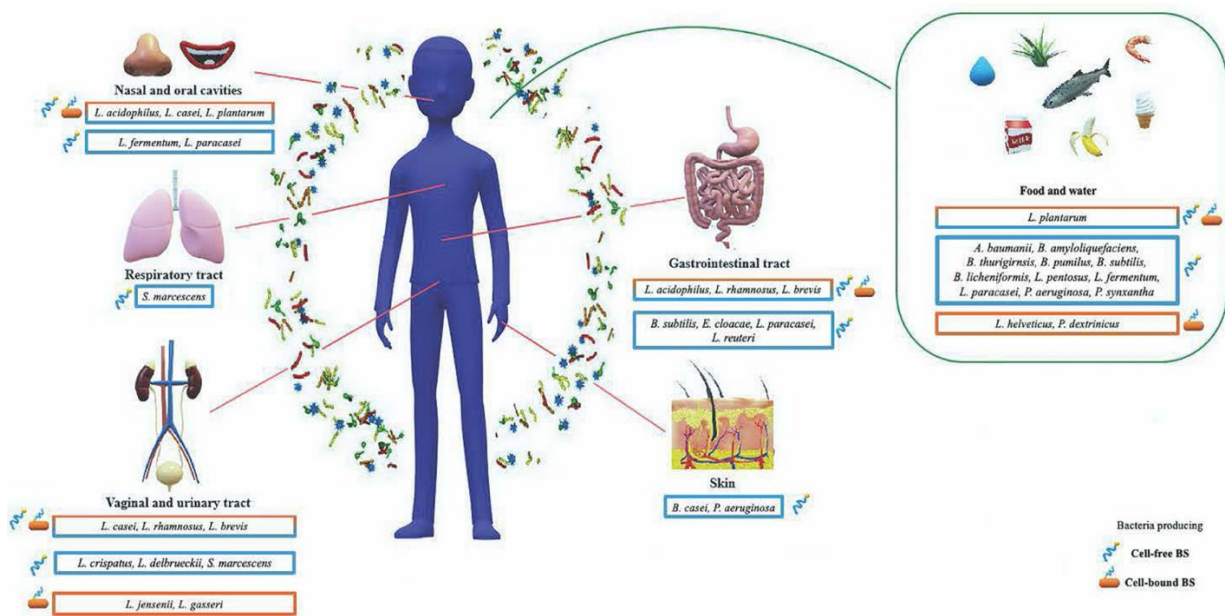


Figure II.3. Représentation schématique des biosurfactants à activité antimicrobienne produits par des micro-organismes associés à la santé humaine selon les districts du corps humain. Les bactéries entourées d'une boîte orange produisent des biosurfactants (BS) à activité antimicrobienne appartenant à la classe des bactéries liées aux cellules ; les bactéries entourées d'une boîte bleu clair produisent des BS à activité antimicrobienne libérés dans le corps humain. Les bactéries enfermées dans une boîte bleu clair produisent des BS à activité antimicrobienne libérés dans le milieu environnant. Des BS dont l'activité antimicrobienne appartient aux deux classes. (Banat, Franzetti *et al.* 2010).

La résistance croissante aux antibiotiques parmi les microbes pathogènes, due à l'utilisation fréquente d'antibiotiques, représente un défi majeur pour la science de la santé. Certains biosurfactants microbiens à base de lipopeptides tels que la surfactine, la fengycine, l'iturine, les bacillomycines, les mycosubtilines etc, bacillomycines, les mycosubtilines, etc. synthétisés par *Bacillus subtilis* ont été signalés par certains chercheurs comme présentant un potentiel antimicrobien contre les microbes résistants aux médicaments. La littérature fait également état de biosurfactants à base de lipopeptides cycliques, tels que la daptomycine produite par *Streptomyces roseosporus* et la viscosine de *Pseudomonas sp*, les rhamnolipides produits par *P. aeruginosa*, les sophorolipides produits par *Candida bombicola*, les lipides de mannosylérythritol de *Candida antarctica*, les lipopeptides de *Bacillus circulans*, flocculosine de *Pseudozyma flocculosa*, etc. avec une activité antimicrobienne potentielle (Banat, Franzetti *et al.* 2010).

II.8.2. Activité anti-cancéreuse

Les biosurfactants ont été étudiés en tant que composés anticancéreux en raison de leurs étapes prometteuses de reconnaissance intercellulaire qui comprennent le blocage sélectif du cancer, la prolifération des cellules cancéreuses par transduction du signal (Rodrigues and Banat).

Divers mécanismes ont été proposés pour décrire la capacité anticancéreuse des biosurfactants, tels que : (1) le retard de l'évolution cellulaire ; (2) l'inhibition des voies de signalisation ; (3) l'induction de l'apoptose par les récepteurs de mort dans les cellules cancéreuses ;(4) la stimulation des cellules T tueuses naturelles (NKT) et (5) la diminution de l'angiogénèse. (Duarte, Gudiña *et al.* 2014). En outre, les biosurfactants sont capables de perturber les membranes cellulaires en les lisant et en augmentant la perméabilité des membranes (Gudiña, Rangarajan *et al.* 2013). A publié un article de synthèse sur la découverte des glycosphingolipides et des lysosphingolipides en tant que composés actifs dans la différenciation cellulaire et dans la modulation de la prolifération cellulaire dans l'oncogénèse (Hannun and Bell 1989). Depuis lors, une diversité de composés, tels que les composés polaires, les glucocorticoïdes, les acides gras à chaîne courte et les rétinoïdes, ont été remarqués comme stimulant la différenciation cellulaire et peuvent déclencher des événements apoptotiques (Bursch, Oberhammer *et al.* 1992, Wakamatsu, Zhao *et al.* 2001).

II.8.3. Comme agents antiadhésives

Les biosurfactants sont également considérés comme des agents antiadhésifs qui aident à éliminer les micro-organismes nocifs adsorbés sur une surface solide en inhibant l'adhésion. L'un de ces exemple pratique a montré que les cathéters urétraux en vinyle enduits de surfactant inhibant les biofilms formés par *Salmonella typhimurium*, *Salmonella enterica*, *E. coli* et *Proteus mirabilis*, *Salmonella sp.* Est l'un des principaux groupes de micro-organismes responsables de l'apparition de maladies infectieuses. groupes de micro-organismes responsables d'infections urinaires chez l'homme (Mireles, Toguchi *et al.* 2001). Alors que *Lactobacillus sp* contribue au micro biote normal du tractus urogénital féminin et maintient un micro biote sain en libérant des substances lactiques et des biosurfactants qui inhibent la croissance des microbes nocifs. Sur cette base, (Heinemann, van Hylckama Vlieg *et al.* 2000) ont rapporté l'inhibition d'*Entérocoques faecalis* et du biofilm de levure sur le caoutchouc de silicone à l'aide de biosurfactants libérés par *Lactalis*. Biosurfactants libérés par *Lactobacillus acidophilus* et *L. fermentum* RC-14 en réduisant l'adhérence entre le substrat et le biofilm (Heinemann, van Hylckama Vlieg *et al.* 2000). (Rodrigues, Teixeira *et al.* 2006) ,ont expliqué la capacité des biosurfactants produits par *L. lactis* 53 et *S. thermophilus* à inhiber l'adhésion des agents pathogènes provenant de l'extérieur. *S. thermophilus* à inhiber l'adhésion des pathogènes sur les prothèses vocales en caoutchouc de

silicone. coloniser les prothèses vocales en caoutchouc de silicone (Salusjärvi, Povelainen *et al.* 2004) Toutefois, ces rapports sont très préliminaires et nécessitent davantage de recherche et de développement, pour développer ces produits au niveau commercial.

II.8.4. Activité antivirale (Les biosurfactants : Une perspective Covid-19)

Bien que les raisons de la production microbienne de biosurfactants ne sont pas encore élucidées, une explication probable a été proposée par des analyses par le biais d'analyses évolutives. Ce point de vue reconnaît les avantages compétitifs générés par la production de biosurfactants, aidant à l'acquisition de ressources et à la défense, ce qui, augmentant ainsi la capacité de survie par rapport à d'autres organismes qui peuvent être désavantagés en conséquence (Cameotra, Makkar *et al.* 2010, Kiran, Ninawe *et al.* 2016). On a souvent constaté que la production de biosurfactants se produisait là où les espèces ont vu leurs ressources s'épuiser, ainsi que pendant les périodes où elles peuvent tirer profit de leurs propriétés antimicrobiennes. Des études antérieures ont exploré la nature défensive des surfactants en élargissant l'application des peptides bioactifs à l'inactivation des virus enveloppés. La cyclosporine A (CsA) est un bio peptide produit à partir du champignon *Tolypocladium inflatum*, déjà connu pour inhiber la propagation du virus de la grippe en interférant avec le cycle viral (Garoff, Hewson *et al.* 1998, Tabassum Khan 2017). La CsA n'affecte pas l'adsorption ou la réplication de l'ARN, mais inhibe plutôt les étapes qui suivent la synthèse des protéines, comme l'assemblage ou le bourgeonnement (Garoff, Hewson *et al.* 1998). Ce phénomène est extrêmement important car le bourgeonnement permet aux virus de sortir des cellules hôtes et de s'attacher à des membranes dérivées, enrichies en protéines virales, ce qui favorise la propagation et l'infection (Hamamoto, Harazaki *et al.* 2013).

En ciblant des événements plus tardifs du cycle de vie du virus, le problème de la résistance aux médicaments disponibles sera surmonté et la propagation sera limitée. Les lipopeptides utilisés comme adjuvants ou liés à des molécules antigéniques de faible masse ont également été utilisés pour stimuler le système immunitaire à produire des anticorps par le système immunitaire. Les vaccins synthétiques se sont révélés capables d'induire des anticorps T cytotoxiques spécifiques du virus. Des lymphocytes T cytotoxiques spécifiques du virus contre l'épitope de la nucléoprotéine de la grippe nucléoprotéine de l'influenza (Deres, Schild *et al.* 1989). Des résultats similaires ont été observés contre la fièvre aphteuse dans la réponse in vivo des cellules B et Th au VIH-1 (Wiesmüller, Jung *et al.* 1989, Loleit, Ihlenfeldt *et al.* 1996). Cela pourrait avoir une application très intéressante dans la découverte et la production de nouveaux vaccins. Les sphorolipides (SL), un groupe de glycolipides microbiens glycolipides microbiens produits par des levures ont montré des propriétés immun modulateurs, anti-inflammatoires et améliorent la survie en cas de septicémie dans des modèles animaux expérimentaux (Borsanyiiova, Patil *et al.*

2016). Par acétylation des groupes de tête des sophoroses, les SL ont été actifs contre le virus de l'herpès et le virus VIH. Cette modification est considérée comme améliorant l'hydrophile des SL, ce qui favorise leur propriétés antivirales et de stimulation des cytokines (Shah, Doncel *et al.* 2005, Gross and Shah 2007). Ce sont des problèmes potentiels qui peuvent se poser avec le SRAS-CoV2. Il est donc nécessaire de cribler des agents potentiels avec de nouveaux modes d'action afin d'éliminer les effets néfastes mettant en danger la vie des patients.

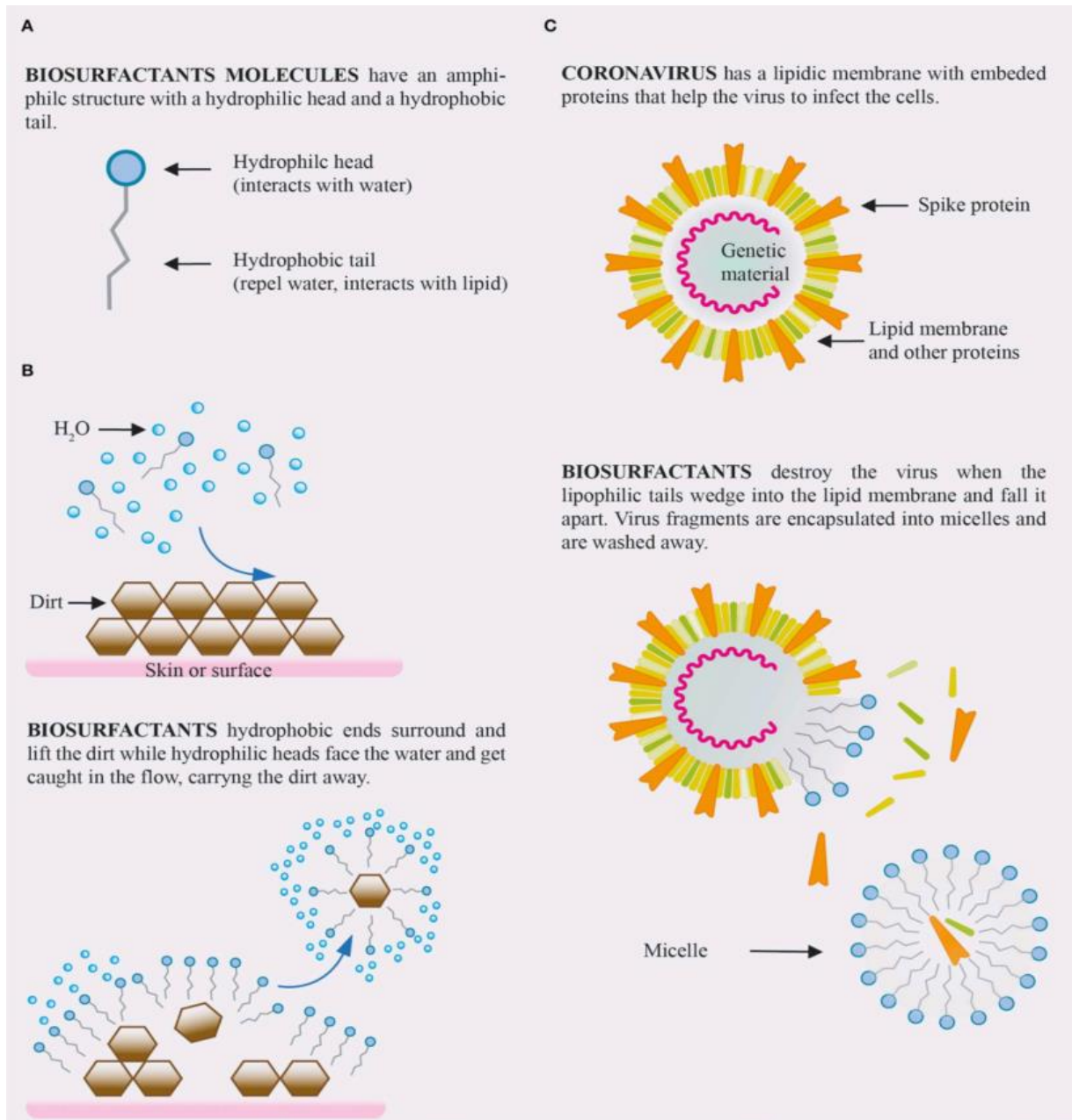


Figure II.4. (A) Structure d'une molécule de biosurfactants. (B) Interaction de la solution de biosurfactants avec la saleté. (C) Effet attendu des biosurfactants sur le coronavirus (Smith, Gandolfi *et al.* 2020)

II.9. Dans l'industrie cosmétique

Les produits cosmétiques jouent un rôle majeur dans notre vie de tous les jours. Il existe une grande variété de produits cosmétiques à base de tensioactifs, tels que le savon, le shampooing, le dentifrice, les crèmes hydratantes pour la peau, etc. Sont aujourd'hui progressivement remplacés par des composants à base de biosurfactants afin de répondre à la demande d'ingrédients naturels dans les cosmétiques de la part des consommateurs. On pense également que les biosurfactants agissent également comme des agents "pré biotiques" qui facilitent la croissance d'un microbiote cutané sain. Certaines études suggèrent que la composition des biosurfactants, tels que la CMC et les agents. L'équilibre hydrophile-lipophile (HLB) détermine l'utilisation des biosurfactants dans les formulations cosmétiques. Il a été rapporté que les glycolipides (par exemple, le rhamnolipide) et les lipopeptides (par exemple, surfactine) et présente la valeur CMC la plus faible (Gudiña, Rocha *et al.* 2010). La CMC représente la concentration minimale de biosurfactant dans le milieu qui subit la formation de micelles. D'autre part, la valeur HLB du tensioactif biologique détermine sa capacité d'émulsification et sa mouillabilité lors de la formulation de produits cosmétiques (Vecino, Cruz *et al.* 2017). La mouillabilité est définie comme la capacité d'un liquide à maintenir le contact avec une surface solide avec une surface solide et est régie par la tension superficielle intramoléculaire du liquide. La mouillabilité est plus souvent mesurée en termes d'angle de contact,

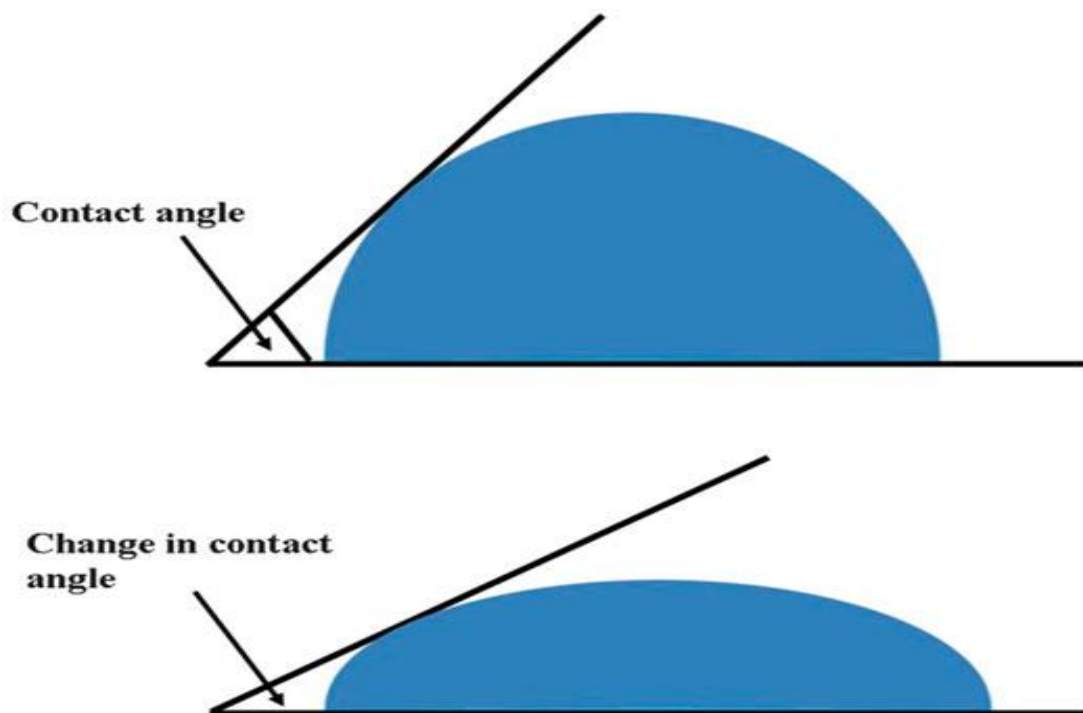


Figure II.5. L'angle de contact diminue avec la baisse de la tension superficielle (Ahamed and Prasad 2021).

Qui peut être défini comme l'angle entre la surface du liquide et le contour de la surface de contact. Plus l'angle de contact est faible, plus la mouillabilité est importante en raison de la perte de tension superficielle (Ahamed and Prasad 2021). Les biosurfactants ont trouvé un créneau sur le marché des soins personnels en raison de leurs propriétés hydratantes inférieures et de leur et de leur compatibilité avec la peau (Brown 1991). Les sophorolipides sont produits par *C. bombicola* KSM-36 en quantités de 100 ± 150 g/l en utilisant de l'huile de palme et du glucose comme source de carbone (Itoh 1987) et par *C. apicola* à environ 90 g/l en utilisant du glucose et de l'huile de tournesol comme substrats (Stüwer, Hommel *et al.* 1987). Un produit contenant une mole de sophorolipide et 12 moles de propylène glycol présente une compatibilité avec la peau et a trouvé une utilité commerciale en tant qu'hydratant pour la peau (Yamane 1987). Kao Chemical Corporation utilise actuellement des sophorolipides à des fins commerciales comme humectant pour des marques de maquillage (Kosaric 1992) a spéculé sur le rôle croissant des biosurfactants dans divers produits utilisés dans l'industrie cosmétique. Récemment, des concentrations beaucoup plus élevées de sophorolipides, jusqu'à 300 g/l (Davila, Marchal *et al.* 1997) et 422 g/l (Daniel, Reuss *et al.* 1998), ont été rapportées en utilisant *C. bombicola* dans deux techniques différentes de fermentation en deux étapes, en utilisant l'huile de colza comme principale source de carbone (Banat, Makkar *et al.* 2000).

II.10. Application dans le domaine pharmaceutique

Les biosurfactants ont de nombreuses utilisations dans l'industrie pharmaceutique en raison de leurs propriétés antimicrobiennes, antiadhésives, antivirales, anticancéreuse, anti-VIH, anti-inflammatoire, ainsi que des activités immuno-modulatrices, offrant ainsi une alternative aux antibiotiques traditionnels, comme les essais cliniques de Reid *et al.*, qui ont prouvé leur usage comme adjuvants pour les antigènes dans les vaccins et la thérapie génique. Il a même été suggéré d'utiliser des biosurfactants dans le traitement du SRAS-CoV-2 (Covid-19) en raison de leurs propriétés antivirales, attaquant la membrane lipidique de la cellule virale d'une manière qui n'affecte pas négativement l'hôte (Smith, Gandolfi *et al.* 2020).

Les biosurfactants sont utilisés dans la production de médicaments. Par exemple, la production de surfactant pulmonaire pour traiter les déficiences respiratoires chez les nourrissons prématurés (Muthusamy, Gopalakrishnan *et al.* 2008).

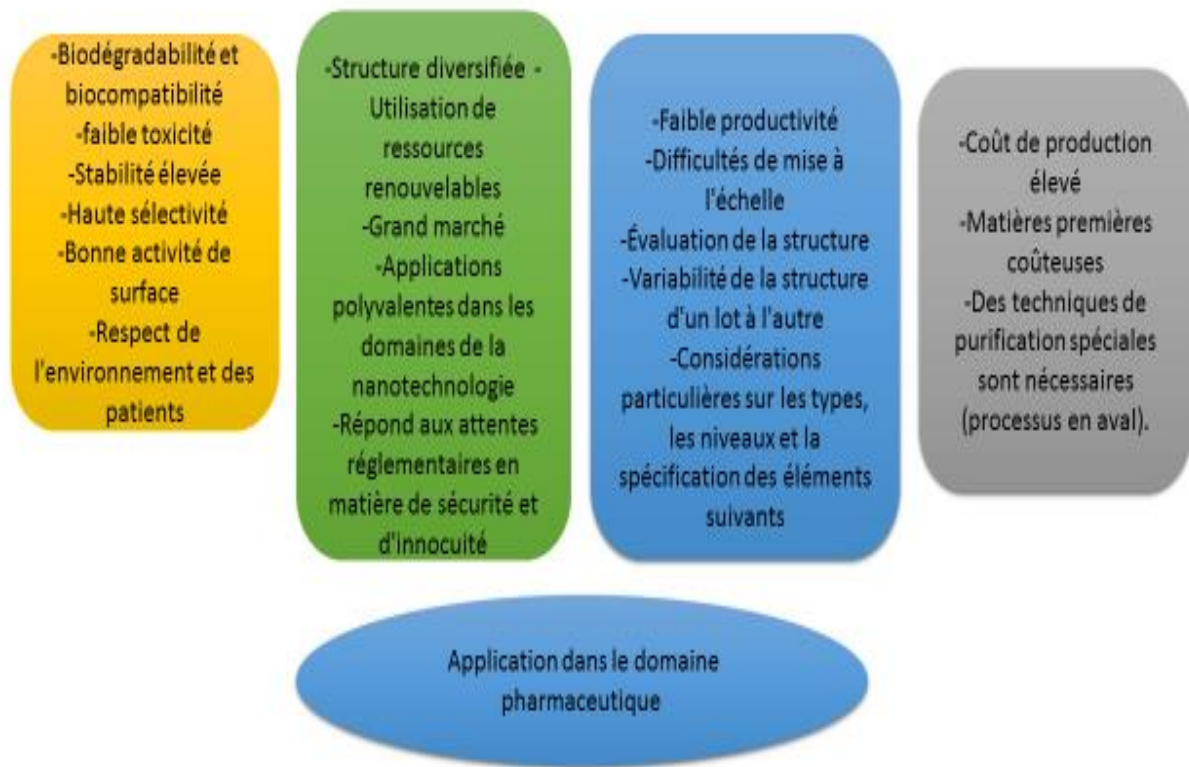


Figure II.6. Analyse des forces, faiblesses, opportunités et menaces des biosurfactants pour les applications pharmaceutiques (Ohadi, Dehghannoudeh *et al.* 2018).

II.11. Autres applications des biosurfactants

D'autres applications commerciales potentielles des biosurfactants sont dans l'industrie de la pâte et du papier (Rosenberg, Schwartz *et al.* 1989), textiles, céramiques (Horowitz and Currie 1990). (STALEY, PELLERIN *et al.* 1991) ont déposé leur candidature avec succès 503 hétéropoly saccharides de *Macrocystis pyrifera* et d'*Azotobacter Vineland II* comme dispersants dans la céramique.. Le biodispersant, un biosurfactant d'*Acinetobacter calcoaceticus A2* a un potentiel d'utilisation dans les dans l'industrie de la peinture (Rosenberg and Ron 1998). La suspension réalisée en présence du bio dispersant est facile à manipuler, les particules se déposant très lentement. C'est un aspect important pour les peintures, car il permet une meilleure de s'étaler et d'améliorer les propriétés de mélange.

L'Institut de recherche sur les fibres synthétiques de l'URSS a décrit un agent tensioactif produit par *Candida*. Pour lequel il existe des utilisations dans les industries textiles, pharmaceutiques et

cosmétiques (Research Institute of Synthétique Fibres synthétiques 1984. Brevet russe 1006±1481) (Bengmark 1998) a suggéré une utilisation possible des biosurfactants dans l'immun nutrition. (Mulligan and Cooper 1985) ont utilisé des biosurfactants comme agents de déshydratation pour le pressage de la tourbe. L'ajout de tensioactifs à la tourbe avant le pressage a permis d'améliorer la libération de l'eau. Cependant, le problème de la matière organique avec l'eau a été observé. Pour minimiser les pertes, le pressât de tourbe a été utilisé comme substrat pour la production de biosurfactants (Banat, Makkar *et al.* 2000).

Conclusion

Conclusion

Les biosurfactants sont des molécules tensioactives produites par certains microorganismes. Leur nature tout comme leur pouvoir tensioactif est fortement dépendants du type de micro – organisme utilisé (bactéries, levures, champignons), de la souche testée ainsi que du substrat nutritif disponible pour le 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. Tout comme leurs homologues de synthèse chimique, ils peuvent avoir des propriétés émulsifiantes, moussantes, mouillantes ou encore dispersantes, mais également des propriétés plus spécifiques.

Certaines de ces propriétés peuvent, de plus, être conservées dans des conditions extrêmes d'utilisation telles que pH acides, températures élevées, etc. Compte tenu de leurs potentialités et de leur innocuité, ils sont aujourd'hui 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 agroalimentaires, pharmaceutiques.

De nouvelles opportunités résulteront de l'identification d'applications spécifiques des Bs par rapport à leurs applications biologiques très largement répandues, en tant qu'agent antibiotique, antifongique, insecticide, antiviral et anti – tumoral.

Leur utilisation est également en qu'un modulateurs et inhibiteurs d'enzymes. Bien que leurs propriétés soient extrêmement variées et intéressantes, leur fabrication nécessite un savoir – faire et des connaissances approfondies en biotechnologie, qui permettront d'assurer une production de qualité.

La maîtrise du procédé de fabrication devient une étape clé qui conditionne les spécifications du produit obtenu. Leurs applications dans les différents domaines industriels laissent présager un avenir dans le domaine pharmaceutique et biomédical. Néanmoins, toutes les précautions doivent être prises au cours de leur production et usages.

Références Bibliographiques

Références bibliographiques

- Adamczak, M. and W. o. Bednarski (2000). "Influence of medium composition and aeration on the synthesis of biosurfactants produced by *Candida antarctica*." Biotechnology Letters **22**(4): 313-316.
- Ahamed, M. I. and R. Prasad (2021). Microbial biosurfactants: preparation, properties and applications, Springer Nature.
- Akintunde, T., et al. (2015). "Remediation of iron using rhamnolipid-surfactant produced by *Pseudomonas aeruginosa*." Research Journal of Environmental Sciences **9**(4): 169.
- Aparna, A., et al. (2012). "Production and characterization of biosurfactant produced by a novel *Pseudomonas* sp. 2B." Colloids and Surfaces B: Biointerfaces **95**: 23-29.
- Ariech, M. (2018). Identification des Archaea halophiles isolés du Chott El Hodna M'sila, productrices des biomolécules, Université Ferhat Abbas.
- Asmer, H.-J., et al. (1988). "Microbial production, structure elucidation and bioconversion of sophorose lipids." Journal of the American Oil Chemists' Society **65**: 1460-1466.
- Banat, I., et al. (2010). "Microorganism in environmental management: Microbes and environment." Appl Microbiol Biotechnol **87**(2): 427-444.
- Banat, I. M., et al. (2010). "Microbial biosurfactants production, applications and future potential." Appl Microbiol Biotechnol **87**(2): 427-444.
- Banat, I. M., et al. (2000). "Potential commercial applications of microbial surfactants." Applied microbiology and biotechnology **53**: 495-508.
- Bengmark, S. (1998). "Immunonutrition: role of biosurfactants, fiber, and probiotic bacteria." nutrition **14**(7-8): 585-594.
- Borchers, A. and T. Pieler (2010). "Programming pluripotent precursor cells derived from *Xenopus* embryos to generate specific tissues and organs." Genes (Basel) **1**(3): 413-426.
- Bordoloi, N. and B. Konwar (2008). "Microbial surfactant-enhanced mineral oil recovery under laboratory conditions." Colloids and Surfaces B: Biointerfaces **63**(1): 73-82.
- Borsanyiova, M., et al. (2016). "Biological activity of sophorolipids and their possible use as antiviral agents." Folia microbiologica **61**: 85-89.

Brown, M. (1991). "Biosurfactants for cosmetic applications." International journal of cosmetic science **13**(2): 61-64.

Bursch, W., et al. (1992). "Cell death by apoptosis and its protective role against disease." Trends in pharmacological sciences **13**: 245-251.

Cameotra, S. S. and R. S. Makkar (2004). "Recent applications of biosurfactants as biological and immunological molecules." Current Opinion in Microbiology **7**(3): 262-266.

Cameotra, S. S., et al. (2010). "Synthesis of biosurfactants and their advantages to microorganisms and mankind." Biosurfactants: 261-280.

Chan, X. Y., et al. (2013). "Insights of biosurfactant producing *Serratia marcescens* strain W2. 3 isolated from diseased tilapia fish: a draft genome analysis." Gut Pathogens **5**(1): 1-5.

Chaprão, M. J., et al. (2015). "Application of bacterial and yeast biosurfactants for enhanced removal and biodegradation of motor oil from contaminated sand." Electronic Journal of Biotechnology **18**(6): 471-479.

Chen, C.-Y., et al. (2007). "The application of a high throughput analysis method for the screening of potential biosurfactants from natural sources." Journal of Microbiological Methods **70**(3): 503-510.

Chen, W.-C., et al. (2015). "Applications of a lipopeptide biosurfactant, surfactin, produced by microorganisms." Biochemical Engineering Journal **103**: 158-169.

Daniel, H.-J., et al. (1998). "Production of sophorolipids in high concentration from deproteinized whey and rapeseed oil in a two stage fed batch process using *Candida bombicola* ATCC 22214 and *Cryptococcus curvatus* ATCC 20509." Biotechnology Letters **20**: 1153-1156.

Davila, A.-M., et al. (1997). "Sophorose lipid fermentation with differentiated substrate supply for growth and production phases." Applied microbiology and biotechnology **47**: 496-501.

de Jesús Cortés-Sánchez, A., et al. (2013). "Biological activity of glycolipids produced by microorganisms: new trends and possible therapeutic alternatives." Microbiological research **168**(1): 22-32.

Deleu, M. and M. Paquot (2004). "From renewable vegetables resources to microorganisms: new trends in surfactants." Comptes Rendus Chimie **7**(6-7): 641-646.

Deres, K., et al. (1989). "jung G, Rammensee HG." vivo priming of virus-specific cytotoxic T lymphocytes with synthetic lipopeptide vaccine. *Nature* **342**(6249): 561-564.

Desai, J. D. and I. M. Banat (1997). "Microbial production of surfactants and their commercial potential." Microbiol Mol Biol Rev **61**(1): 47-64.

Desai, J. D. and I. M. Banat (1997). "Microbial production of surfactants and their commercial potential." Microbiology and Molecular biology reviews **61**(1): 47-64.

Duarte, C., et al. (2014). "Effects of biosurfactants on the viability and proliferation of human breast cancer cells." AMB express **4**: 1-12.

Dubey, K. V., et al. (2005). "Adsorption—; Desorption Process Using Wood-Based Activated Carbon for Recovery of Biosurfactant from Fermented Distillery Wastewater." Biotechnology progress **21**(3): 860-867.

Fracchia, L., et al. (2015). "Potential therapeutic applications of microbial surface-active compounds." AIMS Bioengineering **2**(3): 144-162.

Garoff, H., et al. (1998). "Virus maturation by budding." Microbiology and molecular biology reviews **62**(4): 1171-1190.

Gross, R. A. and V. Shah (2007). Anti-herpes virus properties of various forms of sophorolipids, Google Patents.

Gudiña, E. J., et al. (2013). "Potential therapeutic applications of biosurfactants." Trends in pharmacological sciences **34**(12): 667-675.

Gudiña, E. J., et al. (2010). "Antimicrobial and antiadhesive properties of a biosurfactant isolated from *Lactobacillus paracasei* ssp. *paracasei* A20." Letters in applied microbiology **50**(4): 419-424.

Gunther, N., et al. (2006). "Proteomic based investigation of rhamnolipid production by *Pseudomonas chlororaphis* strain NRRL B-30761." Journal of industrial microbiology & biotechnology **33**: 914-920.

Hamamoto, I., et al. (2013). "Cyclosporin A inhibits the propagation of influenza virus by interfering with a late event in the virus life cycle." Japanese journal of infectious diseases **66**(4): 276-283.

Hannun, Y. A. and R. M. Bell (1989). "Functions of Sphingolipids and Sphingolipid Breakdown Products in Cellular Regulation." Science **243**(4890): 500-507.

The discovery that breakdown products of cellular sphingolipids are biologically active has generated interest in the role of these molecules in cell physiology and pathology. Sphingolipid breakdown products, sphingosine and lysosphingolipids, inhibit protein kinase C, a pivotal enzyme in cell regulation and signal transduction. Sphingolipids and lysosphingolipids affect significant cellular responses and exhibit antitumor promoter activities in various mammalian cells. These molecules may function as endogenous modulators of cell function and possibly as second messengers.

Heinemann, C., et al. (2000). "Purification and characterization of a surface-binding protein from *Lactobacillus fermentum* RC-14 that inhibits adhesion of *Enterococcus faecalis* 1131." FEMS Microbiology Letters **190**(1): 177-180.

Horowitz, S. and J. Currie (1990). "Novel dispersants of silicon carbide and aluminum nitride." JOURNAL OF DISPERSION SCIENCE AND TECHNOLOGY **11**(6): 637-659.

Hu, Y. and L.-K. Ju (2001). "Purification of lactonic sophorolipids by crystallization." Journal of Biotechnology **87**(3): 263-272.

Itoh, S. (1987). "Biosurfactants in cosmetic applications." Fat Sci Technol **89**: 470-473.

Ivanković, T. and J. Hrenović (2010). "Surfactants in the Environment." Archives of Industrial Hygiene and Toxicology **61**(1): 95-110.

Jimoh, A. A. and J. Lin (2019). "Biosurfactant: A new frontier for greener technology and environmental sustainability." Ecotoxicology and Environmental Safety **184**: 109607.

Kebbouche-Gana, S., et al. (2009). "Isolation and characterization of halophilic Archaea able to produce biosurfactants." Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology **36**(5): 727-738.

Khan, A. H. A., et al. (2017). "Role of nutrients in bacterial biosurfactant production and effect of biosurfactant production on petroleum hydrocarbon biodegradation." Ecological Engineering **104**: 158-164.

Kim, L. H., et al. (2015). "Physicochemical interactions between rhamnolipids and *Pseudomonas aeruginosa* biofilm layers." Environ Sci Technol **49**(6): 3718-3726.

Kiran, G. S., et al. (2016). "Rhamnolipid biosurfactants: evolutionary implications, applications and future prospects from untapped marine resource." Critical Reviews in Biotechnology **36**(3): 399-415.

Kosaric, N. (1992). "Biosurfactants in industry." Pure and Applied Chemistry **64**(11): 1731-1737.

Kosaric, N. (1992). Biosurfactants in industry, *Pure & Appl, Chern.*

Kosaric, N. (2001). "Biosurfactants and their application for soil bioremediation." *Food Technology and Biotechnology* **39**(4): 295-304.

Kretschmer, A., et al. (1982). "Chemical and physical characterization of interfacial-active lipids from *Rhodococcus erythropolis* grown on n-alkanes." *Applied and Environmental Microbiology* **44**(4): 864-870.

Kumar, P. S. and P. T. Ngueagni (2021). "A review on new aspects of lipopeptide biosurfactant: Types, production, properties and its application in the bioremediation process." *Journal of Hazardous Materials* **407**: 124827.

Lang, S. (2002). "Biological amphiphiles (microbial biosurfactants)." *Current Opinion in Colloid & Interface Science* **7**(1): 12-20.

Lang, S. and D. Wullbrandt (1999). "Rhamnose lipids--biosynthesis, microbial production and application potential." *Appl Microbiol Biotechnol* **51**(1): 22-32.

Loleit, M., et al. (1996). "Synthetic peptides coupled to the lipotriptide P3CSS induce in vivo B and helper cell responses to HIV-1 reverse transcriptase." *Immunobiology* **195**(1): 61-76.

Luna, J., et al. (2012). "Properties of the biosurfactant produced by *Candida sphaerica* cultivated in low-cost substrates." *Chem. Eng* **27**: 67-72.

Mazaheri Assadi, M. and M. Tabatabaee (2010). "Biosurfactants and their use in upgrading petroleum vacuum distillation residue: a review." *International Journal of Environmental Research* **4**(4): 549-572.

Md, F. (2012). "Biosurfactant: Production and Application." *Journal of Petroleum & Environmental Biotechnology* **3**: 124.

Meylheuc, T., et al. (2001). "Biosurfactants, surface-active biomolecules with wide potential applications." *Sciences des Aliments (France)*.

Mireles, J. R., et al. (2001). "Salmonella enterica serovar Typhimurium swarming mutants with altered biofilm-forming abilities: surfactin inhibits biofilm formation." *Journal of bacteriology* **183**(20): 5848-5854.

- Mohan, P. K., et al. (2006). "Biokinetics of biodegradation of surfactants under aerobic, anoxic and anaerobic conditions." Water Research **40**(3): 533-540.
- Mohd Isa, M. H., et al. (2020). "Evaluation of antibacterial potential of biosurfactant produced by surfactin-producing *Bacillus* isolated from selected Malaysian fermented foods." Food Biotechnology **34**(1): 1-24.
- Moldes, A. B., et al. (2011). "Ex Situ Treatment of Hydrocarbon-Contaminated Soil Using Biosurfactants from *Lactobacillus pentosus*." Journal of Agricultural and Food Chemistry **59**(17): 9443-9447.
- Moukala, M. B., et al. (2019). "Giving more benefits to biosurfactants secreted by lactic acid bacteria isolated from plantain wine by using multiplex PCR identification." Advances in Microbiology **9**(11): 917-930.
- Mukherjee, S., et al. (2006). "Towards commercial production of microbial surfactants." Trends Biotechnol **24**(11): 509-515.
- Mulligan, C. N. (2005). "Environmental applications for biosurfactants." Environmental Pollution **133**(2): 183-198.
- Mulligan, C. N. and D. G. Cooper (1985). "Pressate from peat dewatering as a substrate for bacterial growth." Applied and Environmental Microbiology **50**(1): 160-162.
- Muthusamy, K., et al. (2008). "Biosurfactants: properties, commercial production and application." Current science: 736-747.
- Nalini, S., et al. (2020). "Biosurfactant in food and agricultural application." Environmental Biotechnology Vol. 2: 75-94.
- Nitschke, M. and S. G. V. A. O. Costa (2007). "Biosurfactants in food industry." Trends in Food Science & Technology **18**(5): 252-259.
- Ohadi, M., et al. (2018). "Investigation of the structural, physicochemical properties, and aggregation behavior of lipopeptide biosurfactant produced by *Acinetobacter junii* B6." International Journal of Biological Macromolecules **112**: 712-719.
- Pacwa-Płociniczak, M., et al. (2011). "Environmental applications of biosurfactants: recent advances." International journal of molecular sciences **12**(1): 633-654.
- Pacwa-Płociniczak, M., et al. (2011). "Environmental applications of biosurfactants: recent advances." Int J Mol Sci **12**(1): 633-654.

Pastewski, S., et al. (2006). "Physicochemical aspects of the application of surfactants and biosurfactants in soil remediation." Environmental engineering science **23**(4): 579-588.

Rahman, K. S., et al. (2002). "Rhamnolipid biosurfactant production by strains of *Pseudomonas aeruginosa* using low-cost raw materials." Biotechnol Prog **18**(6): 1277-1281.

Rahman, P. K. S. M. and E. Gakpe (2008). "Production, Characterisation and Applications of Biosurfactants-Review." Biotechnology(Faisalabad) **7**(2): 360-370.

Rodrigues, L. and I. Banat "teixeira, J. and Oliveira, R. 2006. Biosurfactants: Potential applications in medicine." Journal of Antimicrobial Chemotherapy **57**: 609-618.

Rodrigues, L., et al. (2006). "Biosurfactants: potential applications in medicine." Journal of antimicrobial chemotherapy **57**(4): 609-618.

Rodrigues, L., et al. (2006). "Low-cost fermentative medium for biosurfactant production by probiotic bacteria." Biochemical Engineering Journal **32**(3): 135-142.

Ron, E. and E. Rosenberg (2002). "Biosurfactants and oil bioremediation. *Environmental Biotechnology*, 13 (3): 249-252. Sarubbo LA 2006. Production and stability studies of the bioemulsifier obtained from a strain of *Candida glabrata* UCO1002." Journal of biotechnology **9**: 400-406.

Ron, E. Z. and E. Rosenberg (2001). "Natural roles of biosurfactants: Minireview." Environmental microbiology **3**(4): 229-236.

Rosenberg, E. and E. Ron (1998). "Surface active polymers from the genus *Acinetobacter*." Biopolymers from renewable resources: 281-291.

Rosenberg, E., et al. (1989). "A microbial polymer that changes the surface properties of limestone: Effect of biodispersant in grinding limestone and making paper." JOURNAL OF DISPERSION SCIENCE AND TECHNOLOGY **10**(3): 241-250.

S.J, G., et al. (2018). "Biosurfactants: Production and potential applications in microbial enhanced oil recovery (MEOR)." Biocatalysis and Agricultural Biotechnology **14**: 23-32.

Sachdev, D. P. and S. S. Cameotra (2013). "Biosurfactants in agriculture." Applied microbiology and biotechnology **97**: 1005-1016.

Salihu, A., et al. (2009). "An investigation for potential development on biosurfactants." Biotechnol Mol Biol Rev **3**(5): 111-117.

Salusjärvi, T., et al. (2004). "Cloning of a gluconate/polyol dehydrogenase gene from *Gluconobacter suboxydans* IFO 12528, characterisation of the enzyme and its use for the production of 5-ketogluconate in a recombinant *Escherichia coli* strain." Applied microbiology and biotechnology **65**: 306-314.

Santos, D. K. F., et al. (2016). "Biosurfactants: multifunctional biomolecules of the 21st century." International journal of molecular sciences **17**(3): 401.

Satpute, S. K., et al. (2010). "Methods for investigating biosurfactants and bioemulsifiers: a review." Critical Reviews in Biotechnology **30**(2): 127-144.

Shah, V., et al. (2005). "Sphorolipids, microbial glycolipids with anti-human immunodeficiency virus and sperm-immobilizing activities." Antimicrobial agents and chemotherapy **49**(10): 4093-4100.

Sharma, N., et al. (2021). "Biosurfactant: A Next-Generation Tool for Sustainable Remediation of Organic Pollutants." Front Microbiol **12**: 821531.

Shekhar, S., et al. (2015). "Biosurfactant producing microbes and their potential applications: a review." Critical Reviews in Environmental Science and Technology **45**(14): 1522-1554.

Shepherd, R., et al. (1995). "Novel bioemulsifiers from microorganisms for use in foods." J Biotechnol **40**(3): 207-217.

Silva, R. D. C. F., et al. (2014). "Applications of biosurfactants in the petroleum industry and the remediation of oil spills." International journal of molecular sciences **15**(7): 12523-12542.

Smith, M. L., et al. (2020). "Biosurfactants: a Covid-19 perspective." Frontiers in Microbiology **11**: 1341.

Sobrinho, H. B., et al. (2013). "Biosurfactants: classification, properties and environmental applications." Recent developments in biotechnology **11**(14): 1-29.

STALEY, J., et al. (1991). USE OF ACIDIC BIOPOLYMERS AS DISPERSANTS FOR PROCESSING OF CERAMICS. ABSTRACTS OF PAPERS OF THE AMERICAN CHEMICAL SOCIETY, AMER CHEMICAL SOC 1155 16TH ST, NW, WASHINGTON, DC 20036.

Stüwer, O., et al. (1987). "Production of crystalline surface-active glycolipids by a strain of *Torulopsis apicola*." Journal of Biotechnology **6**(4): 259-269.

Tabassum Khan, N. (2017). Cyclosporin A production from *Tolipocladium inflatum*. *General Medicine: Open Access*, 05.

Tugrul, T. and E. Cansunar (2005). "Detecting surfactant-producing microorganisms by the drop-collapse test." World Journal of Microbiology and Biotechnology **21**: 851-853.

Usman, M. M., et al. (2016). "Application of biosurfactants in environmental biotechnology; remediation of oil and heavy metal." AIMS Bioengineering **3**(3): 289-304.

Vecino, X., et al. (2017). "Biosurfactants in cosmetic formulations: trends and challenges." Critical Reviews in Biotechnology **37**(7): 911-923.

Vijayakumar, S. and V. Saravanan (2015). "Biosurfactants-types, sources and applications." Research Journal of Microbiology **10**(5): 181.

Wakamatsu, Y., et al. (2001). "Mannosylerythritol lipid induces characteristics of neuronal differentiation in PC12 cells through an ERK-related signal cascade." European Journal of Biochemistry **268**(2): 374-383.

Wei, Y.-H., et al. (2007). "Using Taguchi experimental design methods to optimize trace element composition for enhanced surfactin production by *Bacillus subtilis* ATCC 21332." Process Biochemistry **42**(1): 40-45.

Wiesmüller, K.-H., et al. (1989). "Novel low-molecular-weight synthetic vaccine against foot-and-mouth disease containing a potent B-cell and macrophage activator." Vaccine **7**(1): 29-33.

Yamane, T. (1987). "Enzyme technology for the lipids industry: an engineering overview." Journal of the American Oil Chemists' Society **64**(12): 1657-1662.

Youssef, N. H., et al. (2004). "Comparison of methods to detect biosurfactant production by diverse microorganisms." Journal of Microbiological Methods **56**(3): 339-347.

Yuan, C., et al. (2014). "Study on characteristics and harm of surfactants." Journal of chemical and pharmaceutical research **6**(7): 2233-2237.

Zinjarde, S. S. and A. Pant (2002). "Emulsifier from a tropical marine yeast, *Yarrowia lipolytica* NCIM 3589." Journal of Basic Microbiology: An International Journal on Biochemistry, Physiology, Genetics, Morphology, and Ecology of Microorganisms **42**(1): 67-73.

ملخص

تم إنتاج المواد الخافضة للتوتر السطحي الميكروبي ((Pastewski, Hallmann et al.)) صناعيًا وتطبيقها في العديد من المجالات حول العالم. يتزايد إنتاج المواد الخافضة للتوتر السطحي كل عام، مما يعكس الموقف العالمي تجاه المنتجات الآمنة والصديقة للبيئة. تتمتع المواد الخافضة للتوتر السطحي المشتقة حيويًا بالعديد من المزايا مقارنة بنظيراتها المركبة كيميائيًا، بما في ذلك التحلل البيولوجي، والخصوصية، وانخفاض السمية. تتكون المواد الخافضة للتوتر السطحي من أجزاء محبة للماء ومضادة للماء، ويكون الجزء الكارهة للماء في معظم الحالات هيكل دهني، ومع ذلك، فإن السكريات والأحماض الأمينية والبروتينات والفوسفات تمثل الجزء المحب للماء. تم الإبلاغ عن العديد من الكائنات الحية الدقيقة لإنتاج المواد الخافضة للتوتر السطحي. إن إنتاج ونوع الخافض للتوتر الجرثومي متعلق بالأنواع الجرثومية ويعتمد على العوامل الغذائية والبيئية. يمكن تصنيف المواد الخافضة للتوتر السطحي وفقًا لخصائصها الفيزيائية أو الكيميائية، كما يعتبر التركيب الكيميائي للمواد الخافضة للتوتر السطحي معيار التصنيف الرئيسي.

Abstract

Industrially produced biosurfactants, also known as tensioactive microbes, have been used in many different fields all over the world. Each year, the production of microbiological tensioactives rises, reflecting the global attitude toward environmentally safe and responsible products. who reflects the global mindset toward safe products that respect the environment. Comparing biologically derived tensioactives to their chemically synthesized counterparts, there are several advantages. Specifically, the biodegradability, specificity, and least toxicity were chemically synthesized, as well as a lesser toxicity. Biosurfactants are made up of hydrophilic and hydrophobic groups, with the hydrophobic component typically being a lipidic structure. Nevertheless, the hydrophilic portion is made up of sugars, amino acids, proteins, and phosphates. Several microorganisms have been identified as producing tensioactive substances. The output Production processes and the type of surfactant microbiota produced are unique to each species and are influenced by nutritional and environmental factors. The classification of biosurfactants can be done according to their physical or chemical properties. The primary criterion for classification of biological tensioactives is their chemical structure.

Résumé

Les tensioactifs microbiens (Banat, Franzetti et al.) ont été produits industriellement et appliqués dans de nombreux domaines à travers le monde. La production de tensioactifs microbiens augmente chaque année, ce qui reflète l'attitude mondiale à l'égard des produits sûrs et respectueux de l'environnement. Les tensioactifs d'origine biologique présentent plusieurs avantages par rapport à leurs homologues synthétisés chimiquement, notamment la biodégradabilité, la spécificité et la moindre toxicité. Les biosurfactants sont composés de parties hydrophiles et hydrophobes, la partie hydrophobe étant dans la plupart des cas une structure lipidique. Cependant, les sucres, les acides aminés, les protéines et les phosphates représentent la partie hydrophile. De nombreux micro-organismes ont été signalés comme produisant des agents tensioactifs. La production et le type de surfactant microbien produit sont spécifiques à l'espèce et dépendent de facteurs nutritionnels et environnementaux. Les biosurfactants peuvent être classés en fonction de leurs propriétés physiques ou chimiques. La structure chimique des tensioactifs biologiques représente le principal critère de classification.