

**République Algérienne Démocratique et
Populaire**

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche

Scientifique

Université A.MIRA-BEJAIA



**Faculté des Sciences de la nature et de la
vie**

Département de Sciences Alimentaires

Mémoire pour l'obtention de diplôme de master en
Qualité des Produits et Sécurité Alimentaire

Thème

**Rôle des exopolysaccharides bactériens dans le domaine
agroalimentaire**

Soutenu le 19 septembre 2021

Devant le jury composé de :

Mme Hamitri-Guerfi Fatiha	MCA	Présidente
Melle ISSAADI Ouarda	MCB	Examinatrice
Mme Fella-Temzi Samira	MCB	Promotrice

Réalisé par:

AZI AMINA

BENSAKHERYA AMEL

Année universitaire:2020/2021

REMERCIEMENTS

REMERCIEMENTS

Nous tenons tout d'abord à remercier le bon Dieu le tout puissant de nous avoir donné le courage, la santé, la patience et la volonté pour pouvoir accomplir ce travail.

Nous remercions les plus vifs s'adressent à notre Promotrice de mémoire, Dr FELLA Samira pour l'honneur qu'elle nous a fait en acceptant de nous encadrer, ainsi pour les conseils précieux, et le temps qu'elle nous a consacré afin de réaliser ce travail.

Nous tenons également à remercier les membres de jury pour l'honneur qu'ils nous ont accordé en acceptant de juger ce travail.

En fin nous remercions toute personne ayant contribué à la réalisation de ce modeste travail.

Dédicaces

Je dédie ce travail:

A mon père Moussa et ma mère Chattouhe Aida pour leur amour inestimable, leurs sacrifices, leur confiance, leur soutien et toutes les valeurs qu'ils ont su m'inculquer.

A mon mari Nassim Ourtirane la plus grande source de mon bonheur, ainsi qu'à la Famille OURTIRANE.

A mes sœurs et mes frères Sofiane, Amine, Souhila, Nadia, Lamia, Nadjet, Karima et Rihame pour leur tendresse, leur complicité et leur présence malgré la distance qui nous sépare, ainsi à tous mes camarades de l'Université.

AMEL.

Dédicaces

A ma mère et mon père, grâce à vos efforts, vos sacrifices et vos prières, je suis arrivé là où je suis aujourd'hui.

A la lumière de ma vie, celle qui m'offre le courage et la volonté avec son sourire et regard innocent à toi mon adorable fille «Alicia» tu es trésor pour toujours.

Et à mon mari, l'homme de ma vie mon soutien et ma fierté je te remercie pour ta compréhension, ta patience, ta présence affectueuse à mes côtés et ton encouragement.

A mes adorables frères et sœurs je vous aime tellement.

A ma belle famille et à mes chères amies.

A toute ces personnes je leur dédié le premier fruit d'un modeste travail.

AMINA.

TABLE DES MATIERES

TABLE DES MATIERES

REMERCIEMENTS.....	iii
---------------------------	------------

LISTEDESABREVIATIONS

LISTEDESFIGURES.....	v
-----------------------------	----------

LISTEDESTABLEAUX.....	vi
------------------------------	-----------

INTRODUCTION	1
---------------------------	----------

Chapitre I: Généralités sur les exopolysaccharides bactériens

I.1. Polysaccharides exocellulaires	3
I.2. Exopolysaccharide d'origine microbienne	3
I.2.1. Homopolysaccharides.....	3
I.2.1.1. Définition de dextrane	4
I.2.1.2. Caractérisation du dextrane	5
I.2.2. Hétéropolysaccharides.....	6
I.3. Composition osidique	8
I.4. Classification en fonction de la localisation cellulaire	9
I.4.1. Les polysaccharides de la paroi cellulaire	9
I.4.2. Les polysaccharides intracellulaires	9
I.4.3. Les polysaccharides capsulaires et libérés (extracellulaires).....	9
I.5. Biosynthèses des exopolysaccharides.....	10
I.5.1. La voie extracellulaire	10
I.5.2. La voie intracellulaire	12
I.6. Rôle des exopolysaccharides.....	14

TABLE DES MATIERES

I.6.1. Rôle dans la protection des bactéries	14
I.6.2. Rôle nutritionnel.....	14
I.6.3. Rôle dans l'adhésion	15
I.6.4. Le maintien de l'architecture du biofilm	15
I.6.5. Structuration du sol et rétention d'eau	15
I.7. Propriété physico-chimique des EPS	16
I.7.1. Le cordage	16
I.7.2. Viscosité et élasticité	16
I.8. Production et récupération des EPS	17
I.8.1. La production des EPS	17
 Chapitre II : Applications des exopolysaccharides	
II.1. Applications des EPS dans le domaine agroalimentaire	19
II.1.1. Les produits laitiers	20
II.1.1.1. Le fromage	20
II.1.1.1.1 Etude des LAB produisant des EPS dans le fromage cheddar	21
II.1.1.2. Le yogourt	21
II.1.2. Les produits céréaliers.....	22
II.1.2.1. Les effets bénéfiques potentiels des EPS dans la pâte et le pain.....	22
II.1.3. Application des dextrane.....	23
II.2. Avantage des EPS	25
II.2.1. Avantage technologique.....	25
II.2.2. Avantage sur la santé	26
II.2.2.1. Rôle probiotique et prébiotique des EPS des BAL	27
II.2.2.1.1. L'activité antibactérienne des EPS	29

TABLE DES MATIERES

II.2.2.1.2. Activité prébiotique.....	29
II.3. Inconvénients des EPS	30
CONCLUSION	31
Références bibliographiques.....	32

LISTE DES ABREVIATIONS

LISTE DES ABREVIATIONS

Bifido-EPS: exopolysaccharides contiennent de bifidus.

CPS : Polysaccharides capsulaires.

EPS: Polysaccharides exocellulaires.

FOS : Fructo-oligosaccharides.

GOS: Les galacto- oligosaccharides

HoPs: Homopolysaccharides.

HPMC: Hydroxypropyl Methylcellulose.

IMO: Isomalto-oligosaccharides.

JFR1: *ropyL. lactis sub sp. Cremoris.*

HePs: Hétéropolysaccharides.

LAB : Les bactéries lactiques.

LAB-EPS: Les bactéries lactiques productrices d'exopolysaccharides

LAB-EPS Bifido : Les bactéries lactiques productrices de Bifidus

LACT: Le lactosaccharose

LPS : Lipopolysaccharides.

PNAG: Poly- β -1,6-N-acétylglucosamine.

RF : Fromages à teneur réduite en matières grasses.

SOS : Les oligosaccharides de soja.

Wzx: Flippas.

XOS: Les xylooligosaccharides.

Chapitre I : Généralités sur les exopolysaccharides bactériens

INTRODUCTION

Les polysaccharides sont des polymères de monosaccharides liés par des liaisons glycosidiques et sont définis et classés en fonction des considérations structurelles suivantes : Identité des monosaccharides présents ; Des formes cycliques monosaccharidiques (pyranose à 6 chaînons ou furanose à 5 chaînons); Les positions et les configurations des liaisons glycosidiques; La séquence des résidus de monosaccharide dans la chaîne, et Présence ou absence de substituants non-glucidiques (Choct, 1997).

En raison de l'application des exopolysaccharides bactériens dans l'industrie alimentaire, une attention particulière a été accordée à ces biopolymères spéciaux. La demande croissante des consommateurs pour des aliments qui ne contiennent pas d'additifs artificiels peut être satisfaite via les produits fermentés en utilisant des bactéries lactiques (LAB) capables de synthétiser des exopolysaccharides (EPS). Actuellement, Il existe une grande variabilité dans les EPS synthétisés par des LAB en termes de quantité, de composition des monomères, de poids moléculaire, décharge et déstructure, ce qui se traduit par un large éventail de facteurs physico-chimiques et rhéologiques, ainsi que d'autres propriétés qui peuvent être exploitées pour des applications variées dans l'industrie alimentaire. Comme exemple, les EPS sont une classe alternative de bio-épaississants largement utilisés dans l'industrie alimentaire (Angelin et Kavitha,2020).

Les bactéries lactiques, comme beaucoup d'autres bactéries, sont capables de produire plusieurs types de polysaccharides classés selon leur emplacement par rapport à la cellule. Ceux qui sont excrétés hors de la paroi cellulaire sont appelés polysaccharides exocellulaires ou EPS (Ruas-Madiedo et al., 2002). Les EPS récupérés à partir de bactéries probiotiques avec des compositions glucidiques variées, possèdent de nombreuses propriétés bénéfiques. C'est à l'instar de différents microbes probiotiques qui ont un comportement unique en exprimant leur capacité à présenter des caractéristiques importantes de promotion de la santé sous la forme de polysaccharides (Angelin et Kavitha,2020).

Les souches de LAB produisant des EPS ont été traditionnellement utilisées dans la fabrication des milieux de culture, leur utilisation dans le processus de production de fromages allégés, différents yaourts à base de végétaux, divers types de pains au levain et produits à base de viande fermentée à faible teneur en matière grasse. De plus, les EPS interagissent avec d'autres composants alimentaires pour améliorer les propriétés rhéologiques et sensorielles et, par conséquent, ils peuvent agir à la fois comme texturants et stabilisants, augmentant la viscosité et améliorant la sensation en bouche des produits (Korcz et Varga,2021).Certains EPS bactériens peuvent remplacer directement les polysaccharides extraits de plantes (ex: gomme de

INTRODUCTION

gaur ou pectine) ou d'algues (par exemple carraghénane ou alginate) dans les applications traditionnelles, en raison de leurs propriétés physiques améliorées (Freitas et al.,2011).

Les EPS microbiens ont trouvé des applications à travers de nombreuses industries, y compris les applications technofonctionnelles au sein de secteur alimentaire. Cependant, force est de constater ces ingrédients naturels restent sous-utilisés dans le secteur des aliments fonctionnels (Ryan et al.,2015).

Ce travail fournit un bref aperçu sur la structure et la composition des EPS, et met en évidence les avantages des EPS, en se focalisant sur le domaine agro-alimentaire et savoir leur application dans les produits alimentaires.

INTRODUCTION

Chapitre I : Généralités sur les exopolysaccharides bactériens

I.1. Polysaccharides exocellulaires

Les polysaccharides exocellulaires sont synthétisés à la fois par des bactéries à Gram positif, négatif et des cyanobactéries. Ils se présentent soit sous forme d'une capsule enrobant la cellule soit secrétés dans le milieu environnant. Dans certains cas, les deux formes sont produites par le micro-organisme mais dans la pratique, la distinction entre les deux est floue. Ces polymères ont été nommés polysaccharides capsulaires ("capsular polysaccharides" : CPS), microcapsulaires, ou encore "slime" dans la littérature anglo-saxonne. Le terme général de polysaccharide exocellulaire ou exopolysaccharide (EPS) semble le plus approprié pour désigner ces différentes formes de polysaccharides (Roger et al.,2002).

I.2. Exopolysaccharide d'origine microbienne

Leurs compositions, fonctions, propriétés chimiques et physiques qui établissent leur conformation primaire varient d'une espèce bactérienne à l'autre. Les EPS sont principalement composés de glucides (une large gamme de résidus de sucre) et de certains substituants non glucidiques (tels que l'acétate, le pyruvate, le succinate et le phosphate).

La plupart des bactéries productrices d'EPS ont été décrites comme produisant soit un homo, soit un hétéropolysaccharide (Kumaretal.,2007), des bactéries (*Serratiamarcescens*, *Aeromonassalominicida* et *Pseudomonas Sp.* Souche NCIB2021) capables de produire deux polysaccharides différents ont été signalées. En raison des liaisons et de la nature des unités monomères, les homopolysaccharides peuvent être classés en α -D-glucanes, β -D-glucanes, fructanes et polygalactane. Le D-glucose, le D-galactose, le L-rhamnose et la N-acétylglucosamine (GlcNAc), la N-acétylgalactosamine (GalNAc) ou l'acide glucuronique (GlcA) sont les unités répétitives des hétéropolysaccharides et parfois des substituants non glucidiques tels que le phosphate. Les homopolysaccharides et les hétéropolysaccharides sont également différents dans les enzymes synthétiques et le site desynthèse (Kumar et al.,2007).

I.2.1. Homopolysaccharides

Les homopolysaccharides sont composés de monosaccharides identiques. Ils comprennent des glucanes, uniquement constitué de D-glucose mais qui peuvent posséder des propriétés physiques très différentes. En effet, l'enchaînement de leurs résidus et la présence de ramifications modifient leurs comportements en solution.

Chapitre I : Généralités sur les exopolysaccharides bactériens

Le scléroglycane est très visqueux alors que le curdlane forme un gel en solution et la cellulose bactérienne est insoluble. Pourtant, tous les trois sont exclusivement composés de glucose. Leurs utilisations se réduisent actuellement, à quelques exceptions près, à l'exploitation de leurs propriétés rhéologiques. Les homopolysaccharides bactériens les plus utilisés sont le dextrane, le curdlane, le scléroglycane, l'amylose et l'amylopectine (figure1); (aussi appelé pullulane). Leurs structures, leurs propriétés physico-chimiques et leurs utilisations industrielles sont décrites dans de nombreux ouvrages (Whistler et al.,1993).

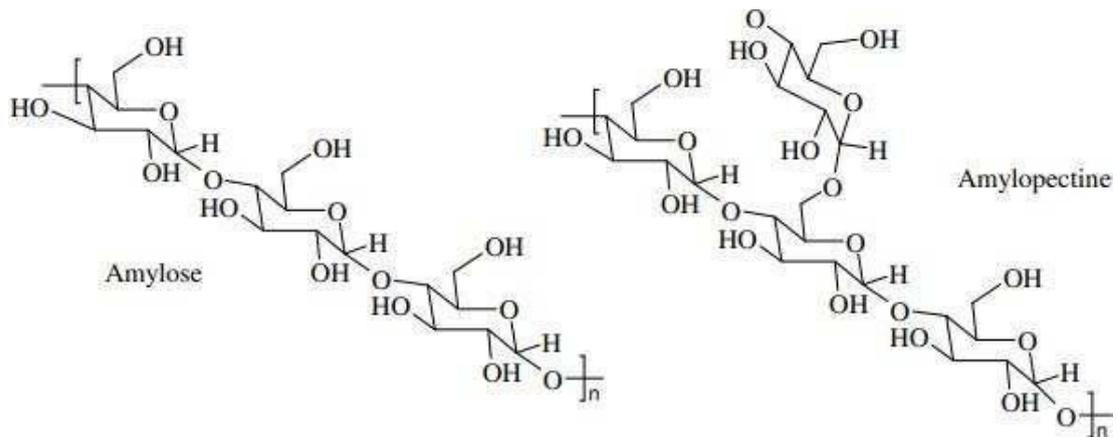


Figure01: Structures chimiques de l'amylose et de l'amylopectine (Whistleretal.,1993).

I.2.1.1. Dextrane

Scheilber, (1874) a étudié le mot dextrane pour la fois par l'apparition d'une certaine viscosité dans les jus de canne et betterave sucrée. Le comportement que Pasteur (1861) avait déjà attribué ce comportement à l'action des microorganismes. Plus tard, en 1878, Van Tieghem a isolé et nommé le microorganisme responsable de la gélification et l'a nommé *Betacoccus mesenteroides* (Naessens et al., 2005). L'enzyme extracellulaire responsable de la production de dextrane dite comme dextrane-saccharase nommée par Hestrin, Averini-Shapiro et Aschner (1943).

Le dextrane est un polysaccharide microbien extracellulaire produit par les bactéries lactiques d'une masse moléculaire élevée, son hydrolyse chimique contrôlée permet la production de fractions ayant une masse moléculaire moyenne de 70 KDa, et ils possèdent généralement des chaînes de D-glucose en liaison α (1 \rightarrow 6) avec différentes ramifications (α (1 \rightarrow 2), α (1 \rightarrow 3) ou α (1 \rightarrow 4)) (D'iaz-Montes et al., 2019). La structure chimique du dextrane représenté par la figure 2.

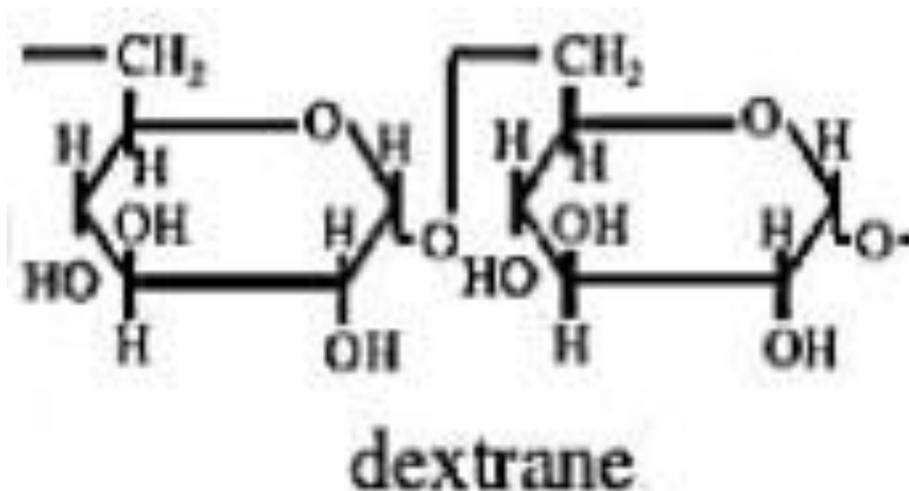


Figure02: Structure chimique du dextrane (Delattre,2009).

Par ailleurs, plusieurs souches de bactéries ont été isolées et appartiennent principalement à des souches de *Leuconostoc*. Il a également été constaté que des espèces de bactéries d'autres genres produisent du dextrane, alors que la spécificité de la synthèse des liaisons dans le dextrane dépend de la souche et donc de type spécifique de dextransucrase impliquée (Naessens et al., 2005).

I.2.1.2. Caractérisation du dextrane

La caractérisation structurelle du dextrane est un facteur important pour son utilisation. Et les propriétés bénéfiques, ainsi stimulent un intérêt pour la découverte de nouveaux EPS-bioactifs (Kothari et al., 2014).

Tableau I : Propriétés général du dextrane utilisé dans l'industrie (Kothari et al., 2014).

Propriétés générales du dextrane utilisé dans l'industrie	
-Emulsifiant	-Cryoprotecteur
-Visqueux	-Probiotique
-Stabilisateur	-Biofloculant
-Agent de texture	-Agent gélifiant
-Agent liant l'eau	

I.1.1. Hétéropolysaccharides

La majorité des polysaccharides bactériens est probablement constituée d'hétéropolysaccharides.

Chapitre I : Généralités sur les exopolysacchari des bactériens

Ils comprennent les polymères dont l'unité répétitive est constituée d'au moins deux résidus différents. Mais la souche *Pseudo alteromonas* HYD 721 (Rougeaux et al., 1999) produit un exopolysaccharide dont l'unité répétitive contient huit résidus différents et deux ramifications. Les monosaccharides les plus fréquemment rencontrés sont le glucose, Le galactose et le rhamnose pour les oses neutres, l'acide glucuronique et l'acide galacturonique, pour les oses acides. Les analyses structurales des EPS de nouvelles souches permettent la mise en évidence de sucres rares comme les acides uroniques-N-acétylés ou inconnus jusqu'alors. Parmi les hétéropolysaccharides en trouve le xanthane (figure 3).

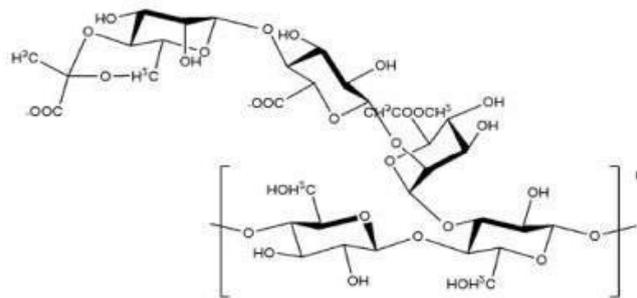


Figure03 : Structure du xanthane (Rougeaux et al., 1999).

Les hétéropolysaccharides comme les homopolysaccharides peuvent être ramifiés ou linéaires. Il existe donc une très grande variété de structures possibles. Cette classe de polymères représente une source de molécules dont les propriétés physico-chimiques sont très diverses. Le tableau I résume et simplifiés les espèces de LAB productrices d'homo et hétéro polysaccharides.

Tableau I : Espèces de LAB productrices d'homo et d'hétéropolysaccharides (Ruas-Madiedo et al., 2002).

EPS	Genre	Espèce
HoPS		
α-glucan	Lactococcus Lactobacillus	L. Lactis Lb. Reuteri, Lb. sakei, Lb. fermentatum, Lb. plantarum
HePs		
	Lactococcs Lactobacrus	L. Lactis sub sp. Cremoris Lb. acidophilus, Lb. de le bruekii subsp.

Chapitre I : Généralités sur les exopolysacchari des bactériens

I.3. Composition osidique (Classification selon la composition chimique)

Les EPS sont composées de résidus glycosidiques, qui peuvent être liés de façon covalente à des substituants organiques ou inorganiques. Les sucres que l'on peut trouver dans les EPS sont extrêmement divers. La plupart de ces résidus sont également présents chez les animaux et les végétaux. Le D-glucose, le D-galactose et le D-mannose sous forme pyranose, sont présents dans de nombreux EPS. Parmi les 6-déoxy-hexoses, le L-fucose et le L-rhamnose sont les monosaccharides les plus fréquemment rencontrés. Les EPS de cellules eucaryotes se distinguent par la production, dans certains cas, de pentoses comme le D-ribose ou le D-xylose, qui sont beaucoup moins fréquents dans les polysaccharides dérivés des procaryote (Philippis et al.,1998). Plus de 70 souches ont été répertoriées, mais seulement 10 monosaccharides différents ont été rencontrés:

- Des hexoses : glucose (présent dans 90% des polymères), galactose et mannose;
- Des pentoses : ribose, xylose et arabinose;
- Des déoxy-hexoses : fucose et rhamnose;
- Des hexoses acides : acide glucuronique et acide galacturonique (Philippis et al., 1998).

En plus des monosaccharides les plus communes cités ci-dessus, les EPS peuvent contenir un ou plusieurs sucres rares, comme les hexoses de configuration absolue L, les hexosamines N-acétylées telles que la N-acétylglucosamine, la N-acétylgalactosamine, la N-acétylmannosamine ou des amino-sucres comme la fucosamine ou la talosamine. La Figure 4 représente les Parois de bactéries à Gram positif et à Gram négatif (Philippis et al., 1998).

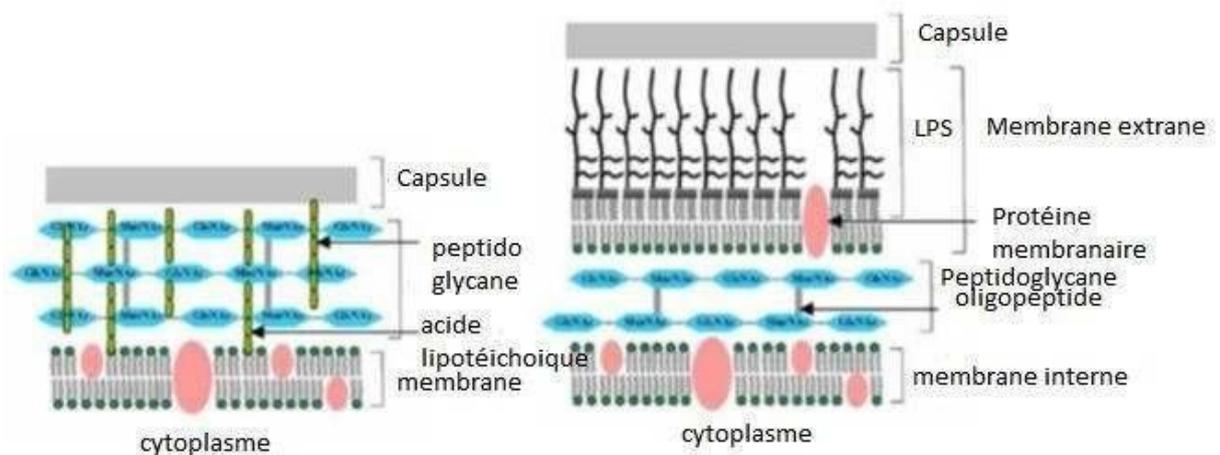


Figure04 : Parois de bactéries à Gram positif et à Gram négatif (Philippis et al.,1998).

Chapitre I : Généralités sur les exopolysaccharides des bactériens

I.1. Classification en fonction de la localisation cellulaire

I.1.1. Polysaccharides de la paroi cellulaire

Les enveloppes cellulaires de la plupart des bactéries se divisent en deux grands groupes.

- **Les bactéries Gram-négatives** sont entourées par une paroi de cellule peptidoglycane mince. Le peptidoglycane est un réseau composé de chaînes linéaires de N-acétylglucosamine et d'acide N-acétylmurami que liées par des liaisons B-(1-4). Le peptidoglycane est lui-même entouré par une membrane extérieure à la quelle sont fixés des lipopolysaccharides (LPS). Les LPS sont constitués d'un lipide A et d'une partie osidique débordant de la membrane externe. La partie osidique comprend un cœur oligosidique sur lequel est fixée une chaîne polysaccharidique parfois appelée «Antigène» (Krid et al.,2019).
- **Les bactéries de Gram positif** sont entourées d'une couche de peptidoglycane beaucoup plus épaisse et ne présentent pas de membrane externe. La paroi renferme aussi des acides teichoïques, de structures diverses, selon l'espèce ou la souche bactérienne (Krid et al.,2019).

I.1.2. Polysaccharides intracellulaires

Du cytosol appelé polysaccharides de stockage tels que le glycogène qui sont situés dans le cytoplasme (Krid et al.,2019).

I.1.3. Polysaccharides capsulaires et libérés (extracellulaires)

Les polysaccharides capsulaires (CPS) se trouvent à l'extérieur de la paroi bactérienne, reliés à la membrane directement ou par l'intermédiaire du lipide A des LPS chez les bactéries Gram négative. Pour une même espèce, la structure des polysaccharides capsulaires peut varier, déterminant ainsi leur spécificité antigénique.

Quand les polysaccharides produits ne sont pas liés à la surface cellulaire mais excrétés dans l'environnement, parle de polysaccharides extracellulaires (EPS). Le fait que peu de choses sur le mode d'attachement des polysaccharides à la cellule, rend la distinction entre les polysaccharides attachés et les polysaccharides libres difficile. Ainsi, les CPS peuvent être libérés dans un milieu de culture, en raison de conditions de manipulation ou à cause de l'instabilité de leur liaison à la membrane ou à la paroi. Par ailleurs, certains polysaccharides peuvent être liés à la cellule et au peptidoglycane de façon non covalente. Ainsi, au cours de la croissance, *Lactobacillus plantarum* EP56 produit d'abord un polysaccharide capsulaire qui est par la suite progressivement libéré (Dimopoulou,M.2013).

Chapitre I : Généralités sur les exopolysaccharides des bactériens

I.2. Biosynthèses d'exopolysaccharides

La biosynthèse de l'EPS dans les bactéries se produit de deux manières, intra et extracellulaire comme représenté sur la figure 5. Les HoPs sont généralement produits par voie de biosynthèse extra cellulaire tandis que les HePs sont synthétisées par des voies intracellulaires ou extracellulaires.

I.2.1. La voie extracellulaire

La biosynthèse des HoPs est assurée par des glycosyl transférases extracellulaires spécifiques et du fructosyl transférases pendant le processus de polymérisation. Les résidus de sucre sont clivés en unités monomères à l'extérieur de la cellule et assemblées de manière extracellulaire en un polymère à l'aide de glycosyl transférases. Le saccharose est utilisé comme substrat spécifique qui se clive en glucose et fructose et polymérisé en glucane et fructane par le glucane sucrase et la fructane sucrase. Les glucane sucrases sont en outre classées en dextrane sucrases (dextrane), mutansucrases (mutane), reutéranes sucrases (reutéranes) et alternane sucrases (alternane) tandis que fructane sucrases sont divisés en lévane sucrases (lévane) et inuline sucrases (inuline) respectivement. Celles-ci Les HoP polymérisées sont directement libérées dans l'environnement extracellulaire comme le montre la figure 5.

(Angelinetkavitha,2020).

Chapitre I : Généralités sur les exopolysacchari des bactériens

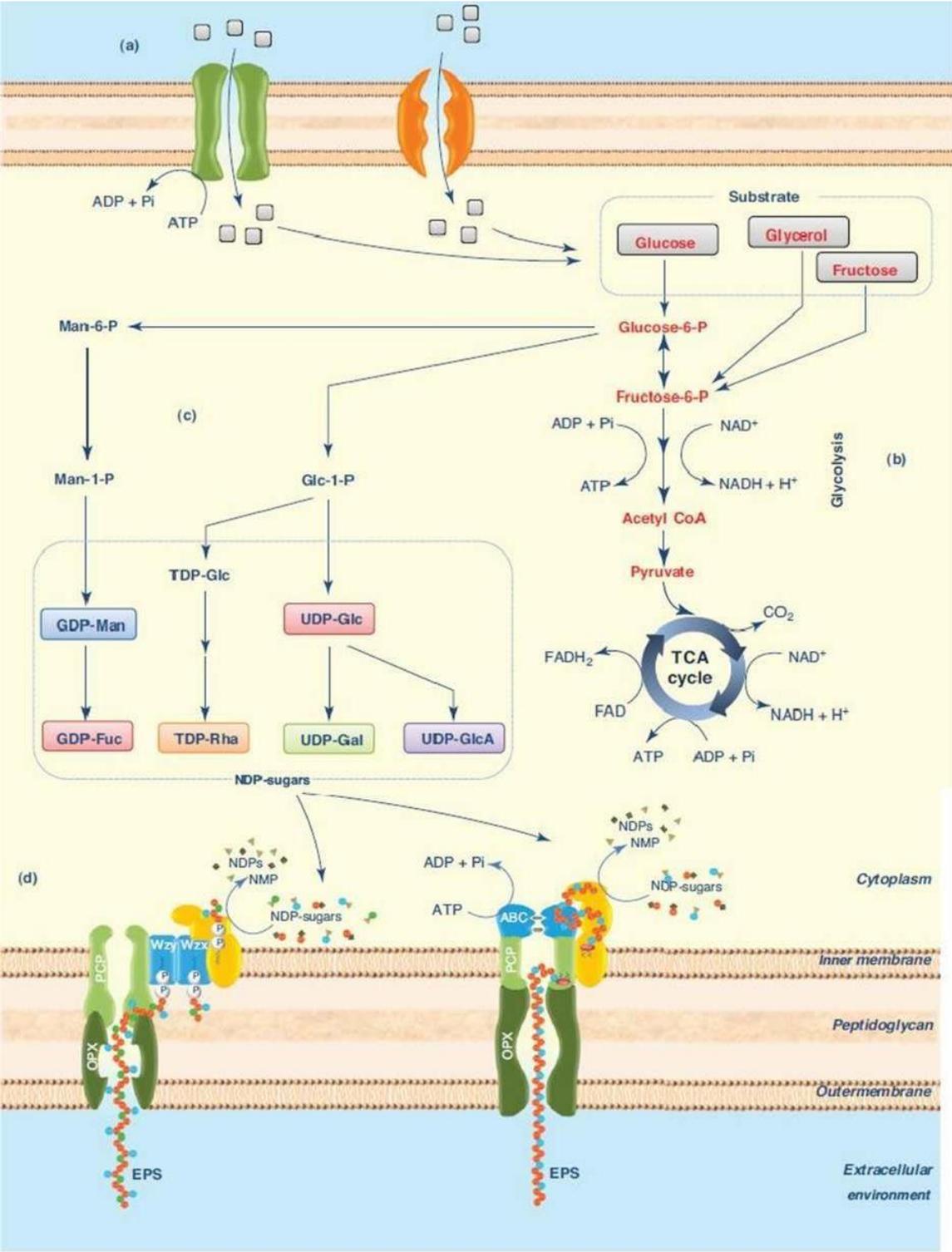


Figure05: Mécanismes potentiels de biosynthèse des polysaccharides chez les bactéries, d’après (Freitas et al.,2011).

Chapitre I : Généralités sur les exopolysaccharides des bactériens

I.1.1. La voie intracellulaire

Les résidus de sucres ont transportés dans la cellule, convertis en différentes unités monomères, polymérisées partiellement et fixées à un isoprénoïde lié à une membrane support lipidique. A ce stade, la modification nécessaire du polymère se produit, puis le polymère est transporté à l'extérieur et assemblé sous forme de polysaccharides. Synthèse des HePs par intracellulaire la voie est relativement complexe et implique diverses enzymes, transporteurs et protéines de transport codé par des gènes d'origine chromosomique ou plasmidique. Les quatre groupes d'enzymes impliqués dans la biosynthèse des EPS bactériens sont listés dans le tableau III. La synthèse des HePs repose sur Voie Wzx / Wzy dans laquelle, à l'exception de la polymérisation, tous les autres processus ont lieu à l'intérieur du cytoplasme. (Figure 5) Transport de sucre, synthèse de nucléotides de sucre, synthèse d'unités répétées, et la polymérisation des unités répétitives formées dans le cytoplasme sont les quatre étapes principales de la synthèse des HePs. L'entrée des substrats dépend du type de sucres et se produit via des transports passifs ou système de transport du pyruvate de phosphoénol. La molécule de glucose qui pénètre dans le cytoplasme est phosphorylé par l'hexokinase (enzyme du groupe 1) (Tableau III) en glucose-6-phosphate qui est ensuite converti en glucose-1-phosphate par l'action de phosphoglucomutase. L'enzyme appartient au groupe 2, uridine-5'-di-phosphate (UDP)-glucose la pyrophosphorylase catalyse la conversion du glucose-1-phosphate en UDP-glucose (molécule clé dans la synthèse d'EPS). Des précurseurs directs pour la biosynthèse bactérienne d'EPS sont formés intracellulairement à partir des intermédiaires du métabolisme central du carbone. Les précurseurs et le donneur des monomères pour la biosynthèse de la plupart des unités répétitives sont des nucléotides de sucre tels que sucres nucléosidiques di-phosphate (NDP-glucose), acides nucléosidiques di-phosphates (GDP mannuronic acide) et les dérivés de sucre nucléosidique diphosphate (UDP-glucose, UDP-N-acétyl glucosamine, UDP-galactose et désoxythymidine di-phosphate (dTDP) -rhamnose. Dans la voie dépendante de Wzx / Wzy (Figure 05), ces nucléotides de sucre considérés comme répétitifs individuels les unités sont attachées à un ancrage un décaprényl di-phosphate (support lipidique C55) situé à l'intérieur membrane, par les glycosyl transférases (enzyme du groupe 3) (Tableau III) et transloquent à travers la cytoplasmique membrane par une protéine Wzx (flippase). Le lipide porteur est identifié comme isoprénoïde alcool, et son groupe alcool terminal est attaché à un résidu de monosaccharide par un pont pyrophosphate. A ce stade, les polysaccharides peuvent être modifiés par différents enzymatiques activités telles que l'acétylation, la sulfatation et la méthylation. Ainsi, ces

Chapitre I : Généralités sur les exopolysaccharides des bactériens

polymères modifiés sont libérés à la surface externe de la cellule bactérienne sous forme de polysaccharides capsulaires ou de boue-couche (EPS) par l'action d'enzymes hydrophobes du groupe 4 comme la flippase, la perméase ou l'ABC transporteurs (Figure 05) (Angelin et kavitha,2020).

TableauII: Enzymes intervenant dans la biosynthèse d'exopolysaccharides (Angelin et kavitha,2020).

Groupe	Enzyme	Mode d'action	Références
Groupe-1	Hexokinase	Les enzymes intracellulaires convertissent le glucose en glucose-6-phosphate	(Torinoetal., 2015)
Groupe-2	Uridine-5''diphosphate(UDP)-glucose pyrophosphorylase	Catalyse la conversion du glucose-1-Phosphate en UDP-glucose (clé moléculaire de synthèse d'EPS)	(Cuthbertsonet al.,2009)
Groupe-3	Glycosyl transferases (GTFs)	Transfère les nucléotides de sucre à un lipide glycosylé porteur	(Zanninietal, 2016)
Groupe-4	Protéine Wzx(flippas),perméase et ABC transporters	Impliqué dans la polymérisation des macromolécules et situées en dehors de la membrane cellulaire et paroi cellulaire Translocation d'unités répétitives individuelles attaché au support lipidique UDP-C55 à travers la membrane cytoplasmique.	(Islam.,2014)

I.3. Rôle des exopolysaccharides

I.3.1. Protection des bactéries

- **Contre la déshydratation:** Les EPS assurent à la bactérie une protection contre la déshydratation de par leur caractère fortement hydraté (Schnider-Keel et al., 2001), ce qui augmente le taux de survie des cellules produisant des EPS par rapport aux souches non productrices.

- **Contre les biocides et les xénobiotiques:**

La nature vis que use de la couche d'EPS a un effet important sur les propriétés de diffusion des molécules entrant ou sortant de la cellule et peut permettre de bloquer l'entrée d'ions métalliques toxiques ou les antibiotiques, comme les peptides

Chapitre I : Généralités sur les exopolysacchari des bactériens

antimicrobiens cationiques (Campos et *al.*,2004).

- Protection des enzymes bactériennes contre la perte :

Plusieurs auteurs suggèrent l'implication des EPS dans la prévention de la perte des enzymes, en les gardant près des cellules qui les produisent, permettant ainsi la dégradation effective du matériau polymère et de particules.

- La rétention des protéines extracellulaires comme la lipase par l'alginate (Flemming et Wingender,2002).

- La complexation du chrome par les EPS favorise la réduction du chrome en composés moins toxiques et plus solubles en protégeant les réductases constitutives de *Pseudomonas Sp* (Mercanetal.,2011).

- Lors d'un transfert horizontal des gènes, les acides nucléiques adsorbés à des particules d'argiles sont protégés par les EPS, contre la dégradation par les nucléases (Calvay et al.,2011).

I.3.2. Rôle nutritionnel

Le caractère anionique des EPS leur permet de fixer des cations à la surface des bactéries et de favoriser ainsi l'apport en minéraux essentiels et en nutriments nécessaires à la croissance bactérienne (Costertonetal.,1981).

Dans la rhizosphère, les EPS proviennent essentiellement des bactéries productrices d'EPS ainsi que des exsudats racinaires des plantes. Ces polymères peuvent servir de nutriments pour les bactéries (rôle trophique), comme ils peuvent jouer un rôle signalétique dans l'établissement d'associations symbiotiques entre les rhizobiums (Gharzouli et al., 2012) mais aussi certaines espèces du genre *Burkholderia* avec les légumineuses (Chenetal., 2006).

I.3.3. Rôle dans l'adhésion

Vandevivere et Kirchman en 1993, ont montré que l'attachement des bactéries sur un support solide favorise la synthèse des EPS; celle-ci caractérise l'adhésion irréversible lors de la formation d'un biofilm.

I.1.1. Maintien de l'architecture du biofilm

Les EPS jouent un rôle déterminant dans l'architecture du biofilm. La production de l'EPS poly- β -1,6-N-acétylglucosamine (PNAG) a été décrite dans les biofilms de *Burkholderia* de riamultivorans, *Burkholderia* de riavietnamiensis, *Burkholderia* de riaambifaria, *Burkholderia* de riacepacia et *Burkholderia* cenocepacia. Yakandawala (2011) attribue un rôle au PNAG dans le maintien de l'intégrité du biofilm des *Burkholderia*. Le renforcement de la structure

Chapitre I : Généralités sur les exopolysacchari des bactériens

du biofilm est crucial pour la stabilité et la poursuite des interactions synergiques fondées sur la proximité spatiale des divers organismes du biofilm, comme la syntrophie (Flemming et al.,2007).

I.1.2. Structuration du sol et rétention d'eau

Les biofilms se développant sur les particules d'argiles contribuent fortement à l'agrégation du sol en augmentant la porosité de celui-ci, offrant ainsi une meilleure circulation de l'eau et de l'air (Kaci et al., 2006). Par ailleurs, l'inoculation d'une bactérie productrice d'EPS dans la rhizosphère du blé dur entraînait une augmentation de la masse de racines ainsi que la masse de sol adhérant aux racines (Kacietal.,2005). De même que Blanchart et ses collaborateurs (2000) ont montré que la sécrétion d'EPS par *Burkholderia caribensis*, permet une cohésion parfaite entre les racines de certaines plantes (blé, tourne sol) et le sol.

Les EPS, qu'ils soient d'origine végétale ou bactérienne contribuent à l'amélioration de la rétention d'eau des sols. L'amendement d'un sol argil eux avec des EPS produits par une souche de *Rhizobium* (KYGT207) ,a permis une amélioration de la rétention d'eau, conséquence d'une augmentation du volume poral, suite à une réorganisation structurale du sol (Kaci et al.,2008).

I.1. Propriété physico-chimique

Buchanan et Hammer(1982) ont décrit la corde du lait en tant que changement des a consistance normale à une condition dans le quel de longs fils de masses vis que uses sont observés.

Ils ont attribué cette condition à la production de dérivés polysaccharidiques. Le cordage est d'une grande importance dans la formation des propriétés polysaccharidiques. Il se manifeste par une augmentation de la viscosité et un visqueux ou grass en sation en bouche d'un polysaccharide. Habituellement, ropiness (mucoïdie) est généré par une déformation lors de la production d'EPS et contribue à l'adhésivité, alors que les paramètres comme la fermeté et l'élasticité d'un polysaccharide sont plus liées aux propriétés de la matrice protéique. EPS-protéine les interactions sont très importantes pour présenter des textures Propriétés (Angelin et Kavitha,2020).

I.1.1. Viscosité et élasticité

Les propriétés physico-chimiques des EPS, y compris la viscosité dépendent de leur masse moléculaire, de la composition monosaccharidique, de la structure primaire et de leur interaction avec les constituants du lait, principalement les ions et les protéines. Les propriétés rhéologiques de l'EPS purifié devraient différer de celles observées dans le

Chapitre I : Généralités sur les exopolysacchari des bactériens

produit fermenté.

De puis les deux, la formation du gel et la biosynthèse d'EPS se produisent pendant la fermentation, due à la formation des réseaux forte mentinter connecté. Deux rhéologiques caractéristiques peuvent être distinguées: la viscosité est la propriété d'un matériau pour résister à la déformation. Dans le cadre des produits laitiers fermentés, cet attribut peut être décrit aussi visqueux et fluide. L'élasticité est la propriété d'un matériau pour retrouver sa conformation initiale après une déformation eu lieu. Ces attributs correspondent à un corps ferme et un produit laitier fermenté de type gomme. Les deux propriétés sont importantes pour la qualité organoleptique d'un produit et pour son apparence attrayante et sa sensation en bouche agréable.

La viscosité est une caractéristique très significative de l'EPS en solutions. L'émulsification et la viscosité sont des caractéristiques souhaitables d'un biopolymère pour son application sous extrême conditions, par ex. pH, température et salinité. La viscosité des solutions EPS dépend d'un certain nombre de caractéristiques liés à la structure EPS, à savoir ! Composition du polysaccharide, rigidité de la chaîne, branches et groupes latéraux en chaîne polysaccharidique (Angelin et Kavitha,2020).

I.2. Production et récupération des EPS (cas de bactéries lactiques)

I.2.1. La production des EPS

La bactérie est généralement cultivée dans un milieu liquide de lait d'une composition similaire à celle utilisée pour le criblage avec une optimisation (supplémentation des milieux avec des micronutriments, tels que du carbone supplémentaire et les sources d'azote ou les vitamines) pour maximiser les rendements EPS. Cependant, il n'y a pas de solution optimale unique pour maximiser les rendements EPS à cause des variations dues aux caractéristiques de la souche telles que l'adaptation à différentes niches et conditions environnementales, l'absorption de sucre et la régulation génique.

Une considération importante concernant le milieu de croissance pour la production d'EPS est la présence d'hydrates de carbone qui pourraient interférer avec les EPS ultérieurement lors de la quantification et la caractérisation. Ceux-ci incluent les glucomannanes présents dans l'extrait de levure et la peptone (Lebellenet, L.2017).

Chapitre I : Généralités sur les exopolysacchari des bactériens

Chapitre II : Applications des exopolysaccharides

II.1. Applications des EPS dans le domaine agroalimentaire

Les EPS représentent un grand intérêt industriel qui est lié à leurs propriétés structurales et fonctionnelles très diversifiées. Une fonction importante est la capacité des EPS à modifier le milieu aqueux par épaissement, émulsification, chélation, stabilisation, suspension, formation de gels, mais aussi à encapsuler ou flocculer des particules dispersées (Jivkova, D. 2018).

A- Les EPS sont utilisées pour stabiliser les émulsions (par exemple stabiliser le couple huile/eau d'intérêt pharmaceutique par la β -lactoglobuline ou bien de xanthane) et les suspensions et ainsi donner la structure physique requise pour l'emballage de produits et leur distribution (Jivkova, D. 2018).

B- Ils trouvent une large utilisation dans le domaine agro-alimentaire pour leurs qualités épaississantes et gélifiantes qui peuvent améliorer ou standardiser certains produits alimentaires

C- Les EPS sont souvent utilisées pour éliminer les défauts indésirables liés à la perte d'eau (synérèse) de certains aliments transformés, et comme agents "gonflants" dans la formulation de produits à faible teneur en calories (Jivkova, D. 2018).

En raison de leurs structures chimiques uniques et complexes qui offrent des fonctions bioactives bénéfiques, la biocompatibilité et la biodégradabilité, les EPS microbiens ont trouvé un large éventail de domaines d'application dans les industries chimiques, alimentaires, pharmaceutiques, cosmétiques, de l'emballage, de l'agriculture et dans la médecine sont utilisées comme adhésifs, absorbants, lubrifiants, cosmétiques, véhicules d'administration de médicaments, textiles, matériaux à haute résistance, émulsifiants, viscosifiants, agents de suspension et chélateurs (Ates O 2015).

Plusieurs nouveaux EPS bactériens ont été isolés et identifiés ces dernières années (Ates O 2015); cependant, quelques-uns d'entre eux ont atteint une valeur commerciale significative en raison des coûts de production élevés. Les EPS bactériens tels que le xanthane, le gellan, le dextran et le curdlan avec des propriétés physiques et chimiques supérieures sont utilisés à la place des polysaccharides végétaux (gomme de guar ou pectine) ou d'algues (par exemple, carraghénane ou alginate) dans les applications traditionnelles.

D'autres EPS bactériens tels que le levan, le pullulan et le wellan avec des propriétés et des Activités biologiques uniques ont trouvé de nouvelles opportunités commerciales (Ates O 2015).

Les EPS ont des applications dans de nombreux secteurs alimentaires, mais principalement dans les domaines laitier et céréalier.

II.1.1. Produits laitiers

Chapitre II: Applications des exopolysaccharides

Dans l'industrie de la fermentation laitière, les LAB EPS sont technologiquement importants pour leur rhéologie et effets de texture (Figure 06) sur les produits :

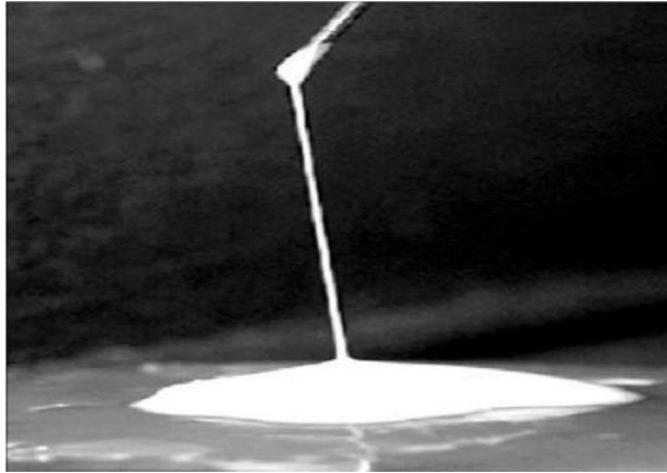


Figure 06 : Apparence macroscopique du filament visqueux formé par la masse cellulaire d'une souche de bactéries lactiques commerciale productrice d'EPS (Roger, 2002).

II.1.1.1. Fromage

Les EPS ont été utilisés dans les fromages à teneur réduite en matières grasses (RF) et demi écrémé pour améliorer les propriétés texturales et rhéologiques de ces produits. La matière grasse du lait joue un rôle important dans la structure du fromage car la membrane qui entoure les globules de graisse du lait présente une surface hydrophile à la matrice protéique environnante et agit comme une charge sans interaction qui empêche la coalescence complète des protéines. Cela résulte dans des pools de sérum distribués avec des globules gras dans toute la matrice de caillé. Si la teneur en matières grasses du fromage est abaissée, le nombre de ces pools et le rapport humidité / protéine est diminué. Ainsi, l'élimination des graisses se traduit par une protéine plus dense réseau, qui affecte la texture du fromage. Par conséquent, une stratégie importante pour l'amélioration des propriétés fonctionnelles du fromage faible en gras consiste à augmenter suffisamment sa teneur en humidité pour fournir un rapport humidité / protéines comparable à son homologue gras. Le fromage fait avec des démarreurs produisant des EPS a des niveaux d'humidité plus élevés, avec une microstructure similaire aux fromages gras (Lynch et al., 2018).

Chapitre II: Applications des exopolysaccharides

II.1.1.1. Etude des LAB produisant des EPS dans le fromage cheddar

Des travaux portant sur l'utilisation des souches traditionnellement fermentaire associées aux produits laitiers et qui synthétisent généralement les HePS. Ils ont examiné l'effet de l'utilisation de la souche *ropy L. lactis subsp. Cremoris* (JFR1) sur les caractéristiques texturales, fondantes et sensorielles de fromage cheddar RF. L'utilisation de ce fromage RF généré par un producteur d'EPS avec un niveau d'humidité plus élevé que le témoin et des propriétés de texture et de fusion similaires à celles du type gras . La liaison et la rétention d'eau par les EPS ont été suggérées comme étant les raisons des effets positifs. Le rôle mécaniste des EPS a été montré par des observations de microscopie électronique, qui a révélé que le fromage RF fabriqué avec la souche JFR1 avait un réseau de protéines plus poreux qu'aux commandes RF; un réseau tridimensionnel d'EPS a été observé dans de grands pores. Des résultats similaires ont été observés lors de la production du cheddar demi-gras avec un certain nombre de *L. lactis subsp. cremoris*, y compris JFR1. Toutes les souches entraînent une augmentation du rendement du fromage et des niveaux d'humidité; cependant, il a été constaté que la souche JFR1 entraînait un fromage affiné ou affiné avec une structure très ouverte et une texture légèrement faible, le suggérant ainsi peut être plus adapté à la production de fromages non affinés ou à pâte molle RF. Dans le lait fermenté, comme le yogourt (Lynch et al., 2018).

II.1.1.1. Yogourt

Comme on l'a vu précédemment dans le cas des fromages, les EPS peuvent affecter la formation du gel de caséine en agissant comme une charge et comme des noyaux pour la formation de canaux sériques et de gros pores contenant des cellules bactériennes, des EPS et du sérum de lait (Hassan, 2008). Les facteurs importants influençant la fonction des EPS dans le yaourt sont leurs caractéristiques moléculaires et leur capacité à interagir avec les protéines du lait. Par exemple, le niveau d'interactions EPS-EPS ou EPS protéine est responsable de la formation de longs brins dans le yogourt, c'est-à-dire du caractère moelleux. La viscosité intrinsèque des EPS dépend de la masse moléculaire et de la rigidité de la chaîne, sans effet clair de la composition chimique du produit. Cependant, il a été démontré que certaines liaisons dans le squelette conduisent à des chaînes plus rigides que les liaisons (Laws et al., 2001). Le comportement de type polymère de la phase sérique dans le yaourt contenant des EPS augmente la consistance et la viscosité du produit (Hassan 2008). En général, les EPS avec une masse moléculaire élevée et un squelette rigide avec peu de branches sont responsables d'une texture crémeuse à haute viscosité, tandis que les EPS flexibles, hautement ramifiés et à faible masse moléculaire conduisent à des produits minces à faible viscosité (Lynch et al., 2011).

Chapitre II: Applications des exopolysaccharides

II.1.2. Produits céréaliers

Les LAB EPS peuvent être exploités de manière positive dans les produits à base de céréales, notamment à travers l'application de la technologie du levain. Les LAB hétéro fermentaires sont prédominants dans le levain et de nombreuses souches produisent des HoPS. Sur 140 isolats de levain testés pour la production d'EPS, 20% produisaient des HoPS à partir de saccharose. De plus, il est postulé que chaque levain contient au moins une souche de *Lactobacillus* productrice d'EPS. D'autres espèces, tels que *Leuconostoc* et *Weissella*, peuvent également constituer la communauté productrice d'EPS. La recherche avec les LAB EPS dans l'industrie de la boulangerie s'est concentrée sur leur potentiel de remplacement des composés commerciaux tels que la HPMC, la gomme de guar et la gomme de xanthane (Lynch et al., 2018). Ces Hydrocolloids sont largement utilisés pour leur influence positive sur la rhéologie, la texture et la durée de conservation du produit; cependant, en tant qu'additifs, leur utilisation dans un produit nécessite un étiquetage. En revanche, l'application des LAB EPS, lorsqu'ils sont produits in situ par des cultures de départ ou d'appoint, ne nécessitent pas d'étiquetage et est donc considérée comme positive dans un secteur où les consommateurs exigent en permanence des produits moins d'additifs (Lynch et al., 2018).

II.1.2.1. Effets bénéfiques potentiels des EPS dans la pâte et le pain

Comprend une absorption d'eau accrue de la pâte, une meilleure rhéologie de la pâte et une meilleure usinabilité, augmentation du volume du pain et diminution du taux de rassissement du pain. En raison de leur capacité de rétention d'eau et de leur interaction avec les composants structurants comme le gluten et l'amidon, les EPS peuvent avoir un impact positif sur la cuisson et la qualité du pain. Le dextran produit a été démontré que pendant la fermentation du levain de blé, il augmentait le volume du pain et améliorerait la mie moelleuse par rapport au levain sans dextran. De même, ils ont démontré une augmentation de 10% du volume de pain au levain et une augmentation de 25% à 40% de la mie douceur grâce à la production in situ de dextrans par une souche de *W. confusa*. Ils ont trouvé une augmentation du volume de pain de blé jusqu'à 35% lorsqu'il est complété par 20% de *W. cibaria* fermenté levain, comparé au pain de blé témoin avec du glucose seul (Lynch et al., 2018).

L'incorporation de levain a également entraîné une diminution significative de la dureté des miettes et un taux de rassissement réduit. Les mécanismes par lesquels les HoPS améliorent le volume du pain ne sont pas entièrement compris, mais ils sont postulés pour soutenir le réseau de gluten, améliorant ainsi la rétention de gaz. Le rassissement du pain est un processus complexe résultant de la dégradation de l'amidon et de la migration de l'humidité des granules d'amidon aux espaces interstitiels, suivis d'une perte subséquente et donc d'un séchage et d'un

Chapitre II: Applications des exopolysaccharides

raffermissement de la miette. Les HoPS peuvent ralentir le processus de rassissement en liant l'eau et en empêchant la perte d'humidité, retardant ainsi la cristallisation de l'amidon (Lynch et al., 2018).

II.1.3. Application de dextrane

Aux confiseries, le dextrane améliore la douceur ou la rétention d'humidité, pour éviter et inhiber la cristallisation du sucre. Il gélifie les gommes et les bonbons gélifiés dans les confiseries (Kotharia et al., 2014).

Il est également utilisé en soft boissons, extrait d'arôme, boissons lactées et glaça. De plus il fait augmenter la viscosité, la rhéologie, la texture et le volume. Dans les produits laitiers, le dextran améliore la liaison à l'eau, la sensation en bouche et onctuosité des préparations faibles en gras, la texture du yogourt (Kotharia et al., 2014), rapportent que l'EPS produit par BL, en particulier le dextran, a un effet positif sur les propriétés rhéologiques des gels de lait acidifiés avec une viscosité, une onctuosité et une synérèse réduites en raison de sa capacité de liaison à l'eau.

-En outre, la demande croissante des consommateurs pour les produits sans gluten et les aliments faibles en gras ont potentialisé à l'isolement et la production de dextran par les BL de divers aliments. Le dextran est un bon candidat pour faire du fromage allégé pour plusieurs raisons. La réduction de la graisse dans le fromage entraîne de nombreux défauts de texture et de fonctionnalité. La teneur élevée en caséine en fromage à faible teneur en matière grasse confère un corps et une texture ferme et caoutchouteuse. Et également utilisé comme cryoprotecteur dans la crème glacée (Naessens et al., 2005).

- Le dextran est non toxique et considéré comme ayant de nombreux avantages par rapport aux autres glaces stabilisatrices. Les mélanges de crème glacée contenant 2 à 4% de dextran ont conféré des propriétés bénéfiques à la viscosité (Naessens et al., 2005).

Ces HoPS jouent également un rôle important dans la stabilisation des aliments surgelés et peut être utilisé comme films, pour préserver la surface de poisson, de viande, de légumes ou de fromage provenant de l'oxydation par des microorganismes indésirable et d'autres changements chimiques. Ainsi, les dextrans peuvent être utilisés à l'avenir pour la fabrication d'aliments et aliments fonctionnels (Zarour et al., 2017).

Finalement peu d'EPS bactériens sont exploités commercialement et produits à grande échelle. Les plus utilisés sont les suivants : xanthane, gellane, curdlane et succinoglycane (Freitas et al., 2011). Le xanthane est le plus produit industriellement en raison de son taux élevé de transformation du substrat en EPS (40-60 %). Les autres EPS bactériens utilisés industriellement

Chapitre II: Applications des exopolysaccharides

sont : l'alginate, la cellulose, le dextran, le lévane et le hyaluronane. Le tableau III donne une vue d'ensemble sur les applications des polysaccharides bactériens.

Tableau III : Applications des polysaccharides bactériens (Freitas et al., 2011).

	Utilisation	Polymère
Propriétés biologiques	<ul style="list-style-type: none"> • Agents anti tumoraux • Chirurgie des yeux et des articulations • Analogues d'héparine • Pansements 	B-D-Glucanes Acide hyaluronique (Streptococcus EPS) Escherichia coli K5 EPS Cellulose bactérienne
Propriétés physiques Stabilisation d'émulsions	<ul style="list-style-type: none"> • Alimentation, peintures thixotropiques 	Xanthane
Solidité de la fibre	<ul style="list-style-type: none"> • Membranes Acoustiques 	Cellulose bactérienne
Formation de film	<ul style="list-style-type: none"> • Enrobage en Alimentation 	Pullulane
Floculant	<ul style="list-style-type: none"> • Clarification de l'eau, extraction de minerai de cuivre 	Variés
Stabilisation de mousse	<ul style="list-style-type: none"> • Bière, extincteurs 	Xanthane
Agent gélifiants	<ul style="list-style-type: none"> • Technologies des cellules et des enzymes • Alimentation • Récupération du pétrole 	Gellane Curdlane et gellane Curdlane et Xanthane

Chapitre II: Applications des exopolysaccharides

Agent hydratant	<ul style="list-style-type: none"> • Cosmétiques, pharmaceutiques 	Acide hyaluronique
Inhibiteur de la formation de cristaux	<ul style="list-style-type: none"> • Nourriture congelées, pastilles et sirops 	Xanthane
Contrôle de la viscosité et de la force de cisaillement	<ul style="list-style-type: none"> • Forage pétrolier 	Xanthane
Agent de suspension	<ul style="list-style-type: none"> • Alimentation • Enrobage en papetene • Pesticides dans l'agrochimie et Vaporisateurs 	Xanthane Varies Xanthane
Contrôle de la viscosité	<ul style="list-style-type: none"> • Imprimantes 	Xanthane
Agent de relarguage	<ul style="list-style-type: none"> • Médicaments, herbicides 	Gellane

II.1. Avantages des EPS

Pour valoriser les EPS bactériens, il est également important de mettre en avant leurs nombreux avantages. Les EPS peuvent être biocompatibles, biodégradables, bioadhésifs et non-toxiques. Ces polymères biosynthétisés sont homogènes et purifiables. Par exemple, dans le cas de la cellulose bactérienne, produite par *Acetobacter xylinum*, ces caractéristiques lui permettent de remplacer avec succès la cellulose végétale pour certaines applications (membranes acoustiques de grande fermeté). Un autre atout des EPS est qu'ils proviennent de bactéries qui occupent plusieurs niches écologiques et ainsi possèdent une grande diversité structurelle et fonctionnelle, ayant potentiellement une large gamme d'applications industrielles. Enfin les monosaccharides les plus répandus dans les EPS sont le glucose et le galactose, sachant que de nombreux EPS peuvent contenir des monosaccharides plus rares comme le fucose (Lynch et al., 2018).

II.1.4. Avantage technologique

Les LAB-EPS et les bifido-EPS ont fait l'objet d'une attention particulière grâce à leur utilisation comme additifs fonctionnels appliqués dans l'industrie alimentaire pour fournir des produits ayant des propriétés rhéologiques et sensorielles souhaitables. Ils également utilisés comme

Chapitre II: Applications des exopolysaccharides

épaississants, émulsifiants et stabilisants dans l'industrie laitière sans apporter une sensation buccale ou une saveur indésirable. En effet, ils peuvent améliorer la viscosité, la capacité de rétention d'eau du yogourt. De plus, les EPS peuvent également augmenter la rétention d'eau et de graisse du fromage et par conséquent augmenter le rendement du fromage, en fournissant un produit plus doux et plus crémeux (Xu et al., 2019). En exemple, les EPS produit par les souches de *Streptococcus thermophilus* peuvent apporter à la crème glacée une haute viscosité et améliorent le comportement des fluides pseudoplastiques non newtoniens sans aucun stabilisant (Xu et al., 2019) En outre, de larges applications probiotiques des produits EPS dans les produits laitiers, les EPS peuvent également augmenter le volume du pain et sa teneur en humidité, fournissant une structure plus ouverte et plus douce du pain contenant du gluten ou pain sans gluten. De plus, les EPS peuvent également entraver la rétrogradation de l'amidon et ainsi diminuer le taux de rassissement, améliorant la durée de conservation, en raison de la propriété de liaison à l'eau des EPS (Xu et al., 2019).

Cependant les applications bénéfiques potentielles des EPS dans le traitement de la viande restent largement inexplorées, en effet Il a été constaté que les EPS pouvaient améliorer les propriétés texturales de la saucisse, fournissant un produit plus dur, moins adhésif et plus résistant (Xu et al., 2019).

II.1.1. Avantages des exopolysaccharides sur la santé

Il y a de plus en plus de preuves scientifiques que les EPS des LAB ont le potentiel d'influencer la santé de l'hôte humain et que la consommation alimentaire de tels polymères peut, par exemple, moduler la fonction immunitaire au niveau de bactéries bénéfiques dans le tractus gastro-intestinal (Lynch et al., 2018).

De plus, certains EPS tels que les β -glucanes peut avoir un effet hypocholestérolémiant (Figure08) et donc être bénéfique pour la santé cardiovasculaire (Lynch et al., 2018).

En général, les HePs peuvent être considérés principalement comme des effecteurs de la fonction de l'hôte (immunitaire, antioxydant), tandis que les HoPS sont plus associés à la modulation microbienne (prébiotique) (Figure07) (Lynch et al., 2018).

En outre, la composition (par exemple, type de liaison, présence de groupes de charge) et structurelle (par exemple, masse moléculaire, ramification) les natures de ce groupe diversifié de polymères sont des facteurs importants pour déterminer leur effet sur la santé de l'hôte (Lynch et al., 2018).

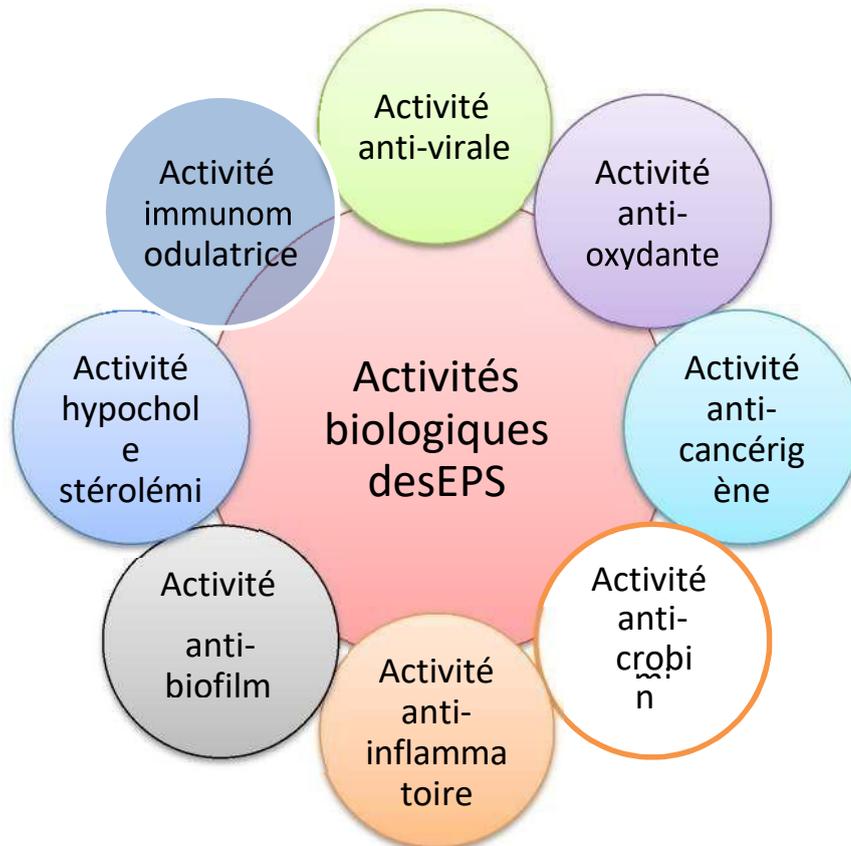


Figure 07 : Activités biologiques des EPS (Angelin et kavitha, 2020).

II.1.4.1. Rôle probiotique et prébiotique des EPS des BAL

- **Rôles dans la colonisation des probiotiques et l'effet antibactérien**

Les souches productrices d'EPS peuvent améliorer leur tolérance à l'environnement défavorable du tractus gastro-intestinal tel qu'un pH bas, des sels biliaires, diverses enzymes digestives en formant une couche protectrice d'EPS, augmentant ainsi leurs chances de survivre dans le tractus intestinal. Par ailleurs, Les souches productrices d'EPS ne peuvent plus facilement coloniser dans le tractus intestinal par l'adhésion d'EPS aux cellules intestinales épithéliales, favoriser la colonisation des probiotiques dans les intestins par évation immunitaire en formant un bouclier protecteur où peut induire des lymphocytes T régulateurs, conduisant à la tolérance immunologique envers les souches. Par conséquent, la colonisation d'agents pathogènes peut être inhibée par les compétitions de nutriments et d'espace avec des souches productrices d'EPS. Il a été montré que la fermentation des aliments avec *L. reuteri* pourrait réduire le niveau de colonisation d'*Escherichia coli* entérotoxigène (ETEC) chez les porcelets sevrés (Xu et al., 2019). Cependant, les EPS peuvent également couvrir les facteurs

Chapitre II: Applications des exopolysaccharides

adhésifs des souches, ce qui empêche leur adhésion aux cellules intestinales épithéliales de plus, les EPS peuvent interférer avec l'adhésion aux cellules intestinales des souches probiotiques par un mécanisme compétitif dans lequel Les EPS peuvent adhérer au mucus intestinal, puis inhiber de manière compétitive l'adhérence des probiotiques, conduisant à l'augmentation de l'adhérence des entéropathogènes à l'intestin en raison du fait que les composants de la surface des agents pathogènes pourraient se lier aux EPS. Les différents résultats sont dus à différentes compositions d'EPS (Xu et al., 2019). D'ailleurs, des oligosaccharides biodégradables sont actuellement employés comme prébiotiques pour conférer aux avantages de santé (Figure 08) (Rendueles et al., 2013).

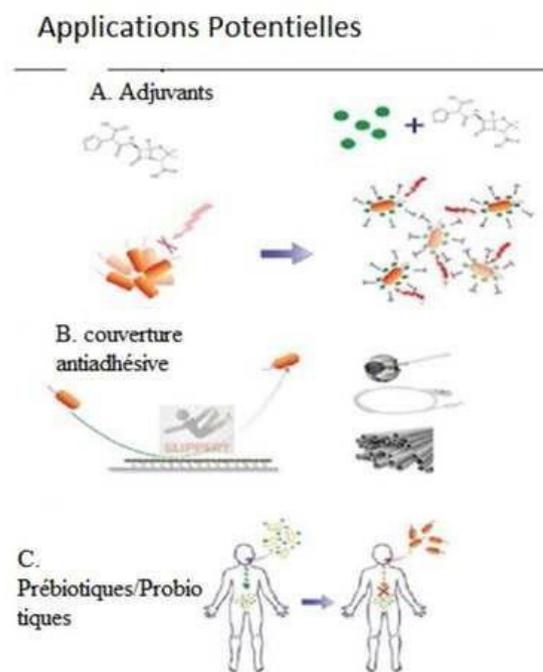


Figure 08 : Les applications potentielles du polysaccharide anti-adhésion : A. Adjuvants B.

Couverture antiadhésive et C. Prébiotiques/Probiotiques (Rendueles et al., 2013).

II.1.4.1.1. L'activité antibactérienne des EPS

En outre, la prévention de l'infection par des agents pathogènes peut également être effectuée grâce à l'activité antibactérienne directe des EPS. De nombreuses études ont démontré que les EPS peuvent contrôler la croissance et la formation de biofilm de divers agents pathogènes in vitro, possédant un antibactérien à large spectre effets (Xu et al., 2019).

II.1.4.1.2. Activité prébiotique

La définition des prébiotiques a été révisée comme suit: «un prébiotique alimentaire est un

Chapitre II: Applications des exopolysaccharides

ingrédient sélectivement fermenté qui entraîne des changements spécifiques dans la composition et / ou l'activité du microbiote gastro-intestinal, conférant ainsi un (des) bénéfice(s) à l'hôte santé". Ces EPS doivent présenter une résistance élevée aux digestions et peut être sélectivement fermenté par des bactéries intestinales bénéfiques, en particulier les bifidobactéries et les lactobacilles, favorisant ainsi la croissance de probiotiques intestinaux et inhibant certaines souches non probiotiques. Une grande quantité de preuves a impliqué que l'oligosaccharide non digestible, comme l'inuline, les isomalto-oligosaccharides (IMO), les fructo-oligosaccharides (FOS), les galacto-oligosaccharides (GOS), les xylooligosaccharides (XOS), le lactosaccharose (LACT), les oligosaccharides de soja (SOS) ont l'effet prébiotique (Xu et al., 2019).

Ces dernières années, de plus en plus de preuves ont également démontré que les EPS produites par le LAB et les bifidobactéries ont une tolérance élevée à la digestion gastro- intestinale et peuvent favoriser la croissance des probiotiques (Xu et al., 2019).

II.2.3. Inconvénients des EPS

Le plus grand inconvénient des EPS bactériens est leur coût de production élevé dû à l'utilisation de substrats et de processus d'extraction et de purification coûteux. Pour diminuer les coûts de production les substrats traditionnels pour les milieux de culture (glucose, fructose, saccharose, etc.) peuvent être remplacés par des sources de carbone à faible coût comme les résidus ou les effluents de l'industrie agro-alimentaire (Kumar et al., 2007). Certains EPS bactériens, malgré leur coût de production, sont commercialisées en raison de leurs propriétés originales. Par exemple les EPS bactériens peuvent avoir un intérêt pour la santé du consommateur. C'est le cas du dextran produit par *Leuconostoc Spp*, et utilisé pour réduire la viscosité du sang comme agent antithrombotique (Kumar et al., 2007)

Conclusion

Les EPS représentent une gamme diversifiée de molécules bioactives avec des structures et des fonctionnalités variées, allant de fournir des fonctionnalités technologiques supplémentaires aux produits (tels que le yaourt) à interagir avec le système immunitaire muqueux une fois ingéré (Ryan et al., 2015).

D'une manière générale et indépendamment du produit, les EPS produit in situ ont un effet positif sur la texture (Mende et al., 2016). En plus de leur rôle protecteur naturel, on retrouve les EPS produits par LAB pour protéger la cellule contre les contraintes technologiques lors de la fabrication produits laitiers fermentés. Les développements récents suggèrent un potentiel l'application de ces polymères à l'usage humain ; médical, cosmétique, produits pharmaceutiques, laitiers et autres formes de produits industriels et aspects environnementaux. Néanmoins, l'application industrielle de l'EPS bactérien est limitée en raison de des coûts de production plus élevés et des processus de récupération (Patel et parajapat, 2013).

Les EPS microbiens ont démontré des applications thérapeutiques et techno-fonctionnelles. Toutefois, Les EPS de LAB ont trouvé des utilisations à travers de nombreuses industries, y compris les applications techno-fonctionnelles au sein de secteur alimentaire. Cependant, force est de constater que ces les ingrédients naturels restent totalement sous-utilisés dans le secteur des aliments fonctionnels (Ryan et al., 2015).

CONCLUSION

Références bibliographiques

- Abdelali, L., BOURICHA, M., & HAMMOUDI, R. Etude d'un exopolysaccharide produits par des souches *Leuconostoc* au tochtone (Doctoraldissertation, UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA). Systems biology of microbial exopolysaccharides production. Review.Frontierin Bioengineering and Biotechnology,3,1–16.
- Angelin,J.,&Kavitha,M.(2020).Exopolysaccharidesdebactériesprobiotiquesetleurpotentielpo urlasanté.Journalinternationaldesmacromoléculesbiologiques,162,853-865.).
- Ates,O.(2015). Biologie . Frontières en bio-ingénierie et biotechnologie,3,200.
- BlanchartE.,AchouakW.,AlbrechtA.,BarakatM.,BellierG.,CabidocheYM.,HartmannC.,Heu linT.,Larré-LarrouyC.,LaurentJ-Y.,MahieuM.,ThomasF.,VilleminG.etWatteau F.(2000)-Determinants biologiques de l'agrégation dans les verti sols des petites Antilles. Conséquences sur l'érodibilité. Etudes et gestion des sols.7(4):309-328.
- BOUBAKEUR,B. (2017). Recherche d'un effet prébiotique des exopolysaccharides des bactéries lactiques produits sous l'effet des polyphénols de *Thymusfontanesii*. Calvayrac
- C.(2011)-Dégradation biologique de la sul cotrione dans un solagricole : Recherche potentiellement dégradantes. Université de Perpignan. Thèse de doctorat.269 pages
- Campos M.A.,Vargas M.A.,Regueiro V., Liompart C.M., Alberti S. et Bengoechea J.A.(2004) - Capsule polysaccharide médie la résistance bactérienne aux peptides antimicrobiens. Infecter Immun.72:7107-7114.

Liste de références

- Choct, M. (1997). Nourrir les polysaccharides non amylacés structures chimiques et importance nutritionnelle. *Feedmilling international*, 191(numéro de juin), 13-26.
- Costerton J.W., Irvin R.T. et Cheng K.J. (1981)-Le glycocalyx bactérien dans la nature et la maladie. *Annu. Rév. Microbiol.* 35:299-324.
- Covis, R. (2011). Synthèse de polysaccharides amphiphiles à partir de dextran et application à la stabilisation d'émulsions directes et inverses (Doctoral dissertation, Institut National Poly technique de Lorraine).
- Delattre, C., Rios, L., Laroche, C., Le, N.H.T., Lecerf, D., Picton, L., ... & Michaud, P. (2009). Production et caractérisation de nouvelles familles d'acides polyglucuroniques à partir de l'oxydation TEMPO–NaOCl du curdlan. *Journal international des macromolécules biologiques*, 45(5), 458-462.
- D'íaz-Montes, E., Yáñez-Fernández, J., Castro Muñoz, R., (2019). Extraction par microfiltration du dextrane produit par *Leuconostoc mesenteroides* SF3, *Journal Pre proof* FBP1186.
- Dimopoulou, M. (2013). Les polysaccharides de la bactérie lactique *Oenococcus oeni*, de l'élucidation de leurs structures et voies de biosynthèse à leur valorisation technologique (Doctoral dissertation, Bordeaux 2).
- Flemming H.C. et Wingender J. (2002)-Substances polymériques extracellulaires: structure, fonctions écologiques, pertinence technique. Dans G. Bitton (éd.), *Encyclopédie de microbiologie environnementale*. 3:1223-1231. Wiley, New York,

Liste de références

Freitas,F.,Alves,V.D.etReis,M.A.(2011).Avancéesdesexopolysaccharidesbactériens:delaproducti onauxapplicationsbiotechnologiques.Tendancesenbiotechnologie,29(8),388-398.

Hassan, A.N. (2008). Prix boursier de la Fondation ADSA : Possibilités et défis des cultures lactiques productrices d'exopolysaccharides dans les produits laitiers. *Journal of Dairy Science*,91(4),1282-1298.

Han et al.,2016; Jimenez-Guzman, Flores-Najera, Cruz-Guerrero et GarciaGaribay,2009;Lluis-Arroyoetal.,2014.

HenaoValencia,L.J.(2008).Etude des bases moléculaires de l'agrégation des sols par des exopolysaccharides bactériens (Doctoraldissertation,Grenoble1).

J. Angelin et M. Kavitha. (2020) Exopolysaccharides de bactéries probiotiques et leur potentiel pour la santé, *International Journal of Biological Macromolecules*.

Jivkova, D. (2018). Exopolymère de *Ramlibactertataouinensis*: optimisation de sa production, caractérisation biochimique et génétique (Doctoral dissertation, Aix-Marseille).

KaciY. et Heulin T.(2008)-Les polysaccharides bactériens : un moyen d'améliorer la capacité de rétention d'eau des sols. *Revue des régions arides*.21:1159-1166.

Kotharia,D.,Dasb,D.,Patelc,S.,Goyala,A(2014). Dextran et application alimentaire,Springer International Publishing Suisse.

Korcz,E.,etVarga,L.(2021). Exopolysaccharides de bactéries lactiques : Application techno-fonctionnelle dans l'industrie alimentaire. *Tendances en science et technologie alimentaires*.

Liste de références

Krid,A. ,Rekima,R., &Lefouili, Z. (2019). Optimisation de la production des exopolysaccharides par des souches de *Lactobacillus* Sp (Doctoral dissertation, Université de Jijel).

Kumar,R.,Kamra,DN; Ne et a Agarwal; Chaudhary, LC,2007. Méthanogenèse et fermentation in vitro d'aliments contenant des tourteaux d'oléagineux avec de débuff le .Asiatique-Aust. J.Anim. Sci.,20(8):1196-1200.

L.Cuthbertson,I.L. Prix principal, J.H.Naismith, C.Whitfie Id, Rôles pivots de l'extérieur Exportation de polysaccharides membranaires et familles de protéines de polysaccharide copolymérase dans Exportation de polysaccharides extracellulaires dans les bactéries à Gram négatif, Microbiol.Mol. Biol.Rév.73(2009)155-177

Lalaina,D.T.H.(2012). Les exopolysaccharides des bactéries associées au tube digestif des termites et leurs implications dans le phénomène d'agrégation du sol (Doctoral dissertation ,UNIVERSITÉ D'ANTANANARIVO).

Lebellenger,L.(2017). Etude de la biosynthèse des polysaccharides bactériens: vers la production recombinante d'hétéropolysaccharide (Doctoral dissertation, Nantes).

Lynch,K.M.,Zannini,E.,Coffey,A.etArendt,E.K.(2018).Exopolysaccharides de bactéries lactiques dans les aliments et les boissons: isolement, propriétés, caractérisation et bien faits pour la santé. Revue annuelle des sciences et technologie salim en taires ,9,155-176.

Mercan N.D. ,KantarC. ,GulcanS. ,DodgeJ.C., Yilmaz C.B. et Mehm et A.M.(2011)-Bio élimination du chrome (VI) par les bactéries *Pseudomonas* : rôle des microbes . MI.Turin,G.F.DeValdez,F.Mozzi, Biopolymères de bactéries lactiques. Roman Applications dans les aliments et les boissons,6(2015)1-16.

Liste de références

Naessens, M., Cerdobbel, A., Soetaert, W., Vandamme, E., (2005). Leuconostoc dextran sucrase et dextran : production, propriétés et applications. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology, Review*, 80:845-860.

Patel, A .K . , Michaud ,P ., Singhania, R .R., Soccol, C. R et Pandey, A . (2010). Polysaccharides issus de probiotiques : nouveaux développements entant qu'additifs alimentaires. *Technologie alimentaire et biotechnologie*, 48(4),451-463.

Patel, A., & Prajapat, J. B. (2013). Applications alimentaires et sanitaires des exopolysaccharides produits par les bactéries lactiques. *Avancées dans la recherche laitière*, 1-8.

Philippis, M Vincenzini-*Revue de microbiologie FEMS*, 1998- Academic. oup. com. Rendueles. O, Kaplan. J. Bet Ghigo. J-M. 2013. Antibiofilm polysaccharides. *Microbiologie environnementale*. 15,2:334–346

Roger, O. (2002). Etude d'oligosaccharides bioactifs issus d'exopolysaccharides bactériens: obtention, caractérisation et relation structure/fonction (Doctoral dissertation, Paris 13).

Rougeaux H, Guezennec J, Carlson R . W , Pichon R, Kervarec N and Talaga Ph (1999). Structural determination of the exopolysaccharide of *Pseudoalteromonas* strain HYD721 isolated from a deep-sea hydrothermal vent. *Carbohydr Res* 315: 273-285. (Whistler et al., 1993).

Ruas-Madiedo, P., Hugenholtz, J., & Zoon, P. (2002). Un aperçu de la fonctionnalité des exopolysaccharides produits par les bactéries lactiques. *International Dairy Journal*, 12(2-3), 163-171.

Ryan, P.M., Ross, R.P., Fitzgerald, G.F., Caplice, N.M. et Stanton, C. (2015). Enrobé de sucre

: Exopolysaccharide produisant des bactéries lactiques pour les applications alimentaires et des antéhumaine. *Nourriture et fonction*, 6, 679-693.

Liste de références

Schnider-Keel U., Lejbolle K. B., Baehler E., Haas D. et Keel C. (2001) - Le facteur sigma AlgU (AlgT) contrôle la production d'exopolysaccharides et la tolérance à la dessiccation et au stress osmotique chez l'agent de biocontrôle *Pseudomonas fluorescens* CHA0. *Appl. Environ. microbien.* 67:5683-5693

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

Vandevivere, P. et Kirchman D. L. (1993) - L'attachement stimule la synthèse d'exopolysaccharides par une bactérie. *Appl. Environ. Microbiol.* 59:3280-3286.

WHISTLER, C KARL, K MAGNUSON – Gommages industrielles, 1993- Elsevier. La fabrication, des propriétés et des application des gommages de guar.

Xu, Y., Cui, Y., Yue, F., Liu, L., Shan, Y., Liu, B., Lü, X. (2019). Exopolysaccharides produits par les bactéries lactiques et les bifidobactéries : structures, fonctions physicochimiques et applications dans l'industrie alimentaire. *Hydrocolloïdes alimentaires*.

Yakandawala N., Gawande P. V., Lovetri K., Cardona S. T., Roméo T.; Nitz M. and 1 Madhyastha S. (2011) - Caractérisation du composant polysaccharide poly- β -1,6-N- acétylglucosamine des biofilms de *Burkholderia*. *Société américaine de microbiologie. Appliquer. Environ. Microbiol.* 77(23): 8303-8309.

Zarour, K., (2018). Etude de la diversité phénotypique, géotypique et aptitude technologiques des souches de *Leuconostoc* isolées localement. Thèse de doctorat en Microbiologie Fondamentale et appliquée. Uni. D'Oran Algérie pp 174

Liste de références

Résumé

Résumé:

Les polysaccharides sont des polymères de monosaccharides liés par des liaisons glycosidiques. LAB, comme beaucoup d'autres bactéries, sont capables de produire plusieurs types de polysaccharides classés selon leur emplacement par rapport à la cellule. La plupart des bactéries productrices d'EPS ont été décrites comme produisant soit un homo, soit un hétéro polysaccharide, sont composés de résidus glycosidiques, qui peuvent être liés de façon covalente à des substituants organiques ou inorganiques. Les propriétés physico-chimiques des EPS, y compris la viscosité, dépendent de leur masse moléculaire, de la composition monosaccharidique, de la structure primaire et de leur interaction avec les constituants du lait, principalement les ions et les protéines. Les EPS représentent un grand intérêt industriel qui est lié à leurs propriétés structurelles et fonctionnelles très diversifiées. Pour valoriser les EPS bactériens, il est également important de mettre en avant leurs nombreux avantages. De plus, ces biopolymères peuvent être biocompatibles, biodégradables, bioadhésifs et non-toxiques. Les LAB-EPS et les bifido-EPS ont fait l'objet d'une attention particulière et des additifs fonctionnels appliqués dans l'industrie alimentaire pour fournir des produits ayant des propriétés rhéologiques et sensorielles souhaitables, ainsi ils ont des avantages sur la santé.

Mots clés : les exopolysaccharides, les bactéries d'acides lactiques, dextrane, produits laitiers, viscosité.

Abstract:

Polysaccharides are polymers of monosaccharides linked by glycosidic bonds. LAB, like many other bacteria, are capable of producing several types of polysaccharides classified according to their location in relation to the cell. Most EPS-producing bacteria have been described as producing either a homo or a heteropolysaccharide, are composed of glycosidic residues, which can be covalently linked to organic or inorganic substituents. The physicochemical properties of EPSs, including viscosity, depend on their molecular mass, monosaccharide composition, primary structure and their interaction with milk constituents, mainly ions and proteins. EPS represent a great industrial interest which is linked to their very diversified structural and functional properties. To promote bacterial EPS, it is also important to highlight their many advantages. In addition, these biopolymers can be biocompatible, biodegradable, bioadhesive and non-toxic. LAB-EPS and bifido-EPS have received special attention and functional additives applied in the food industry to provide products with desirable rheological and sensory properties, thus having health benefits.

Keywords: exopolysaccharides, lactic acid bacteria, dextran, dairy products, viscosity.