



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة محمد البشير الإبراهيمي برج بوعريريج

Université Mohammed El Bachir El Ibrahimy B.B.A

كلية علوم الطبيعة والحياة وعلوم الأرض والكون

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

قسم العلوم البيولوجية

Département des Sciences Biologiques

Mémoire

En vue de l'obtention du diplôme de Master

Domaine des Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Sciences biologiques

Spécialité : MICROBIOLOGIE Appliquée

Intitulé :

Valorisation des sous produits végétaux par fermentation pour la production des exopolysaccharides: Synthèse bibliographique

Présenté par:

Abada Racha ,Benahcene Imene . Benchennaf Yousra.

Soutenu le 24/ 06 / 2023, Devant le Jury :

	Nom & Prénom	Grade	Affiliation / institution
Président :	M. SEDRATI Tahar	MCB	Université de Bordj Bou Arreridj
Encadrant :	Mme. TAMINE Milouda	MCB	Université de Bordj Bou Arreridj
Examineur :	Mme. IRATNI Nadjet	MAA	Université de Bordj Bou Arreridj

Année Universitaire 2022/2023

REMERCIEMENTS

En premier lieu et avant tout nous tenons à remercier ALLAH le tout puissant qui nous a donné le courage, la patience et la force de terminer ce travail.

Nous tenons à remercier particulièrement notre encadreur, Mme Tamine Milouda pour ça haute compétence, ces qualités humaines, et ces conseils judicieux qui sont une source inestimable de réconfort et d'encouragement..

Qu'elle trouve ici l'expression de notre profonde gratitude.

Nous exprimons aussi tous nos remerciements à l'ensemble des membres de jury Mr. SEDRATI Tahar et

*Mme.
IRATNI Nadjat de
vouloir accepter
de juger ce travail*

Merci

Dédicace

On prenant les lettres et les mots de langue ils nous puissent exprimer la gratitude, l'amour, le respect, la reconnaissance... pour dédier ce modeste travail....

*A mes chers parents **Mama Dalila** et **Papa Lakhdar** (رحمة الله عليه) je dédie ce mémoire pour les sacrifices qui ont consenti pour le parcours de mon instruction.*

Et qu'Allah tous puissant m'accorde le bonheur et longue vie et de faire en sorte que jamais je ne vous déçoive.

*A ma petite famille, mon frère **Basset**, mes sœur **Rima, Mimi** et leurs enfants **Naya, Lolya** et **Darine***

*A mes amis intimes **Donia, ines, Chaima, Zahra** et **Kaouther, Rahil, Hala**
En souvenir de notre sincère et profonde amitié et des moments agréables que nous avons passés ensemble.*

*A mes binôme **Yousra** et **Imane***

Racha

Dédicace

J'ai le plaisir de dédier ce travail :

***A mes parents** : Aucune dévotion ne peut exprimer mon respect, mon amour éternel et mon appréciation des sacrifices que vous avez fait pour mon éducation et mon bien-être. Merci pour tout le soutien et l'amour que vous m'avez donné depuis mon enfance et j'espère que vos prières m'accompagneront toujours.*

Ce travail est le fruit de vos innombrables sacrifices. Qu'Allah vous donne la santé, le bonheur et une longue vie

A mon cher frère Saleh et mes petites sœurs Zineb, soumia, Souaad, Amouna et kanza et a ceux qui ont partagé avec moi tous mes moments d'émotion lors de la réalisation de ce travail. Ils m'ont chaleureusement supporté et encouragé tout le long de mon parcours, A ma famille.

***A mon cher fiancé** : Sofiane pour la patience et le soutien dont il a fait preuve pendant toute la durée de ce travail et à qui je voudrais exprimer mes affections et mes gratitude.*

***A mes amies intimes** : Samiha , Rayan , Kawther , Chahinaz et Roumaissa*

***A mes chères binôme** Yousra et Racha ; à toute ma promotion (2018/2023) qu'on a passé ensemble des moments inoubliables.*

Bien sûr à ma sœur, ma chère et ma belle Rayan qui m'a accompagné tous ces jours et les jours à venir, si dieu le veut. Rayan qui m'a toujours encouragé et à qui je souhaite plus de succès. Merci à tous ...

Imane

Dédicace

C'est avec grande plaisir que je dédie ce modeste travail :

A mes chers parents, pour leurs soutien et sacrifices, qui ont toujours été là pour moi et qui m'ont donné un magnifique modèle de labeur et de persévérance tout au long de mes études j'espère que ce travail sera au minimum à la hauteur de vos sacrifices et qu'ALLAH vous bénisse pour moi.

A mes chères sœurs Aya et Fatoum, mes frères Samir et Yasser, je vous souhaite une longue et une belle vie.

A mon cher fiancé Amine pour son soutien moral et son encouragement et l'aide qu'il m'a toujours accordé.

A mes binômes Racha et Imane.

A toute ma promotion et à tous ceux qui me connaissent de près ou de loin.

Yousra

Table des matières

Remerciements

Dédicaces

Résumé

Abstract

الملخص

Liste des tableaux

Liste des figures

Liste des abréviations

Introduction 1

Chapitre I: Les exopolysaccharides

I.1. Généralités	2
I.2 .Composition chimique des exopolysaccharides	2
I.3. La structure des EPS	4
I.4 .Classification des EPS	6
I.4.1.Homopolysaccharides	7
I.4.2.Hétéropolysaccharides	9
I.5. Biosynthèse des EPS	11
I.5.1. Chez les bactéries	11
I.5.2. Chez les algues et les cyanobactéries	12
I.5.3. Chez les champignons	13
I.6. Le rôle physiologie des EPS	14
I.6.1. rôle de protection	14
I.6.2. rôle pharmaceutique	14
I.6.3. résistances aux phages	14
I.6.4. rôle dans la formation du sol	15
I.6.5. formation des biofilms	15
I.7. Les microorganismes producteurs des exopolysaccharides	15
I.7.1. Les bactéries	15

I.7.2. Les champignons	15
I.7.3. Les micro-algues	16
8. Les sources naturelles de production d'exopolysaccharide	19
9. Application des exopolysaccharides	20
I.9.1. Application dans le domaine alimentaire	22
I.9.2. Application biomédicale	22
I.9.3. Application agricoles	23
I.9.4. Exopolysaccharides dans biofilm bactérien.	24
I.10. Perspectives d'avenir pour les exopolysaccharides bactériens	24

Chapitre II. Valorisation des sous-produits végétaux

II.1 .La valorisation	26
II.2. Quantité des déchets végétaux dans plusieurs pays	26
II.3. Les sous produits végétaux	26
II.3.1. Mélasse de betterave	28
II.3.2 Le chou de concombre	29
II.3. 3 La pêche	29
II.3.4. Pulpe de peau de raisin	30
II.3.5 Déchets d'olive	30
II.3.6. Pelure de pomme de terre	30
II.3.7. Jus de fruit	31
II.3.8 L'eau de coco	31
II.4. Prétraitement des déchets	32

Chapitre III. Procédé de production des exopolysaccharides

III.1. Généralités	34
III.2. Préparation d'inoculum	36
III.3. Préparation de milieu de production	36
III.4. Fermentations	36
III.5. Optimisation des paramètres de fermentation	37
III.6. Méthodes analytiques	38

III.6.1 .Estimation de la biomasse et de la concentration des EPS	38
III.6.2. Estimation de la concentration des sucres réducteurs	38
III.7. Résultat et discussion	38
III.7.1. L'effet de concentration du substrat	38
III.7.2. L'Effet de la source d'azote	39
III.7.3. Optimisation des paramètres de fermentation	39
Conclusion	42
Les références bibliographiques	43

Liste des tableaux

Tableau I: Les composants et la propriété des exopolysaccharides	3
Tableau II: La structure chimique d'exopolysaccharides.	6
Tableau III: Les EPS microbiens avec leur source bactérienne.	16
Tableau IV: Les EPS et leurs sources fongiques.	17
Tableau V: Les sources alternatives pour la production des exopolysaccharides.	19
Tableau VI: Application biomédicale des exopolysaccharides.	23
Tableau VII: Composition chimique de la mélasse de betterave.	29
Tableau VIII: Méthodes de traitement des sous-produits végétaux	33

Liste des figures

Figure 01 : Quelques types des exopolysaccharides	5
Figures 02: Classification des exopolysaccharides.	7
Figure 03: Structure chimique du pullulane.	8
Figure 04: Structure chimique du curdlan.	8
Figure 05: Structure chimique du dextran.	9
Figures 06: Structure chimique d'alginate.	10
Figures 07: Structure chimique du xanthane.	10
Figures 08: Les étapes de la biosynthèse des exopolysaccharides.	12
Figures 09 : Les différentes applications des exopolysaccharides	21
Figures 10 : Les quantités des déchets (fruits et légumes) dans différents pays	28
Figures 11 : Représentation schématique de la production de pullulant par fermentation et récupération par traitement en aval	35

Liste des abréviations

- EPS :** exopolysaccharides.
- PPW :** Pelure de pomme de terre
- OMW :** les eaux usées des moulins à huile.
- pH :** potentiel hydrogène
- HA :** l'acide hyaluronique.
- Hops :** Homopolysaccharides
- Heps :** Heteropolysaccharides.
- GAG :** galactosaminogalactane.
- LAB :** bactérie lactique
- SSF :** Fermentation à l'état solide
- SmF :** Fermentation submergée
- RMS :** La méthodologie de surface de réponse
- AVC :** l'accident vasculaire cérébral

Résumé

Les sous produits végétaux constituent un problème important dans le monde entier, en raison de leurs effets néfastes sur l'environnement, l'économie et la société. La valorisation biotechnologique de ces sous-produits en composés à haute valeur ajoutée tel que la production des EPS, constitue une alternative prometteuse non seulement pour résoudre les problèmes de leurs gestion, mais aussi conduire a crée un système alimentaire plus durable avec plusieurs effets bénéfiques potentiels sur la santé. L'objectif de ce travail est de faire une étude bibliographique sur la valorisation des sous produit végétaux par la production des EPS.

Grace à la richesse de ces sous produit en sucre et en élément nutritif, plusieurs microorganismes sont capable de croitre et de produire différents EPS sur des milieux à base de ces déchets prétraités par exemple *Aureobasidium pullulans*, *Xanthomonas campestris* et *Rhizobium radiobacter*. Différents paramètres influent la fermentation des EPS doivent être étudié et contrôler afin d'améliorer la production.

En effet, l'intérêt d'utilisation des EPS est considérablement accru ces dernières années, parmi ses EPS la pullulane. Pour cela, plusieurs études sont réalisées sur la production des pullulanes par *Aureobasidium pullulans* à partir de différents sous produit végétaux tel que les déchets de pomme de terre. Les résultats de ces études ont montré que l'hydrolysate de l'amidon de pomme de terre est favorable à la croissance et à la production de pullulane.

Mots clés: *Aureobasidium pullulans*, EPS, fermentation, pullulane, sous-produits végétaux, valorisation.

Abstract

Plant by-products are a major problem worldwide because of their adverse effects environment, economy and society. The biotechnological upgrading of these by-products into high value-added compounds, such as the production of EPS, is a promising alternative not only to solve the problems of their management, but also driving has created a more sustainable food system with several potential health benefits. The objective of this work is to make a bibliographical study on the valorization of plant by-products through the production of EPS.

Thanks to the richness of these by-products in sugar and nutrients, several microorganisms are able to grow and produce different EPS on media based on these pre-treated wastes for example *Aureobasidium pullulans*, *Xanthomonas campestris* and *Rhizobium radiobacter*. Different parameters influence the fermentation of EPS must be studied and controlled to improve production.

Indeed, the interest in using EPS has increased considerably in recent years, among its EPS pullulane. For this purpose, several studies are carried out on the production *Aureobasidium pullulans* from various plant by-products such as potato waste. The results of these studies showed that the hydrolysate of potato starch is favourable to the growth and production of pullulane.

Key words: *Aureobasidium pullulans*, EPS, fermentation, valorisation, vegetable by-products, pullulan

الملخص

تعتبر المنتجات الثانوية النباتية مشكلة رئيسية في جميع أنحاء العالم بسبب آثارها الضارة على البيئة والاقتصاد والمجتمع إن الارتقاء بالتكنولوجيا الحيوية لهذه المنتجات الثانوية إلى مركبات عالية القيمة المضافة، مثل إنتاج متعددات السكر الخارجية هو بديل واعد ليس فقط لحل مشاكل إعادة تدويرها، ولكن أيضا من أجل خلق نظام غذائي أكثر استدامة غني بالعديد من الفوائد الصحية المحتملة. الهدف من هذا العمل هو إجراء دراسة نظرية حول تئمين المنتجات الثانوية النباتية من خلال إنتاج متعدد السكريات الخارجية.

بفضل ثراء هذه المنتجات الثانوية بالسكريات والمغذيات، فإن العديد من الكائنات الحية الدقيقة قادرة على النمو وإنتاج متعددات السكر الخارجية على الأوساط المصنوعة من هذه النفايات المعالجة مسبقا مثل:

Aureobasidium pullulans, Xanthomonas campestris, Rhizobium radiobacter

ومن أجل تحسين الإنتاج وجب دراسة العديد من العوامل المؤثرة على عملية تخمر هذه الكائنات على هذه الأوساط. نظرا لتزايد استعمال متعددات السكر الخارجية في السنوات الأخيرة مثل الببيليلان، هناك العديد من الدراسات التي اهتمت بإنتاج هذا المركب بواسطة *Aureobasidium pullulans* باستعمال المنتجات النباتية الثانوية مثل بقايا البطاطا، حيث أظهرت نتائج هذه الدراسات أن نشاء البطاطا المتحللة وسط ملائم لنمو الكائنات الدقيقة وإنتاج الببيليلان

الكلمات المفتاحية: *Aureobasidium pullulans* متعددات السكر الخارجية، التخمر، الببيليلان، المنتجات الثانوية النباتية،

تئمين.

Introduction

Introduction

De grandes quantités de déchets sont générées chaque année dans le monde par de nombreuses industries et sont largement mal exploités. Cependant, ces déchets sont riches en sucre et d'autres matières organiques dissoutes et peuvent donc être exploités pour produire des biopolymères microbiens (**Joulak et al., 2022**).

En effet, l'industrie agroalimentaire développe de nouvelles technologies pour utiliser les déchets comme matières premières pour la production biochimique afin de promouvoir les avantages économiques et de réduire la pollution de l'environnement (**Jeyaram et al., 2018**). Depuis le début du XXe siècle, les technologies biosourcées telles que la production de biomolécules comme les enzymes, les antibiotiques et les polymères sont développés dans large mesure. Actuellement, les micro-organismes sont utilisés à des fins commerciales tels que la production des pesticides, des engrais et des additifs alimentaires, dans le secteur agrochimique, biopharmaceutique et thérapeutique, dans le domaine de la santé, des biopolymères, des biocarburants et dans les secteurs de l'énergie et de l'environnement. À l'échelle mondiale, le marché des bioproduits est significativement augmenté, il est passé de 77 à 92 milliards € en 2005 et 2010 et de 228 et 515 milliards € en 2015 et 2020, respectivement (**Özcan et al., 2015**).

Les exopolysaccharides (EPS) microbiens apparaissent rapidement en tant que biomatériaux récents et importants sur le plan industriel. En raison de leur structure chimique unique et complexe et à ses nombreuses propriétés physicochimiques et rhéologiques intéressantes ainsi que ses nouvelles fonctions. Ils ont diverses applications dans les industries alimentaires humaines et animales, chimiques, cosmétiques et pharmaceutiques, en agriculture et en médecine (**Ozlem Ates, 2015**).

Le coût de la production des EPS est relativement élevé, pour cela il est souhaitable de rechercher des sources de carbone et d'azote peu coûteuses, riches sur le plan nutritionnel pour être favorable à la croissance des microorganismes aussi bien pour la production des EPS. L'utilisation des résidus agro-industriels comme substrats en fermentation est un processus offre une voie alternative et une valeur ajoutée à ces ressources autrement mal utilisées ou bien inutilisées et peuvent être une solution de choix pour réduire le coût lié à la production des EPS (**Vidhyalakshmi et al., 2012**).

Il nous semble donc intéressant d'insérer notre travail dans ce contexte de recherche.

L'objectif principal de ce mémoire est de faire une étude bibliographique sur la valorisation des sous produit végétaux par la production des exopolysaccharides par voie fermentaire.

Chapitre I :

Les exopolysaccharides

I.1. Généralités

Les procaryotes et les eucaryotes produisent des polymères extracellulaires tels que les polyanhydrides inorganiques, les polyesters et les polyamides. L'un des principaux groupes des polymères sont les exopolysaccharides (EPS), qui sont des métabolites secondaires produits par des organismes utilisant des sources de carbone. Ils sont connus pour être produits par plusieurs bactéries, algues, champignons et levures (**Sharma, 2022**).

Les EPS sont des polymères de haut poids moléculaire constitués de résidus de sucre avec diverses structures et fonctions (**Sharma, 2022**). Le terme exopolysaccharide (EPS) proposé par **Sutherland, (1972)** fournit un nom commun pour toutes les formes de polysaccharides bactériens trouvés à l'extérieur de la paroi cellulaire (**Cerning, 1995**).

Les polysaccharides sont formés à partir de sources de carbone allant des simples aux complexes. Ils peuvent être : intracellulaires ou extracellulaires, selon leur localisation biologique ; solubles ou insolubles. En fonction de leur emplacement, les EPS microbiens peuvent prendre l'une des deux formes suivantes : capsulaire (EPS_c), qui est étroitement lié à la surface bactérienne, et EPS libre, qui est libéré dans l'environnement par accumulation à l'extérieur de la cellule (**González et al., 2018**).

I.2. Composition chimique des exopolysaccharides

Les exopolysaccharides sont principalement composés de glucides, mais peuvent avoir des substituant organiques et inorganiques en plus de divers sucres (**tableau I**). Les glucides présentés dans les exopolysaccharides microbiens sont extrêmement divers. La plupart des sucres sont ceux que l'on trouve couramment dans les polysaccharides animaux et végétaux. Le D-glucose, le D-galactose et le D-mannose sous les formes pyranose sont présents dans de nombreux exopolysaccharides. Les 6-désoxyhexoses, L-fucose et L-rhamnose, sont également fréquemment présents. Une distinction entre eucaryotes et procaryotes peut être observée en présence de pentoses. Les polysaccharides eucaryotes peuvent contenir des pentoses tels que le D-ribose ou le D-xylose, mais ils sont moins fréquents dans les polymères extracellulaires dérivés de procaryotes. Les cyanobactéries constituent une exception. Dans ce groupe de bactéries, les pentoses peuvent être trouvés dans les polysaccharides de la gaine (**Sutherland, 1990**).

I. Les exopolysaccharides

Les EPS contiennent certains acides uroniques (principalement les acides glucuroniques et les acides galacturoniques) et des sucres amines (N-acétylamino sucres) (**Freitas et al., 2011**).

En plus des glucides, les EPS peuvent contenir plusieurs substituant organiques liés à l'ester et des cétones pyruvate. La présence de certains de ces groupes acyles confère aux EPS un caractère anionique, augmente sa lipophilicité, et affecte sa capacité d'interagir avec d'autres polysaccharides et cations (**Freitas et al., 2011**)

La présence de plusieurs acides aminés dans les exopolysaccharides bactériens a récemment signalée. La sérine est présente dans l'exopolysaccharide d'*E. coli* K40; l'acide L-glutamique est détecté au cours d'un réexamen du polysaccharide de type 82 de *Klebsiella aerogenes*. La taurine est un substituant lié à l'ester dans d'autres polysaccharides (**Sutherland, 1990**). Le **tableau I** ci dessous représente la composition et les propriétés des exopolysaccharides.

Tableau I : La composition et les propriétés des EPS (**Freitas et al., 2011; Zaheer et al., 2019**).

EPS	Composition	Masse moléculaire (Da)	Propriété des EPS
Xanthane	Glucose Mannose Acide glucuronique Acétate Pyruvate	$(2.0-50) \times 10^6$	Stable à variable de pH, température, haute viscosité
Géllan	Glucose Rhamnose Acide glucuronique Acétate Glycérate	5.0×10^5	Propriété fluide, Haute stabilité, Non ionique
Alginate	Acide guluronique Acide mannuronique Acétate	$(0.3-1.3) \times 10^6$	Formation de film, capacité gélifiant
Cellulose	Glucose	$\sim 10^6$	Haute résistance

I. Les exopolysaccharides

			force et insoluble
Dextran	Glucose	$10^6 - 10^9$	Propriété fluide, Haute stabilité, non ionique
Curdlan	Glucose	$5 \times 10^4 - 2 \times 10^6$	Insoluble dans l'eau, gélifiant
Hyaluronane	Acide guluronique Acétylglucosmine	2.0×10^6	Activité biologique, insolubilité de l'eau, comestible, non toxique

I.3. La structure d'exopolysaccharides

La structure des EPS est principalement constituée de glucides tels que les monomères de D-glucose, D-galactose, D-mannose, L-fucose, L-rhamnose, acide D-glucuronique, acide D-galacturonique, acide L-guluronique, acide D-mannuronique, N-acétyl-D-glucosamine et N-acétyl-D-galactosamine, ainsi que des composants non glucidiques. La structure de certains EPS microbiens sont illustrés dans la **figure 1 (Carlos *et al.*, 2018)**.

I. Les exopolysaccharides

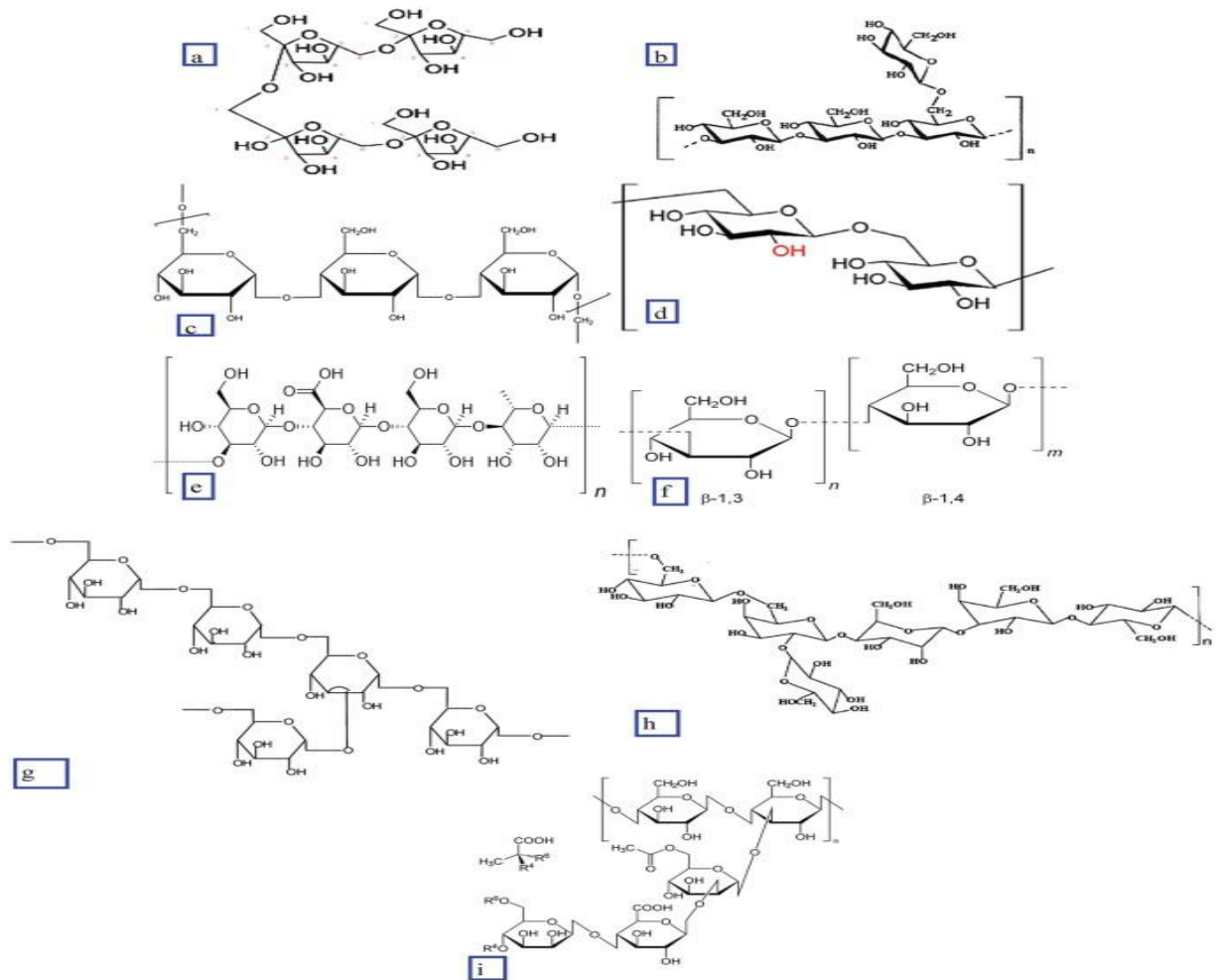


Figure 01 : Quelques types des exopolysaccharides (Santra *et al.*, 2021).

(a) levane, (b) scleroglucane, (c) Pullulane, (d) lasiodiplodan, (e) gellane, (f) 1,6-B-D glucane, (g) dextrane, (h) kefirane, (i) Xanthane

Un exopolysaccharide est un enchaînement d'unités de sucre du même type (homopolysaccharide) ou d'un groupe de sucres différent (heteropolysaccharide) (**Tableau II**). Dans les structures des unités régulières en général, des substitutions d'acyle sont souvent observées à des degrés divers dans une variété de polysaccharides microbiens. L'association des chaînes peut être régulière ou aléatoire, les esters d'acétate et les cétones de pyruvate étant les plus fréquemment observés (Harrah *et al.*, 2006).

Tableau II: La structure chimique des exopolysaccharides (Harrah *et al.*,2006).

L'exopolysaccharide	Structure chimique
Gomme xanthane	C'est un homopolysaccharide de glucose (1→4 β) liaison avec chaînes latérales α-(1→3)- trisaccharides [β-D-Glc-(1→4) β-D-Glc-In
Alginate	(1,4)-β-D-mannuronate (M) et son épimère C-5 α-L-guluronate (G) présent dans le copolymère en tant que résidus de blocs de construction
Levane	Homopolysaccharide neutre de fructose
Pullulane	Polymère linéaire avec trois unités de glucose

I.4. Classification des EPS

En général, les EPS peuvent être regroupées en homopolysaccharides et hétéropolysaccharides

Les homopolysaccharides contiennent un seul type de monosaccharide non ramifiés ou ramifié. Ils sont composés de fructose ou de glucose. Ils sont classés en α D-glucanes, β-D glucanes, fructanes et polygalactans.

Les hétéropolysaccharides sont des polymères tels que l'acide hyaluronique (HA), la gomme xanthane, l'alginate (ALG), qui comprennent des unités répétitives de différents monosaccharides. La classification des EPS bactériennes est illustrée dans **la figure 2.** (Masrina *et al.*, 2021).

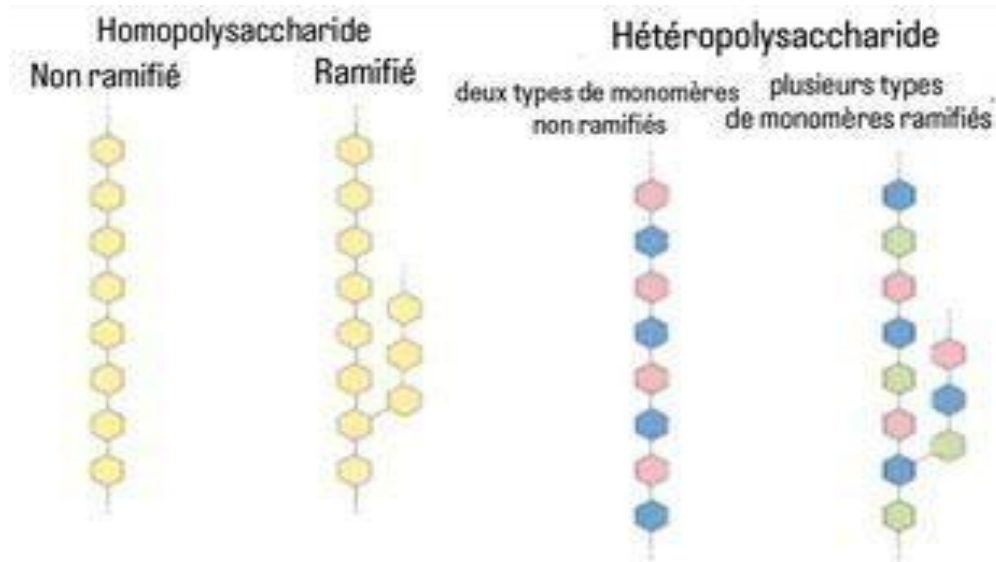


Figure 02 : La classification des exopolysaccharides (Pinar et al., 2016).

I.4.1. Les homopolysaccharides (HoPS)

Les HoPS consistent d'un seul type de monosaccharide (Figure 2). Par exemples, les α -D-glucanes, les β -D-glucanes, les fructanes, pullulane, levane, inuline, et d'autres comme le polygalactane. En effet, la plupart d'entre eux partagent l'attribut d'être synthétisé par les glycosyltransférases extracellulaires. Ces enzymes utilisent du saccharose comme donneur de glycosyle (fructose ou glucose). Les caractéristiques de leur structure primaire (les liaisons de la chaîne principale, le poids moléculaire et ainsi de suite) et la structure des branches constituent les principales différences entre les HoPS (Pinar et al., 2016).

- **La pullulane**

La pullulane est une gomme de glucane soluble dans l'eau produite en aérobic par culture d'*Aureobasidium pullulans*. C'est un copolymère qui se répète régulièrement avec la structure chimique suivante : α (6)-d-glucopyranosyl-(1 4)- α -d-glucopyranosyl-(1 4)- α -d-glucopyranosyl-(1) n. Ainsi, le polysaccharide est considéré comme une succession de α -(1 6)-liés à (1 4)- α -d-triglycosides c'est-à-dire maltotriose (G3) (Figure 03). Les pullulanes ont un large éventail applications commerciales et industrielles dans de nombreux domaines tels que la science alimentaire, les soins de santé, la pharmacie et même la lithographie. En raison de sa structure strictement linéaire, les pullulanes sont également très précieuses pour la recherche fondamentale ainsi que pour une substance modèle bien définie (Singh et al., 2008).

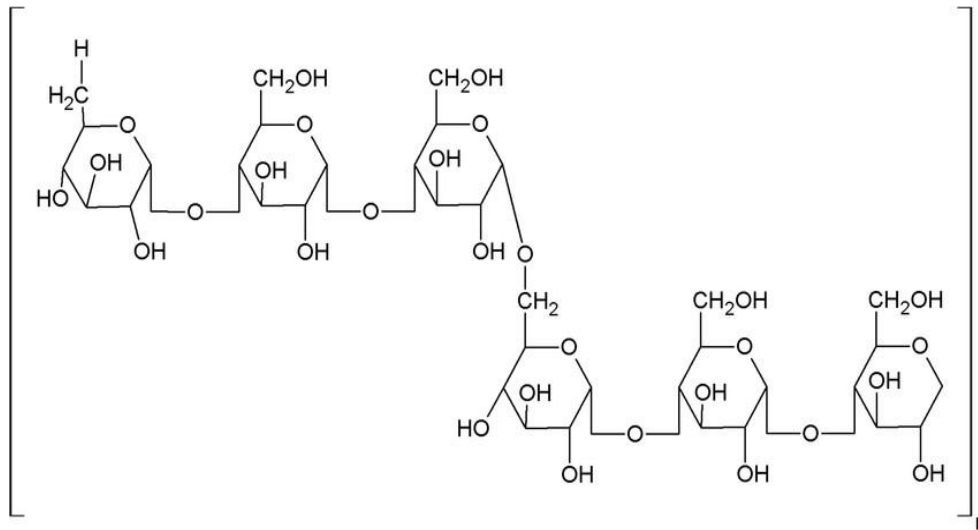


Figure 03 : Structure chimique du pullulane (Ferreira *et al.*, 2015).

- **Curdlan**

Est un homopolysaccharide bactérien qui a un intérêt récent significatif en raison de ses propriétés rhéologiques intéressantes et précieuses et de sa bioactivité inhérente. La structure homopolymérique simple β - (1 3)- glucane du curdlan non ramifié favorise une solubilité accrue par rapport à de nombreux autres polysaccharides naturels abondant (Figure 04). Ainsi le curdlan et ses dérivés ont des utilisations de plus en plus larges dans différents domaines (Yipan *et al.*, 2020).

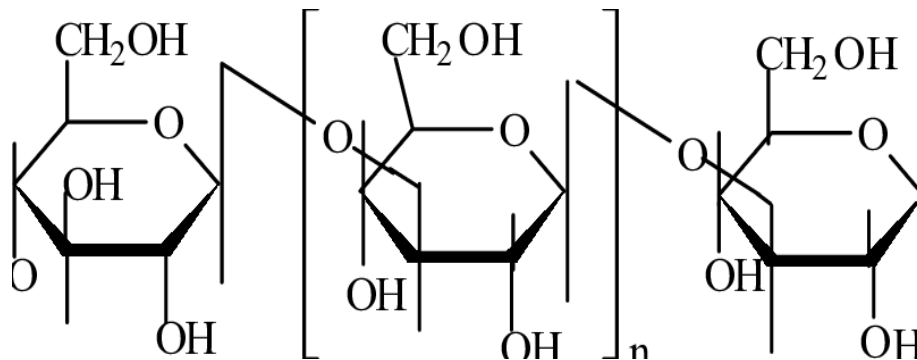


Figure 04 : Structure chimique du curdlan (Cremer *et al.*, 2010)

- **Le dextrane**

un homopolysaccharide glucane ramifié ayant des liaisons α -(1,6) et α -(1,3) glycosidiques entre le glucose (Figure 05) est produit par les genres *Leuconostoc*, *Streptococcus* et *Lactobacillus* (Escárcega-González *et al.*, 2018).

Les dextrans sont proposés pour une utilisation dans un certain nombre d'applications industrielles et médicales. Les dextrans partiellement hydrolysés sont utilisés comme

substitués du plasma sanguin dans le traitement des chocs dans le domaine médical (Neely, 1961).

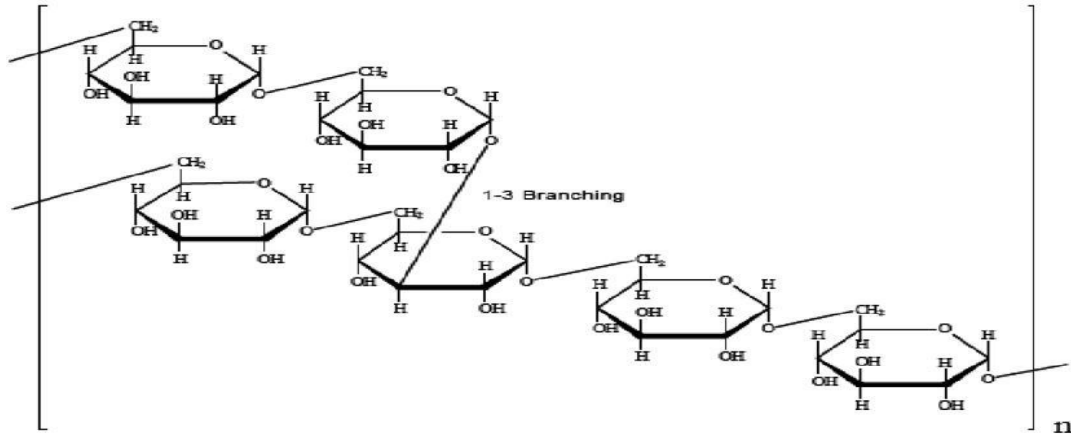


Figure 05 : La structure du dextrane (Kasaai, 2012).

I.4.2. les heteropolysaccharides (Heps)

Les hétéropolysaccharides (HePS) sont structurellement le groupe le plus complexe de polysaccharides. Ils sont composés de différentes unités répétitives de monosaccharidiques. Ceux-ci peuvent être ramifiés aux positions C2, C3, C4 ou C6, ou non ramifié. Les unités répétitives régulières sont constituées de trois à huit monosaccharides (D-glucose, D-galactose, L-rhamnose et autres), de dérivés de monosaccharides (N-acétyl-D-glucosamine, N-acétyl-D-galactosamine et acide glucuronique) et des substituant non glucidiques. Les monosaccharides peuvent être présents sous forme l'anomère a ou b sous la forme pyranose ou furanose, et contrairement à ce que l'on trouve dans les HoPS, des fragments glucidiques sont synthétisés à partir de précurseurs intracellulaires de nucléotides de sucre (Daniel *et al.*, 2022).

- **Les alginates**

Les alginates représentent une famille de polysaccharides composée d'acide mannurique et d'acide guluronique extraits d'algues brunes. Ce sont polysaccharides linéaires avec des unités d'acide β -D-mannuronique et l'acide α -L-guluronique lié par des liaisons (1-4) (Figure 06). Ils sont obtenus à partir des algues brunes marines mais peuvent également être produites par des bactéries du sol telles qu'*Azotobacter* et *Pseudomonas*. Les alginates ont un rôle important dans les industries alimentaires et pharmaceutiques. Ils ont utilisés comme stabilisants et épaississants pour les aliments et pour les pigments de couleur, agents adhésifs, et des matériaux d'encapsulation dans l'industrie pharmaceutique. Les applications

biomédicales étudiées leurs utilisation pour le piégeage thérapeutique des cellules et les propriétés immunologiques (Barcelos *et al.*, 2019).

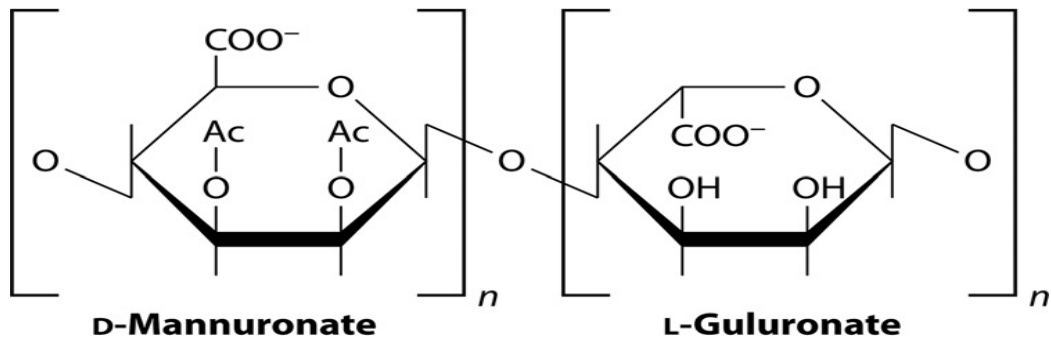


Figure 06 : Structure chimique d'alginate (Malhotra *et al.* , 2019).

- La gomme xanthane

La gomme xanthane est le premier biopolymère hétéropolysaccharide naturel produit à l'échelle industrielle produite par *Xanthomonas campestris*. Elle consiste un squelette de type cellulose [glucose lié en β -(1-4)] et une chaîne latérale constituée de deux unités de mannose et d'un acide glucuronique (Figure 07). Elle est utilisée dans différents domaines tel que le domaine pharmaceutique, cosmétique et agricole (Schmid *et al.*, 2015).

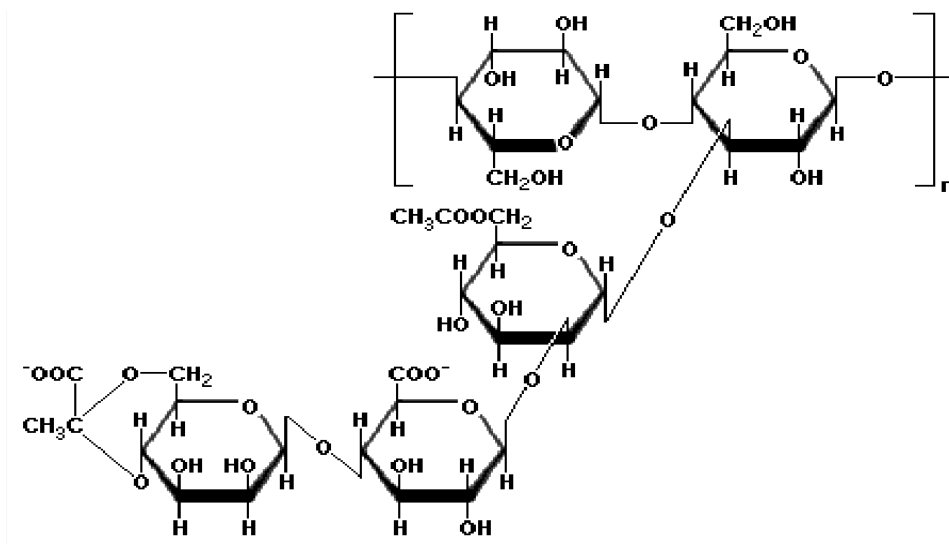


Figure 07 : Structure chimique du xanthane (Abo-Elkhair *et al.*, 2019)

I.5. Biosynthèse des EPS

I.5.1. Chez les bactéries

La biosynthèse des EPS se produit dans phases de croissance différentes, dépend des conditions environnementales et l'organisme utilisé pour la production. C'est un processus complexe implique un grand nombre d'enzymes et de protéines régulatrices (**Sanlibaba et al., 2016**).

La biosynthèse des homopolysaccharides et les hétéropolysaccharides diffèrent les uns des autres, principalement les homopolysaccharides sont synthétisés en dehors de la cellule grâce à des glycosyltransférases appartenant à des glycosyltransférases (**Cerning, 1990; Badel et al., 2010**). En revanche, la synthèse des hétéropolysaccharides se produit au niveau de la membrane cellulaire (**Degeest et al., 1999**). Ce dernier Comporte trois étapes principales:

Synthèse du substrat précurseur, polymérisation et transfert de membrane cytoplasmique et exportation.

Ces étapes varient avec la source de carbone utilisée, d'un microorganisme à l'autre et dépend spécifiquement des classes de polymères (**Filomena et al., 2011; klai et al., 2017**).

La synthèse des EPS implique un plus grand nombre de gènes codant pour des enzymes et protéines régulatrices qui ne sont pas propres à la production et la sécrétion des EPS. Les nucléotides diphosphates servent de précurseurs pour la biosynthèse des EPS qui sont des intermédiaires du métabolisme central du carbone. Ce dernier commence par le transport du sucre de milieu environnant. Chez les bactéries à gram négatives, le phosphate d'un décaprényle est un lipide support pour le montage des EPS. L'assemblage de base d'unité répétitive se produit au niveau de la membrane cytoplasmique et implique le transfert séquentiel de nucléotide diphosphates de sucre précurseurs d'un support lipidique isoprénoïde au phosphate d'un décaprényle. Une fois l'unité répétitive de base est assemblée, l'unité liée aux lipides les intermédiaires sont généralement transloqués à travers la membrane et polymérisé à l'extérieur de la cellule. Ensuite, l'EPS peut être lié de manière covalente à la surface cellulaire pour former une capsule, ou libérée dans le milieu comme la boue. Le phosphate d'un décaprényle joue un rôle important dans la biosynthèse des EPS chez les bactéries à Gram positives aussi. La voie biosynthétique est divisée en quatre séquences réactionnelles distinctes: le transport des sucres dans le cytoplasme, la synthèse des sucres-1-phosphates, l'activation des et les couplages des sucres, et les processus impliqués dans l'exportation des EPS (**Madhuri et al., 2014 ; klai et al., 2017**)

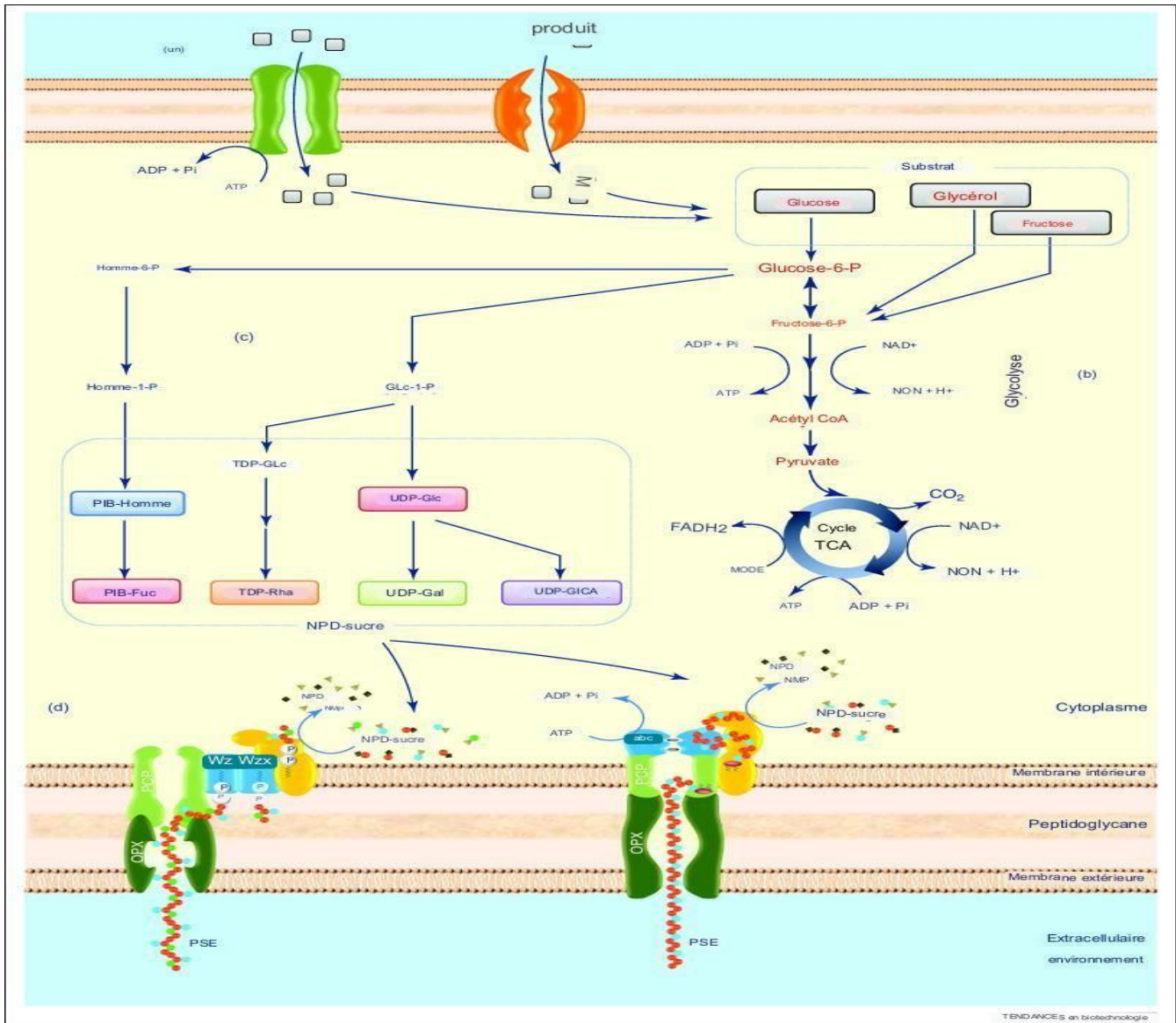


Figure 08 : Les étapes de la biosynthèse des exopolysaccharides chez les bactéries (**Filomena et al., 2011**).

I.5.2. Chez les algues et les cyanobactéries

Les microorganismes marins ont développé des capacités métaboliques et physiologiques uniques pour la production de métabolites secondaires (**José de Jésus et al., 2014**).

Le mécanisme de biosynthèse des EPS chez les algues est probablement plus complexe et mal connue en raison de la diversité de leur composition (**Pereira et al., 2009**).

Chez les cyanobactéries la constitution génétique est différente et plus complexes, la biosynthèse chez la cyanobactérie se fait généralement par différentes étapes (**Pereira et al., 2009**)

- **Les glycosyltransférases:** transfèrent les oses -nucléotides au transporteur lipidique. Les unités oligosaccharidiques liées aux lipides sont assemblées à l'interface entre le cytoplasme et les cellules.

- **La membrane plasmique :** les blocs de construction ainsi synthétisés se transloquent à travers la membrane grâce à la protéine membranaire Wzx, la protéine Wzy assemble des exopolysaccharides par addition.

-**Les unités répétitives d'oligosaccharides sur la chaîne synthétisée :** permettent au polymère de se déplacer ; de se convertir en protéines Wzc et Wzb et finalement transportés à travers la membrane externe par les lipoprotéines membranaire

I .5.3. Chez les champignons

La biosynthèse des EPS chez les champignons suit la voie générale de production de système microbien. Trois grandes étapes sont postulées pour cette biosynthèse : l'absorption du substrat, la formation intracellulaire et l'exportation d'EPS(**Jochen et al., 2011**)

Toutes les synthèses utilisent des sucres nucléotidiques comme substrats, de sorte que les enzymes des voies métaboliques responsables de la synthèse des sucres nucléotidiques sont essentielles pour la construction de la paroi cellulaire (**Neil et al., 2017**).

- **Biosynthèse de pullulane**

La biosynthèse des pullulane est régulée par la répression du glucose et les voies de signalisation. Le pullulane est synthétisées intracellulairement de la membrane et de la paroi cellulaire est sécrétée à la surface cellulaire pour former une couche lâche et visqueuse. Le mécanisme de biosynthèse des pullulanes n'est pas encore entièrement compris, pour cela des chercheurs ont proposé la voie possible pour la synthèse des pullulanes. Les unités de glucose nécessitent la présence de trois enzymes clés pour les convertir en pullulanes, qui sont:

L'alpha -phosphoglucose mutase, l'uridine diphosphoglucose pyrophosphoryles (UDPG-pyrophosphorylase) et la glucosyltransférase (**Ali et al., 2011**).

Une partie du glucose absorbé par les cellules est convertie directement en pullulane. Le glucose restant s'accumule de manière intracellulaire et peut être converti en pullulane par une voie alternative. Des chercheurs ont montré que les granules de glycogène et de lipides sont concentrés dans la membrane plasmique des cellules gonflées qui synthétisent activement le pullulane .Ils ont proposé que le glycogène pourrait agir comme source glucose et les granules de lipides comme source de lipides pour la synthèse des glycolipides. Ces glycolipides seraient alors transportés dans le cytoplasme et servent de précurseurs à la biosynthèse des pullulanes (**Cleanthes et al., 1999**)

I.6. Le rôle physiologique des EPS

Les EPS jouent un rôle important dans les associations cellulaires, dans la nutrition des micro-organismes et des macro-environnements (**Shailesh et al., 2016**).

L'accumulation d'EPS à la surface des cellules est une stratégie d'adaptation, y compris la participation à la protection cellulaire par la stabilisation de la structure membranaire

Cependant, le rôle physiologique des EPS dans les bactéries est probablement plus divers et complexe que ceux actuellement connus

I.6.1. Rôle de protection

Les EPS protègent les micro-organismes en tant que barrière physique générale y compris le stress osmotique, la température, le pH, la pression atmosphérique et l'intensité lumineuse et aide à l'adaptation aux conditions extrêmes (température élevée et basse, salinité, rayonnement, pH élevé et faible) par la formation d'une couche cellulaire protectrice (**Prasad et al., 2014; Kambourova, 2016**). Il a été établi expérimentalement que les exopolysaccharides algaux et des cyanobactéries protègent les cellules contre la dessiccation. Certaines cyanobactéries survivent sans eau en produisant des exopolysaccharides. En raison de leurs propriétés hydrophiles et hydrophobes, les EPS peuvent absorber et retenir l'eau formant une couche gélatineuse autour de la cellule et réguler l'absorption et la perte d'eau (**Dhanesh et al., 2018**).

La présence d'une couche d'EPS autour de la cellule peut nuire à la diffusion des substances, comme les antibiotiques ou les composés toxiques (p. ex., les ions métalliques toxiques, le soufre) (**Prasad et al ; Kambourova, 2016**).

I.6.2. Rôle pharmaceutique

Les EPS jouent un rôle important dans le développement de nouveaux produits pharmaceutiques, non seulement en raison de leur capacité à former des polymères matrices, mais aussi en raison de leur activité biologique (**Prasad et al., 2014**).

I.6.3. Résistances aux phages

Il existe une divergence d'opinions sur le rôle des EPS résistance aux phages. Peu d'études ont attribué la résistance des bactéries lactiques aux phages liés à ses exopolysaccharides. Les autres rapports niés cette hypothèse. Cette incohérence peut être imputée à la structure hétérogène des exopolysaccharides ainsi que la différence dans le mécanisme de reconnaissance de la surface cellulaire par différents phages (**Prasad et al., 2014**).

I.6.4. Rôle dans la formation du sol

Les microorganismes habitent la rhizosphère et les racines des plantes libèrent des EPS dans le sol. Ces derniers jouent un rôle dans la formation des micro agrégats impliqués dans la formation et la stabilité du sol, la régulation des nutriments et l'écoulement de l'eau du sol rhizosphérique vers les plantes, la promotion de la croissance et la protection des racines contre les pathogènes et l'exploration des EPS bactériennes pour améliorer la fertilité du sol et l'interaction avec les constituants des sols (**Kambrouva et al., 2015**).

I.6.5. Formation des biofilms

Les EPS jouent un rôle important dans la formation de biofilm et la fixation des cellules aux substrats. Les EPS représentent de 50% à 90% de la matière organique entière du biofilm. Les biofilms sont appelés symboliquement cités microbiennes. Les rôles des exopolysaccharides dans les biofilm sont (**Kambourova, 2016**):

- **L'attachement**: les EPS aident à l'attachement aux surfaces (abiotiques et biotiques).
- **L'agrégation de cellules bactériennes**: les EPS rejoignent les cellules, immobilisant temporairement la population bactérienne.
- **L'entretien de l'eau étant hydrophiles**, les EPS maintiennent un milieu hydraté dans la région du biofilm et aident les bactéries dans les environnements dépourvus d'eau.
- **Source de nutriments dans les biofilms**, les EPS sont des énormes sources de composés contenant du carbone, du phosphore et azote (**Zaheer et al., 2019**).

I.7. Les microorganismes producteurs des EPS

Les exopolysaccharides sont synthétisées par les bactéries et les archéobactéries. Le dextran, le xanthane et la gomme gellane sont trois exopolysaccharides courants produits à partir de ces procaryotes. A côté des bactéries plusieurs algues et champignons sont considérés comme des producteurs puissants des EPS (**Osarenkhoe et al., 2020**).

I.7.1. Les bactéries

Les bactéries à Gram+ productrices d'exopolysaccharides les plus étudiées sont les bactéries lactiques qui sont utilisées dans la fabrication de divers laits fermentés et en particulier du yaourt, telles que *Streptococcus thermophilus*, *Lactobacillus bulgaricus* et *Lactococcus crémoirs* (**Cerning, 1995**). Le **tableau III** présente quelques exopolysaccharides et leurs sources bactériennes.

Tableau III: Les EPS microbiens et leurs sources bactériennes (Sonali *et al.*, 2020).

Bactéries	EPS
<i>Xanthomonas campestris</i>	Xanthan
<i>Leuconostoc mesenteroides</i>	Dextran
<i>Azotobacter vinelandii</i>	Alginate

• *Leuconostoc lactique*

La production d'EPS de *Leuconostoc lactique* isolée à partir d'avocats tunisiens a donné un rendement de 2,25 g/L. Une caractérisation plus poussée a montré que les EPS produites étaient des α -glucanes composés d'unités de glucose. Plus précisément, ces EPS contiennent une chaîne principale d'unités glucopyranose avec 35 % de liaisons α -(1 → 6) avec des chaînes latérales composées d'une unité α -glucopyranose, ce qui permet de les classer comme des EPS de type dextran. *Leuconostoc lactique* est occasionnellement isolée du chou, en particulier du kimchi. Le génome de la souche CCK940 produisant des EPS est séquencé, confirmant la présence de gènes codant probablement pour des enzymes de synthèse des EPS (Marie *et al.*, 2020).

• *Vibrio sp*

Bramhachari, (2006) a réalisé une étude concernant l'isolement et caractérisation l'EPS produit par la souche VB23 de *Vibrio harveyi*. Il a montré que L'EPS produit par la souche *V. harveyi* VB23 est un hétéropolysaccharide possédant une bonne activité émulsifiante. L'EPS est facilement isolée des surnageant de culture, ce qui suggère que l'EPS était un EPS visqueux.

I.7.2. Les champignons

Les exopolysaccharides fongiques sont des biopolymères naturels avec diverses applications potentielles dans les industries biomédicales, d'emballage, cosmétique et alimentaire. Les EPS fongiques sont des polysaccharides faciles à extraire et à purifier et sont biodégradables, biocompatibles, avec une faible immunogénicité, une capacité de bioadhésion, une activité antibactérienne et contiennent différents groupes réactifs (Masoud *et al.*, 2022). Le **tableau IV** montre des exemples des champignons producteurs des EPS.

Tableau IV: Les EPS et leurs sources fongique (**Osarenkhoe et al., 2020**)

Champignons	EPS
<i>Botryosphaeria sp.</i>	Botryosphère
<i>Auréobasidium pullulans</i>	Pullulane
<i>Schizophyllum</i>	Schizophyllan
<i>Aspergillus fumigatus</i>	Galactosaminoglucane
<i>Candida albican</i> <i>Zygosaccharomyces rouxii</i> , Champignons filamenteux	Chitine et Chitosane
<i>Pleurotus ostreatus</i>	Pleuran

- ***Aspergillus fumigatus***

L' *Aspergillus fumigatus* reste l'un des champignons conidiens les plus largement utilisés pour la production de galactosaminogalactane (GAG). Comme les homologues bactériens, certains agents pathogènes fongiques de l'homme, notamment *Candida albicans* et *A. fumigatus* produisent également des EPS sous forme de biofilm lors de l'infection. Ce biofilm contient des GAG, du glucane et du galactomannane qui influencent sa structure et sa fonction, favorisant l'adhésion aux tissus de l'hôte et facilitant l'évasion des défenses cellulaires de l'hôte . De plus, des études ont rapporté que ces exopolysaccharide contient 91 % de glucides et 8 % de protéines, ce qui indique un EPS de haute qualité (**Osemwegie et al., 2020**)

- ***Aureobasidium pullulans***

Aureobasidium pullulans est une espèce semblable à la levure noire qui est particulièrement connue pour son importance biotechnologique en tant que producteur de polysaccharide extracellulaire (EPS) pullulan. Le champignon *Aureobasidium pullulans*, qui synthétise plusieurs exopolysaccharides dont l' α -glucane pullulane, a un cycle de vie polymorphe très complexe, constitué de diverses formes unicellulaires et d'un mycélium filamenteux à partir duquel les hyphes individuels produisent souvent ces unicellules par bourgeonnement. Les unicellules décrites jusqu'à présent comprennent les blastospores bourgeonnantes et les cellules gonflées unicellulaires et multicellulaires, dont certaines se transforment ensuite en chlamydospores productrices de mélanine (Zalar et al., 2008)

I.7.3 .Les micro-algues

De nombreuses études sont concentrées sur la production et la caractérisation des EPS des algues en raison de leurs potentiels caractères biologiques, tels que l'activité antitumorale, antiviral, et les activités immunomodulatrices. Ces possibilités font des EPS microalgales une autre source prometteuse de composés bioactifs naturels. Comparé aux EPS bactériens, les EPS microalgales sont beaucoup moins connus. À ce jour seules quelques recherches ont rapporté sur la production d'EPS et la caractérisation partielle d'espèces d'algues, par exemple les algues vertes (*Dunaliella Salina*, *Chlorella vulgaris*, *Chlorella ellipsoidea*, *Chlorella pyrenoidosa*), les diatomées (*Navicula salinarum*, *Cymbella cistula*, *Pinnularia viridis*) et les algues rouges (*Porphyridium sp.* *Rhodella reticulata*) (Zhang et al., 2019)

- ***Chlorella vulgaris***

Chlorella vulgaris est une microalgue unicellulaire (Safi et al., 2014), Il appartient à l'ordre Des Chlorococcales, famille des Oocytaceae, genre *Chlorella*, qui a une couleur verte. Elle est de forme sphérique et sa taille varie de 1 à 10 microns (Coronado et al., 2022). Selon (Barboríková et al., 2019) les exopolysaccharides produits par *Chlorella vulgaris* ont de nombreuses utilisations, notamment en médecine traditionnelle, car ils aident à prévenir l'apparition ou la progression de l'inflammation allergique chronique des voies respiratoires.

- ***Scenedesmus sp***

La souche *Scenedesmus sp.* SD07 peut être utilisée pour le traitement des eaux usées ainsi

que pour la production d'huile d'algues de haute qualité et d'EPS (**Sivagnanam et al., 2023**).

I.8. Les sources naturelles de production d'EPS

La production d'EPS peut être économiquement favorable en utilisant un substrat naturel à faible coût tel que les déchets agro-industriels. Des recherches récentes sont concentrées sur la recherche d'approvisionnements en carbone alternatifs et moins coûteux. Les déchets alimentaires et agricoles se sont avérés adaptés à la production d'exopolysaccharides efficaces et rentables, tels que les effluents de lactosérum, de mélasse et d'huile de palme, les eaux usées d'huile d'olive, le sirop, les jus de fruits, les fruits, les légumes, les déchets agricoles émergent comme un conventionnel et approche émergente pour la gestion des déchets et la production de composés bioactifs. Le **tableau V** représente les différentes sources alternatives pour la production des exopolysaccharides (**Krina et al., 2021**).

Tableau V: Les sources alternative pour la production des exopolysaccharides (**Pirog et al., 2016**)

Producteurs	Substrats	EPS g/L
<i>X.campestris</i> ATCC 1395	Mélasses	53
<i>S. thermophilus</i> BN1	Lactosérum	3.75
<i>X. campestris mangiferaeindicae</i> 2103	Glycérol brute	7.23
<i>P.ostreatus</i> FPO-1001	Déchets d'huile detournesol	0,8

<i>M. esculenta</i> ATCC 10968	Plumes de poulet écrasées	4,6
<i>A. pullulans</i> SU-M18	Hydrolysats d'écorce de caroubier	2,16
<i>X. campestris</i> 1182	Extrait de carapace de crevette	4,64
<i>G. applanatum</i> 1572	Grains d'amidon	13,9
<i>X. citri</i> MTCC 2286	Extrait de peau de pomme de terre	2,9

I.9. Application des exopolysaccharides

L'application du polymère microbien a commencé dans les années 1960 et depuis ces années il y a une augmentation remarquable de leur utilisation commerciale (**Shailesh et al., 2016**) Les découvertes de nombreux types d'exopolysaccharides sont documentées. Cependant, seules quelques-unes ont une pertinence industrielle et médicale avec une valeur commerciale significative, en particulier en ce qui concerne leur utilisation comme biomatériaux ou comme modificateurs rhéologiques des systèmes aqueux. La limitation des applications de certains de ces polysaccharides bactériens est due en grande partie au coût de production par rapport à leur valeur commerciale; toutefois, l'approche généralement utilisée pour traiter ce problème, notamment en utilisant des substrats moins chers, en améliorant le rendement du produit en optimisant les conditions de fermentation ou en développant des souches à rendement plus élevé par mutagenèse et/ou manipulations génétiques et métaboliques, et en optimisant la transformation en aval (**Uchechukwu et al., 2012**). La **figure 09** représente les différentes applications des exopolysaccharides.

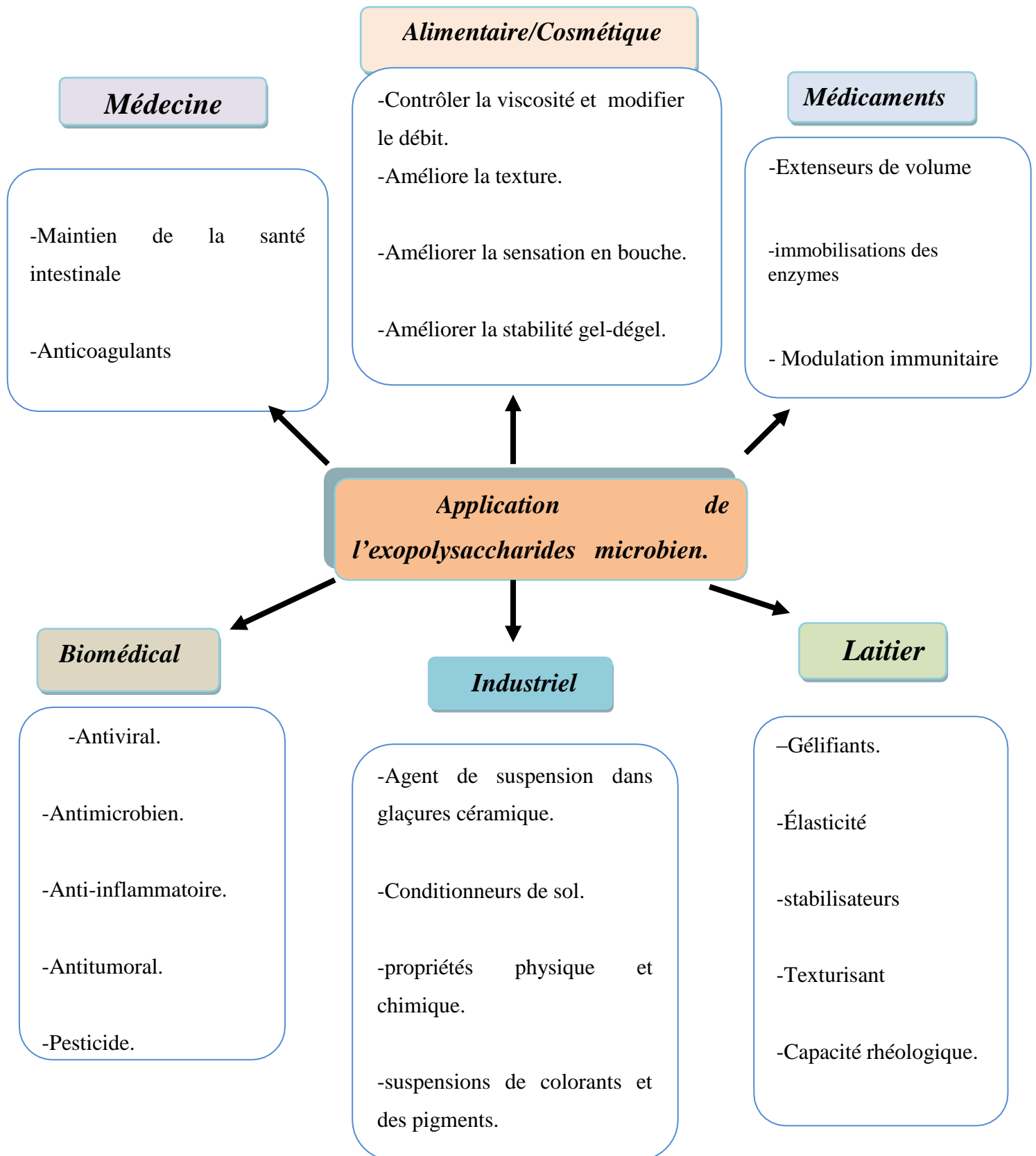


Figure 09 : Les différentes applications des exopolysaccharides (Bajpai *et al.*, 2015).

I.8.1. Application dans le domaine alimentaire

Les glucides et les exopolysaccharides microbiens sont utilisés dans l'industrie alimentaire pour améliorer les propriétés rhéologiques et créer des caractéristiques spécifique; cryoprotection, adoucissement, hygroscopicité, inhibition de la cristallisation, en capsulation de la saveur et capacité de revêtement. Bien que, composés d'origine microbienne ont une réputation polyvalente et le nombre des études dans ce domaine sont en augmentation. Seulement trois exopolysaccharides xanthan, gellan et dextran ont été survécu à la concurrence industrielle (**Meybodi, 2015**).

En effet, les EPS produites par les bactéries lactiques (LAB), qui sont déjà acceptés comme GRAS (généralement reconnus comme sûrs) représentent les polymères les plus appropriés pour l'industrie alimentaire. Ils sont largement employé dans l'industrie laitière.

la production de leurs EPS améliore la texture des produits laitiers fermentés et confère également des avantages pour la santé en conséquence de leur activité immunostimulatrice, antitumorale ou hypocholestérolémiant

I. 8.2. Application biomédicale

Les EPS couramment utilisés dans le domaine biomédical comprennent la cellulose, le dextrans, la gomme xanthane, le levane et le curdlane (**Tableau VI**). Ces EPS ont divers structures et propriétés physicochimiques qui peuvent être adaptées pour de multiples applications (**Masrina et al., 2021**).

Tableau VI : Applications biomédicales des exopolysaccharides (Masrina et al., 2021).

Exopolysaccharides	Application biomédicale
Cellulose	Cicatrisation des plaies et sang issu del'ingénierie tissulaire.
Dextrane	Substitut de plasma
Gomme Xanthane	Injection intra-cartillaire pour le traitementde l'arthrose
Kéfiran	Propriété antitumorales
Levane	Lévane sulfaté pour l'ingénierie tissulaire Cardiaque

I. 8.3. Applications agricoles

En agriculture, La fertilité et la productivité des sols peuvent être améliorées par l'accumulation de bactéries productrices d'EPS dans la rhizosphère des plantes cultivées.

(Prasard et al., 2014)

I. Les exopolysaccharides

Les exopolysaccharides inhibent l'interaction entre les plantes et les phytopathogènes et Augmentent également la biodisponibilité des nutriments pour la plante en éliminant les composés polyaromatiques. Les exopolysaccharides peuvent être utilisés pour améliorer la qualité du sol par l'assainissement du sol et peut remplacer les tensioactifs agressifs Actuellement utilisé pour la synthèse et la formulation des pesticides par des pesticides Industriels manufacturières (**Rana et al., 2020**).

I.8.4. Exopolysaccharides dans le biofilm bactérien

Des estimations récentes ont confirmées que les biofilms bactériens représentent plus de 80% des infections microbiennes dans le corps. L'approche traditionnelle pour prévenir la formation de biofilm.

Le polysaccharide capsulaire d'*Escherichia coli* groupe II a été caractérisé pour exercer une activité d'inhibition du biofilm à large spectre. Une bactérie productrice d'exopolysaccharide inhibe non seulement la formation de biofilm de nombreuses bactéries, mais perturbe également le biofilm établi de certaines souches. Plusieurs exopolysaccharides comme le pullulane et ses dérivés présentent des propriétés adhésives et peuvent être utilisés dans des compositions cicatrisantes (**Prasad et al., 2014**).

Un EPS fongique produit par *Pestalotiopsis sp.*KCTC8637, est utilisé dans le traitement des eaux usées comme biosorbant du plomb et du Zinc. Chaque gramme de pestant a absorbé 120 mg de plomb et 60 mg de zinc.

Le pullulane, un EPS de *A.pullulans*, peut être utilisé comme épaississant, stabilisateur de viscosité dans l'industrie alimentaire, ainsi que pour la préparation de matières plastiques non toxiques, biodégradables et comestibles. D'autre application d'adhésifs, il est également utilisé dans la fabrication cosmétique et dans divers produits de soins de la peau, crèmes et lotions protectrices (**Subhadip et al.,2013**).

I.8.5. Perspectives d'avenir pour les exopolysaccharides bactériens

Dans le futur proche, les études du niveau d'expression des gènes par des techniques moléculaires peuvent donner de nouvelles perspectives pour la production améliorée des EPS microbiens sous contrôle environnement chimique. Cela conduit à une production polyvalente plus fonctionnelle des EPS (**Vivek et al., 2015**).

Bien que les applications des EPS bactériens s'étendent dans des domaines tels que l'industrie (textile, produits laitiers, cosmétiques, etc.), la santé (médecine et produits pharmaceutiques) et l'environnement (assainissement, floculation, etc.), son application dans le processus de floculation sera une étape importante pour la promotion de la santé et l'utilisation écologique,

en particulier dans les processus municipaux et de traitement des eaux usées (**Uchechukwu et al., 2012**).

Les EPS microbien offrent un très grand champ d'applications médicales, si on considère leurs avantages évidents. Les systèmes de nanoparticules EPS devraient exploiter certains de leurs avantages par rapport aux liposomes (par exemple: plus grande stabilité et polyvalence). Plusieurs recherche dans des domaines difficiles de grande intérêt sont réalisées par exemple, le ciblage du cerveau dans les troubles neurologique (AVC, tumeurs, Alzaheimer) (**Farina, 2015**).

Le nombre d'études sur l'utilisation des micro-organismes producteurs d'EPS dans l'industrie alimentaire est en constante augmentation. Cette augmentation peut conduira à un aliment de meilleure qualité. Compte tenu de la santé, des avantages sont associés aux propriétés prébiotiques, aux effets réducteurs de cholestérol, aux propriétés antioxydantes, aux propriétés antimicrobiennes et anticancéreuses (**Yildiza et Karatas, 2018**).

Chapitre II :
Valorisation des sous
produits végétaux

II. 1. La valorisation

Les sous-produits agro-industriels alimentaires comprennent principalement les pelures, les graines, les tiges, la bagasse, les amandes et les enveloppes, issus de la transformation des aliments. En raison de leur surproduction et du manque de gestion durable, ces sous-produits sont conventionnellement rejetés et gaspillés dans les décharges, étant la principale stratégie pour leur traitement, mais de nos jours, cette stratégie est associée à plusieurs problèmes environnementaux sociaux-économiques. La valorisation de ces sous-produits en composés à haute valeur ajoutée, constitue une alternative prometteuse non seulement pour résoudre les problèmes de gestion des sous produit végétaux, mais aussi conduire a crée un système alimentaire plus durable avec plusieurs effets bénéfiques potentiels sur la santé (**Dimou et al.,2019; Ricardo et al., 2021; Yanhong et al.,2023**).

La valorisation des déchets alimentaires, comme source d'énergie et/ou de produits chimiques, via la bioraffinerie ou la biotechnologie, a suscité une grande attention ces dernières années, en raison de l'épuisement rapide des ressources primaires, de l'augmentation de la production de déchets et de l'enfouissement dans le monde. Les sous-produits du café par exemple (c.-à-d. la pulpe de café, les coques de café, la peau d'argent, le café usé, etc.) ont été étudiés sous différentes formes, soit comme source d'antioxydants et de produits chimiques précieux, soit comme charge dans les composites (**Panelia et al.,2023**).

Les déchets de fruits et légumes ont une disponibilité abondante, des propriétés diverses et différentes possibilités de valorisation en produits utiles. L'évaluation des impacts environnementaux et de la durabilité est très importante pour la prise de décision sur l'amélioration des processus de valorisation à l'échelle commerciale existants ainsi que lors de la mise en œuvre de l'échelle du laboratoire à l'échelle industrielle (**Piyumali et al.,2023**).

Le but de cette valorisation, des applications de la fermentation industrielles pour améliorer la valeur nutritionnelle ou bien pour produire des composés biologiquement actifs, sont développées. En ce sens, la fermentation d'une grande variété de sous-produits, y compris le riz, l'orge, le soja, les agrumes et les sous-produits de meunerie, a été signalée (**Carlos et al., 2020**).

II.2. Quantités des déchets végétaux dans plusieurs pays

Les résidus de produits agricoles bruts comprennent le fumier et les carcasses d'animaux (déchets animaux) et les sous produits végétaux comme les tiges de maïs, bagasse de canne à sucre, gouttes et rebuts de fruits et légumes.

II. Valorisation des sous-produits végétaux

Les principaux groupes d'aliments contribuant au gaspillage ou à la perte de nutriments et de nourriture sont les céréales et les légumineuses, les fruits et légumes, les racines, les tubercules et les cultures oléagineuses. Parmi ces groupes d'aliments, les racines, tubercules et oléagineux avec près de 26 % et les fruits et légumes avec près de 22 % sont les deux premiers groupes, sur la base des pertes alimentaires. Les céréales, racines/ les fruits/légumes et les oléagineux composent un gaspillage alimentaire annuel mondial avec respectivement 30 %, 40-50 % et 20 %. Les déchets de légumes, fruits, céréales, racines et tubercules, oléagineux et légumineuses sont constitués de pelures, de tiges, de graines, de coques, de son, de germes, de rebuts, de grignons, de pulpe et d'autres résidus issus de la transformation. Les déchets provenant des chaînes d'approvisionnement alimentaire en fonction des emplacements géographiques mentionnés dans plusieurs études peuvent être résumés avec quelques exemples donnés pour la quantité annuelle de déchets en tonnes comme suit : 50000-100000 déchets d'huile végétale au Royaume-Uni, 4000000 marc de tomate en Europe , 57 000 paille de blé aux États-Unis, 40 000 à 45 000 déchets de céréales en Europe, 700 écorces d'orange aux États-Unis, 700 marc de raisin en France, 2 881 500 marc d'olive dans le monde, 3000000 à 420 000 marc de pomme dans le monde, et 70 à 140 épluchures de pommes de terre dans le monde (**Capanoglu et al.,2022**). La **Figure 10** représente la quantité des sous produits agricole (fruits et légumes) dans quelques pays.

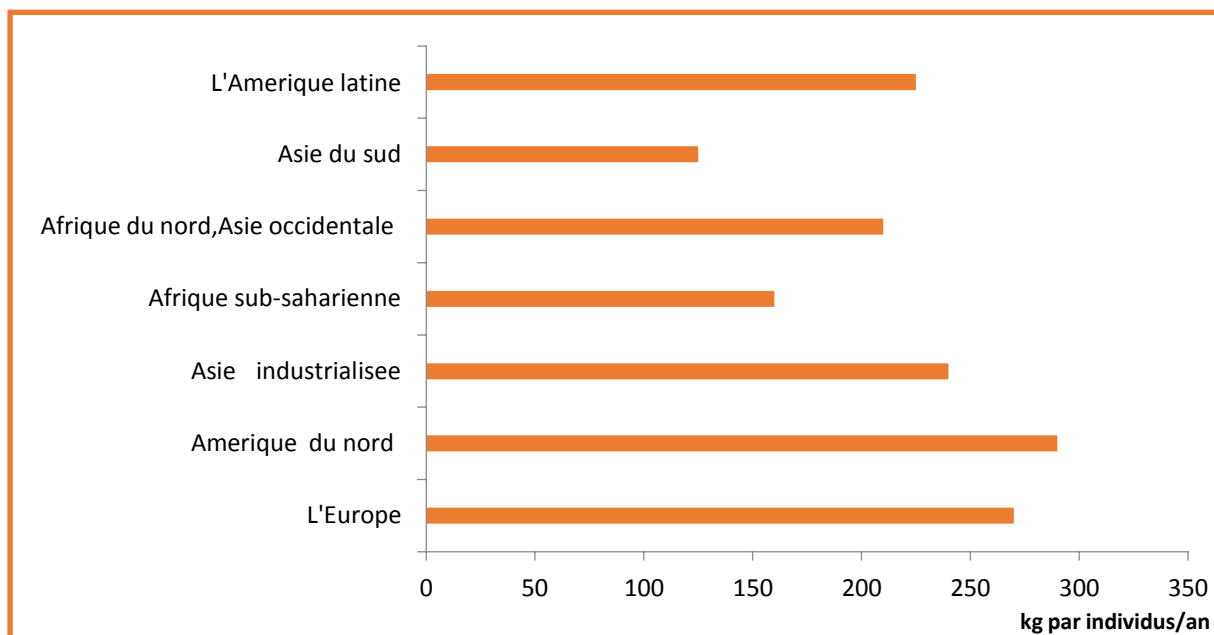


Figure 10 Les quantités des déchets (fruits et légumes) dans différents pays (**Esparza et al., 2022**).

II.3. Les sous produits végétaux

II.3.1. La mélasse de betterave

La mélasse de betterave à sucre, un sous-produit de la production de sucre de betterave, est un produit bon marché, disponible et en plus une source habituelle de saccharose. C'est aussi une source d'azote, de minéraux et de vitamines (**tableau VII**). Grâce à ces propriétés, la mélasse de betterave à sucre est largement utilisée comme substrat dans les fermentations industrielles. La mélasse de betterave à sucre et le CFP sont utilisés comme substrats disponibles à faible coût pour la production de gomme xanthane par *Xanthomonas campestris* (**Murat et al., 2019**).

Tableau VII Composition chimique de mélasse de betterave (Shadia et al.,2012).

Composition chimique	Concentration
Protéine brute	6,30%
Matière organique	62,5%
Sucre totaux	48,30%
Saccharose	35.9%
Fructose	5.6%
Glucose	2.6%

II.3.2. Le chou et le concombre

Sont des sous produits riche en saccharose, en lactose (1090 mg /L) et en glucose (1792 mg/L). Grace à cette richesse en sucres fermentescibles, ces sous produits sont largement utilisés pour les culture microbienne comme sources de carbone pour la production des exopolysaccharides .

Deux souches de *Lactobacillus.spp* ont été identifié (*Lactobacillus bulgaricus* et *Lactobacillus acidophilus*) et cultiver sur des substrats à base de chou et de concombre pour la production des EPS (Priyanka et al .,2016).

II.2.3. La pêche

La pêche est un fruit de saison, produit en Grèce, de grande quantités de ces fruits ne sont pas commercables pour divers raisons. La pulpe de pêche est riche en vitamines, en fibre brutes, en minéraux à haute valeur nutritive et en hydrate de carbone spécifique.

Les bactéries *Xanthomonas campestris* et *Zymomonas mobilis* sont utilisées pour la production de gomme de xanthane sur un milieu de culture à base de la pulpe de pêche.

Les chercheurs montrent que le bouillon de pêche fin peut être utilisé pour la production de xanthane avec un rendement satisfaisant par *X.campestris* (Papi *et al.*, 1999).

II.3.4. Pulpe de peau de raisin

La pulpe de raisin est un sous-produit de l'industrie, représente des milliers de tonnes dans les pays producteurs de vin. Une partie de ces déchets sert à l'alimentation animale, mais la plus part des déchets sont éliminés. Les extraits d'eau chaude de la pulpe de raisin peuvent servir de bon substrat pour la production de pullulane (EPS fongique) (Seyyed *et al.*, 2018).

II.3.5. Déchets d'olives

L'industrie de l'huilerie génère des sous-produits qui sont potentiellement nocif pour l'environnement, dans les pays méditerranéens ce problème est l'un des plus graves préoccupations environnementales. Actuellement, deux procédés sont utilisés pour l'extraction de l'huile d'olive : le système triphasé et le système moderne biphasé. Le système triphasé produit trois flux : L'huile d'olive pure, les eaux usées des moulins à huile (OMW) et un sous-produit solide ressemblant à un gâteau appelé tourteau d'olive (Jose *et al.*, 2006).

La production de polymères microbiens en utilisant OMW comme un substrat de fermentation à faible coût et bénéfique pour l'environnement est proposé. L'idée est soutenue par le fait que l'OMW présente certaines similitudes avec le milieu standard pour la production de polysaccharides microbiens, principalement en ce qui concerne le rapport carbone/azote élevé. Cette approche pourrait réduire le coût de la production de polymères car le substrat est souvent le premier facteur limitant. De plus, OMW contient des sucres libres, des acides organiques, protéines et autres composés tels que les composés phénoliques qui pourraient servir de source de carbone pour la production de polymères (Jose *et al.*, 2007).

II.3.6. Pelure de pomme de terre

Les déchets d'épluchures de pommes de terre (PPW) sont un sous-produit de faible valeur de l'industrie de la transformation des aliments qui comprend beaucoup d'amidon, de polysaccharide non amylacé, lignine, protéines et lipides. Le PPW peut être manipulé et utilisé pour créer des bioproduits à valeur ajoutée en tant que source de carbone prometteuse. Chaque année, entre 70 et 140 000 tonnes de pelures sont générées par l'industrie traitement dans le monde entier. Les méthodes de gestion traditionnelle des déchets PPW, telles que le compostage des terres cultivées et l'alimentation des ruminants, se concentrent sur l'élimination physique directe des contaminants organiques. Les préoccupations environnementales potentielles associées à l'épandage de PPW sur les terres, le ruissellement

et la pollution deviennent un problème croissant. Par conséquent, les utilisations alternatives des flux de déchets de production alimentaire pour les bioproduits à valeur ajoutée fournissent une approche de gestion des déchets basée sur: la réduction, la réutilisation et la récupération des déchets. L'extrait de pelure de pomme de terre (20 % p/v) est également avéré d'être une source de carbone appropriée pour *Leuconostoc spp.* Avec une production de dextrane atteint une concentration de 79 g/L après 20 h de fermentation. Les pelures de pomme de terre favorisent la plus grande productivité de dextrane cela est dû à leurs diverses compositions. De plus ces déchets contiennent aussi d'autres constituants tels que la peptone, qui affectent la croissance microbienne et la formation de produit (Ebtehag *et al.*, 2021).

II.3.7. Jus de fruits

Le jus de fruits est principalement produit par les industries de la conserve. Il se compose principalement de forte concentration en sucre comme le saccharose et les acides organiques. Ils peuvent être une moins chère source pour la production à grande échelle d'EPS bactérien. Le sous-produit du jus de palme est l'une des cultures les plus utilisées dans la région méditerranéenne ; il est utilisé pour la production de xanthane à l'aide de *Xanthomonas campestris*.

Le jus de canne à sucre est riche en source de carbone avec une forte concentration de saccharose. Il est considéré comme un bon substrat pour la production d'EPS à un niveau moins cher. Plusieurs jus de fruits dont l'orange, le melon brodé, l'ananas, la grenade, le lait de coco et l'eau de coco sont utilisés pour la production des EPS utilisant *Gluconacetobacter persimmonis* GH-2. Le jus de fruits avarié peut aussi être un substrat pour la production de polysaccharides. Des rapports existent sur la synthèse de cellulose par *Gluconacetobacter xylinus* ATCC 53582 sur un milieu contenant du jus de fruits gâtés comme les prunes, les raisins, les ananas verts et les pommes (Vaishna *et al.*, 2021).

II.3.8. L'eau de coco

L'eau de coco mature, un sous-produit gratuit est un substrat riche pour la culture microbienne contenant de fortes concentrations de sucre (glucose 5 g/l, fructose 6,1 g/l et saccharose 6,7 g/l), oligo-éléments et azote comme composant mineur environ 10 mg/L (Phisit *et al.*, 2011).

Selon Shivakumar *et al.*, (2006), l'eau de coco pourrait être un substrat possible pour la production d'EPS à l'aide d'*Agrobacterium sp*, l'utilisation de l'eau de coco, qui est drainée par le processus de l'industrie de la noix de coco, est contrôlée pour la production des EPS en remplaçant le saccharose dans le milieu de fermentation avec de l'eau de coco en maintenant la même concentration de celle de saccharose. Il ressort de ses constatations que l'eau de la

noix de coco, contient jusqu'à 4 % de sucre total, est une bonne source de carbone pour la croissance et la production d'EPS par *Agrobacterium* sp CFR 24.

II.4. Prétraitements des déchets

Les prétraitements des déchets sont classés en plusieurs catégories, à savoir, physiques et mécaniques, chimique, thermomécanique et biologique. Le but de chacun d'entre eux est d'améliorer le développement et l'efficacité de la désintégration, de l'hydrolyse et de l'augmentation de la solubilisation, par différents mécanismes (réduction de la taille et des particules, augmentation de la porosité, augmentation de surface disponible, rupture des parois cellulaires...). Les prétraitements physiques et mécaniques cherchent à séparer les objets indésirables et de réduire leurs tailles. Par conséquent, la surface nécessaire à l'action enzymatique ainsi que la surface de contact entre le substrat et les micro-organismes est augmentée (Carlos *et al.*,2021).

Les méthodes mécaniques comme la pressurisation-dépressurisation et plusieurs méthodes chimiques de prétraitement des déchets sont les plus efficaces pour l'extraction des nutriments. L'hydrolyse et la solubilisation des déchets avec des enzymes avant la fermentation ont souvent été utilisées, mais le coût excessif des enzymes rend le processus de fermentation économiquement insoutenable, le traitement des déchets par l'acide convertit les polymères des sucres en sucres simples mais il entraîne également la formation de produits inhibiteurs.

Un traitement acide et alcalin des déchets de cuisine avant leur utilisation pour la production de xanthane est également effectuée. Cependant, le prétraitement acide et alcalin des déchets de fruits conduit à la dégradation des sucres comme le fructose et le glucose entraînant une diminution de la concentration de sucre extrait. Ainsi, l'extraction des nutriments solubles dans l'eau est effectuée par l'incubation des déchets de fruits dans de l'eau distillée stérile à pH7,0 (Avni *et al.*,2022).

L'extraction des composés phytochimiques des sous-produits végétaux, passons par quelques étapes nécessaires : broyage humide du sous-produit (pour réduire la granulométrie du résidu humide) et séchage (four, lyophilisation) et broyage est utilisé.

La stabilisation des sous-produits avant d'être soumis à l'extraction est un point critique nécessite l'étude des conditions les plus appropriées pour éviter les rayonnements de composés phytochimiques ou de composés bioactifs. Par exemple, dans le cas d'oignons, un traitement thermique doux (pasteurisation) et la congélation/lyophilisation de leurs sous-produits ont fait l'objet des meilleurs prétraitements pour préserver la stabilité de leurs

composés phytochimiques (Ancos *et al.*,2015). Le **tableau VIII** représente le différent traitement pour quelques déchets agricoles.

Tableau VIII: Méthodes de traitement des sous-produits végétaux (Ionnis *et al.*,2008).

Sous-produit	Traitement
Les olives	Traitement thermique à 150 et 225°C dans l'intervalle de temps de 1-15 jours
Fruit	Digestion anaérobique
Amidon de manioc	Hydrolyse enzymatique

Chapitre III:

Procédé de production des exopolysaccharides

III. 1. Généralités

La production industrielle d'exopolysaccharide est réalisée par fermentation en utilisant des différentes sources de carbone comme la pomme de terre. L'amidon de pomme de terre est utilisé généralement comme milieu de croissance des microorganismes tel que *Aureobasidium pullulans* pour la production d'EPS le pullulane (**Figure 11**).

Les modes de fonctionnement conventionnels pour les processus de fermentation sont discontinu (batch) et continu (fed batch). Dans ces opérations, différents types de fermenteurs peuvent être utilisés tels que les bioréacteurs à fermentation submergée (SmF), les bioréacteurs à fermentation à l'état solide (SSF) (**Özcan et al.,2015**)

La fermentation de type batch est la méthode la plus simple et la plus couramment utilisée pour la production d'exopolysaccharide. Les principaux avantages de ce mode de fonctionnement sont faciles à utiliser et à manipuler et le faible coût d'exploitation. Les principaux inconvénients sont l'inhibition du produit et une phase de retard prolongée. La production d'EPS est influencée par divers paramètres de processus tels que le temps de fermentation, la température, le pH, la taille et l'âge de l'inoculum, la concentration du substrat, la concentration initiale de glucose, l'agitation, le rapport carbone-azote, etc. (**Panel et al., 2011**)

Dans ce chapitre, nous développons un procédé de production d'exopolysaccharides par deux souches d'*Aureobasidium pullulans*, en utilisant les déchets de pomme de terre. A titre d'exemple, nous prenons deux études réalisées par **Chao et al.,(2017)** et **Yekta et al.,(2011)**

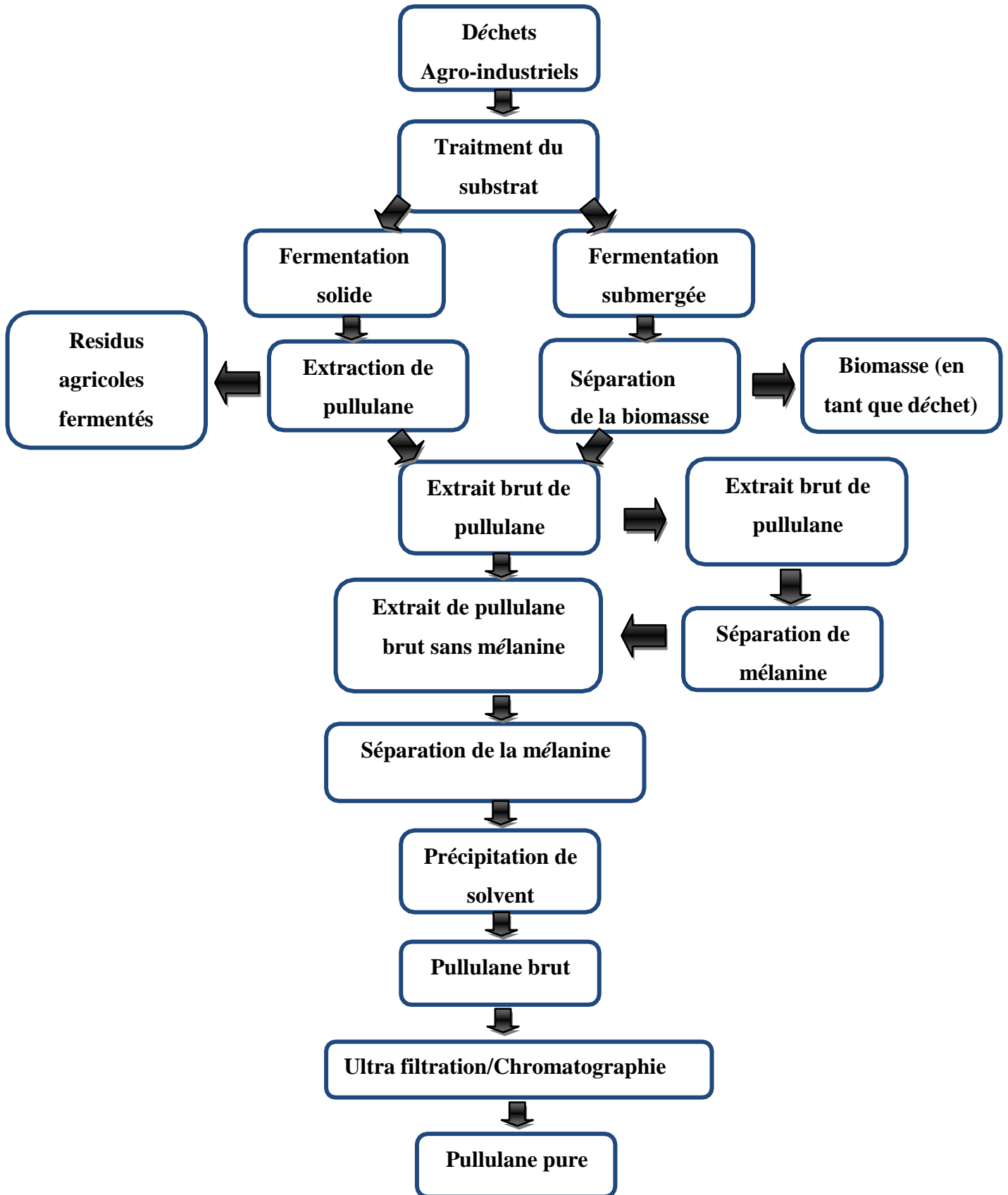


Figure 11: Représentation schématique de la production de pullulane par fermentation et récupération par traitement en aval (Singh *et al.*, 2019)

III .2. Préparation d'inoculum

La souche *Aureobasidium pullulans* est utilisée pour la production de pullulane à partir des déchets de pomme de terre. **Chao et al. (2017)** ont utilisé la souche *Aureobasidium pullulans* 201253 ; et **Yekta et al. (2011)** ont utilisé la souche *Aureobasidium pullulans* P56 . Les précultures d'*A. pullulane* sont incubées à 28°C pendant 48h. Le milieu de préculture d'*A. pullulane* 201253 est composé de: 50g de glucose, 2,5 g d'extrait de levure, 0,6 g $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, 1g NaCl, 1,5g K_2HPO_4 , 0,2g $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, le pH de milieu est ajusté à 6,5 avec une agitation de 230 rpm. En effet, la préculture d'*A. pullulans* P56 est préparé dans des erlenmeyers de 250 ml contenant (g/L): 30 de saccharose, 0,4 d'extrait de levure, 0,6 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, 1 NaCl, 5 K_2HPO_4 , 0,2 $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, le pH est ajusté à 5,5 avec une agitation de 200 rpm. 5% (v/v) de préculture est utilisé pour ensemencher le milieu de production contenant l'hydrolysats d'amidon de pomme de terre.

III .3. Préparation de milieu de production

Chao et al.,(2017) et **Yekta et al.,(2011)** ont utilisé l'hydrolysats d'amidon de pomme de terre comme substrat pour la production de pullulane par *A. pullulane*.

Les déchets de pomme de terre sont séchés dans un séchoir à tambour. La teneur en humidité (7,0 %), en cendres (0,38 %), en protéines (0,98 %) et en amidon (93,0 %) sont obtenues (**Yekta et al.,2011**)

Yekta et al.,(2011) ont préparé une bouillie contenant 13% d'amidon à partir de déchets de pomme de terre sèche , le pH est ajusté à 5,5. La liquéfaction est réalisée à 90°C pendant 90 min en présence d'amylase. Après la liquéfaction la température est rapidement abaissée à 60°C et le pH est ajusté à 4,3. La bouillie d'amidon liquéfiée est ensuite hydrolysée avec des enzymes pullulanase et glucoamylase dans un bioréacteur à lit fixe.

Chao et al.,(2017) ont préparé une bouillie de pomme de terre d'une concentration de 40% (p/v), le pH est ajusté à 6,5. La liquéfaction est réalisée à 70°C pendant 3 min en présence de 0,1% d'amylase. Après la liquéfaction, la température est rapidement réduite à 55°C pendant 1min et le pH est ajusté à 5,0. Ensuite, l'amyloglucosidase avec une concentration de 0,3 % (P/P) est ajouté. Le mélange est incubé pour une hydrolyse prolongée. Après l'hydrolyse, les hydrolysats sont filtrés puis utilisés comme source de carbone dans le milieu de fermentation.

III. 4. Fermentations

Yekta et al.,(2011) ont réalisé des fermentations discontinue dans des erlenmeyers de 250 ml avec un volume réactionnel de 50ml dans un incubateur agité à 200 tr/min sous une température de 28°C. L'hydrolysats d'amidon de pomme de terre est utilisé comme source de

carbone dans le milieu de production. Elle est supplémentée par (g/L): 0.6(NH₄)₂SO₄, 0.4 extrait de levure, 5 K₂HPO₄, 0.2 MgSO₄. 7H₂O et 1,0 NaCl. Le pH de milieu est ajusté à 7.5. **Chao et al.,(2017)** ont réalisé des fermentations dans un bioréacteur batch de 10L avec un volume réactionnel de 7,0 L à 28°C et une agitation de 500tr/min. Le milieu de production est composé de (g/L): 50 source de carbone, 2,5 d'extrait de levure, 0,6 g (NH₄)₂SO₄, 0.2 MgSO₄. 7H₂O et 1,0 NaCl, le pH est ajusté à 6,5.

Pour suivre l'évolution des fermentations, des prélèvements ont été effectués au cours du temps, pour l'analyse de la croissance, des sucres et de pullulane.

III .5. Optimisation des paramètres de fermentation

Chao et al.,(2017) ont étudié l'effet combiné des sources carbonées sur la production de pullulane à partir d'hydrolysats d'amidon de pomme de terre. Ils ont substitué partiellement d'hydrolysats d'amidon de pomme de terre par deux combinaisons des sources carbonées avec des proportions différentes.

- l'hydrolysats d'amidon de pomme de terre / le saccharose (80/20 %)

-l'hydrolysats d'amidon de pomme de terre seul (100%)

-l'hydrolysats d'amidon de pomme de terre/ glucose et fructose (80/10-10%).

Yekta et al.,(2011) ont étudié l'effet de la concentration initiale de glucose d'hydrolysats d'amidon de pomme de terre sur la production de pullulane aussi bien l'effet de la source d'azote. Les concentrations du glucose étudié sont: 50-70-90 g/L. Les sources azotées testées sont (g/L): germes de malt (0,74), la liqueur de maïs (0,609), protéine de soja (0,436), peptone(0,28), urée(0,0897) tryptone (0,309) et l'extrait de levure (0,4). La concentration d'azote totale de chaque source azotée est équivalente à 0,4 g/l d'extrait de levure.

L'effet de pH et de temps d'incubation sont aussi étudié. Différentes valeurs initiales de pH (6.5, 7.5, 8.5) et de temps d'incubation (72, 96, 120 h) sont testées (**Yekta et al., 2011**).

- **La méthodologie de surface de réponse (RMS)**

Afin de réduire le nombre d'essais à réaliser et pour améliorer les conditions de fermentation de pullulane, **Yekta et al.,(2011)** ont appliqué une méthode des plans d'expériences. C'est le concept de surface de réponse (RSM). Le modèle consiste à déterminer les paramètres optimaux de production de pullulane (temps d'incubation, concentration de glucose d'hydrolysats d'amidon de pomme de terre et le pH).

III .6. Méthodes analytiques

III. 6.1. Estimation de la biomasse et de la concentration des EPS

Pour mesurer la concentration de polysaccharide **Yekta et al.,(2011)** ont centrifugé le milieu de fermentation à 4000xg pendant 10 min avec 2 volume d'éthanol afin de précipiter les EPS. La solution obtenue est maintenue à 4°C pendant 1h. Le précipité est centrifugé à 4000xg /10min puis séché à 80°C pendant une nuit avant la pesée. Il est remis par la suite dans une suspension de l'acétate de sodium d'une concentration de 10 mg/mL (pH 5) supplémenté par 10 µL de pullulanase pour chaque mL de cet échantillon. Le mélange est incubé à 25°C pendant 21h.

Chao et al.,(2017) ont centrifugé le milieu de culture à 10000xg pendant 10min. le sédiment formé est bien lavé avec de l'eau distillé puis séché à 105°C pendant une nuit pour la détermination de la biomasse. Un volume de surnageant est supplémenté par deux volume d'éthanol. La solution obtenue est maintenue à 4°C pendant 12h afin de précipiter les EPS. Ensuite, cette solution est centrifugée à 8000xg pendant 10 min puis séchée à 80°C. Le poids final est considéré comme EPS.

III. 6.2. Estimation de la concentration des sucres réducteurs

La concentration des sucres réducteurs est déterminée par la méthode d'acide dinitrosalicylique (DNS) (**Yekta et al., 2011; Chao et al., 2017**).

III .7. Résultats et discussion

III .7. 1. L'effet de concentration du substrat

Les résultats obtenus par **Yekta et al.,(2011)** montrent que la production des EPS augmente avec la concentration initiale de glucose d'hydrolysat d'amidon de pomme de terre jusqu'à 70 g/l puis se diminue. Les meilleures performances de fermentation en termes de production des EPS sont obtenues avec une concentration initiale de glucose d'hydrolysat d'amidon de 70 g/L après 92 h de fermentation. Dans ces conditions, la valeur de la concentration des EPS est 20,62 g/l. Cette valeur est nettement supérieure à celles obtenues avec 30, 50 et 90 g/l de glucose d'hydrolysat d'amidon soit 12,73 g/L, 16,21 g/L, 18,7 g/L respectivement.

A.pullulane produits divers polysaccharides, la concentration de pullulane est déterminé. Les meilleures performances de production de pullulane sont obtenues 16, 02 g/L avec une concentration initiale de glucose d'hydrolysat de 70 g/L après 92 h de fermentation.

Des rendements en biomasse de 6,47, 7.22, 7,20 et 7,01 g/l ont été obtenus à partir du milieu

de fermentation contenant respectivement 30, 50, 70 et 90 g/L de sucre initial. Au cours de la fermentation, la concentration en sucres résiduels a diminué, suivant une tendance inverse de celles de la biomasse. Après 120 h de fermentation, une déplétion en sucre presque complète a été observée dans des milieux de culture contenant 30 et 50 g/L de sucre initial. A des concentrations de sucre initiales plus élevées, la concentration de sucre résiduel légèrement augmenté. Les concentrations en sucres résiduels dans le milieu de culture contenant 70 et 90 g/L étaient respectivement de 10,53 et 16,31 g/L.

Afin de maximiser la production de pullulane, (Chao *et al.*, 2017) ont essayé de substituer partiellement l'hydrolysate d'amidon de pomme de terre par plusieurs combinaisons de sucres avec des proportions différentes. Les résultats ont montré que *Aureobasidium pullulans* 201253 a donné le taux de production le plus élevé avec un mélange d'hydrolysate d'amidon de pomme de terre et de saccharose de ($0,212\text{h}^{-1}$) suivi de celle d'hydrolysate de pomme de terre seul ($0,146\text{h}^{-1}$) et enfin le mélange d'hydrolysate de pomme de terre, glucose et fructose ($0,166\text{h}^{-1}$) avec 100 g/L de source de carbone.

Dans l'étude menée par Shengjun *et al.* 2009 La souche *Aureobasidium pullulans* AP329 est utilisée pour la production de pullulane en utilisant un milieu de culture à base de pomme de terre douce ce qui a donné une production de pullulane de 29,43 g/l plus élevée que celle obtenue sur des milieux à base de saccharose et de glucose.

III .7. 2. L'effet de la source d'azote

L'effet de la source d'azote est étudié par Yekta *et al.*,2011. En effet, la concentration maximale en pullulane obtenue est de 16,02 g/L avec une concentration initiale de glucose de 70 g/L supplémenté par l'extrait de levure comme source d'azote. Elle est nettement supérieure à celle obtenue sur un milieu supplémenté par l'urée et la protéine de soja, soit 12,6 g/L et 12,09 g/L, respectivement.

Ces résultats sont semblables aux résultats obtenus par Thirumavalavan *et al.*,2009 qui ont produit du pullulane à partir d'eau de coco et de lait de coco par *A. pullulans* où la concentration maximale de pullulane est obtenue lorsque l'extrait de levure est utilisé comme source d'azote, suivi de NaNO_3 puis le NH_4 . Reed Hamer et West (1994) ont étudié l'effet de certaines sources d'azote complexes, notamment la tryptone, la peptone, le soja, et la liqueur de maïs sur la production de pullulane par *A. pullulans* dans un milieu où le saccharose ou le

sirop de maïs servaient comme source de carbone. Ils ont constaté que la croissance du micro-organisme sur le soja entraînait le niveau le plus élevé de production de pullulane.

La production de pullulane par *Aureobasidium pullulans* ATCC 201253 est étudiée par **West et al., 1999** en utilisant la liqueur de maïs et la protéine de soja comme source d'azote au lieu de sulfate d'ammonium et le sirop de maïs comme source de carbone. La teneur en pullulane du polysaccharide élaboré par les cellules cultivées sur sulfate d'ammonium au jour 7 a diminué à mesure que le niveau de sirop de maïs augmentait dans le milieu, tandis que la teneur en pullulane du polysaccharide produit par les cellules cultivées sur la liqueur de maïs ou du soja augmentait généralement.

III.7.3. Optimisation des paramètres de la fermentation

Les résultats préliminaire de l'étude de l'effet de la concentration initiale des sucre obtenue par **Yekta et al., 2011** montre que le temps d'incubation, la concentration initiale du substrat et le pH initial ont un effet sur la production de pullulane par *A. pullulans* P56.

Une optimisation des ces trois paramètre est réalisé à l'aide de la conception de surface de réponse RSM.

L'analyse des données montre que le pH initial, le temps d'incubation et la concentration initiale du substrat ont des effets positif sur la production de pullulane, et la meilleur production de pullulane 19,2 g/L est obtenue avec les niveaux optimaux des variables de processus (temps d'incubation 111,8 h, concentration initiale du substrat 79,4 g/l, pH initial 7,26).

Yekta et al., 2011 ont conclu que la production de pullulane a augmenté de 20% avec les conditions optimisé.

En plus de la production de pullulane sur des déchets de pomme de terre, plusieurs études sont réalisées sur la production d'autres exopolysaccharides sur des sous produits végétaux.

La production de la gomme xanthane à partir de déchets de dattes en utilisant *Xanthomonas campestris* PTCC1473 par fermentation submergée est étudiée. L'effet de trois variables dont la quantité de phosphore, d'azote et de vitesse d'agitation à trois niveaux a été contrôlée en utilisant la méthodologie de surface de réponse (RSM). L'analyse des résultats ont montré que le jus de datte est un milieu favorable pour la production de xanthane. La production de xanthane augmente avec l'augmentation du niveau de phosphore. Le faible niveau d'azote a entraîné une production maximale de xanthane, l'augmentation de l'agitation a une influence positive. Les conditions optimales obtenue par le modèle sont une quantité

III. Procédé de production des exopolysaccharides

d'azote de 3.15g/L, une quantité de phosphore de 5,03 g/L et une agitation de 394,8 rpm pour (Moshaf *et al.*,2011)

(Ben Salah *et al.*,2011) ont mené une étude pour vérifier la possibilité d'utiliser des sous-produits de jus de palmier dattier pour la production de curdlan par *Rhizobium radiobacter* ATCC 6466™ dans des expériences par lots. Un certain nombre de paramètres opérationnels, à savoir la valeur du pH, la température, le rapport d'inoculum, la vitesse d'agitation, la concentration en carbone, la source d'azote et le temps de fermentation, ont été étudiés en termes de leurs valeurs optimales ainsi que des effets individuels sur la production de curdlan. Les résultats ont indiqué que la souche présentait une grande capacité à utiliser le substrat naturel à l'étude. Un rendement de production de curdlan de 22,83 g/L est obtenu en flacons agités de 500 ml (50 mL) lorsque la souche est cultivée dans le milieu optimal (pH, 7 ; concentration en sulfate d'ammonium, 2 g/L ; concentration en jus de glucose de datte, 120 g/L) incubée à 30 °C avec un rapport d'inoculum de 5 mL/100 mL, une vitesse d'agitation de 180 tr/min et une durée de fermentation de 51 h.

Conclusion

Conclusion

Les EPS sont des polymères microbiens très importants, font l'objet de plusieurs domaines de recherche scientifiques.

La production des exopolysaccharides à partir des ressources moins chères riches en sucres telles que les sous-produits végétaux par voie fermentaire s'avère intéressante. Plusieurs microorganismes tels que les bactéries et les champignons sont utilisés pour la fermentation des EPS car ils sont capables de convertir les sucres des sous-produits végétaux préalablement traités en quantité importante d'exopolysaccharide.

Pour arriver à une meilleure production d'exopolysaccharide, plusieurs paramètres de fermentation sont contrôlés comme le pH, la concentration de substrat, la source d'azote, le temps d'incubation ...

En raison de l'importance des EPS sur le plan économique et industriel, beaucoup d'efforts sont consacrés au développement des processus de production rentable grâce à l'utilisation des substrats raisonnables.

Les références bibliographiques

Abo-Elkhair .A., Azzaz H.H. (2019). Production of Xanthan Gum from Nontraditional Substrates with Perspective of the Unique Properties and Wide Industrial Applications.*JSMC Microbiol* **1,6**.

Ali Demirci .,Kuan-chen ch., Jeffrey M.C .(2011). Pullulan: biosynthesis , production and application. *Appl Microbiol biotechnology* **92**,29-44 , doi 10.1007/s00253-011-3477-Y.

Ancos B., Colina-Coca C., González-Peña D., Sánchez-Moreno C. (2015). Bioactive compounds from vegetable and fruit by-products. *Biotechnology of Bioactive Compounds*, **1,36**. <https://doi.org/10.1002/9781118733103.ch1>.

Avni V., Kinjal U ., Manoj K ., Devayani T., Shailesh D.(2022),Valorisation of fruit waste for enhanced exopolysaccharide production by *Xanthomonas campestris* using statistical optimisation of medium and process , *Food Bioscience* **46**, 101608. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2022.101608>.

Badel S. , Bernardi T.,Michaud P.(2010).New perspectives for lactobacilli exopolysaccharides.*Biotechnol advance* .doi :10.1016/_j.biotechadv.2010.08.011

Bajpai J., Vivek K., Rather I ., Majumder R ., Shukla S ., Aeron A ., Kim K ., Chul S., Dubey R.C. , Maheshwari D ., Lim J., Park Y-H. (2015). Exopolysaccharide and lactic acid bacteria: Perception, functionality and prospects. *Bangladesh Journal of Pharmacology*. **11**. 1. 10.33291/bjp.v 1i1.23819.

Barboríková J., Šutovská M ., Kazimierová I ., Jošková M. , Fraňová S. , Kopecký J .,Capek P.(2019).Extracellular polysaccharide produced by *Chlorella vulgaris* - Chemical characterization and antiasthmatic profile .*Int J Biol Macromol.*,10.1016/j.ijbiomac.2019.05.104.

Barcelos M. C. S., Vespermann K. A. C., Pelissari F. M., Molina G. (2019). Current status of biotechnological production and applications of microbial exopolysaccharides. *Critical Reviews . Food Science and Nutrition* **1–21**. doi:10.1080/10408398.2019.1575791.

Ben Salah R., Jaouadi B., Bouaziz A., Chaari K., Blecker C., Derrouane C., Besbes S. (2011). Fermentation of date palm juice by curdlan gum production from *Rhizobium radiobacter* ATCC 6466™: Purification, rheological and physico-chemical characterization. *LWT - Food Science and Technology*. **44**, 1026–1034. doi:10.1016/j.lwt.2010.11.023.

Bramhachari P.V., Dubey S.K . (2006).Isolation and characterization of exopolysaccharide produced by *Vibrio harveyi* strain VB23 Letters in Applied Microbiology **43**, 571–577. Doi.org/10.1111/j.1472-765X.2006.01967.x

Capanoglu E., Nemli E., Tomas-Barberan F.(2022). Novel Approaches in the Valorization of Agricultural

Wastes and Their Applications. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* **70**, 6787-6804. doi: 10.1021/acs.jafc.1c07104.

Carlos E., Javier A., Garza-C., Augusto Vázquez-R., José R M.R. (2018). Bacterial Exopolysaccharides as Reducing and/or Stabilizing Agents during Synthesis of Metal Nanoparticles with biomedical Applications. *International Journal of Polymer Science* 7045852, **15**. <https://doi.org/10.1155/>

Carlos M., María D.M.C.C., Marta., Revuelta-Arand K.H.K. (2021). Enhancing Energy Recovery in Form of Biogas, from Vegetable and Fruit Wholesale Markets By-Products and Wastes, with Pretreatments. *Plants* **10**, 1298. <https://doi.org/10.3390/plants10071298>.

Carlos S., Lorena R., Susana D., Patricia R., Abelardo M. (2020). Valorization of Vegetable Food Waste and By-Products Through Fermentation Processes Microbiol. *Food Microbiology* **11**. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.581997>.

Cerning J. (1990). Exocellular polysaccharides produced by lactic acid bacteria. *FEMS Microbiology Letters* **87** : 113-130.

Cerning J. (1995). Production of exopolysaccharides by lactic acid bacteria and dairy propionibacteria. *Lait* **75**, 463-472.

Cerning J. (1995) 1st International Symposium on Propionibacteria *Lait* **75**, 4-5.

Chao A., Sai-jian M., Fan C., Wen-jiao X. (2017). Efficient production of pullulan by *Aureobasidium pullulans* grown on mixtures of potato starch hydrolysate and sucrose, *Brazilian Journal of Microbiology* **48**, 180-185. <https://doi.org/10.1016/j.bjm.2016.11.001>

Cleanthes I., Alan S., Bernard S., Barnett Ch. (1999). Pullulan from agro-industrial wastes. *Biotechnology and Genetic Engineering Review* **16**:1,309-324.

Coronado-reyes J. A., Salazar-torres J. A., uárez-campos B., gonzález-hernández J. C. (2022). *Chlorella vulgaris*, a microalgae important to be used in Biotechnology: a review. *Food Science and Technology* **42**, e37320. <https://doi.org/10.1590/fst.37320>.

Cremer L., Lupu A., Badulescu M.M., Mocanu G., Mihai D., Calugaru A., Apetrei N., Moscovici M., Szegli G (2010). Assessment of two synthesized curdolan derivatives as possible antioxidants and/or modulators of human PMN cells respiratory burst. *Roumanian biotechnological letters* **15**, 5718-5728.

Daniel A., Erica R., Jose M., Maria E. (2022) Étude des exopolysaccharides des bactéries lactiques et leurs applications industrielles : une revue. *Journal international des sciences et technologies alimentaires* **57**, 16.

Degeest B ., Vuyst L.D. (1999). Indication that the nitrogen source influences both amount and size of exopolysaccharides produced by *Streptococcus thermophilus* LY03 and modelling of the bacterial growth and exopolysaccharide production in a complex medium. *Applied and Environmental Microbiology* **65** (7), 2863-2870.

Dhanesh K., Kastanek P., Siba P. (2018). Exopolysaccharides from cyanobacteria and microalgae and their commercial application .*Current science*731235.

Dhanesh K., Kastanek P., Siba P., Adhikary .(2018). Exopolysaccharides from cyanobacteria and microalgae and their commercial application , *Current Science*731235.

Dimou C., Karantonis H.C., Skalkos D., Koutelidakis A.E.(2019). Valorization of Fruits by-products to Unconventional Sources of Additives, Oil, Biomolecules and Innovative Functional Foods. *Curr Pharm Biotechnol* **20**(10),776-786. doi: 10.2174/1389201020666190405181537.

Ebtehag A., Sakr E ., Mona I., Massoud ., Sanaa R.(2021). Food wastes as natural sources of lactic acid bacterial exopolysaccharides for the functional food industry: A review.*international journal of biological macromolecules* **189** ,232–241. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.08.135>.

Escárcega-González C.E., Javier A ., Garza-C., Augusto V-R., José R. M.R .(2018). Bacterial Exopolysaccharides as Reducing and/or Stabilizing Agents during Synthesis of Metal Nanoparticles with Biomedical Applications.*International Journal of Polymer Science* **15**ID 7045852 | <https://doi.org/10.1155/2018/7045852>.

Esparza I., Jiménez-Moreno N., Bimbela F., Ancín-Azpilicueta C., Gandía L. M .(2020). Fruit and vegetable waste management: Conventional and emerging approaches. *Journal of Environmental Management* **265**, 110510. doi:10.1016/j.jenvman.2020.110510.

Farina J.I .(2015) .present and future medical application of microbial exopolysaccharides. *frontiers in Microbiology*6 :1012, doi :10.3389 /fmich.2015.01012.

Ferreira L .,Velasquez A.A., Schaffazick S.,Cruz L. (2015). Pullulan: An advantageous natural polysaccharide excipient to formulate tablets of alendronate-loaded microparticles. *Brazilian Journal of Pharmaceutical Science*. 51. 27-34. 10.1590/S1984-82502015000100003.

Filomena F., Vitor A., Maria A.M.R .(2011). trends in biotechnology 29, 388-398 <https://doi.org/10.1016/j.tibtech.2011.03.008>.

Freitas F., Vitor. D., Alves B ., Maria A.M. Reis. (2011) .Advances in bacterialexopolysaccharides: from production to biotechnological applications. *Trends in Biotechnology*.**29**,. 8. doi.org/10.1016/B978-444-63453-

5.00017-3.

González C., Enrique E., Javier A., Cervantes G., Vázquez-Rodríguez A., Rubén M. J.,Ramírez.(2018). Bacterial Exopolysaccharides as Reducing and/or Stabilizing Agents during Synthesis of Metal Nanoparticles with Biomedical Applications . *International Journal of Polymer Science* **15**, 7045852. <https://doi.org/10.1155/2018/7045852>.

Harrah T., Panilaitis B., Kaplan D. (2006). Microbial Exopolysaccharides. In: Dworkin, M., Falkow, S., Rosenberg, E., Schleifer, KH., Stackebrandt, E. (eds) *The Prokaryotes*. Springer. https://doi.org/10.1007/0-387-30741-9_21.

Ioannis S., Arvanitoyannis T., varzakas H.(2008).Vegetable Waste Treatment: Comparison and Critical Presentation of Methodologies;Critical Reviews in *Food Science and Nutrition*. **4**,205–247. DOI: 10.1080/10408390701279798.

Jeyaram K ., Velmurugan S ., Achary A ., Vasanthi M ., Vinson S ., Sivashankar R. (2018). 4 Bioprocessing of Agrofood Industrial Wastes for the Production of Bacterial Exopolysaccharide. 10.1201/b22021-4.

Jochen S., Rühmann B ., Sieber V. (2015). High throughput exopolysaccharide screening platform: from strain cultivation to monosaccharide composition and carbohydrate fingerprinting in one day. *Carbohydrate polymers* **122**, 212-220.

Jose A.M., Margarita A., Alberto R., Mercedes M .(2006).Production of a Metal-Binding Exopolysaccharide by *Paenibacillus jamilae* Using Two-Phase Olive-Mill Waste as Fermentation Substrate *current microbiology* **53**, 189–193. DOI: 10.1007/s00284-005-04387.

José de Jesús P.M.,Jorge O.S., EduardoR.M.G.(2014).Algal and Microbial Exopolysaccharides: New Insights as Biosurfactants and Bioemulsifiers . *Advances in Foodand Nutrition Research* **73**, 221-257.

Jose´ A.M., Victor G .,Margarita A .,Alberto R.,Mercedes M .(2007). Production and characterization of the exopolysaccharide produced by *Paenibacillus jamilae* grown on olive mill-waste waters, *world j microbiol biotechnol* **23**,1705–1710. DOI 10.1007/s11274-007-9418-3.

Joulak I., Concórdio-Reis P., Torres C.A.V.. (2022). Sustainable use of agro-industrial wastes as potential feedstocks for exopolysaccharide production by selected *Halomonas* strains. *Environ. Sci Pollut Res* **29**, 22043–22055 . <https://doi.org/10.1007/s11356-021-17207-w>.

Kambourova M.(2016). Thermophiles as a promising source of exopoly saccharide with interesting properties (*chapitre 4*).

Kambrouva M., E.Toksoy O. , Poli A.(2015)..Exopolysaccharides from prokaryotic microorganisms promising sources for white biotechnology processes. *Industrial biorefineries and white biotechnology* **18**, doi.org/10.1016/B978-444-63453-5.00017-3.

Kasaai M.R. (2012). A comparative study of molecular structure, solution properties and food application for three branched polysaccharides: Amylopectin, glycogen, and dextran. *Current. Trends in Polymer Science***16**,49-63.

Klai N. , Ram S., Balasubramanian S., Tyagi R.D.(2017). Critical review of EPS production , synthesis and composition for sludge flocculation .*journal of environmental science* **01188** , 21.

Krina M., Arpit Sh., Meenu S.(2021).Articulating the exuberant intricacies of bacterial exopolysaccharides to purge environmental pollutants.*Heliyon* **7**,11, 2405-8440, <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e08446>.

Madhuri K. V., Prabhakar K. V. (2014). Microbial exopolysaccharides: biosynthesis and potential applications. *Oriental journal of chemistry* **30**(3), 1401 DOI 10.1007/s00253-011-3438-5.

Malhotra S., Don H., Daniel W. (2019). Cystic Fibrosis and Pseudomonas aeruginosa : the Host-Microbe Interface. *Clinical Microbiology Reviews*. **32**. 10.1128/CMR.00138-18.

Marie G.,Christine R. S,Cyrielle G.,ORCID .,Fabienne R.(2020). Lactic Acid Bacterial Production of Exopolysaccharides from Fruit and Vegetables and Associated Benefits *fermentation* **6**,4 :115. doi.org/10.3390/fermentation6040115.

Masoud H., Oseweuba V.O., Peiman B.M., Mohammad R.K.H , Lei N, Shavandi A .(2022) Fungal exopolysaccharides: Properties, sources, modifications, and biomedical applications.*carbohydrate polymers* **284**, 119152

Masrina M.N., Retno .W.N., Farhana .N.I ., Minh H .N .(2021). Biomedical Applications of Bacterial Exopolysaccharides:A Review *Polymers* **13**, 530. <https://doi.org/10.3390/polym13040530>.

Masrina M.N., Retno .W.N., Farhana .N.I ., Minh.H .N. (2021).Biomedical Applications of Bacterial Exopolysaccharides: A Review .*polymers* **13**, 530 <https://doi.org/10.3390/13040530>.

Meybodi N. M., Mohammadifar M.A. (2015). Microbial Exopolysaccharides: A Review of Their Function and Application in Food Sciences.*Journal of Food Quality and Hazards Control* **2** , 112-117.

Moshaf S., Hamidi-Esfahani Z., Azizi M. H. (2011). Optimization of conditions for xanthan gum production from waste date in submerged fermentation. *International Journal of Nutrition and Food Engineering* **5**, 549-552.

Murat O., an Esabi B.,Saran Kurbanoglu. (2019).Use of Chicken Feather Peptone and Sugar Beet Molasses as Low Cost Substrates for Xanthan Production by *Xanthomonas campestris* MO- 03. *Fermentation* **5**, 9; doi:10.3390/fermentation5010009.

Neely W.B.(1961). *Dextran: Structure and Synthesis. Advances in Carbohydrate Chemistry* **5**, 341–369. [https://doi.org/10.1016/S0096-5332\(08\)60191-5](https://doi.org/10.1016/S0096-5332(08)60191-5).

Neil R. G., JEAN P ., Carola., Munro.(2017). The Fungal Cell Wall: Structure,Biosynthesis, and Function. *Microbiology. spectrum* **5**,3.

Osarenkhoe O., Charles O., Eugene A,O. I., Rotimi O., Charles O.,Abbot O. O.(2020), Exopolysaccharides from bacteria and fungi: current status and perspectives in Africa ; *journal homepage*.**6**,6.

Osarenkhoe O.O., Charles O. A., Eugene A.A., Oluwaniyi I.A., Rotimi O.A., Charles O.N., Abbot O.O . (2020). Exopolysaccharides from bacteria and fungi: current status and perspectives in Africa**66**.*homepage* 604205.

Osemwegie OO., Adetunji CO., Ayeni E.A., Adejobi O.I., Arise R.O., Nwonuma C.O, Oghenekaro A.O. (2020). Exopolysaccharides from bacteria and fungi: current status and perspectives in Africa.*Heliyon*;6(6):e04205. doi: 10.1016/j.heliyon.2020.e04205.

Özcan E., Öner E. T. (2015). Microbial Production of Extracellular Polysaccharides from Biomass Sources. *Polysaccharides* 161–184. doi:10.1007/978-3-319-16298-0_51.

Özcan, E., Öner E. T. (2015). Microbial Production of Extracellular Polysaccharides from Biomass Sources. *Polysaccharides* **161–184**. doi:10.1007/978-3-319-16298-0_51.

Ozlem A. (2015). Systems Biology of Microbial Exopolysaccharides Production. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology* **3**. doi:10.3389/fbioe.2015.00200.

Panel W.M .,Ingledeu Y..H.(2011). Ethanol from Starch-Based Feedstocks. *Comprehensive Biotechnology* **3**, 37-49. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-088504-9.00457-8>.

Panelia P., Grazia T., Andrea S., Francesca G., Isabella L., Diana D.G., Laura S. (2023). Valorization of coffee wastes as plant growth promoter in mulching film production: A contribution to a circular economy .*Science of The Total Environment* **871** , 162093

Papi R.M., Ekateriniadou L.V., Beletsiotis, E., Typas & M.A., Kyriakidis D.A. (1999).xanthane gum and ethanol production by xanthomonas campestris and Zymomonas mobilis from peach pulp . *biotechnology letters* **21**,39-43.

Pereira S.,Zille A. M, E., Moradas F .P., DePhilippis R., Tamagnini, P.(2009) . Complexity of cyanobacterial exopolysaccharides : composition , structure ,inducing factors, and putative genes involved in their biosynthesis and assembly . *FEMS Microbiol .Rev.***33**,971-941.

Phisit S., Ampin K., Prasert H., Charin T.(2011). Exopolysaccharide production by Lactobacillus confusus TISTR 1498 using coconut water as an alternative carbon source: the effect of peptone,yeast extract and beef extract, Songklanakarin *Jornale. Sci. Technol* **33** , 379-387.

Pinar S., Gürcü A.(2016).Exopolysaccharides Production by Lactic Acid Bacteria .*Applied Microbiology* **2** , 2 , 1000115, doi.org/10.4172/2471-9315.1000115.

Pirog T., Ivakhniuk M., Voronenko A .(2016). Exopolysaccharides synthesis on industrial waste. *Biotechnologia Acta* **9**, 7-18. doi: 10.15407/biotech9.02.007.

Piyumali M.J., Mahinsasa R. (2023). Environmental impacts and sustainability assessment of fruit and vegetable waste valorization through life cycle assessment (includes an overview of life cycle assessment from laboratory scale to industrial implementations and social & economic sustainability) .*Fruit and Vegetable Waste Utilization and Sustainability* 181-212.

Prasad A .,Kishor ch.,Margi D., Hilor P .(2014). Exopolysaccharides microbiens : avancées dans les applications et perspectives d'avenir .*Biotechnologie* **3**.

Prasad A., Kishor Ch., Margid., Hilor P.(2014). Microbial Exopolysaccharides. *Advances in Applications and Future Prospects* **3** .

Prasad A.,Kishor C.,Margi D., Hilor P. (2014). Exopolysaccharides microbiens : avancées dans les applications et perspectives . *Biotechnologie* **3**.

Priyanka S., Pinki S., Vineeta P., Swati G., Shreyasi D .(2016).Optimization and characterization of exopolysaccharides produced by lactobacillus strain isolated from cabbage and cucumber . *journal of microbiology and biotechnology research* **6**,27-35.

Rana S., Upadhyay L. S. B. (2020).Exopolysaccharides: Synthesis pathways, types and their commercial applications. *International Journal of Biological Macromolecules* **04** ,084. doi:10.1016

Reed-Hamer B., West, T. (1994). Effect of complex nitrogen-sources on pullulan production relative to carbon

source. *Microbios* **80**,83–90.

Ricardo P. G ., Débora A., Campos A., Cristóbal N. ,Aguilar b., Ana R., Madureira a., Manuela P .(2021).Valorisation of food agro-industrial by-products: From the past to the present and perspectives a *Journal of Environmental Management Volume 299* , 113571.

Safi C., Zebib B., Merah O., Pontalier P., Vaca-Garcia C.,(2014). composition, production, processing and applications of *Chlorella vulgaris*: A review,*Renewable and Sustainable Energy Reviews* **35** , 265-278.<https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.04.007>.

Sanlibaba P ., Çakmak G.A. (2016). Exopolysaccharides Production by Lactic Acid Bacteria.*Applied Microbiology: 2* (2): 1000115.

Santra H.K., Banerjee D. (2021). Microbial Exopolysaccharides: Structure and Therapeutic Properties. In: Vaishnav, A., Choudhary, D.K. (eds) *Microbial Polymers. Springer, Singapore. 2*. https://doi.org/10.1007/978-981-16-0045-6_172018/7045852

Schmid J ., Sieber V. , Rehm B. (2015); Bacterial exopolysaccharides: biosynthesis pathways and engineering strategies. *Front Microbiol* **26** ,6:496.[doi: 10.3389/fmicb.2015.00496](https://doi.org/10.3389/fmicb.2015.00496).

Seyyed V.N ., Mohammad H.M ., Ghasem N.D ., Aida I ., Younes G. (2018) . Exopolysaccharide from *Pantoea* sp .BCCS001GH isolated from nectarine fruit : production in submerged culture and preliminary physicochemical characterization . *food ci biotechnol* **27** ,1735-1746 . <https://doi.org/10.1007/s10068-018-0409-y>.

Shadia M., Abdel-Aziz H. A. Hamed ., Foukia E. M .(2012), Acidic Exopolysaccharide Flocculant Produced by the Fungus *Mucor rouxii* using Beet-Molasses. *Research in Biotechnology* **3**, 01-13.

Shailesh R D, Avni M V, Kinjal H U,Devayani R T .(2016) . Microbial exopolysaccharide - an inevitable product for living beings and environment.*Journal of Bacteriology & Mycology, 2, 4*

Shailesh R D., Avni M V., Kinjal H U.,Devayani R T .(2016). Microbial exopolysaccharide - an inevitable product for living beings and environment.*Journal of Bacteriology & Mycology 2* .

Shailesh R D., Vaishnav A., Upadhyay H. K.,Devayani R .(2016). Microbial exopolysaccharide - an inevitable product for living beings and environment. **2** . 4 .

Sharma S., Panchal R ., Prajapati K., Prajapati M.,Saraf S M. (2022) . Bactériale Exopolysaccharides: Types, its Biosynthesis and their Application in Different Fields. *Acta Scientific Biotechnology* **3**,03-11.

Shengjun W., Zhengyu J., Qunyi .C.(2009), Sweet potato: A novel substrate for pullulan production by *Aureobasidium pullulans*. *Carbohydrate Polymers* **76**, 645-649. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2008.11.034>.

Shivakumar S. and Vijayendra S.V.N.(2006) ,Production of exopolysaccharides by *Agrobacterium* sp.CFR-24 using coconut water – a byproduct of food industry, , *Letters in Applied Microbiology* **42**, 477–482.

Singh R.S .,Saini G.K ., Kennedy J. F .(2008).Pullulan: Microbial sources, production and applications. *Carbohydrate Polymers* **73**, Issue 4, 5 Pages 515-531 <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2008.01.003>.

Sivagananam S., Logeswari, P., Sivaramakrishnan, R., Incharoensakdi, A., Kamaraj, B., & Cornejo, P. (2023). *Scenedesmus* sp. strain SD07 cultivation in municipal wastewater for pollutant removal and production of lipid and exopolysaccharides. *Environmental Research* **218**, 115051.

Sonali R., Lata Sheo .B.U (2020). Microbial exopolysaccharides: Synthesis pathways, types and their commercial applications *International Journal of Biological Macromolecules*.

Subhadip M., Debdulal B . (2013).Fungal Exopolysaccharide:Production , composition , and Application . *Microbiology Insights* **6** ,1-16; doi:10.4137/MBI.S10957.

Sutherland IW. (1972). Bacterial exopolysaccharides. *Adv Microb Physiol.***8**,143-213. doi: 10.1016/s0065-2911(08)60190-3.

Sutherland, I.W.(1990) .Biotechnology of Microbial Exopolysaccharides. *Cambridge University Press*.

Thirumavalavan K., Manikkadan TR ., Dhanasekar R. (2009). Pullulane production from coconut by products by *Aureobasidium pullulans*. *African Journal Of Biotechnology* **8**,254_258.

Uchekukwu U. Nwodo , Ezekiel Green and Anthony I. Okoh ;(2012).Bacterial Exopolysaccharides: Functionality and Prospects. *International Journal of Molecular Sciences* **13**, 14002-14015; doi:10.3390/ijms131114002.

Vaishna A.M., Upadhyay K.H., Tipre D.R., Dave S.R. (2021). Bio-prospecting of Fruits Waste for Exopolysaccharide Production by Bacteria. In: Joshi, S.J., Deshmukh, A., Sarma, H. (eds) *Biotechnology for Sustainable Environment* **15**.https://doi.org/10.1007/978-981-16-1955-7_15.

Vidhyalakshmi R., Vallinachiyar C., Radhika R. (2012).Production of Xanthan from Agro-Industrial Waste. *Journal of Advanced Scientific Research* **3** (2), 56-59.

Vivek K.B ., Irfan A.R ., Rajib M. , Shruti Sh ., Abhinav A., Kangmin K ., Sun- Chul K .,Dubey R.C. , Maheshwari D.K., Jeongheui L ., Yong – Ha. (2015) .Exopolysaccharide and lactic acid bacteria : perception , functionality and prospects . *Journal of the Bangladesh Pharmacological society* **11** ,1-23 . doi :10.3329/bjp.v11i

West T., Strohfus B.(1999).Effect of nitrogen source on pullulan production by *Aureobasidium pullulans* grown in a batch bioreactor. *Microbios*.99,147-59.

Yanhong H., Jordan A Haibo.(2023) .Food By-Products Valorization Technologies: Brewer's Spent Grain Huang
aa Department of Food Science and Technology. *Virginia Tech. Blacksburg*,

Yekta G., Pürülen U., Seval D.(2011).Optimization of pullulan production from hydrolysed potato starch waste by response surface methodology. *Carbohydrate Polymers* **83**, 3,1330-1337.
<https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2010.09.047>.

Yildiza H., Karatas N.(2018). Microbial exopolysaccharides: Resources and bioactive properties .*Process Biochemistry* **7** <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2018.06.009>.

Yipan Ch., Fengshan W. (2020). biological activities and applications of curdlan and its derivatives. *European Polymer Journal* **141**, 5 , 110096 <https://doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2020.110096>.

Zaheer M., Syed S., Bukhari I., Muddasir H., Abbasi H., Javed M., irfan.(2019) .Bacterial Exopolysaccharides: sources, production and applications. *BIOLOGIA* **65** (II).

Zalar p , Gostinčar C ,Hoog G.S , Uršič V ,Sudhadham M ,Gunde-Cimerman N.(2008). Redéfinition d' *Aureobasidium pullulans* et de ses variétés. *Goujon Mycol* **61** : 21–38. doi : 10.3114/sim.2008.61.02.

Zhang J., Liu L., Chen F.(2019). Production and characterization of exopolysaccharides from *Chlorella zofingiensis* and *Chlorella vulgaris* with anti-colorectal cancer activity. *International Journal of Biological Macromolecules* **5**.117. doi:10.1016/j.ijbiomac.

Résumé

Les sous produits végétaux constituent un problème important dans le monde entier, en raison de leurs effets néfastes sur l'environnement, l'économie et la société. La valorisation biotechnologique de ces sous-produits en composés à haute valeur ajoutée tel que la production des EPS, constitue une alternative prometteuse non seulement pour résoudre les problèmes de leurs gestion, mais aussi conduire a crée un système alimentaire plus durable avec plusieurs effets bénéfiques potentiels sur la santé. L'objectif de ce travail est de faire une étude bibliographique sur la valorisation des sous produit végétiaux par la production des EPS.

Grace à la richesse de ces sous produit en sucre et en élément nutritif, plusieurs microorganismes sont capable de croitre et de produire différents EPS sur des milieux à base de ces déchets prétraités par exemple *Aureobasidium pullulans*, *Xanthomonas campestris* et *Rhizobium radiobacter*. Différents paramètres influent la fermentation des EPS doivent être étudié et contrôler afin d'améliorer la production.

En effet, l'intérêt d'utilisation des EPS est considérablement accru ces dernières années, parmi ses EPS la pullulane. Pour cela, plusieurs études sont réalisées sur la production des pullulanes par *Aureobasidium pullulans* à partir de différents sous produit végétiaux tel que les déchets de pomme de terre. Les résultats de ces études ont montré que l'hydrolysate de l'amidon de pomme de terre est favorable à la croissance et à la production de pullulane.

Mots clés: *Aureobasidium pullulans*, EPS, fermentation, pullulane, sous-produits végétaux, Valorisation.

Abstract

Plant by-products are a major problem worldwide because of their adverse effects environment, economy and society. The biotechnological upgrading of these by-products into high value-added compounds, such as the production of EPS, is a promising alternative not only to solve the problems of their management, but also driving has created a more sustainable food system with several potential health benefits. The objective of this work is to make a bibliographical study on the valorization of plant by-products through the production of EPS.

Thanks to the richness of these by-products in sugar and nutrients, several microorganisms are able to grow and produce different EPS on media based on these pre-treated wastes for example *Aureobasidium pullulans*, *Xanthomonas campestris* and *Rhizobium radiobacter*. Different parameters influence the fermentation of EPS must be studied and controlled to improve production.

Indeed, the interest in using EPS has increased considerably in recent years, among its EPS pullulane. For this purpose, several studies are carried out on the production of pullulans by *Aureobasidium pullulans* from various plant by-products such as potato waste. The results of these studies showed that the hydrolysate of potato starch is favourable to the growth and production of pullulane.

Key words: *Aureobasidium pullulans*, EPS, Fermentation, valorisation, vegetable by-products, pullulan

المخلص

تعتبر المنتجات الثانوية النباتية مشكلة رئيسية في جميع أنحاء العالم بسبب آثارها الضارة على البيئة والاقتصاد والمجتمع إن الارتقاء بالتكنولوجيا الحيوية لهذه المنتجات الثانوية إلى مركبات عالية القيمة المضافة، مثل إنتاج متعددات السكر الخارجية هو بديل واعد ليس فقط لحل مشاكل إعادة تدويرها، ولكن أيضا من أجل خلق نظام غذائي أكثر استدامة غني بالعديد من الفوائد الصحية المحتملة. الهدف من هذا العمل هو إجراء دراسة نظرية حول تامين المنتجات الثانوية النباتية من خلال إنتاج متعدد السكريات الخارجية.

بفضل ثراء هذه المنتجات الثانوية بالسكريات والمغذيات، فإن العديد من الكائنات الحية الدقيقة قادرة على النمو وإنتاج متعددات السكر الخارجية على الأوساط المصنوعة من هذه

النفائات المعالجة مسبقا مثل *Aureobasidium pullulans*, *Xanthomonas campestris*, *Rhizobium radiobacter*

ومن أجل تحسين الإنتاج وجب دراسة العديد من العوامل المؤثرة على عملية تخمر هذه الكائنات على هذه الأوساط.

نظرا لتزايد استعمال متعددات السكر الخارجية في السنوات الأخيرة مثل البيليلان، هناك العديد من الدراسات التي اهتمت بإنتاج هذا المركب بواسطة

Aureobasidium pullulans باستعمال المنتجات الثانوية النباتية الثانوية مثل بقايا البطاطا، حيث أظهرت نتائج هذه الدراسات أن نشاء البطاطا المتحللة وسط ملائم لنمو الكائنات الدقيقة

وإنتاج البيليلان.

الكلمات المفتاحية: *Aureobasidium pullulans* متعددات السكر الخارجية، التخمر، البيليلان، المنتجات الثانوية النباتية، تامين.