

République algérienne démocratique et populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université de Tlemcen

Faculté des sciences de la nature et de la vie et sciences de la terre et de l'univers



Département de biologie

*Laboratoire de recherche de Physiologie, Physiopathologie
Et Biochimie de la Nutrition (PPABIONUT)*



Mémoire

Présenté par :

LAKHAL Sara – MISSOUM Zineb

En vue de l'obtention du

Diplôme de MASTER

En Biologie, spécialité : Biologie de La Nutrition

Thème

**Les Fibres alimentaires : Méthodes d'extraction
et domaines d'utilisation**

Soutenu le 20 / 06 / 2021 devant le jury composé de :

Présidente	MERZOUK Hafida	Professeure	Université Tlemcen
Examinatrice	DIDI Amel	Maitre de Conférences	Université Tlemcen
Promotrice	MALTI Nassima	Maitre de Conférences	Université Tlemcen

Année universitaire : 2020-2021

**** Dédicaces****

Je dédie ce travail à :

Mes chers parents,

Aucune dédicace ne peut exprimer mes sincères sentiments, pour votre patience illimitée, encouragements, aide, en témoignage de mon profond amour et respect pour vos grands sacrifices.

Ma sœur **SOUMIA** et mon frère **OUSSAMA**.

Ma chère amie et collègue **Zineb**.

Toutes mes amies.

Et tous mes enseignants.

Sara

**** Dédicaces****

A mes chers parents, tous les mots ne seraient suffisants pour décrire, leurs précieux conseils, leur soutien moral et leurs encouragements. Je n'aurais pu réussir mes études sans eux, que dieu nous protège.

A mon frère qui était toujours à mes cotés

A la personne la plus spéciale dans ma vie mon cher mari.

A toutes mes amis, particulièrement ma collègue de travail "**Sara**"

A mes collègues de travail de l'équipe « GM Algérie » qui ont été présentes dans tous les moments.

A tous mes enseignants de la faculté SNV-STU de l'université de Tlemcen.

Zineb

Remerciements

Nous tenons tout d'abord à remercier Dieu le tout puissant qui nous a donné la force et la patience d'accomplir ce modeste travail.

Nos remerciements les plus cordiaux s'adressent à notre encadreur Madame **MALTI Nassima**, Maitre de conférences au Département de Biologie à l'Université de Tlemcen, qui a guidé et dirigé ce travail avec une disponibilité permanente et pour tous les efforts qu'elle a consenti tout au long de l'élaboration mémoire. Nous vous remercions pour nous avoir donné la chance de travailler avec vous, d'être toujours présente et prête à aider vos étudiants, d'être rigoureuse et enthousiaste.

Nos vifs remerciements vont également aux membres du jury Madame **MERZOUK Hafida**, Professeur au Département de Biologie à l'Université de Tlemcen et Madame **DIDI Amel**, Maitre de conférences au Département de Biologie à l'Université de Tlemcen, pour l'intérêt qu'elles ont porté à notre travail en acceptant de l'examiner et de l'enrichir par leurs critiques. Veuillez trouver ici notre plus profonde considération.

Enfin, nous remercions tous ce qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail, qu'ils trouvent ici l'expression de notre parfaite reconnaissance.

المخلص

أصبحت الألياف الغذائية من أهم المكونات الغذائية التي تؤدي كلا من الوظائف التكنولوجية أثناء تحضير المنتجات الغذائية والفوائد الفسيولوجية للإنسان. ان الألياف الغذائية لها تأثير وقائي ضد الأمراض الالتهابية المختلفة للقولون، ودراستنا تعرض وتقرن بعض الأساليب المختلفة لاستخراج وتطهير الألياف الغذائية التي تولدها الصناعة الغذائية، لإنتاج عدة عناصر من النفايات في عدة مجالات مثل المجال الغذائي (انتاج المكملات الغذائية) وفي المجال غير الغذائي (استخدام الألياف في صناعة الورق) وكل ذلك يجب أن يكون تحت إشراف أساليب محددة جيدا وتقييم جيد من أجل اختيار الطريقة التي تعطي العائد الصحيح في فترة محددة وبدون هدر. ويقدم هذا العمل لمحة عامة عن أحدث تعريف للألياف الغذائية، ويصف مصادر الألياف الغذائية وهيكلها وخواصها الوظيفية، ويلخص المبادئ الأساسية لاختيار الألياف الغذائية الصحية، وكيفية إعادة تدوير النفايات التي تحتوي على ألياف غذائية لإعادة استخدامها في مختلف القطاعات الصناعية.

الكلمات المفتاحية: الألياف الغذائية، مجالات الاستخدام، الفوائد الفسيولوجية، مصدر الألياف، الخصائص الوظيفية، المخلفات والبقايا الغذائية، إعادة التدوير.

Abstract

Dietary fiber has become one of the most important food ingredients that exert both technological functions during the preparation of food products and physiological benefits on humans. Dietary fibers have a protective effect against different inflammatory diseases of the colon, our study, presents and compares some different methods of extraction and purification of dietary fibers generated by the food industry, to produce several elements from waste in several areas such as food field (eg: food supplement), and non-food field (use of fibers for paper making) and all this must be under the supervision of treatment and methods well determined and well evaluated in order to choose the method that gives the right yield in a precise period and without waste. This work gives an overview of the latest definition of dietary fiber, describes the sources, structure and functional properties of dietary fiber, and summarizes the basic principles for selecting the right dietary fiber, how to recycle waste containing dietary fiber for reuse in different industrial sectors.

Key words: dietary fiber, areas of use, physiological benefits, source of fiber, functional properties, waste food and residues, recycling.

Résumé

Les fibres alimentaires sont devenues l'un des ingrédients alimentaires les plus importants qui exercent à la fois des fonctions technologiques pendant la préparation des produits alimentaires et des bénéfices physiologiques sur les humains. Les fibres alimentaires ont un effet protecteur contre différentes maladies inflammatoires du colon. Notre étude, présente et compare certaines différentes méthodes d'extraction et purification des fibres alimentaire générées par l'industrie agroalimentaire, pour produire plusieurs éléments à partir de déchets dans plusieurs domaines tels que le domaine alimentaire (Par exemple : complément alimentaire), et domaine non-alimentaire (Utilisation des fibres pour la fabrication de papier) et tout ça doit être sous la supervision des traitements et des méthodes bien déterminés et bien évalués afin de choisir la méthode qui donne le bon rendement dans une période précise et sans gaspillage. Ce travail donne une vue d'ensemble de la définition la plus récente des fibres alimentaires, décrit les sources, la structure et les propriétés fonctionnelles des fibres alimentaires, et résume les principes de base pour sélectionner les bonnes fibres alimentaires, comment recycler les déchets qui en contiennent pour les réutiliser dans différents secteurs industriels.

Mots clés : Fibres alimentaires, propriétés fonctionnelles, industrie agro-alimentaire, domaines d'utilisation, recyclage.

Liste des abréviations

AACC : American association for clinical chemistry.	PLE : Pressurized liquid extraction.
AOAC : Association of official agricultural chemists.	PNA : Polysaccharides non amylacés.
AGCs : Acide gras cyclique.	SCI : Syndrome du côlon irritable.
CG : Chromatographie en phase gazeuse.	SCI-C : Syndrome du côlon irritable avec constipation.
CV : Coefficient de variation.	SCI-D : Syndrome du côlon irritable avec diarrhée.
DP : Degré de polymérisation.	SFE : Supercritical fluid extraction.
EAE : Enzyme-assisted extraction.	SO₂ : Dioxyde de soufre.
ECR : Essais contrôlés randomisés.	TNF-α : Facteur de nécrose tumorale α .
FAI : Fibres alimentaires insolubles.	μm : Micromètre.
FAS : Fibres alimentaires solubles.	
FAT : Fibres alimentaires totale.	
HCL : Acide chlorhydrique.	
HMGB-1 : Groupe de haute mobilité-1.	
H₂SO₄ : Acide sulfurique.	
IL-1 : Interleukine-1.	
KMnO₄ : Permanganate de potassium	
KOH : Potassium hydroxyde.	
LDL : Low density lipoprotein.	
LLE : Liquide-liquide extraction.	
MAE : Microwave-assisted extraction.	
MII : Maladies inflammatoires de l'intestin.	
NaOH : Hydroxyde de sodium.	
NO₂ : Dioxyde d'azote.	
pH : Potentiel hydrogène.	
PNA : Polysaccharides non amylacés.	

Liste des figures

Figure 01 : Schéma de la microstructure d'une fibre vegetale	3
Figure 02 : Structure chimique de l'amylose et d'amylopéctine	5
Figure 03 : Effets positifs des fibres alimentaires sur le processus hypolipidémique.....	12
Figure 04 : Schéma illustrant la production de déchets et de sous-produits.....	16
Figure 05 : Broyage et tamisage des fibres alimentaires	28
Figure 06 : Schéma de traitement humide du maïs	29
Figure 07 : Schéma général du processus de broyage humide conventionnel.....	31
Figure 08 : Schéma de processus de broyage humide alcalin de maïs	32
Figure 09 : Protocole de l'hydrolyse enzymatique et étapes analytiques pour déterminer la conversion.....	33
Figure 10 : Schéma de la procédure de broyage humide modifiée	35
Figure 11 : Schéma du processus d'extraction physique de la fibre de banane	36
Figure 12 : Schéma détaillé pour le processus de technique microbien.....	37
Figure 13 : Schéma de la méthode gravimétrique enzymatique.....	39
Figure 14 : Schéma de processus d'extraction par voie enzymatique et chimique des différentes molécules de la biomasse lignocellulosique	41

Liste des figures en annexes

Figure A1 : Les différents types de gomme.....	60
Figure A2 : Structure d'hémicelluloses	60
Figure A3 : Représentation schématique d'une structure de la lignine.....	61
Figure A4 : Structure de la paroi de cellules végétales macroscopiques.....	61
Figure A5 : La structure chimique de la cellulose	62
Figure A6 : La structure chimique du mucilage	62
Figure A7 : Structure de la pectine.....	63
Figure A8 : Mécanisme moléculaire des fibres alimentaires sur la réduction des lipides	63
Figure A9 : Structures et classifications des fibres alimentaires	64
Figure A10 : Identification des sous-produits du café dans l'anatomie de la cerise du café	64

Liste des tableaux

Tableau 01 : Teneur en fibres alimentaires dans les cereales, les fruits et legumes	7
Tableau 02 : Lignes directrices et recommandations pour l'utilisation des fibres dans les troubles gastro-intestinaux	9
Tableau 03 : Teneur en FAT, FAI et FAS dans les déchets de différents fruits et légumes	19
Tableau 04 : Avantages et limites des méthodes d'extraction de composés bioactifs	21
Tableau 05 : Avantages et limites des méthodes d'extraction des fibres	46

Sommaire

Dédicaces

Remerciement

Liste des abréviations

Liste des tableaux

Liste des figures

Résumé

Abstract

Introduction générale. Erreur ! Signet non défini.

Partie 1 : Généralités sur les fibres.

1. Généralité	2
2. Propriétés physicochimiques et sources alimentaires.....	4
3. Effets des fibres	8
3.1. Fibres et flore intestinale.....	8
3.2. Fibres et régulation de la glycémie	11
3.3. Fibres et hyperlipidémies	11
3.4. Fibres et cancer	13
3.5. Fibres, inflammation et stress oxydatif	13

Partie 2 : Fibres issus de l'industrie agro-alimentaires.

1. Fibres générés par l'industrie agro-alimentaires.....	15
2. Méthodes d'extraction de composés bioactifs à partir des déchets alimentaires.....	20

Partie 3: Méthodes d'extraction et domaines d'utilisation.

1. Les domaines d'utilisation des fibres alimentaires.....	23
2. Techniques d'extraction et purification des fibres alimentaires... Erreur ! Signet non défini.	6

Conclusion..... 44

Références bibliographique 45

Annexes. 58

Introduction

Les aliments riches en fibres alimentaires sont consommés depuis longtemps pour leurs bienfaits connus sur la santé. Les fibres représentent un groupe complexe de substances, avec des propriétés physico-chimiques diverses et donc des effets physiologiques variés pour pouvoir comprendre pleinement l'avantage clinique de la consommation de fibres alimentaires, il est important d'examiner les composants et leurs rôles physiologiques. Il est prouvé que les fibres solubles contribuent à des effets sur la santé tels que l'atténuation de la glycémie et la réduction du cholestérol, tandis que les fibres insolubles jouent un rôle dans les effets sur la santé tels que la laxité. La plupart des pays disposent d'une base de données sur la composition des aliments qui inclut les fibres alimentaires, mais les détails sur les catégories de fibres ne sont pas inclus. Ce manque d'information est problématique pour la recherche, par exemple les effets alimentaires peuvent être attribués à la quantité totale de fibres plutôt qu'au type de fibres. Une base de données sur les catégories de fibres a été développée pour inclure des données sur les fibres totales, solubles et insolubles provenant d'une gamme d'aliments courants. Les données sur les fibres ont été collectées à partir de diverses sources, notamment la littérature scientifique, l'industrie alimentaire et les bases de données nationales, et des calculs ont été effectués à partir de fichiers de recettes. La création de la base de données sur les catégories de fibres constitue un outil utile pour analyser la consommation des types de fibres et la mettre en relation avec les résultats pour la santé dans le contexte d'un régime alimentaire complet (**Fuller et al., 2018**).

Cette étude traite l'histoire et l'évolution de l'état des fibres alimentaires en tenant compte des améliorations apportées aux méthodes d'extraction. Pendant longtemps, la définition et la réglementation des fibres alimentaires reposaient largement sur leurs compositions chimiques et leurs méthodes d'analyse. Bien que les compositions chimiques et les méthodes d'analyse jouent toujours un rôle important dans la définition des fibres alimentaires, l'activité physiologique a également été prise en considération. La définition précise des fibres alimentaires est encore en évolution, notamment en ce qui concerne la question de savoir si les oligosaccharides de degré de polymérisation 3-9 doivent être considérés comme des fibres alimentaires ou non. Des décennies de recherche scientifique ont permis d'élargir la définition du terme fibres alimentaires pour inclure les oligosaccharides indigestibles (**Cruz-Requena et al., 2019**).

Partie 1 :
Généralités sur les fibres

1. Généralités

Bien qu'il n'existe pas de définition universellement acceptée des fibres alimentaires, toutes les définitions existantes reconnaissent que les fibres alimentaires sont un groupe de polymères ou d'oligomères de glucides qui échappent à la digestion dans l'intestin grêle, passant dans le gros intestin, où ils sont partiellement ou totalement fermentés par le microbiote intestinal. De nombreuses définitions reconnaissent également l'éventail des avantages pour la santé qui peuvent être attribués aux fibres alimentaires, notamment l'augmentation du volume des selles/laxation, la réduction des taux de cholestérol sérique total et/ou des lipoprotéines de basse densité (LDL) et l'atténuation de la glycémie/insulinémie postprandiale (**Mudgil et Barak, 2013**). Les fibres alimentaires ont été largement étudiées en raison de leurs effets physiologiques bénéfiques (**Threapleton et al., 2013**). Les méthodes les plus largement acceptées pour classer les fibres alimentaires consistent à les différencier en fonction de leur solubilité dans un tampon à un pH défini, et/ou de leur fermentabilité dans un système *in vitro*, en utilisant une solution enzymatique aqueuse représentative des enzymes alimentaires humaines (**Tungland et Meyer, 2002**). Comme la plupart des types de fibres sont au moins partiellement fermentés, il peut être approprié de se référer aux fibres comme étant partiellement ou faiblement fermentées, et bien fermentées. Pour tout système de classification, il est important de comprendre que, comme il ne s'agit pas de systèmes mutuellement exclusifs, les types de fibres peuvent entrer dans plus d'une catégorie. En outre, les aliments sont susceptibles de contenir de nombreux types de fibres différents, de sorte que les aliments individuels qui contiennent des fibres n'entreront pas dans une seule catégorie, mais seront plutôt classés dans un groupe représentant le type de fibres prédominant dans ces aliments (**McRorie et McKeown, 2017**).

Les fibres alimentaires sont des polymères glucidiques avec un degré de polymérisation (DP) non inférieur à 3, qui ne sont ni digérés ni absorbés dans l'intestin grêle. Le degré de polymérisation non inférieur à 3 est destiné à exclure les mono- et disaccharides. Il ne vise pas à refléter le DP moyen d'un mélange. Les fibres alimentaires sont composées d'un ou plusieurs :

- Groupe de polymères glucidiques comestibles, présents naturellement dans l'aliment tel qu'il est consommé.
- Groupe de polymères glucidiques, qui ont été obtenus à partir de matières alimentaires brutes par des moyens physiques, enzymatiques ou chimiques.
- Groupe de polymères glucidiques synthétiques.

Bien que les fibres alimentaires soient connues depuis plus de 2000 ans sous différents termes (par exemple, son et fourrage grossier), le terme "fibre alimentaire" est apparu pour la première fois en 1953 et faisait référence à l'hémicellulose, la cellulose et la lignine.

Le terme "fibre" est quelque peu trompeur, car seule une fraction (la cellulose) des fibres alimentaires est de nature fibrillaire. Pour corriger cette erreur, d'autres termes (par exemple, plantix) ont été proposés, mais malgré ces efforts, le terme "fibre alimentaire" a survécu, (Mongeau et Brooks, 2016) la (Figure 1) illustre la micro structure d'une fibre végétale .

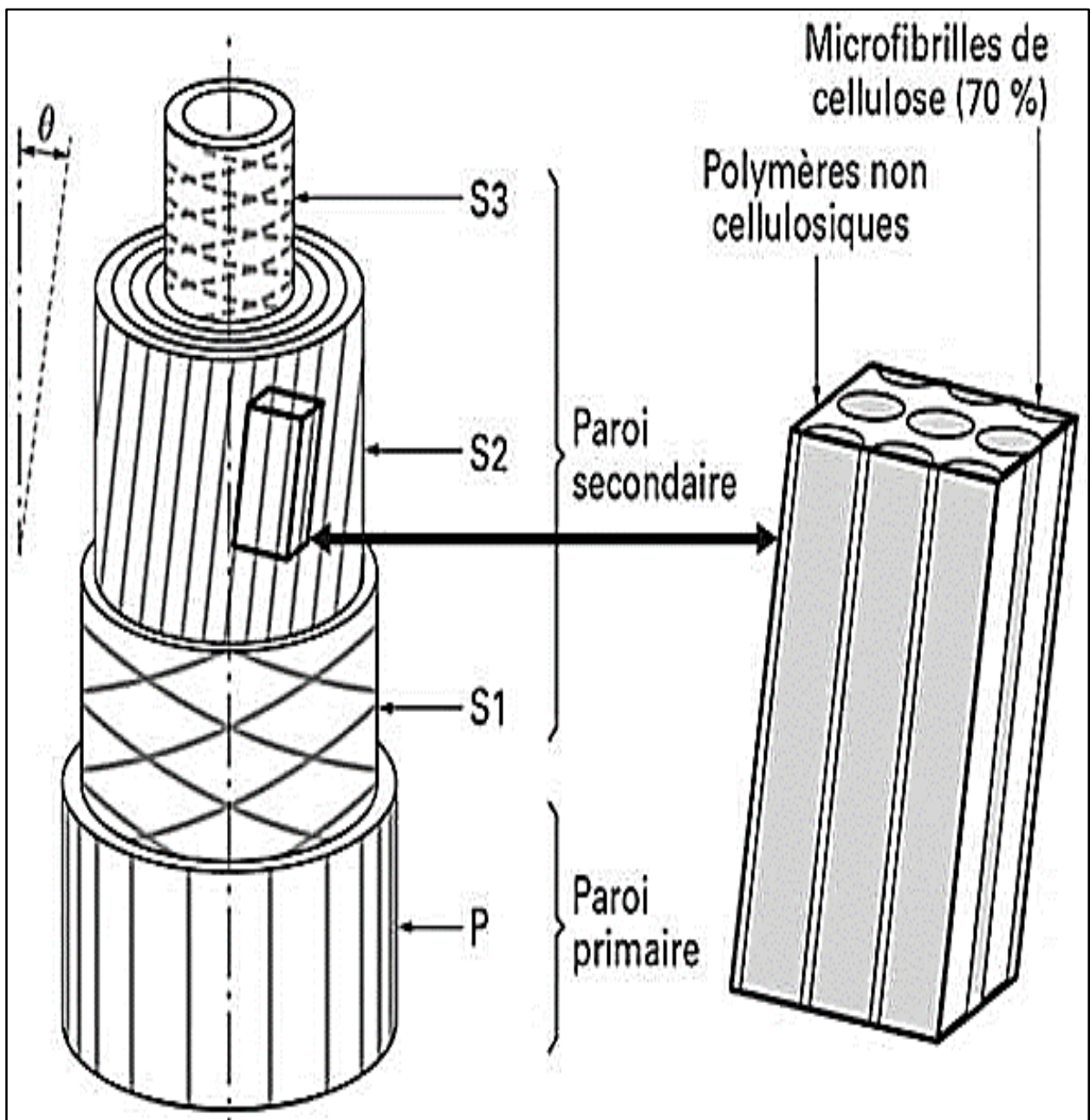


Figure 1 : Schéma de la microstructure d'une fibre végétale (Mongeau et Brooks, 2016)

2. Propriétés physicochimiques et sources alimentaires.

Il est possible de séparer les fibres alimentaires totales (FAT) en composants solubles et insolubles sur la base de leur solubilité dans l'eau.

La viscosité peut également être une caractéristique importante pour la distinction entre fibres solubles et insolubles (**Mongeau et Brooks, 2016**).

2.1. Fibres solubles :

Les fibres alimentaires solubles (FAS) contournent le processus de digestion de l'intestin grêle. Et sont facilement fermentées par la microflore du gros intestin. Les sources de fibres alimentaires solubles comprennent la pectine, les gommes, les amidons, mucilage et certain hémicellulose. Les fibres solubles, après dissolution dans l'eau peuvent ou non avoir des effets de viscosité, ce qui signifie qu'après dissolution dans l'eau, elles forment un gel visqueux (**Mudgil, 2017**).

-La pectine : Elle est structurellement et fonctionnellement le polysaccharide le plus complexe des parois cellulaires végétales, a des fonctions dans la croissance, la morphologie, le développement et la défense des plantes. Elle sert également de polymère gélifiant et stabilisant dans divers produits alimentaires et spécialisés, et a des effets positifs sur la santé humaine et de multiples utilisations biomédicales. La pectine est une famille de polysaccharides riches en acide galacturonique, dont l'homogalacturonan, le rhamnogalacturonane I, les galacturonanes substitués, rhamnogalacturonan II (RG-II), et le xylogalacturonan (XGA). On estime que la biosynthèse de la pectine nécessite au moins 67 transférases, dont des glycosyl-méthyl et acétyltransférases. De nouveaux développements dans la compréhension de la pectine et de la biosynthèse de la pectine indiquent que ces polysaccharides jouent un rôle dans les parois cellulaires primaires et secondaires, la manipulation de la synthèse de la pectine devrait avoir un impact sur diverses propriétés agronomiques des plantes, y compris la biomasse végétale (**Mohnen, 2008**).

-Les gommes, les mucilages : Les gommes et les mucilages sont des polysaccharides, convertis en monosaccharides par hydrolyse. Les types de produits de l'hydrolyse peuvent inclure le pentose (par exemple, le xylane) et l'hexose (par exemple, l'amidon et la cellulose). Les gommes contiennent des sels de potassium, de calcium et de magnésium, appelés "polyuronides". Les mucilages sont des esters d'acide sulfurique ; le groupe ester est un polysaccharide complexe.

Les sucres des gommés et des mucilages sont le galactose et l'arabinose. L'identification des unités formant des sucres dans un polysaccharide par hydrolyse est effectuée par diverses techniques chromatographiques. La quantité totale de glucides dans un polysaccharide, ainsi que la teneur en monosaccharides, peuvent être déterminées par la méthode de l'acide phénol-sulfurique. Les techniques de la résonance magnétique nucléaire (RMN) et de spectrométrie de masse sont également utilisées pour l'identification structurale des gommés et des mucilages (Amiri et al., 2021).

-L'amidon : C'est un mélange d'amylose et d'amylopectine (Figure 2), est la principale source de glucides dans l'alimentation humaine (Ratnayake et Jackson, 2008). Il est présent dans de nombreux tissus végétaux sous forme de granules. Chimiquement, les amidons sont des polysaccharides (Fuentes-Zaragoza et al., 2010).

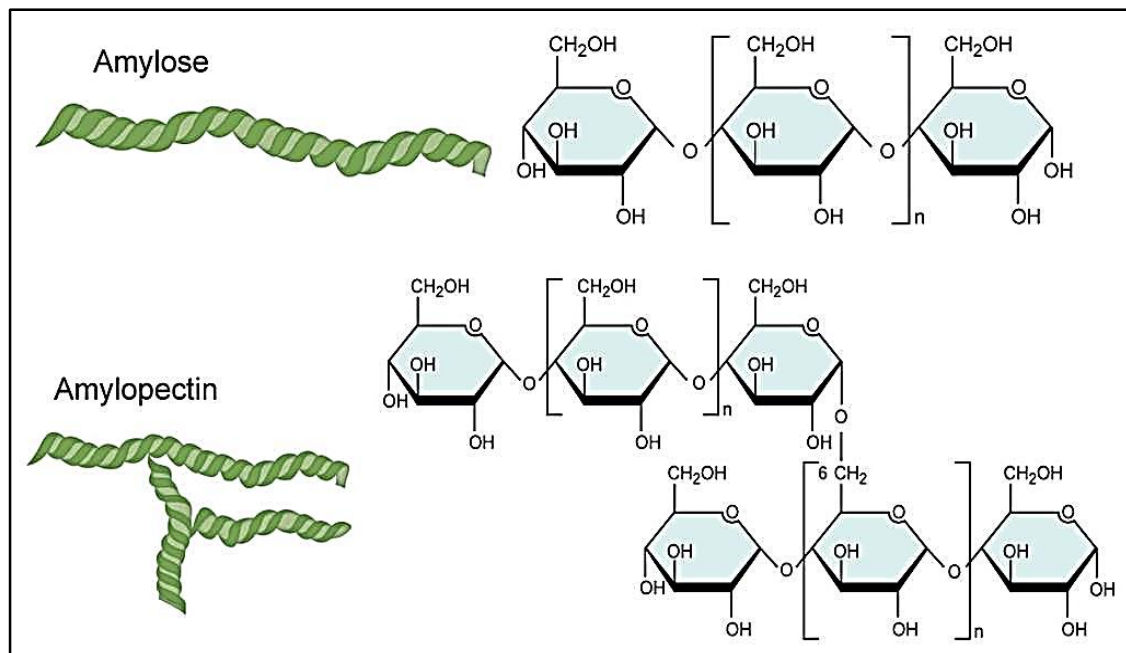


Figure 2 : Structure chimique de l'amylose et d'amylopectine (Masson, 2007)

-Hémicelluloses : elles comprennent les pentoses (d-xylose et l-arabinose), des hexoses (d-mannose, d-galactose et d-glucose), des acides hexuroniques (acide 4-O-méthyl-d-glucuronique, acide d-glucuronique et acide d-galacturonique) et des groupes acétyle, ainsi que de petites quantités de l-rhamnose et de l-fucose. Ces groupes fonctionnels peuvent s'assembler en une série de polysaccharides d'hémicellulose aux structures diverses, linéaires ou hautement ramifiées, comme les xylanes, les mannanes, les xyloglucanes, les b-1,3 ; 1,4-glucanes et les galactanes.

L'abondance et les structures détaillées de ces polysaccharides d'hémicellulose varient considérablement selon les sources de biomasse (Zhou et al., 2017).

2.2. Fibres insolubles :

Les fibres alimentaires insolubles (FAI) sont, par définition, la fraction de la FAT qui n'est pas soluble dans une solution tampon chaude. Les FAI sont constituées principalement de l'hémicellulose, de la cellulose et de la lignine (Mongeau et Brooks, 2016).

-La lignine : Le mot lignine est dérivé du mot latin lignum qui signifie bois. Il s'agit d'un composant principal des plantes vasculaires. En effet, la lignine vient juste après les polysaccharides en termes d'abondance naturelle, contribuant respectivement à 24-33% et 19-28% du poids du bois sec des résineux normaux et des feuillus des zones tempérées. Selon un concept largement accepté, la lignine peut être définie comme une matière polyphénolique amorphe issue de la polymérisation déshydrogénante enzymatique de trois monomères phénylpropanoïdes, à savoir l'alcool coniférylique, l'alcool sinapylique et l'alcool p-coumarylique (Lebo et al., 2001).

-La cellulose : C'est un bio polymère le plus abondant sur terre, a été étudiée de manière approfondie pour différentes applications notamment le renforcement de matrices polymères hydrophobes, les implants biomédicaux et les matériaux composites, entre autres. La cellulose est composée d'unités répétitives de cellobiose constituées d'anhydroglucose lié par des liaisons β -1,4. Contrairement à l'amidon et d'autres polysaccharides, la liaison β -1,4 glucosidique de la cellulose fait en sorte que les chaînes macromoléculaires s'alignent droite et que les groupes hydroxyle à des positions données se lient à l'hydrogène à l'intérieur (liaison hydrogène intra-chaîne) et entre les chaînes polymères (liaison hydrogène inter-chaîne) la liaison hydrogène dans la cellulose affecte la solvabilité, le gonflement et les principales propriétés physiques des structures cellulosiques (Zhang et al., 2013).

2.3. Source des fibres (Tableau 1) :

Parmi les sources de fibres, les grains céréaliers et leurs produits sont considérés comme étant une bonne source de fibres alimentaires. Les céréales contribuent à environ 50 % de l'apport en fibres dans les pays occidentaux. Les fruits, les légumes ont été signalés comme des sources de fibres dont la composition et la quantité varient d'un aliment végétal à l'autre. Dans les pays occidentaux, la contribution des fruits et légumes à l'apport en fibres est d'environ 30 à 40 % pour les légumes et de 16 % pour les fruits (Esteban et al., 2017).

Tableau 1 : Teneur en fibres alimentaires dans les céréales, les fruits et légumes**(Esteban et al., 2017)**

	FAT	FAS	FAI
Céréales (100 g de portion comestible)			
Orge	14,8–17,3		
Mais	13,4		
Avoine	10,3-10,6		6,5
Riz	1,1-1,3	3,8	1,0
Seigle	14,6		
Blé	3,0-4,0	0,3	
Son de blé	9,0		
Fruits (100 g de partie comestible)			
Pomme	1,0-2,3	0,2-0,7	1,5-1,8
Abricot	2,1		
Avocat	1,8-6,7	1,2	5,5
Banane	1,0-3,4	0,5-0,6	1,2
Cassis	7		
Figues	2,5		
Pamplemousse	0,9	0,6	0,3
Raisin (blanc)	0,7-2,2	0,5-0,6	0,3-0,7
Kiwi	1,6-3,4	0,8	2,6
Melon	0,6-1,0		
Orange	1,0-2,0-2,4	1,1-1,4	0,7-1,0
Légumes (100 g de portion comestible)			
Artichauts	9,4		
Asperge	1,5		
Asperges (vertes)	1,7		
Haricots (verts)	1,9	0,5	1,4
Betterave rouge	7,8	2,4	5,4
Brocoli	3,0-3,3	0,3	3,0
Carottes	2,5-2,9	0,2-0,5	2,3-2,4
Chou-fleur	1,8-2,6	0,5-0,7	1,1-2,2

FAT : Fibres alimentaires total, **FAS** : Fibres alimentaires soluble, **FAI** : Fibres alimentaires insolubles.

3. Effets des fibres

Un grand nombre d'études épidémiologiques et interventionnelles ont démontré que les fibres alimentaires ont des liens importants avec le développement et la gestion de diverses maladies et la mortalité. Pour par exemple, en 2015, le Comité consultatif scientifique de la nutrition au Royaume-Uni a réalisé des méta-analyses d'études épidémiologiques portant sur les fibres dans la prévention des maladies, et a montré que pour chaque augmentation de la de 7 g par jourde l'apport en fibres alimentaires, le risque de maladie cardiovasculaire était réduit de manière statistiquement significative (**Gill et al., 2021**).

Les fibres alimentaires et les céréales complètes contiennent un mélange unique de composants bioactifs, notamment des amidons résistants, des vitamines, des minéraux, des phytochimiques et des antioxydants (**Lattimer et Haub, 2010**).

Des études épidémiologiques et cliniques montrent que la consommation de fibres alimentaires et de céréales complètes est inversement proportionnelle à l'obésité (**Tucker et Thomas, 2009**), au diabète de type 2 (**Meyer et al., 2000**), au cancer (**Park et al., 2009**) et aux maladies cardiovasculaires (MCV) (**Streppel et al., 2008**) , des recherches récentes ont commencé à isoler ces composants et à déterminer si l'augmentation de leurs niveaux dans un régime alimentaire est bénéfique pour la santé humaine. Ces fractions comprennent l'arabinoxylane, l'inuline, la pectine, le son, la cellulose, le β -glucan et l'amidon résistant. L'étude de ces composants peut nous permettre de mieux comprendre comment et pourquoi les fibres alimentaires peuvent réduire le risque de certaines maladies.

3.1. Fibres et flore intestinale :

Des études épidémiologiques ont régulièrement démontré les bienfaits des fibres alimentaires sur la santé gastro-intestinale par la consommation d'aliments complets non raffinés, tels que les céréales complètes, les légumineuses, les légumes et les fruits. Des études mécanistes et des essais cliniques sur des fibres isolées et extraites ont démontré des effets régulateurs prometteurs sur le système nerveux central. Isolées et extraites ont démontré des effets régulateurs prometteurs sur l'intestin (par exemple, digestion et absorption, temps de transit, formation des selles). Et sur les effets microbiens (modifications de la composition du microbiote intestinal et des métabolites de fermentation). microbiote intestinal et des métabolites de fermentation) qui ont des répercussions importantes sur les troubles gastro-intestinaux (**Gill et al., 2021**) (**Tableau 2**).

Tableau 2 : Lignes directrices et recommandations pour l'utilisation des fibres dans les troubles gastro-intestinaux (Gill et al., 2021)

Troubles gastro-intestinaux	Recommandations sur les fibres alimentaires
SCI-C	Fibres solubles sous forme de supplément (par exemple, psyllium, méthyl cellulose, gomme de guar partiellement hydrolysée)
	Ajuster l'apport en fibres en fonction des symptômes, y compris en ajoutant des sources naturelles (par exemple, avoine ou graines de lin).
	Graines de lin moulues (6-24g par jour) ; augmenter progressivement sur une période de 3 mois.
SCI-D	Réduire la consommation de fibres insolubles, comme la farine et le pain complet ou riche en fibres, les céréales riches en son et les céréales complètes comme le riz brun.
	Fibres solubles sous forme de supplément (par exemple, psyllium)
	Ajuster l'apport en fibres en fonction des symptômes
Constipation fonctionnel	Encouragez une augmentation progressive (semaines plutôt que jours) de la consommation de fibres (ou en l'ajout de suppléments de fibres) afin de réduire au minimum l'inconfort gastro-intestinal y compris les ballonnements et les flatulences, en visant 20-30 g par jour, tout en sachant que les effets bénéfiques peuvent être observés après plusieurs semaines.
	Encourager les aliments à base de fibres complètes avec des composants supplémentaires ayant des effets laxatifs (par exemple, le sorbitol) comme les pruneaux ou les abricots.
	Psyllium à forte dose (>15g/jour).
Les maladies inflammatoires de l'intestin	Encourager une alimentation variée pour couvrir les besoins en énergie et en nutriments, notamment en fibres alimentaires, comprenant une grande variété de fruits et légumes, de céréales, de grains, de noix et de graines.
	Envisager de limiter les fibres et les aliments fibreux chez les patients présentant des sténoses
	Les fibres alimentaires ne doivent pas être limitées, sauf en cas d'obstruction intestinale.
	La colite ulcéreuse pourrait se prêter davantage à des interventions de supplémentation en fibres que la maladie de Crohn.

SCI-C : Syndrome du côlon irritable avec constipation ; SCI-D : Syndrome du côlon irritable avec diarrhée.

-Constipation fonctionnelle : Elle représente l'un des troubles intestinaux fonctionnels les plus courants et se caractérise par des symptômes de passage difficile ou peu fréquent des selles, ou de défécation incomplète, sans cause structurelle (**Lacy, et al., 2016**). Contrairement au SCI dans lequel des douleurs abdominale doit être présente, la constipation fonctionnelle n'a pas de douleur abdominale comme symptôme prédominant, et bien qu'elle ne soit pas considérée comme une affection grave, elle peut entraîner des complications telles que le fécalome, la perforation intestinale et les hémorroïdes, et les symptômes ressentis sont variés et représentent un fardeau pour les patients, un certain nombre de grandes études de cohorte ont montré des associations positives entre des apports élevés en fibres alimentaires et la fréquence des selles (**Alrefaai et al., 2013**). Une revue systématique et une méta-analyse de sept ECR ont conclu que les fibres sont efficaces dans le traitement de la constipation chronique chez les adultes par rapport au placebo. Ainsi, les fibres (alimentaires ; par exemple, le son de blé) et sous forme de supplément (par exemple, le psyllium), y compris les prébiotiques (par exemple, l'inuline) (**Sanjoaquin et al., 2004**).

- Le syndrome du côlon irritable : il s'agit d'un trouble gastro-intestinal fonctionnel caractérisé par des douleurs abdominales récurrentes et un changement des habitudes de selles (constipation, diarrhée ou les deux). Souvent accompagnés d'un ballonnement et d'une distension abdominale (**Lacy, et al., 2016**). Les mécanismes qui sous-tendent les symptômes du SCI comprennent l'hypersensibilité viscérale et les altérations des interactions entre l'intestin et le cerveau, l'activation immunitaire et les troubles de l'humeur.

Les interactions intestin-cerveau, l'activation immunitaire, la motilité intestinale et le microbiote intestinal. Depuis que les critères révisés ont été introduits en 2016, la prévalence mondiale estimée mondiale du SCI a diminué de 11,7 % à 5,7 % (**Palsson et al., 2016**). Les recommandations concernant la consommation de fibres chez les personnes atteintes du SII varient. Le National Institute for Health and Care Excellence (**National Institute for Health and Care Excellence;2017**) au Royaume-Uni recommande de réduire la consommation d'amidon résistant, alors que les lignes directrices de l'Organisation mondiale de gastroentérologie (**Quigley, et al., 2015**) suggèrent d'encourager les aliments riches en fibres ou les suppléments (par exemple, le psyllium) et devraient être encouragés les fibres insolubles qui pourraient exacerber les symptômes.

3.2. Fibres et régulation de la glycémie :

Le diabète sucré est un trouble métabolique d'étiologies multiples, caractérisé par une hyperglycémie chronique accompagnée d'une perturbation du métabolisme des glucides, des lipides et des protéines résultant d'un défaut de sécrétion d'insuline, d'action de l'insuline ou des deux (OMS, 1999).

Les polysaccharides non amylacés et les oligosaccharides résistants, la lignine, les substances associées aux polysaccharides non amylacés et au complexe de la lignine dans les plantes, d'autres analogues, tels que l'amidon résistant et les dextrines, et composés glucidiques synthétisés, comme le polydextrose. Elles sont classées dans la catégorie des fibres alimentaires. Elles sont principalement concentrées dans les céréales, les légumineuses, les fruits et les légumes.

Il a été proclamé que la consommation quotidienne de fibres alimentaires aide à prévenir de nombreux troubles nutritionnels comme les problèmes intestinaux, cardiovasculaires, le diabète de type 2, certains types de cancer et l'obésité (Verma et Banerjee, 2010).

De nombreux chercheurs ont documenté la relation entre l'augmentation de la consommation de fibres et la diminution de la réponse chez les diabétiques. Cependant, l'efficacité des fibres alimentaires dans le contrôle de l'hyperglycémie est généralement influencée par leur composition, leur source et leur préparation.

Les fibres végétales peuvent modérer le glucose postprandial et les concentrations d'insuline chez les diabétiques non insulino-dépendants si elles sont administrées pendant les repas. En particulier, les FAS, dont le guar, le soja, le psyllium et la pectine, sont signalées comme étant plus efficaces que les FAI telles que le son de blé (Ahmed et al., 2011).

3.3. Fibres et hyperlipidémies :

Les fibres alimentaires, "le septième nutriment" de l'organisme, sont particulières et irremplaçables pour maintenir la santé. On pense classiquement qu'elles exercent leur influence sur le métabolisme des lipides selon des schémas différents : les fibres hydrosolubles forment une couche d'eau non remuée sur la paroi intestinale et retardent l'absorption des sucres et des graisses, tandis que les insolubles augmentent le volume des selles. Cependant, cette catégorisation est critiquée pour son inexactitude à représenter les effets de toutes les fibres dans l'action hypolipémiante.

L'impact des fibres alimentaires sur la réduction des lipides sériques provient d'une étude réalisée dans les années 1970. A cette époque, la même dose entre 2 et 10 g/j d'avoine, de pectines ou de gomme de guar était considérée comme égale dans l'action de réduction du cholestérol total et du LDL-C. Des analyses récentes se sont concentrées sur des types de fibres spécifiques, en particulier le poids moléculaire, indiquant que les différents types de fibres alimentaires ne sont pas forcément égaux, et qu'il existe une relation dose-réponse entre la consommation de fibres et les effets de réduction des lipides. Dans le présent article, nous avons résumé la relation entre les différentes structures, les poids moléculaires et les doses de chaque type de fibres alimentaires et leur effet antihyperlipidémique ainsi que les mécanismes sous-jacents (Nie et Luo, 2021).

On pense que cinq mécanismes majeurs sont responsables des avantages antihyperlipidémiques des fibres alimentaires, notamment les faibles niveaux d'énergie, l'effet de gonflement, la viscosité, la capacité de liaison et la fermentation, qui sont résumés ci-dessous dans (Figure 3).

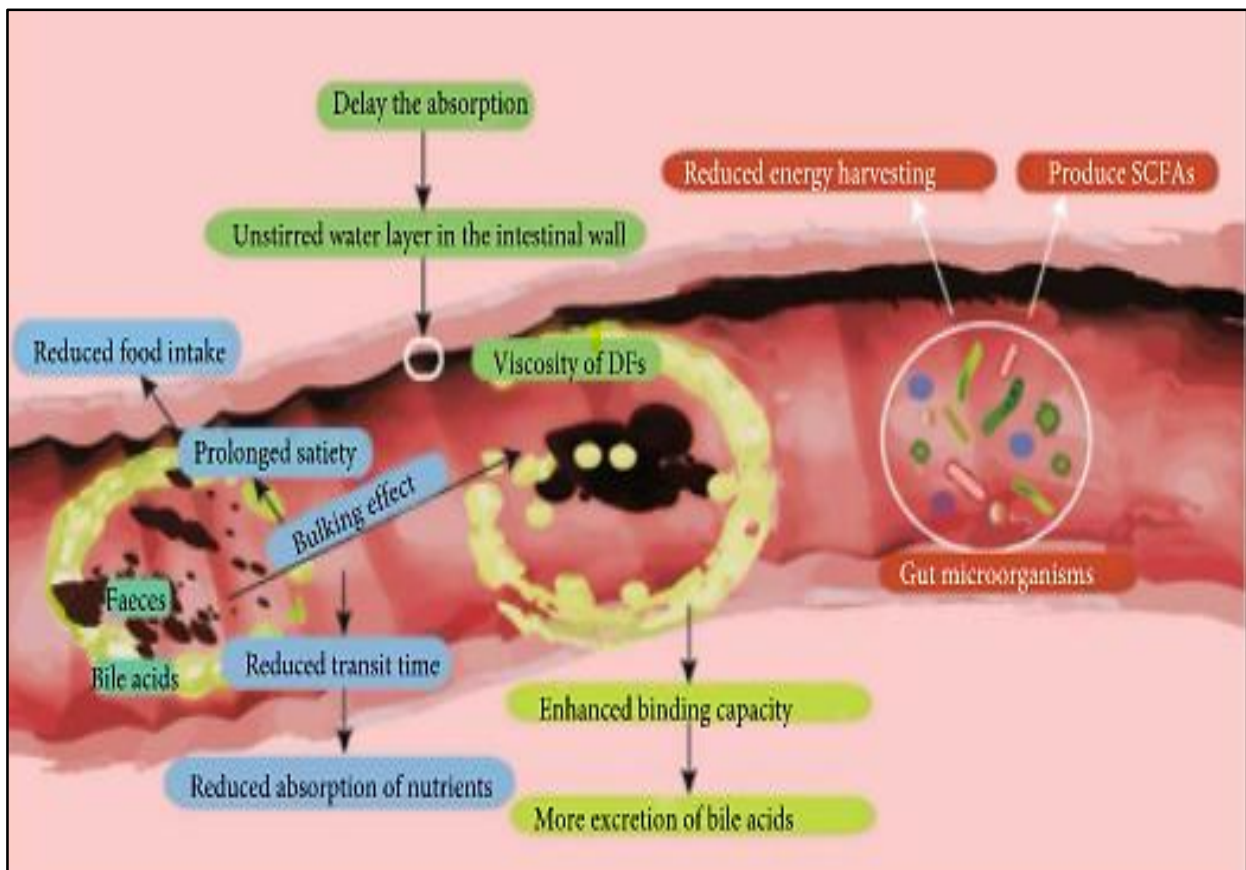


Figure 3 : Effets positifs des fibres alimentaires sur le processus hypolipidémique

(Nie et Luo, 2021)

3.4. Fibres et cancer :

Des expériences sur des animaux de laboratoire, utilisant l'induction chimique du cancer du gros intestin, ont en général montré un effet protecteur avec des suppléments de fibres peu fermentescibles comme le son de blé ou la cellulose. En revanche, un certain nombre de suppléments de fibres fermentescibles, notamment la pectine, le son de maïs, le son d'avoine, le carraghénane non dégradé, l'agar, le psyllium, la gomme de guar, se sont avérés favoriser le développement des tumeurs. Les mécanismes possibles par lesquels les fibres peuvent inhiber la tumorigenèse du côlon comprennent la dilution et l'adsorption de tous les carcinogènes et/ou promoteurs contenus dans la lumière intestinale, la modulation de l'activité métabolique microbienne colique et la modification biologique des cellules épithéliales intestinales. Les fibres alimentaires fixent non seulement les carcinogènes, les acides biliaires et d'autres toxines potentielles, mais aussi les nutriments essentiels, tels que les minéraux, qui peuvent inhiber le processus carcinogène. La fermentation des fibres dans le gros intestin entraîne la production d'acides gras à chaîne courte qui, *in vivo*, stimulent la prolifération cellulaire, tandis que le butyrate semble être antinéoplasique *in vitro*. Les preuves suggèrent que si les fibres alimentaires stimulent la prolifération cellulaire au cours de la phase d'initiation, cela peut conduire à une augmentation de la tumeur (**Jacobs, 1986**).

Le cancer du sein, le cancer le plus fréquent chez les femmes dans le monde, est une tumeur maligne liée aux hormones. Les facteurs reproductifs et la graisse, qui affectent le statut des œstrogènes, de la progestérone et de l'insuline, ont été identifiés comme des facteurs de risque du cancer du sein. En outre, la consommation de graisses alimentaires et d'alcool, qui a été impliqués dans le métabolisme des œstrogènes, ont été associés à un risque accru de cancer du sein. Bien que les fibres alimentaires aient été supposées réduire le risque de cancer du sein en modulant le métabolisme des œstrogènes, l'association entre la consommation de fibres alimentaires et le risque de cancer du sein selon le statut des récepteurs hormonaux n'est pas claire. Il y a plus de 20 ans, on a émis l'hypothèse que les fibres alimentaires réduisaient le risque de cancer du sein, sur la base de résultats suggérant que les femmes végétariennes présentaient une excrétion fécale accrue d'œstrogènes et une concentration plasmatique réduite d'œstrogènes par rapport aux femmes omnivores. Les fibres alimentaires pourraient protéger contre le cancer du sein en inhibant la réabsorption intestinale des œstrogènes excrétés par le système biliaire et en augmentant l'excrétion fécale des œstrogènes ; ces deux mécanismes pourraient réduire les concentrations d'œstrogènes circulants. En outre, les fibres alimentaires pourraient jouer un rôle dans la modulation de la résistance à l'insuline et des facteurs de croissance analogues à l'insuline, qui a été associés au risque de cancer du sein (**Park et al., 2009**).

3.5. Fibres, inflammation et stress oxydatif :

En 2011, plus de 20 milliards de dollars de coûts hospitaliers aux États-Unis ont été attribués au septicémie (**Singer et al., 2016**), une pathologie organique potentiellement mortelle causée par une réponse dérégulée de l'hôte à l'infection.

La pathogenèse du septicémie est généralement classée comme une phase initiale pro-inflammatoire, suivie d'une phase anti-inflammatoire ou immunosuppressive (**Haak et al., 2018**). Au cours des 30 dernières années, les chercheurs ont étudié un certain nombre de stratégies immunothérapeutiques infructueuses visant à contourner la réponse pro-inflammatoire non régulée de l'hôte pendant les phases initiales de la septicémie.

Cependant, la plupart de ces stratégies se sont concentrées sur la cascade de cytokines pro-inflammatoires, notamment le facteur de nécrose tumorale α (TNF- α), l'interleukine (IL)-1 et la boîte 1 du groupe de haute mobilité (HMGB1), qui se sont toutes avérées avoir une faible valeur thérapeutique pratique. Les modifications du régime alimentaire peuvent affecter l'inflammation systémique par le biais de changements dans le microbiote intestinal (**Tilg et Moschen, 2015**). En général, les fibres sont classées comme " digestibles " ou " non digestibles " (c'est-à-dire résistantes), et des études ont porté sur les propriétés et les mécanismes anti-inflammatoires du premier type (**Simpson et Campbell, 2015**).

En revanche, les propriétés anti-inflammatoires protectrices de la cellulose, une fibre non digestible, n'ont pas encore été élucidées. Les fibres alimentaires ont des caractéristiques anti inflammatoires bien documentées, qui peuvent être en partie attribuées aux actions induites par les fibres sur le microbiote intestinal (**Kuo, 2013**).

Morowitz et al. ont démontré que les bénéfices associés à la consommation de cellulose alimentaire sont corrélés à l'enrichissement du taxon Akkermansia du microbiome intestinal, un genre généralement associé à une meilleure santé métabolique (**Morowitz et al., 2017**). Cette constatation nous a conduits à émettre l'hypothèse que la supplémentation en cellulose améliorerait la survie dans des modèles murins de septicémie en réduisant les lésions intestinales, en modulant le stress oxydatif et en réduisant l'inflammation systémique.

La modification du régime alimentaire est de plus en plus reconnue comme une méthode relativement simple pour modifier l'inflammation systémique par le biais de changements dans le microbiote intestinal (**Morowitz et al., 2017**).

Partie 2 :
Fibres issus de l'industrie agro-alimentaires

1. Fibres générées par l'industrie agro-alimentaires.

Dans le monde entier, le secteur agroalimentaire génère chaque année d'énormes quantités de sous-produits et de déchets. Cette biomasse est généralement mise au rebut, ce qui provoque de graves problèmes environnementaux. Cependant, ces résidus représentent une excellente source de composés bioactifs, de sorte que leur exploitation peut être considérée comme une possibilité prometteuse d'un point de vue économique et environnemental (**Gullón et al., 2020**).

D'après (**Santagata et al., 2021**), la transition vers une économie circulaire dans la chaîne d'approvisionnement agroalimentaire nécessitera des mécanismes de soutien appropriés. À l'échelle mondiale, un tiers des aliments est gaspillé, ce qui génère des sous-produits qui pourraient être traités et transformés. Dans une perspective de bioéconomie, l'évaluation qualitative et quantitative de la disponibilité des matières premières secondaires et la classification des différents systèmes de conversion sont cruciales pour que la transition se fasse (**Figure 4**).

L'industrie de l'huile comestible génère des déchets au cours des différentes étapes du processus de raffinage, comme la démulcination, neutralisation, blanchiment, désodorisation, rancissement oxydatif ou hydrolytique. L'industrie de la transformation de la viande, de la volaille et des œufs est un segment important du système de la chaîne alimentaire. Par conséquent, une grande quantité de sous-produits animaux, de déchets d'abattoirs et d'eaux usées est générée. Les principaux déchets générés dans l'industrie comprennent les plumes, les poils, la peau, la corne, les sabots, la viande molle, les résidus de désossage, les os, etc. En outre, les eaux usées des abattoirs sont constituées de résidus de sang, de protéines, de graisses animales (suif), de résidus de détergents et de matières organiques élevées (carbone, azote et phosphore). L'écosystème marin fournit environ 20 % de la nourriture des humains dans le monde. Au niveau mondial, la production d'environ 6 à 8 millions de tonnes de déchets sous forme de crabes, de crevettes et de carapaces de homard. Les parties non comestibles comme les carapaces de crevettes, les carapaces de crabes, les déchets de crevettes, les écailles de poissons et la carapace endosquelette des crustacés. Ces déchets générés sont traités par compostage, enfouissement, incinération ou utilisés comme aliments pour animaux et poisson, pour la consommation humaine en tant que protéine unicellulaire avec un statut GRAS (dans le cas des produits laitiers), les formulations pharmaceutiques et les cosmétiques sous la forme de tige de savon, engrais, Ces méthodes d'élimination posent de sérieux problèmes environnementaux tels que les émissions de gaz toxiques (**Sharma et al., 2020**).

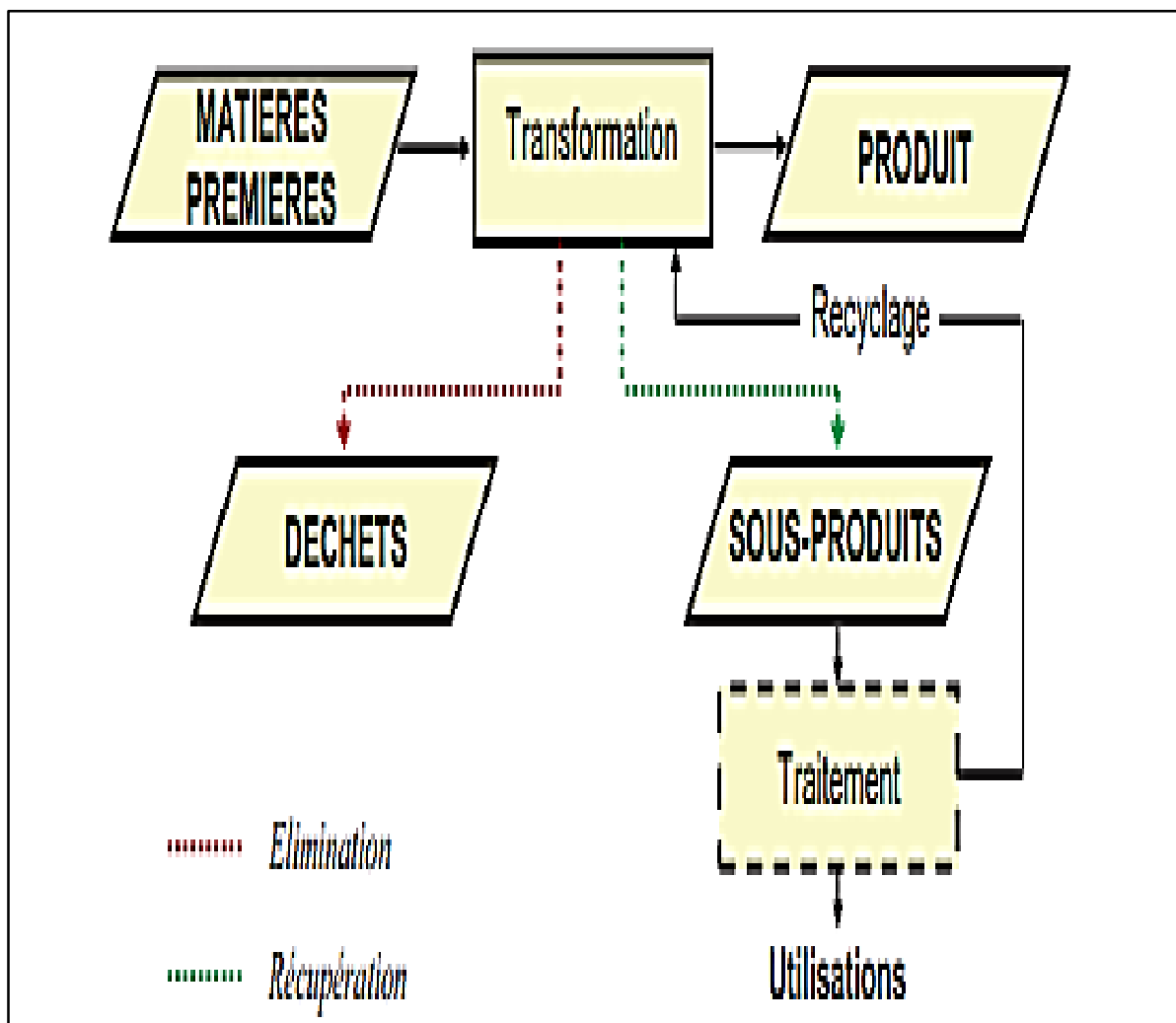


Figure 4 : Schéma illustrant la production de déchets et de sous-produits

(Link et al., 2010)

1.1. Les déchets de l'industrie agro-alimentaires :

A l'échelle mondiale, une part importante de l'alimentation humaine est constituée de grains de céréales obtenus à partir de graines de la famille des Gramineae telles que le blé, le riz, l'orge, le maïs, le sorgho, le millet, l'avoine et le seigle. Les fruits et légumes sont des aliments riches en énergie, à forte teneur en eau et dotés d'un riche profil nutritif, riche en glucides solubles (glucose, fructose), vitamines, minéraux, fibres, polyphénols et autres composés bioactifs. Il existe aussi les déchets laitiers qui proviennent de l'industrie de transformation, de l'altération des produits laitiers due à une attaque microbienne, et à manipulations inappropriées (**Tableau 3**).

- La parche de café :

Il est courant d'utiliser la parche de café comme matériau de combustion, dans le même moulin à café, et pour l'alimentation des animaux, Les recherches sur la pulpe de café et la peau d'argent ont montré que ces sous-produits ont composés fonctionnels tels que des fibres alimentaires et des antioxydants, parmi lesquels se trouve l'acide chlorogénique, Ce complexe synergique est connu sous le nom de fibres alimentaires antioxydantes, ce qui est très avantageux pour l'élaboration d'aliments fonctionnels en ajoutant plus d'effets bénéfiques que la seule fraction fibreuse (Elba et al., 2017).

La parche de café a été évaluée comme un ingrédient potentiel de fibres alimentaires. À cette fin, ces dernières sont extraites par des méthodes enzymatiques et non enzymatiques et leurs propriétés physicochimiques, hypoglycémiantes et hypolipémiantes ont été étudiées *in vitro*. Les travaux ont révélé que la parche de café était une bonne source de fibres alimentaires et que la FAT représentait 89 et 91% des flocons et de la farine de café en parche, respectivement. Ces teneurs étaient beaucoup plus élevées que celle trouvée dans d'autres sous-produits du café comme la peau d'argent et le marc de café (54-62%). C'est aussi une source de FAI , principalement composées de hemicellulose (25-32%), xylanes (35%), de lignine (32%) et de cellulose (22%) (Benitez et al., 2019).

- Écorces d'orange :

Des recherches récentes ont démontré que les déchets d'écorces d'orange sont une ressource potentiellement précieuse qui peut être valorisée en produits de haute valeur tels que le méthane, les huiles essentiels. Après un prétraitement pour extraire le D-limonène, la digestion anaérobie des déchets d'écorces d'orange a été évaluée en laboratoire et à l'échelle expérimentale dans des conditions mésophiles et thermophiles. Des taux d'élimination du D-limonène de 70% ont été atteints avec le prétraitement. Les résultats ont montré l'intérêt des conditions thermophiles pour le traitement de ces déchets car le taux de production de méthane et la biodégradabilité étaient plus élevés qu'à température mésophile. À l'échelle expérimentale, un réacteur thermophile à réservoir agité en continu fonctionnant en mode semi-continu a été utilisé. Le taux de charge organique s'est avéré être dans la gamme de 1,20-3,67 kg COD/m³ d ; la gamme la plus appropriée pour travailler dans des conditions stables avec un temps de rétention solide (d) de 25 d. Le coefficient de rendement en méthane s'est avéré être de 0,27-0,29 dans des conditions standard de température et de pression (0 C, 1 ATM) CH₄/g demande chimique en oxygène ajoutée (mg/L) et la biodégradabilité 84-90% dans ces conditions.

Cependant, une acidification s'est produite au taux de charge organique le plus élevé. Bien que les déchets d'écorces d'orange puissent être réutilisés à des fins très diverses, jusqu'à une date relativement récente, il n'existait pas de moyen d'élimination satisfaisant autre que le déversement des déchets sur les terres adjacentes aux sites de production, leur utilisation comme matière première dans la fabrication d'aliments pour le bétail ou leur combustion (**Martín et al., 2010**). Elle contient 51,9% de FAT, 23,8% de FAS, 39,2% de FAI (**García-Amezquita et al., 2019**) et de 33,5% de pectine sur la base de l'écorce séchée ; rendement augmente avec la puissance des micro-ondes (**Liu et al., 2006**).

-Peau de banane :

Une grande quantité de bananes est produite chaque année et sa peau, qui représente environ un tiers du poids du fruit, est le plus souvent jetée comme déchet. La peau est traditionnellement utilisée pour le traitement de diverses affections. Ce sous-produit est riche en substances phénoliques, avec plus de 40 composés individuels identifiés. Cependant, la composition et les niveaux de ces composés sont influencés par divers facteurs, notamment les variétés, la maturité, les conditions de culture et les prétraitements. Les composés phénoliques contenus dans les peaux de banane possèdent de puissantes propriétés antioxydantes et antimicrobiennes, et sont associés à divers avantages pour la santé. Par conséquent, il est intéressant de récupérer les phénols de ce sous-produit pour une utilisation ultérieure dans les industries alimentaires et pharmaceutiques. Cette revue présente de manière exhaustive met en évidence les composés phénoliques ainsi que les principaux facteurs affectant leur présence dans la peau de banane, Elle passe en revue les applications actuelles de ce sous-produit, décrit ses utilisations potentielles dans les industries alimentaires et pharmaceutiques et propose enfin une tendance pour les études futures (**Vu et al., 2018**).

De nombreux rapports ont étudié les fibres alimentaires totales et les fibres fractionnées de la banane. Par rapport aux 14,5 % de fibres alimentaires du fruit de la banane, la teneur en fibres alimentaires de la peau de banane est généralement plus élevée, allant de 32 % à 50,25%. (**Menezes et al., 2011**) ont rapporté que 56,25 % des fibres alimentaires provenaient de la farine de banane non mûre (fruit et peau) (**J. W. Zhang et al., 2019**).

Tableau 3 : Teneur en fibres alimentaires totales, solubles et insolubles dans les déchets de différents fruits et légumes (**Sagar et al., 2018**)

Produit	Type de déchets	FAT (%)	FAI (%)	FAS (%)
Pomme	Pelure	0,91	0,46	0,43
Pomme	Marc	88,5	69,9	18,6
Abricot	Graines	27 à 35	---	---
Banane	Peau	50	---	---
Carotte	Marc	63,6	50,1	13,5
Chou-fleur	Tige	3,11	---	---
Dattes	Graines	57,87 à 92,4	---	---
L'ail	Pellicule	62,23	58,07	4,16
Raisin	Pépins	40	---	---
Raisin	Jus	77,9	68,4	9,5
Piment vert	Pelure et graines	77,2	73,5	3,77
Kiwi	Marc	80,41	---	---
Citron	Ecorce	25,80	18,70	7,10
Mangue	Peau	14	9,04	4,93
Oignon	Peau	68,3	---	---
Orange	Ecorce	57	47,6	9,41
Petit pois	Coques	91,5	87,4	4,1
Pêche	Marc	54,5	35,5	19,1
Poire	Marc	43,9	36,3	7,6
Pomme de terre	Pelure	5,6	---	---
Citrouille	Ecorce	76,94	---	---
Fromboise	Marc	77,5	75	2,5
Tomate	Marc	50	25	25

FAT : fibre alimentaire totale, *FAI* : fibre alimentaire insoluble, *FAS* : fibre alimentaire soluble.

2. Méthodes d'extractions de composés bioactifs à partir les déchets alimentaires

Les fruits et légumes sont les produits les plus utilisés parmi toutes les cultures horticoles. Ils sont consommés crus, peu transformés ou transformés, en raison de leurs nutriments et de leurs composés bénéfiques pour la santé. Avec l'augmentation de la population et l'évolution des habitudes alimentaires, la production et la transformation des cultures horticoles, en particulier des fruits et légumes, ont augmenté de manière très significative pour répondre à la demande croissante. Les pertes et les déchets importants dans l'industrie du frais et de la transformation deviennent un grave problème nutritionnel, économique et social. Par exemple, l'Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture a estimé que les pertes et le gaspillage de fruits et légumes sont les plus élevés de tous les types d'aliments et peuvent atteindre jusqu'à 60 % (**Sagar et al., 2018**).

Les pertes et les déchets sont les parties non utilisées ou non consommées d'un fruit, d'un légume, et d'autres denrées alimentaires, en raison des caractéristiques morphologiques de la denrée, de l'absence d'opérations de manutention appropriées, ou simplement jetées pour diverses raisons. En outre, les sous-produits des produits horticoles rejetés après transformation constituent un déchet important. Toutefois, la quantité et le type de ces déchets varient selon les produits et les caractéristiques morphologiques notamment les feuilles, les racines, les tubercules, la peau, la pulpe, les graines, les noyaux, le marc, etc, et ainsi de suite de nombreux fruits et légumes génèrent au moins jusqu'à 25 à 30 % de déchets, qui ne sont pas utilisés (**Sagar et al., 2018**).

L'extraction est l'étape la plus critique pour obtenir des composés bioactifs à partir les déchets des fruits et légumes (**Bland et al., 2013**). Les méthodes idéales d'extraction déterminent les types et les quantités de composés bioactifs qui peuvent être obtenus à partir des déchets des fruits et légumes (**Poole-Wilson et Langer, 2014**). Les méthodes d'extraction peuvent varier en fonction des composés bioactifs visés.

Les composés bioactifs des déchets végétaux peuvent être extraits par différentes méthodes, qui peuvent être classées en 2 catégories principales : Les techniques conventionnelles et les techniques nouvelles (**Sagar et al., 2018**). Les avantages comparatifs et les limites des différentes techniques d'extraction sont résumés dans (**Tableau 4**)

Tableau 4 : Avantages et limites de différentes méthodes d'extraction de composés bioactifs.

Technique	Avantages	Limites	Composés recommandés	Références
Soxhlet	-Largement utilisé comme technique classique. -Technique de modèle de base pour la comparaison d'autres Techniques	-Prend beaucoup de temps N'est pas écologique et nécessite de grandes quantités de solvants	Extraction des lipides/grasses	(Soxhlet, 1879), (Azmir et al., 2013)
Hydrodistillation	- La technique la plus ancienne et la plus simple pour extraire les huiles essentielles des plantes La plus adaptée aux petites industries. - Offre différentes options selon le choix, à savoir, l'hydrodistillation, la distillation à la vapeur et à l'eau, distillation directe à la vapeur, hydrodiffusion, etc.	-Ne convient pas aux composés thermolabiles, car ils peuvent être perdus ou dégradés à haute température. -Processus lent et fastidieux	Huile et composés bioactifs	(Vankar, 2004), (Azmir et al., 2013)
liquide-liquide extraction (LLE)	-Convient à l'échantillon liquide Standard, facile et bon marché pour la détermination du phénol dans l'eau Peut être utilisé à température ambiante pour éviter la dégradation des composés phénoliques.	- Nécessite des produits chimiques dangereux et coûteux -Demande beaucoup de temps pour l'analyse de l'échantillon et le taux de dégradation est élevé en raison de facteurs internes et externes.	- Idéal pour les composés phénoliques, sous-produits liquides des industries des boissons sont les meilleurs échantillons pour cette technique	(Espinosa-Alonso et al., 2006), (Garcia-Salas et al., 2010)
Extraction en phase solide	-Le taux de séparation est plus rapide que la LLE. -Facile à utiliser avec peu d'efforts manuels -Haute répétabilité que LLE.	-Plus coûteux que le LLE. -Spécifiquement pour les composés plus polaires Inadapté aux produits volatils en raison des pertes par évaporation.	Convient mieux pour produits phytochimiques dans plantes médicinales.	(Hernanz et al., 2008), (Garcia-Salas et al., 2010),

				(Abd-Talib et al., 2014)
Extraction par fluide supercritique (SFE)	<ul style="list-style-type: none"> -Viscosité plus faible et coefficient de diffusion plus élevé que l'extraction par solvant liquide, ce qui permet un meilleur transfert de masse. - Gain de temps et respect de l'environnement grâce à la faible quantité d'échantillon et de solvant organique nécessaire. 	<ul style="list-style-type: none"> -Ne convient pas pour la plupart des échantillons de médicaments et de produits pharmaceutiques. -Les molécules polaires ne peuvent pas être dissoutes. 	Idéal pour les composés volatils	(Dalgetty et Baik, 2003)
Extraction liquide pressurisée (PLE)	<ul style="list-style-type: none"> -S'adapte aux échantillons solides pour isoler les biomolécules. -Meilleur pour les composés polaires que l'extraction par fluide supercritique. -Moins de temps et moins de solvant requis. 	<ul style="list-style-type: none"> -Coût de l'équipement plus élevé. -Inadaptés aux échantillons ayant un très faible niveau d'analytes ciblés car 10g est la limite maximale du poids de l'échantillon. 	Sous-produits agro-industriels pour l'extraction phytochimique	(Dobia et al., 2010)
Extraction assistée par enzyme (EAE)	<ul style="list-style-type: none"> -Respectueux de l'environnement car il utilise l'eau comme solvant à la place des produits chimiques organiques. -Il est particulièrement adapté à l'extraction des composés liés. -Taux d'extraction élevé. 	<ul style="list-style-type: none"> Coût élevé des enzymes pour de grands volumes d'échantillons. - Non réalisable au niveau industriel en raison du comportement des enzymes. 	Pour l'extraction de l'huile et des substances phytochimiques liées.	(Puri et al., 2012)
Extraction assistée par micro-ondes (MAE)	<ul style="list-style-type: none"> -Meilleure qualité et haute sélectivité des extraits souhaités. - Rendement d'extraction élevé et temps d'extraction réduit. -Economique par rapport à la technique d'extraction par solvant. 	<ul style="list-style-type: none"> -Les appareils et les équipements sont coûteux -L'opération est difficile par rapport à l'extraction assistée par ultrasons. -Faible rendement d'extraction pour les composés non polaires. 	Pour l'extraction rapide de composés bioactifs (notamment les polyphénols)	(Zhang et al., 2011)

LLE : Liquide-liquide extraction, SFE : Extraction par fluide supercritique, PLE : Extraction liquide pressurisée, EAE : Extraction assistée par enzyme, MAE : Extraction assistée par micro-ondes.

Partie 3 :

Domaines d'utilisation

et méthodes d'extraction

1. Les domaines d'utilisation des fibres alimentaires

Les fibres végétales font partie intégrante du "tissu" de l'histoire de l'humanité. Leur utilisation dans les cordages ou les vêtements remonte à plusieurs dizaines de milliers d'années (**Kvavadze et al., 2009**). Parmi ces dernières, le lin (*Linum Usitatissimum L.*) et le chanvre (*Cannabis Sativa*) ont été originellement cultivées par les civilisations avancées du Croissant fertile ; ce sont aujourd'hui les deux végétales les plus produites en Europe (**Bourmaud et al., 2018**). Au fil du temps, leurs utilisations se sont élargies. Depuis une vingtaine d'années, elles présentent un intérêt particulier dans le domaine des matériaux techniques, sous forme de fibres végétales. Les composites renforcés de fibres végétales deviennent un domaine important de développement pour un grand nombre d'industries. C'est notamment le cas dans les secteurs du transport, de la marine et de la construction. Ces fibres présentent d'importants avantages environnementaux, de bonnes propriétés mécaniques spécifiques et sont souvent disponibles à un coût viable (**Bourmaud et al., 2018**). Elles offrent une alternative crédible aux fibres synthétiques telles que les fibres de verre pour des applications semi-structurelles. Dans un contexte de paupérisation et de déclin des ressources fossiles disponibles pour notre civilisation, leur utilisation répond à un véritable enjeu sociétal et industriel, porté par un cadre réglementaire qui favorise l'utilisation de matériaux biosourcés, recyclables, biodégradables ou plus légers, et donc créant un impact environnemental moins négatif (**Mohanty et al., 2018**). Pour produire ces composites biosourcés, les fibres végétales sont transformées avec des matrices thermoplastiques ou thermodurcies par extrusion, injection, moulage par compression, mais aussi par le procédé émergent du moulage par dépôt de matière fondue (impression 3D), parmi diverses autres techniques. Au cours de ces processus de transformation des matériaux, les fibres végétales sont soumises à des contraintes thermomécaniques qui ne sont pas favorables à l'intégrité des parois cellulaires des fibres végétales (**Bourmaud et Baley, 2010**).

1.1. Applications alimentaires :

L'utilisation de fibres spécifiques dans les produits alimentaires est largement déterminée par leur fonctionnalité, qui dépend des propriétés physicochimiques, et par les conditions de transformation des aliments. Parmi les facteurs supplémentaires qui doivent être pris en compte dans de nombreuses applications figurent la couleur et la saveur des fibres en raison de leur impact sur les caractéristiques sensorielles. Les fibres de la cosse et les fibres du

cotylédon du pois sont actuellement disponibles pour des applications alimentaires (**Tosh et Yada, 2010**).

- Enrichissement en fibres :

Les pains, les produits de boulangerie et les produits à base de céréales ont été les vecteurs traditionnels de l'enrichissement en fibres ; cependant, les fibres pourraient être incorporées dans divers autres aliments transformés pour en tirer un avantage nutritionnel supplémentaire. Par exemple, la faible viscosité des fibres solubles de légumineuses les rendrait appropriées comme suppléments de fibres alimentaires pour les produits non visqueux tels que les jus ou les boissons fonctionnelles les chercheurs ont constaté que les solutions à 3 % de fibres solubles de cotylédon de légumineuses avaient une faible viscosité (**Dalgetty et Baik, 2003**).

- Modification des textures :

La fibre de cotylédon de pois a également été étudiée par (**Anderson et Berry, 2000**) en tant qu'ingrédient modifiant la texture des galettes de bœuf à faible teneur en matières grasses afin d'améliorer la qualité de la viande. Pour améliorer la qualité de la viande. Les fibres de pois n'ont pas influencé la rétention de graisse dans les galettes de bœuf à ce niveau de graisse plus faible, mais a amélioré la tendreté et le rendement à la cuisson, et n'a pas eu d'effet négatif sur la jutosité ou l'intensité du goût du bœuf. La farine de pois jaunes a été utilisée en combinaison avec de la pulpe de pomme de terre à différents ratios eau/fibres pour préparer des saucisses à faible teneur en matières grasses ayant une texture et une saveur satisfaisantes. Les farines de pois chiches ont été étudiées en tant que liants et agents d'extension. L'ajout de farines de pois chiches à 2,5 % et 5 % a augmenté le rendement de cuisson de la mortadelle de porc à faible teneur en gras et n'a pas eu d'effet négatif sur les propriétés sensorielles. Les scores sensoriels pour la cohésion, la fermeté et la granulosité ont augmenté. Grain ont augmenté et la jutosité initiale a diminué dans le bologne de pois chiche par rapport au témoin (**Cardoso et al., 2007**).

1.2. Applications non-alimentaires :

Il existe peu d'informations dans la littérature scientifique sur les applications non alimentaires des légumineuses ou des fractions de légumineuses. Les haricots (noirs et blancs) blanc) et les pois chiches ont montré un certain potentiel en tant que matières premières renouvelables pour la fabrication d'un plastifiant moulés par compression. Comme l'ont étudié

(Salmoral et al., 2000). Les isolats de protéines de haricot ou les farines entières dégraissées ont été mélangés avec du glycérol et l'amidon extrait a été utilisé comme plastifiant.

L'utilisation de déchets agroalimentaires, y compris les résidus de légumineuses, comme matière première potentielle pour la production de bioéthanol a été explorée par (Del campo et al., 2006). Un procédé d'hydrolyse acide a été étudié pour prétraiter les déchets ; la récupération du sucre à partir des matières légumineuses a nécessité un prétraitement plus intensif en raison de la teneur élevée en amidon.

Des feuilles et des fibres composites durables et biodégradables renforcées par du papier journal recyclé ont été fabriquées avec de la farine de caméline, un sous-produit de l'extraction de résine à base d'huile de caméline. Pour préparer des feuilles et des fibres composites uniformes, la farine de caméline a été broyée et tamisée pour éliminer les grosses particules et certaines impuretés, puis transformée en résine en la dissolvant dans l'eau et en la faisant précuire au bain-marie à 75°C. Le processus de tamisage a amélioré la teneur en protéines de 4,7 % et réduit la teneur en graisses de 4,2 %. Du papier journal recyclé a été utilisé comme agent de renforcement pour améliorer les propriétés de traction et augmenter la résistance à l'eau des feuilles et des fibres composites biodégradables à base de farine de caméline. L'augmentation de la teneur en papier journal a permis d'accroître la contrainte de rupture, le module de Young et la résistance à l'eau. Cependant, la feuille uniforme n'a pas pu être formée lorsque la teneur en journaux recyclés était supérieure à 30 % (poids/poids de caméline). Les photomicrographies au microscope électronique à balayage des surfaces de fracture ont montré qu'avec une teneur en papier journal plus élevée, des fibres plus longues dépassaient de la résine de caméline (Kim et Netravali, 2012).

-Les valorisations non alimentaires de l'amidon concernent :

- Les industries papetières : il est, soit introduit dans la masse du papier, soit utilisé dans les produits de couchage.
- L'industrie chimique : il peut être utilisé dans les détergents ;
- L'industrie textile : il est utilisé pour renforcer l'apprêt des fils, fixer les couleurs ... ;
- L'industrie pharmaceutique sous de multiples formes : en tant que substrat de fermentation, liant, excipient... (Guan et Eskridge, 2005).

2. Techniques d'extraction et purification des fibres alimentaires

Les effets bénéfiques des fibres ont conduit au développement d'un marché potentiel pour les produits riches en fibres (**Dhingra et al., 2012**). Pour satisfaire ce marché, de nouvelles sources de fibres, telles que les plantes traditionnellement sous-utilisées et les déchets de fruits et légumes récupérés, font l'objet de recherches. De nombreuses recherches ont été menées sur les effets bénéfiques des fibres sur la santé (**Elleuch et al., 2010**). En outre, les fibres ont gagné en popularité en tant qu'ingrédient et ont été incorporées dans différents produits alimentaires où elles servent divers objectifs. La sensibilisation accrue des consommateurs au potentiel thérapeutique des fibres alimentaires a également contribué à l'augmentation de la consommation de fibres. Des fibres alimentaires a également contribué à la recherche accrue de nouvelles sources (**Rosell et al., 2009**). Si les méthodes de quantification des fibres ont été largement étudiées, celles d'isolement et de fractionnement des fibres sont limitées (**Verma et Banerjee, 2010**). La littérature révèle que la détermination de la cellulose, des hémicelluloses et de la lignine a été largement réalisée ; cependant, les recherches menées pour isoler ces composants sont limitées (**Elleuch et al., 2010**). Cette partie résume les recherches qui ont été sur les méthodes appliquées pour extraire les fibres du matériel végétal.

2.1. Séparation et fractionnement des fibres :

L'objectif de la séparation des fibres en leurs constituants individuels est d'isoler et de quantifier les fractions d'intérêt et d'éliminer les composés indésirables (**Anonymous, 2010**). Diverses méthodes d'extraction et de fractionnement des fibres de diverses sources végétales ont été étudiées. La méthode d'extraction, les solvants, la méthode de séchage, l'intensité du traitement et la source de la fibre affectent largement les propriétés et la composition des fibres résultantes (**Biswas et al., 2011**). La méthode d'extraction affecte également le comportement des fibres dans le corps humain et dans les applications alimentaires (**Figuerola et al., 2005**). Le choix de la méthode d'extraction utilisée pour isoler les fibres dépend fortement de la composition de la fibre particulière, de sa complexité, de sa composition chimique et de sa qualité. La fibre particulière, sa complexité, sa nature chimique, son degré de polymérisation et la présence d'oligosaccharides (**Elleuch et al., 2010**). Le choix de la méthode, le temps de contact, la température et le rapport solvant/échantillon sont des paramètres qui affectent fortement le rendement (**Al-Farsi et Lee, 2005**). La base de toutes les méthodes d'extraction de la fibre est similaire. Cependant, l'approche diffère selon le produit final désiré, l'objectif visé et le type de fibre. Selon le produit final souhaité, l'application prévue, la source de la fibre et

l'équipement utilisé. Toutes les méthodes impliquent un fractionnement, ce qui permet d'éliminer les composants non désirés (**Anonymous, 2010**). Les fibres peuvent être extraites en tant qu'ensemble, appelé fibres totales, ou en tant que fibres solubles ou insolubles ou en tant que constituants individuels ; ses différents constituants.

Parmi les méthodes d'extraction des fibres à partir de sources végétales ayant fait l'objet de recherches antérieures, citons le traitement à sec, le traitement par voie humide, le traitement à l'eau et le traitement à la vapeur. Sources végétales comprennent le traitement à sec, le traitement humide, le traitement chimique, gravimétrique, enzymatique, physique, microbienne ou une combinaison de ces méthodes (**Daou et Zhang, 2012**). Chaque analyste modifie une procédure d'extraction des fibres actuelle pour l'adapter à sa recherche, car il n'existe pas de méthode d'extraction des standardisée (**Elleuch et al., 2010**). Certaines méthodes d'extraction des fibres sont employées par l'industrie tandis que d'autres sont utilisées à des fins expérimentales et de recherche. Certaines méthodes d'extraction des fibres alimentaires sont étroitement liées aux méthodes d'analyse des fibres alimentaires comme le montrent les recherches de (**Elleuch et al., 2010**) qui ont décrit, entre autres, la méthode enzymatique-gravimétrique comme une méthode d'analyse des fibres alimentaires, tandis que (**Diedericks, 2014**) a appliqué la même méthode pour l'extraction des fibres alimentaires de l'arachide Bambara. L'extraction des fibres a été rapportée pour la première fois par Southgate qui a décrit une méthode d'extraction des fractions de cellulose et de lignine (**Southgate, 1969**). Les travaux de Southgate ont suscité un intérêt pour l'extraction des fibres et d'autres recherches ont permis de développer des méthodes pour isoler les composants des fibres totales, solubles, insolubles et individuelles. Les fibres solubles peuvent être isolées en utilisant de l'eau chaude associée à de l'EDTA pour solubiliser la pectine et lier les cations. Pectine et lier les cations (**Furda, 1977**). Une méthode d'extraction des fibres insolubles a été développée en fractionnement du son de blé en hémicellulose, cellulose et lignine en utilisant des traitements acides couplés à une digestion enzymatique (**Furda, 1977**). La pectine, les hémicelluloses et la cellulose ont été isolées à l'aide de méthodes gravimétriques qui impliquent l'utilisation d'une méthode d'échantillonnage. Méthodes gravimétriques impliquant l'utilisation d'eau, d'éthanol à 80 % et de NaCl (**Lawther et al., 1995**). La lignine, la cellulose et les hémicelluloses ont été isolées par des extractions chimico-enzymatiques et par l'eau (**Maphosa et Jideani, 2016**) (**Figure 5**).

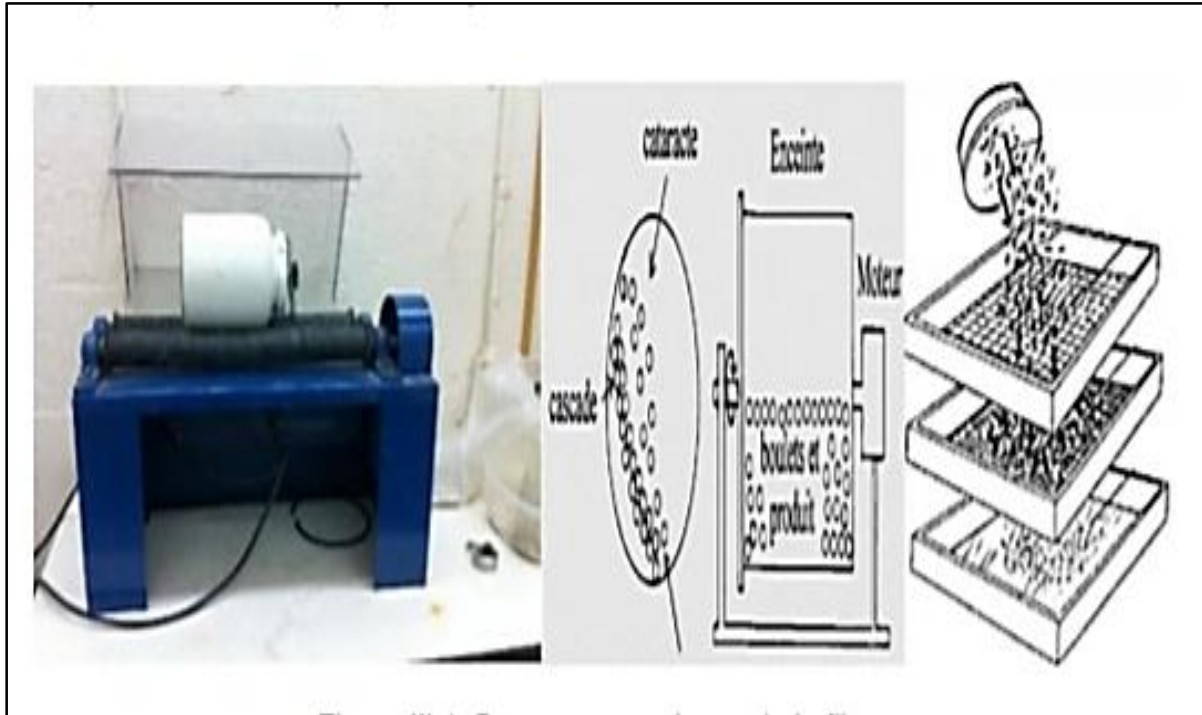


Figure 5 : Broyage et tamisage des fibres alimentaires (Lawther et al., 1995)

- **Méthodes de traitement à sec :**

Les méthodes de traitement à sec ont été appliquées à des fins expérimentales ainsi qu'à des applications industrielles (AACC, 2001). Ces méthodes impliquent la désintégration des graines par broyage et la classification à l'air en fractions amidon et protéines (Bogracheva et al., 2001). La farine produite au cours du processus de mouture contient deux populations distinctes de particules, qui diffèrent en taille et en densité (AACC, 2001). Pour séparer ces deux phases, on utilise un courant d'air, d'où l'origine du nom de "classification à l'air". Une phase est constituée de particules fines et légères contenant principalement des amidons et des fibres, tandis que l'autre phase est grossière et relativement lourde. L'autre phase est grossière et relativement plus lourde, contenant principalement des protéines et des lipides (Bogracheva et al., 2001). Pour purifier les fractions, la classification à l'air est répétée sur les produits. Réduit la récupération du produit. Les avantages des méthodes de traitement à sec sont la réduction de la consommation d'énergie et d'eau. La classification à l'air est plus efficace lorsqu'elle est utilisée sur des cultures dont l'amidon est le principal matériau de stockage, comme les pois. L'amidon comme principal matériau de stockage, comme le pois, la féverole, la fève de Lima.

• Méthodes de traitement par voie humide :

Les méthodes de traitement par voie humide utilisent toutes de l'eau pour l'extraction des fibres, mais diffèrent par les réactifs supplémentaires et les conditions (Maphosa et Jideani, 2016). Les méthodes de broyage humide discutées dans ce travail sont le broyage humide conventionnel, le broyage humide alcalin, le traitement humide enzymatique et la méthode modifiée de broyage humide (Figure 6).

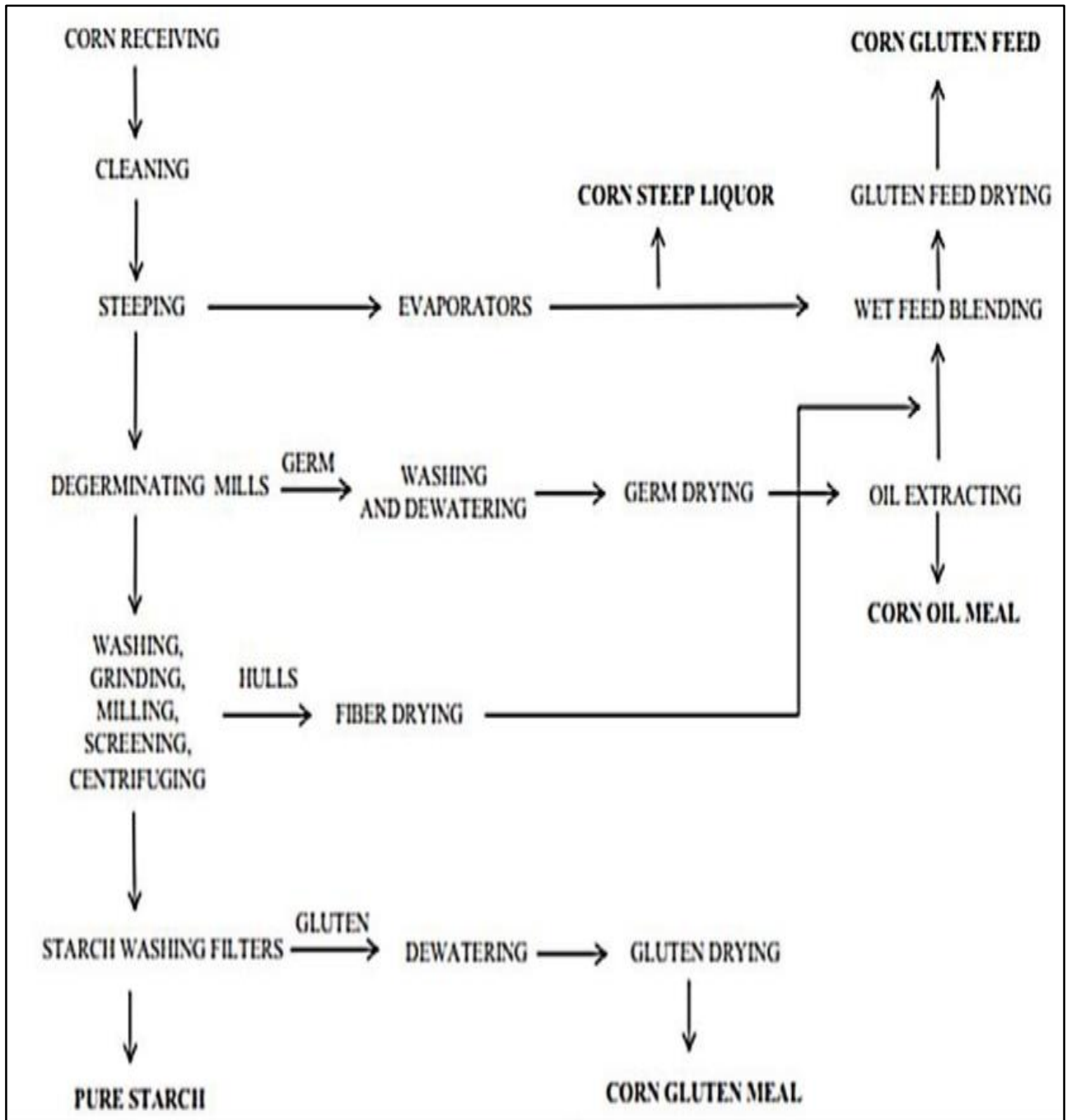


Figure 6 : Schéma de traitement humide du maïs (Wronkowska, 2016)

* Broyage humide conventionnel :

Le broyage humide est un procédé industriel utilisé pour la séparation des principaux composants de différents grains au moyen d'opérations physiques, chimiques, biochimiques et mécaniques. Actuellement, ce procédé est utilisé dans l'industrie pour le maïs et le blé, mais il pourrait également être appliqué avec succès à d'autres céréales, comme le sorgho, l'orge, l'avoine ou le riz. Les fractions obtenues lors de la séparation par voie humide pourraient trouver des applications plus larges dans les produits alimentaires et non alimentaires. Cependant, le procédé conventionnel est encore très gourmand en capital et en énergie pour trouver des méthodes alternatives (**Wronkowska, 2016**).

Le broyage humide conventionnel est un processus conçu pour la récupération et la purification de l'amidon et de plusieurs coproduits (germe, gluten, fibres et liqueur de trempage). La quantité totale d'amidon produit par l'industrie de la mouture humide aux États-Unis en 2004 s'élevait à 21,5 milliards de kg, y compris les amidons modifiés et les amidons utilisés pour la fabrication des édulcorants et la production d'éthanol (**Ramirez et al., 2008**).

Dans le broyage humide conventionnel, on utilise des graines décortiquées car les coques contiennent des constituants antinutritionnels qui sont libérés pendant l'extraction (**AACC, 2001**). Les graines décortiquées sont moulues en farine et traitées avec un agent de décomposition, généralement une solution alcaline, afin d'extraire les protéines. Les protéines sont ensuite éliminées par précipitation acide ou ultrafiltration. La fibre obtenue contient environ 4 à 8 % de protéines et 0,5 à 1,5 % de lipides.

La méthode conventionnelle de broyage humide implique le trempage des matières premières dans une solution d'acide sulfureux. Les coproduits et l'amidon obtenus sont ensuite séparés physiquement. Outre le fait qu'il demande beaucoup de temps et d'énergie, ce procédé est également peu respectueux de l'environnement en raison des grandes quantités de dioxyde de soufre (SO₂) nécessaires lors de l'étape de trempage. Lorsque l'acide sulfureux réagit avec l'eau, du SO₂ est produit (**Ramirez et al., 2009**). Dans l'atmosphère, le SO₂ peut réagir avec d'autres gaz polluants tels que le dioxyde d'azote (NO₂), formant ainsi des pluies acides. Il est également associé à de graves troubles respiratoires et irrite particulièrement les personnes asthmatiques (**Ramirez et al., 2009**). Le site processus traditionnel de trempage par broyage humide prend jusqu'à 36 heures (**Figure 7**).

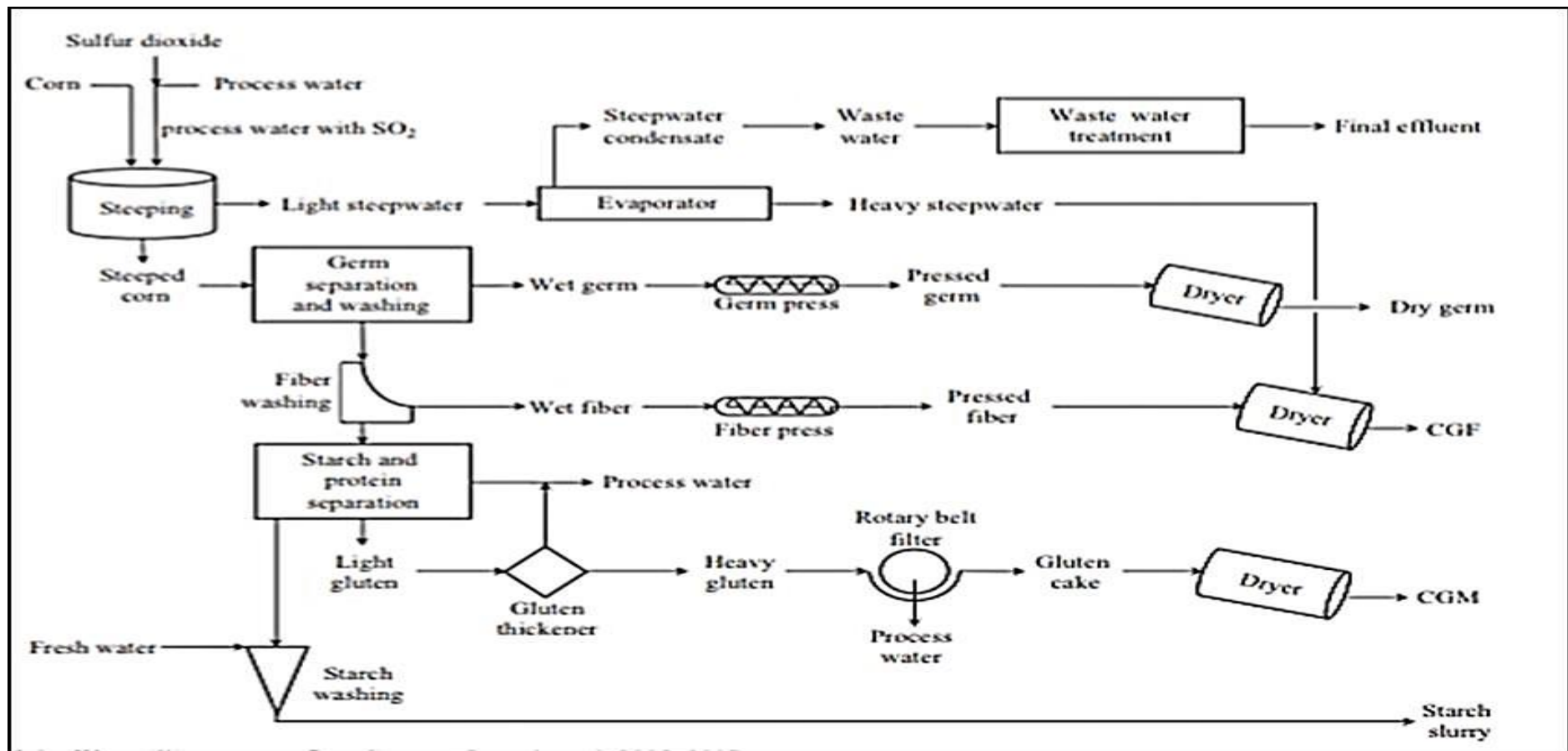


Figure 7 : Schéma général du processus de broyage humide conventionnel

(Rausch et al., 2019)

*** Broyage humide alcalin :**

Le broyage humide alcalin consiste à tremper la matière végétale étudiée dans du NaOH (pH 13) à 85°C (Eckhoffang *et al.*, 1999). Le matériel trempé est ensuite débranché, craqué et trempé dans du NaOH à 45°C, puis broyé en poudre. La poudre est ensuite mélangée au NaOH et la bouillie récupérée est dégermée, broyée, tamisée et lavée à travers des tamis. Le résidu est recueilli sous forme de fibres fines. La pureté la plus élevée des fibres alimentaires était de 84,18 g/100 g (Figure 8).

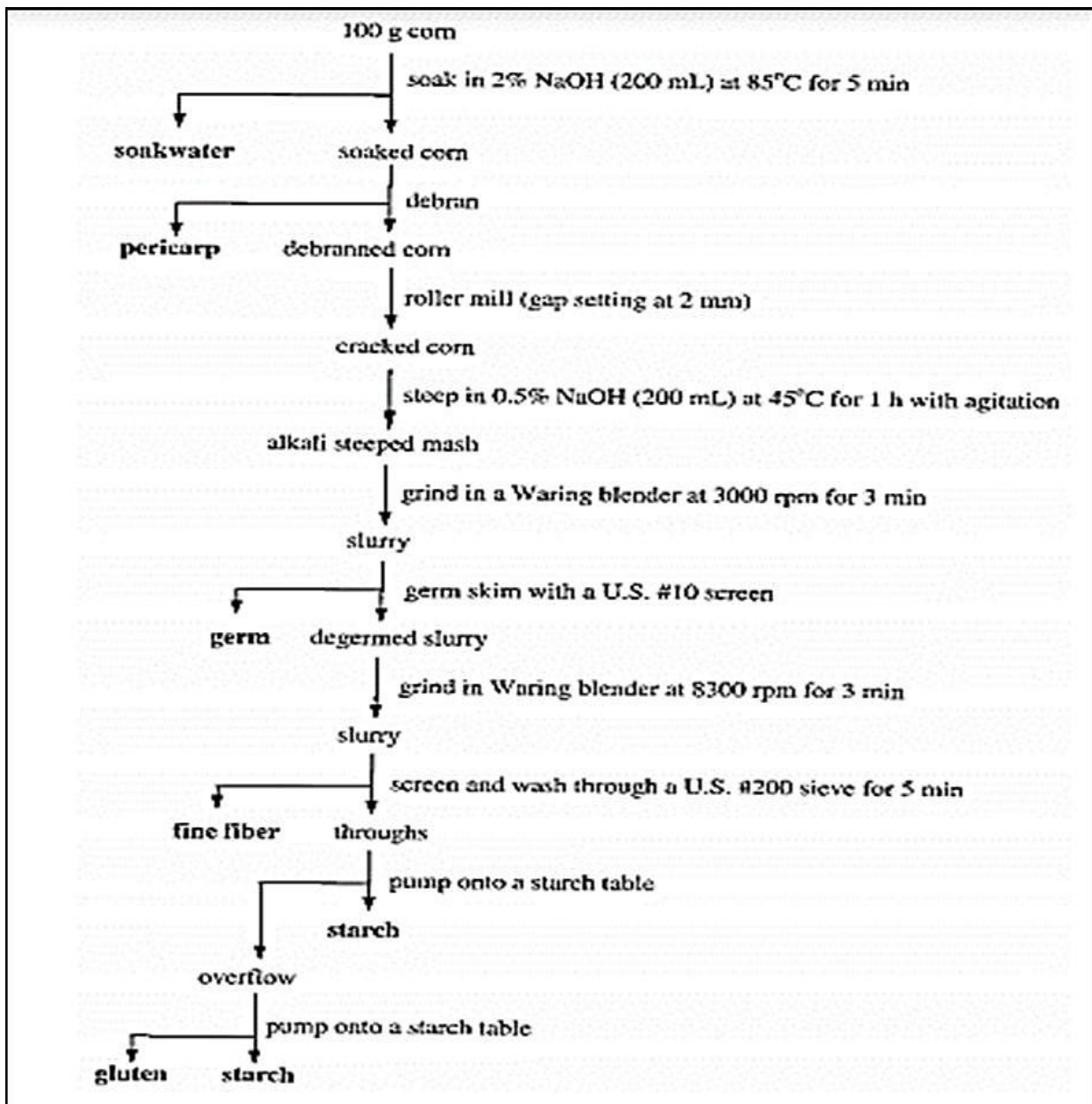


Figure 8 : Schéma de processus de broyage humide alcalin de maïs

(Eckhoffang *et al.*, 1999)

*** Broyage humide enzymatique :**

Pour aider à réduire les problèmes associés au SO₂, le broyage humide enzymatique a été développé comme une alternative (AACC, 1987). Dans ce processus, le SO₂ est réduit à des niveaux minimaux qui ne confèrent que des propriétés antimicrobiennes. Le temps de traitement du broyage humide enzymatique est réduit et permet donc d'économiser de l'énergie. Les enzymes couramment utilisées sont des protéases telles que les alcalases, qui solubilisent et hydrolysent la matrice du gluten (protéine), l' α -amylase stable à la chaleur, qui gélatinise, hydrolyse et dépolymérise l'amidon et l'amyloglucosidase, qui désintègre les fragments d'amidon en glucose (Ramirez et al., 2009). Les PNA inchangés sont récupérés par précipitation avec de l'éthanol, puis lavés et séchés. Les fibres obtenu(10,42 %) sont séparées et récupérées en éliminant l'amidon libre et les protéines en passant sur un tamis (Ramirez et al., 2009) (Figure 9).

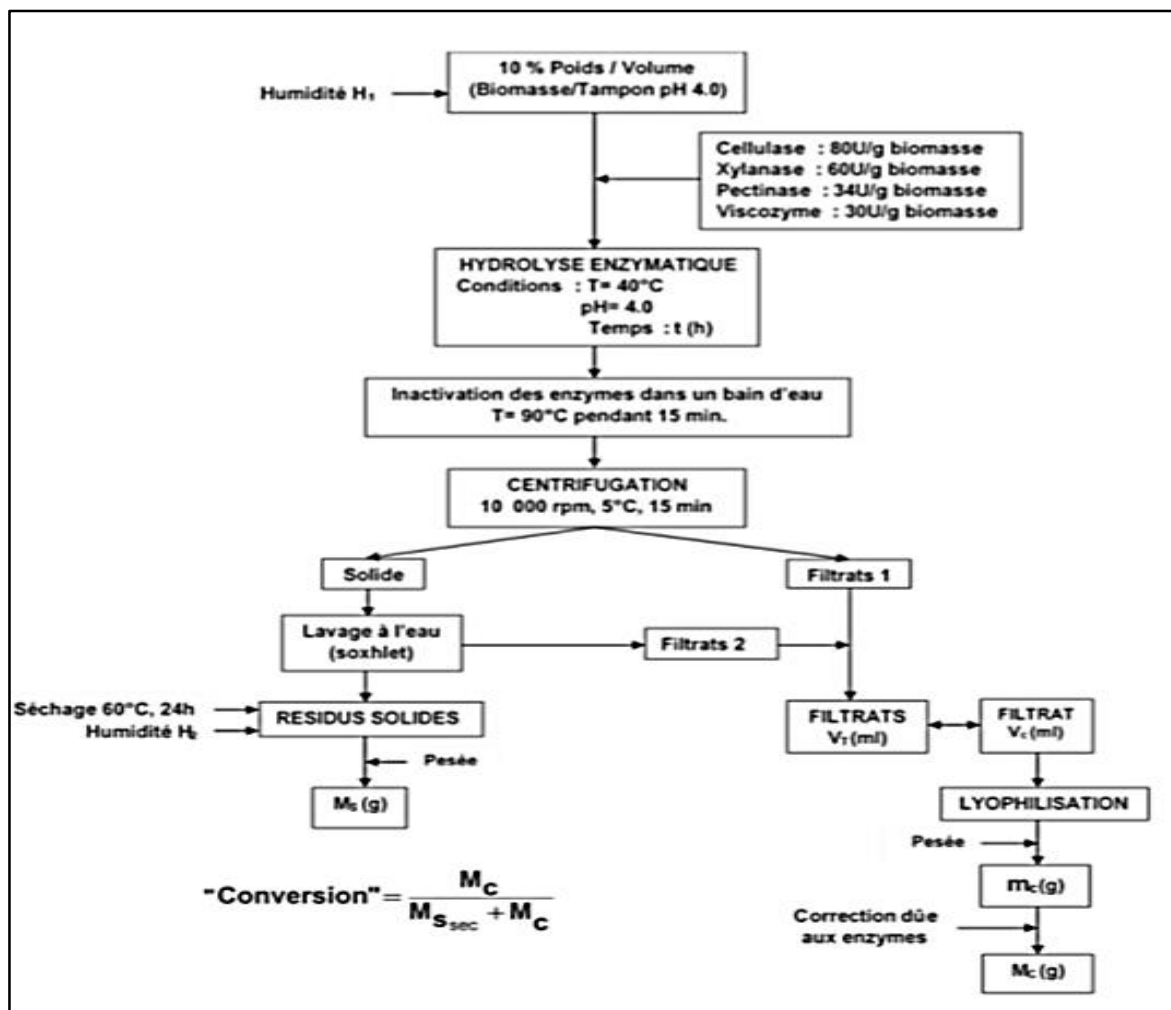


Figure 9 : Protocole de l'hydrolyse enzymatique et étapes analytiques pour déterminer la conversion (Ramirez et al., 2009)

* Broyage humide modifié :

Le broyage humide modifié est le plus rentable du groupe des méthodes de broyage humide, car il utilise un minimum de produits chimiques, donne des produits de grande pureté et utilise moins d'eau que les autres méthodes. La pureté des fibres extraites à l'aide de la méthode modifiée de broyage humide varie de 49,7 % à 89,6 %. Une méthode d'extraction idéale doit être abordable et produire des fibres de grande pureté (**Maphosa et Jideani, 2016**).

Le procédé de broyage humide amélioré convient aux applications alimentaires (**Anonymous, 2010**). Cette méthode implique l'utilisation d'eau et produit de haute pureté qui peut être utilisé pour un large éventail d'applications, y compris la recherche scientifique (**Bogacheva. et al., 2001**). La première étape consiste à broyer les graines jusqu'à ce que de très petites particules soient obtenues pour augmenter leur surface.

La protéine est ensuite extraite à un pH alcalin, suivie d'une précipitation acide (**Anonymous, 2010**). L'hydroxyde de sodium est généralement utilisé pour fournir un pH alcalin et HCl pour la précipitation acide (**Dalgetty et Baik, 2003**). Pour séparer les fibres insolubles, on utilise la différence des caractéristiques de gonflement des fractions. À température ambiante, la fibre a une grande capacité de gonflement, tandis que le gonflement de l'amidon est très limité. Ces différences de capacité de gonflement se traduisent par des tailles différentes. La partie insoluble de l'extrait est dispersée dans une grande quantité d'eau et tamisée à travers une série de tamis d'ouvertures allant de 30 à 300 µm. Le surnageant est principalement une dispersion de granules d'amidon. La plupart des granules d'amidon restants sont des fibres. Dans l'industrie, les fibres sont séchées par un épandeur spécialement construit. Pour la recherche scientifique, la lyophilisation des différentes parties est plus appropriée. La méthode de broyage humide améliorée utilise moins d'eau que la méthode de broyage humide traditionnelle. Le broyage humide amélioré ne nécessite que l'utilisation de produits chimiques (HCl et NaOH) pour ajuster le pH pendant la précipitation des protéines. La pureté des fibres solubles et insolubles de légumineuses extraites par la méthode de broyage humide sont respectivement de 83,3 à 89,6% et de 49,7 à 59,2% (**Maphosa et Jideani, 2016**) (**Figure 10**).

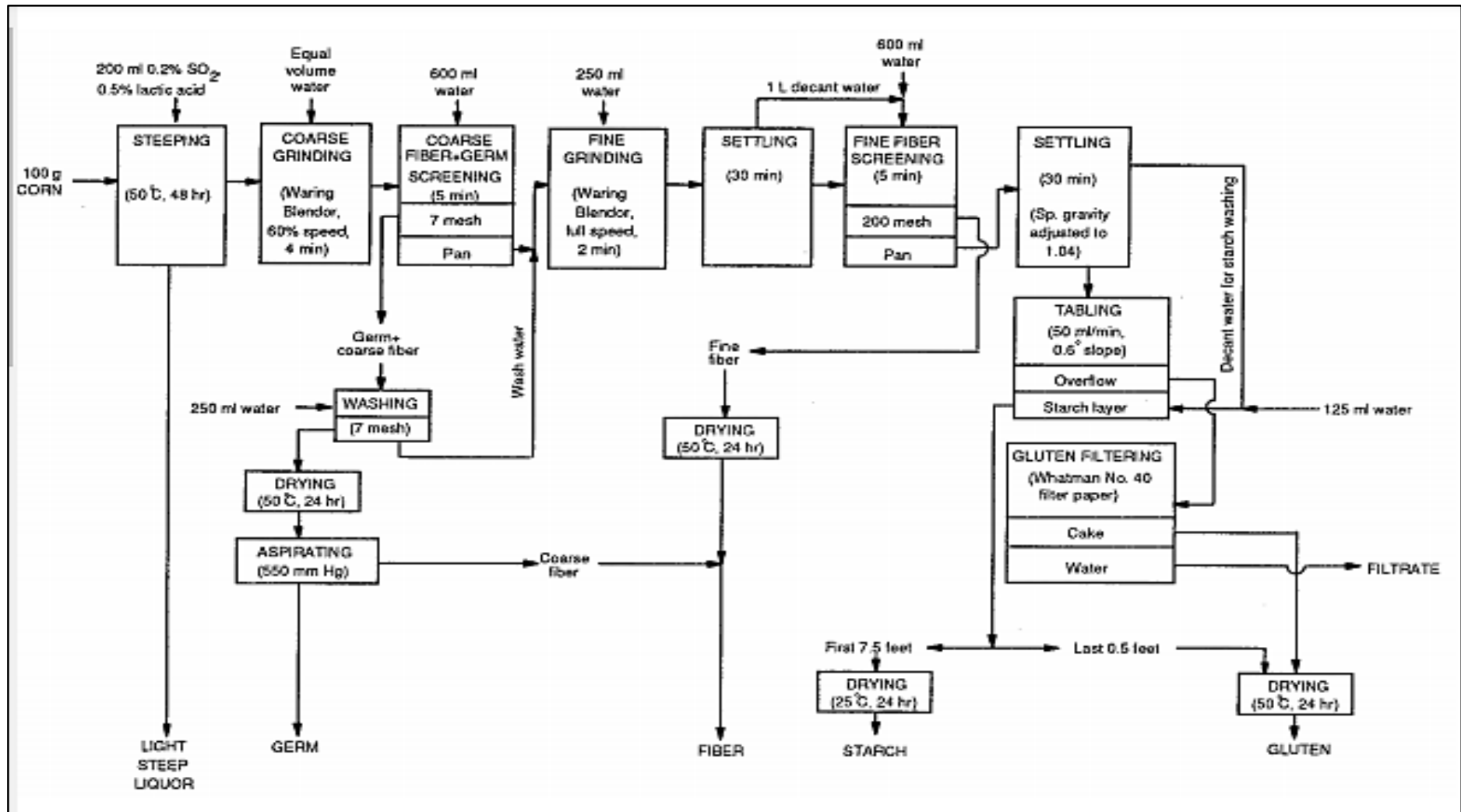


Figure 10 : Schéma de la procédure de broyage humide modifiée (Singh et al., 1997)

- **Méthodes physiques et microbiennes :**

Les méthodes physiques d'extraction des fibres préservent la structure des fibres et évitent d'endommager de manière significative la chaîne polymère. En conséquence, les fibres extraites ont tendance à avoir une capacité d'échange de cations élevée, car le groupe de la chaîne latérale reste presque intact (**Yangilar, 2013**) (**Figure 11**).

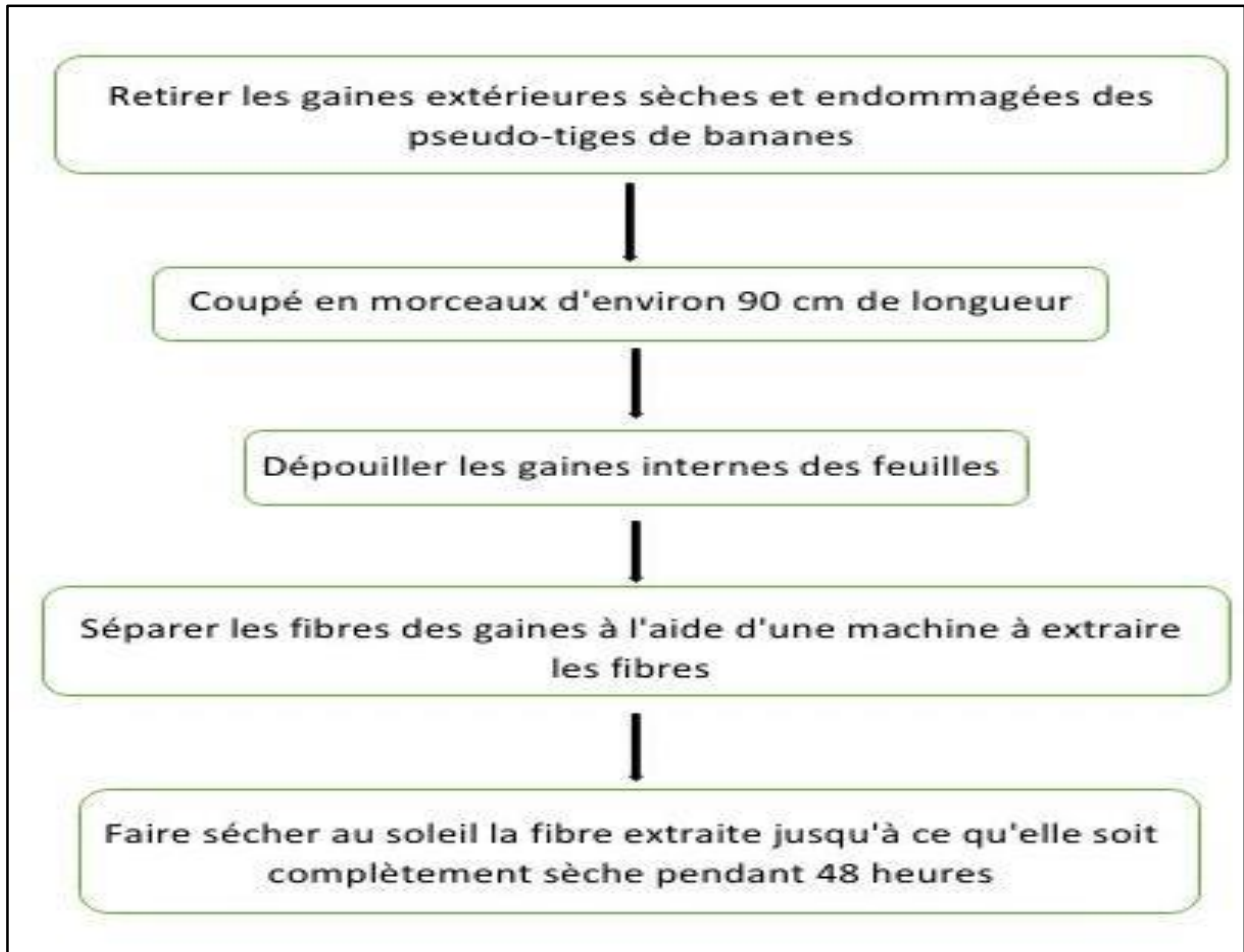


Figure 11 : Schéma du processus d'extraction physique de la fibre de banane

(**Yangilar, 2013**)

Les méthodes microbiennes impliquent la fermentation des fibres à l'aide de micro-organismes et d'enzymes. La plupart des méthodes connues sont très spécifiques et précises, les enzymes de grande pureté sont souvent utilisées pour éliminer sélectivement les oligosaccharides et les polysaccharides tels que les galactanes, les fructanes, les mannanes et les arabinanes (**Rodriguez et al., 2006**) (**Figure 12**).

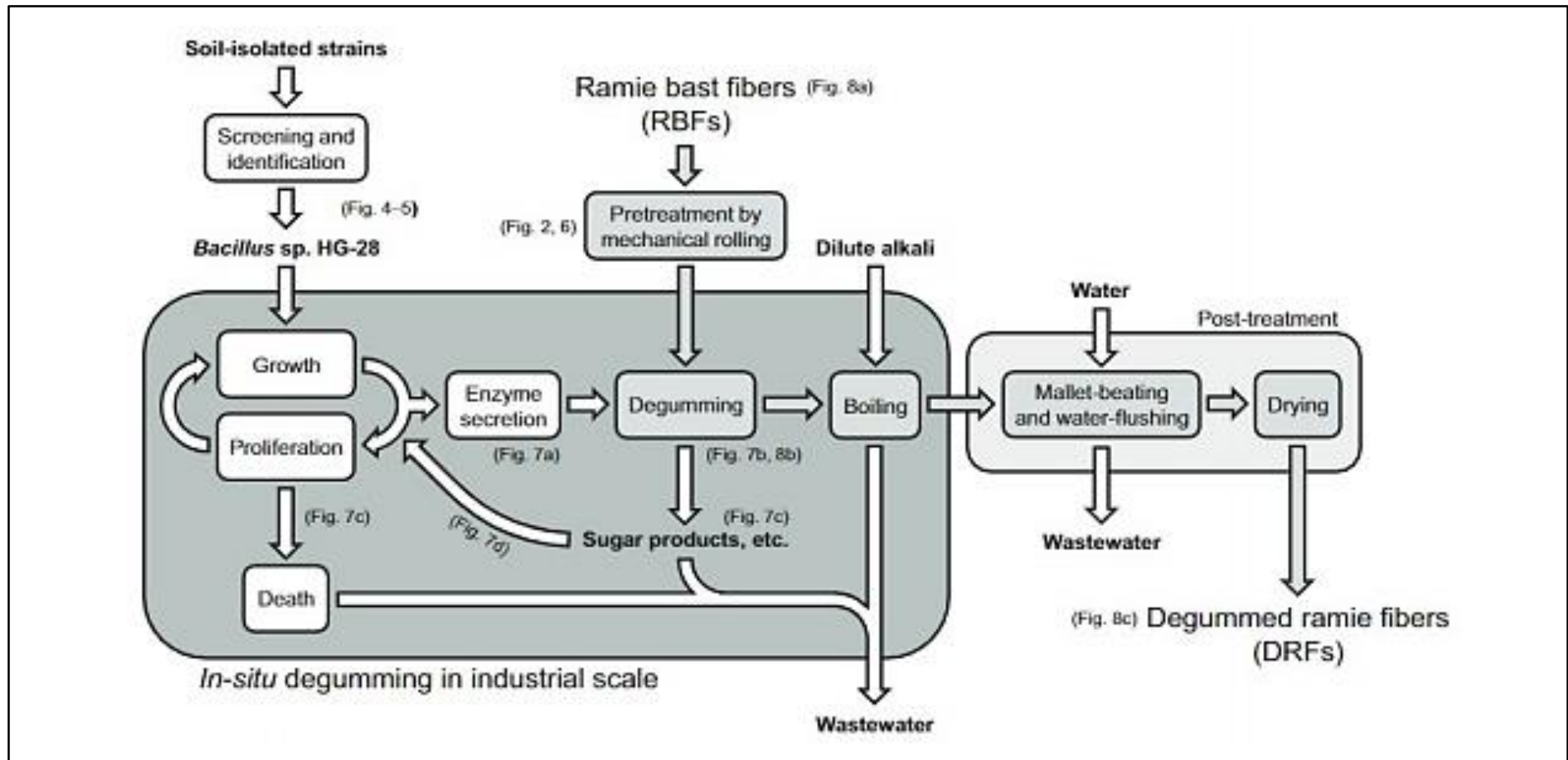


Figure 12 : Schéma détaillé pour le processus de technique microbien

(Rodriguez et al., 2006)

Certains des avantages de l'isolement microbien sont que la structure des fibres n'est pas déformée et que les hémicelluloses et les fibres solubles importantes ne sont pas perdues. En outre, les méthodes ont une grande sélectivité et sont faciles à manipuler. En revanche, il est suspecté que la fermentation microbienne produit des substances toxiques, ce qui rend les fibres extraites impropres à l'utilisation alimentaires (**Yangilar, 2013**).

- **Méthodes gravimétriques :**

- * **Méthodes gravimétriques non enzymatiques :**

Les méthodes gravimétriques non enzymatiques sont l'une des premières méthodes développées pour l'extraction des fibres. Ces méthodes comprennent une décomposition chimique hydrolytique ou oxydative laissant des fibres brutes. Ces méthodes peuvent être divisées en deux catégories (**Elleuch et al., 2010**). La première catégorie comprend les extractions par détergent acide et détergent neutre. La procédure acide-détergent isole la fibre brute comme la somme de la cellulose et de l'huile. La fibre brute est la somme de la cellulose, de la lignine et des hémicelluloses insolubles dans l'acide. Elle est cependant inadaptée aux plantes riches en fibres solubles. La deuxième catégorie fait appel à des enzymes de digestion des protéines et de l'amidon (**Maphosa et Jideani, 2016**). Discutée en détail dans le cadre des méthodes enzymatiques-gravimétriques le rendement maximal est de 13,96 %.

- * **Méthodes gravimétriques enzymatiques :**

La méthode enzymatique-gravimétrique a été développée par (**Prosky et al., 2008**) Cette méthode fait appel à l'élimination enzymatique de l'amidon et des protéines, suivie de la précipitation du concentré de fibres solubles à l'aide d'éthanol (**Dhingra et al., 2012**). La méthode gravimétrique commence l'utilisation d'alcalis et d'acides pour déterminer les fibres brutes dans les échantillons de plantes. Par l'AOAC pour inclure les aliments pour animaux. Cette méthode a encore été modifiée pour inclure l'utilisation d'enzymes pour éliminer l'amidon et solubiliser la fraction protéique (**AOAC, 2000**). La méthode modifiée implique l'élimination des graisses si elles sont présentes à plus de 10 %. La méthode enzymatique-gravimétrique a évolué pour utiliser l'acide 4-morpholine-éthanesulfonique-TRIS (MES-TRIS) à la place du tampon phosphate d'origine, ce qui permet d'économiser le temps et l'énergie associés aux ajustements continus du pH. Une méthode enzymatique-gravimétrique moderne consiste à suspendre les échantillons dans un tampon acétate à pH 5, puis à les digérer avec de l' α amylase thermostable à des températures comprises entre 95 et 100°C pendant 30 minutes à 1 heure pour digérer l'amidon. Les échantillons sont incubés à 60°C avec une protéase, puis digérés à

60°C avec de l'amyloglucosidase afin d'hydrolyser les fragments d'amidon en glucose (Salehifar et Fadaei, 2011). Les fibres solubles sont ensuite précipitées avec d'éthanol et les fibres totales sont récupérées par centrifugation avec de l'éthanol et de l'acétone et laissées sécher à température ambiante (Daou et Zhang, 2012). Les fibres ont été extraites du résidu de la noix de coco en utilisant de l'eau froide et légèrement alcaline, suivie d'une centrifugation à la température ambiante (7,5°C). Centrifugation à température ambiante (Verma. et Banerjee, 2010). Les résidus ont été extraits avec de l'EDTA. Les résidus résultants ont été lavés avec de l'éthanol et de l'eau déminéralisée, puis traités avec des enzymes comme indiqué dans la méthode enzymatique-gravimétrique (Verma. et Banerjee, 2010). La méthode enzymatique-gravimétrique a été appliquée pour extraire les fibres du son de riz dégraissé ; Cependant, l'alcalase a été utilisée comme enzyme de dégradation des protéines (Daou et Zhang, 2012). L'utilisation de la pepsine et de la pancréatine pour la digestion des protéines et de l'amidon est suggérée car ces enzymes imiteraient les enzymes digestives alimentaires (Figure 13).

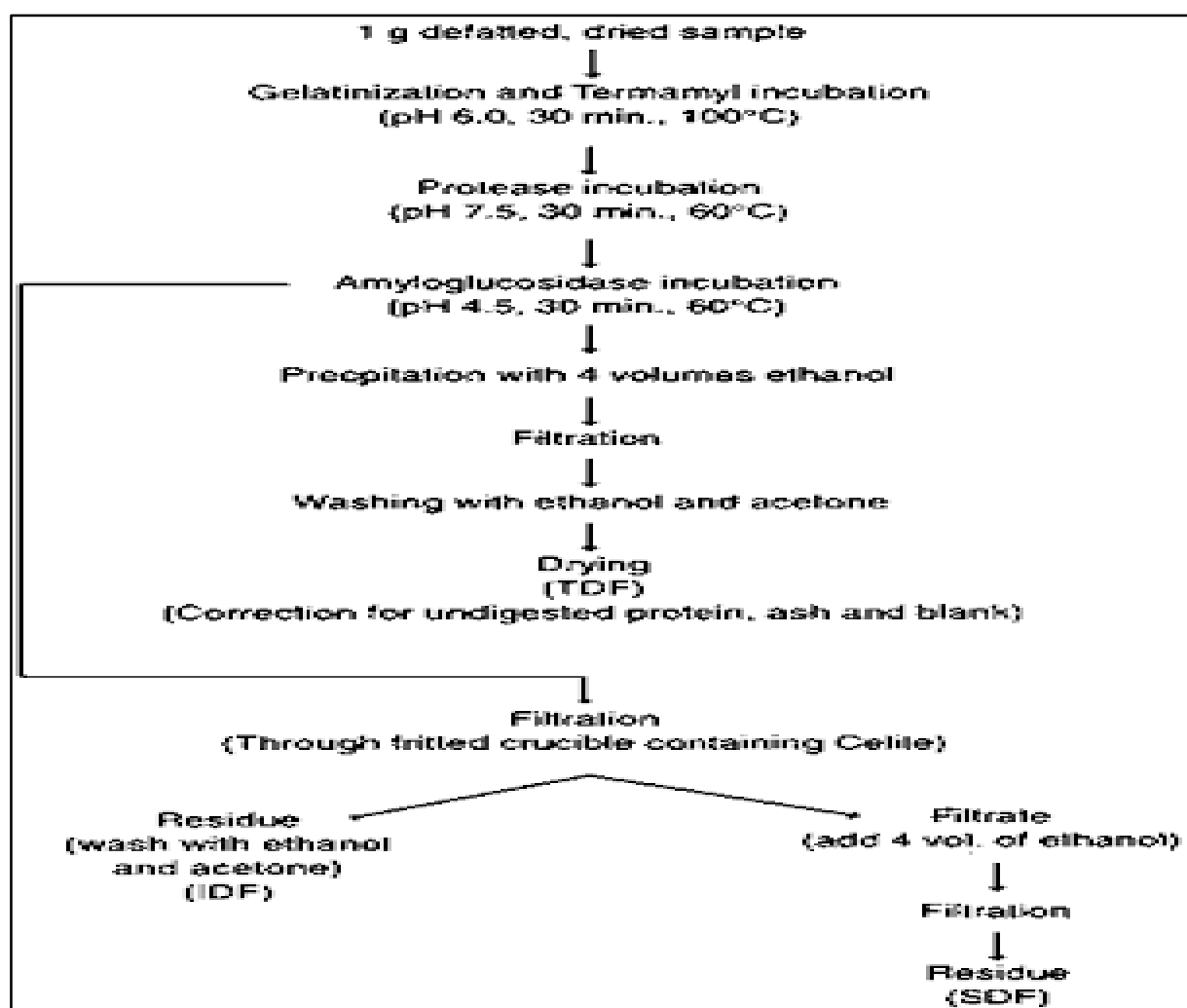


Figure 13 : Schéma de la méthode gravimétrique enzymatique (Daou et Zhang, 2012)

- **Méthodes enzymatique-chimiques :**

La méthode enzymatique-chimique a été décrite pour la première fois par **Southgate en 1969** et développée par **Englyst et al. en 1994**. Ces méthodes impliquent la digestion enzymatique des fractions non fibreuses et l'élimination chimique de ces fractions. Plus précisément, la méthode implique l'élimination enzymatique de l'amidon et l'utilisation de l'éthanol pour isoler le concentré de fibres solubles des produits de l'hydrolyse de l'amidon et de l'élimination chimique des fractions. L'éthanol est généralement employé dans ces méthodes pour précipiter les composants des fibres solubilisées comme dans les méthodes enzymatiques-gravimétriques (**Diedericks, 2014**).

Une étape cruciale a été l'élimination de tout l'amidon afin d'éviter la surestimation des FAT extraites. Ceci a été réalisé en utilisant du diméthyl-sulfoxyde (**Elleuch et al., 2010**). L'étape initiale de la méthode AACC implique la digestion à l'aide de H_2SO_4 suivie d'une filtration à l'eau et au NaOH. Les échantillons sont ensuite lavés avec du H_2SO_4 et de l'éthanol et séchés dans un four à moufle. La méthode d'extraction des fibres par l'alcool consiste à faire bouillir le matériau dans de l'eau pendant 3 heures. Et une extraction à l'aide d'éthanol à 95 %, suivie d'une agitation pendant une nuit et d'une filtration à travers un sac en nylon à l'aide d'une presse hydraulique (**Prakongpan et al., 2002**). La fibre est ensuite récupérée en séchant le résidu à l'air pendant 6 h. La fibre peut être soumise à une digestion alcaline, filtrée à travers une étamine puis séchée au four pendant la nuit (**Prakongpan et al., 2002**). Il est recommandé de réduire la concentration d'éthanol utilisée pour la précipitation des fibres solubles de 76% à une concentration comprise entre 41% et 56% afin de réduire les coûts et de limiter la contamination chimique de l'environnement (**Prakongpan et al., 2002**) (**Figure 14**).

Cette procédure pour les fibres alimentaires, mesurées en tant que polysaccharides non amylicés, a évolué à partir des principes établis par Southgate en 1969. L'élimination enzymatique de l'amidon et dans certains cas, des protéines, est également une première étape essentielle des méthodes enzymatiques-chimiques. La précipitation avec de l'éthanol aqueux ou la dialyse permet de séparer les polysaccharides solubles des fibres alimentaires, des sucres de faible poids moléculaire et des produits d'hydrolyse de l'amidon. La séparation par dialyse est préférable à la précipitation à l'éthanol, afin d'éviter la perte de fibres solubles (**Elleuch et al., 2010**).

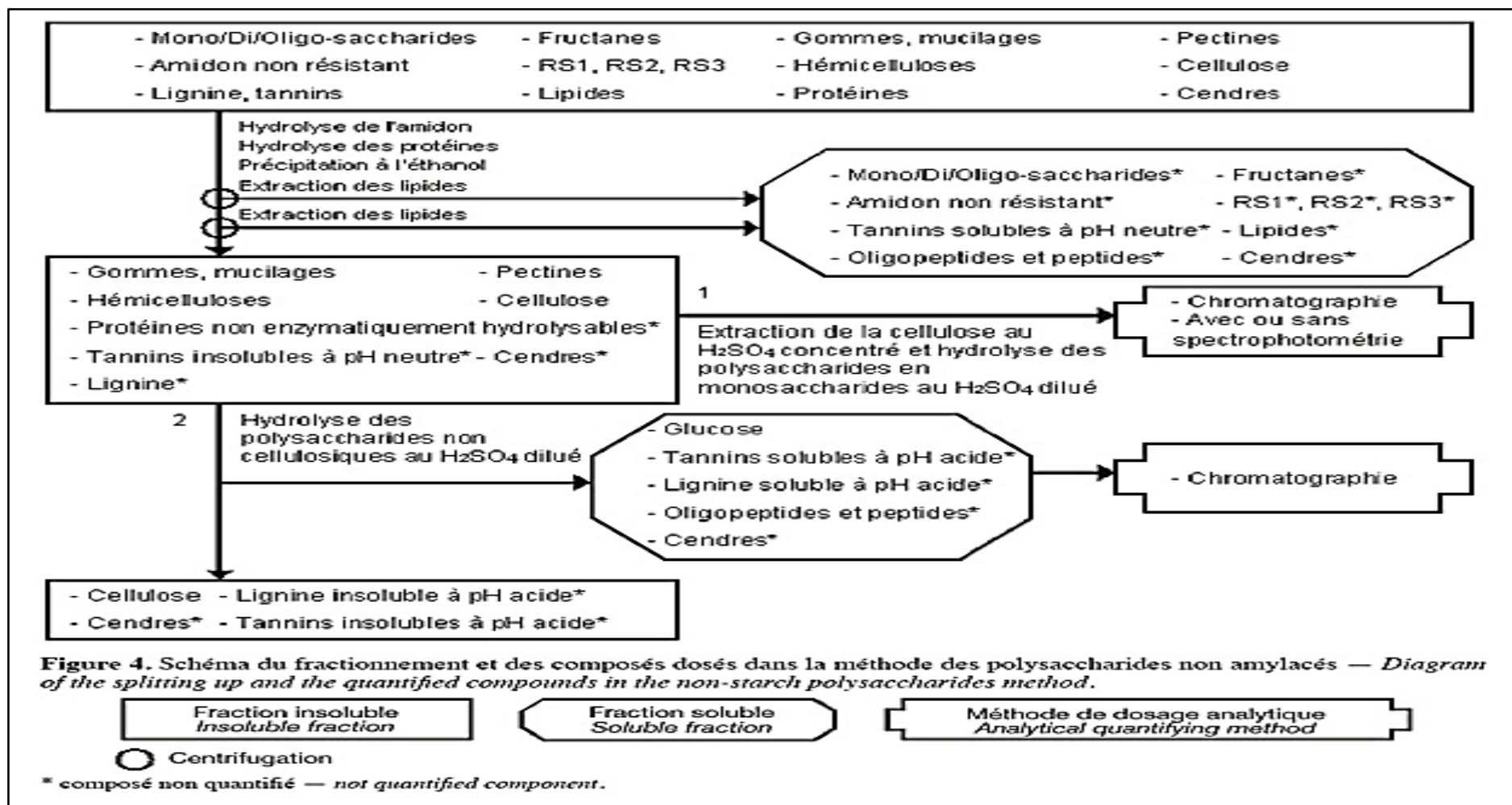


Figure 14 : Schéma de processus d'extraction par voie enzymatique et chimique des différentes molécules de la biomasse ligno-cellulosique (Englyst et Cummings, 1987)

- **Extraction des différents constituants de la fibre :**

Les substances pectiques insolubles peuvent être extraites du matériel végétal en utilisant une solution d'oxalate d'ammonium chauffée, suivie d'une filtration, d'un lavage à l'éthanol et à l'eau distillée. Les hémicelluloses peuvent être extraites de la fibre dépectinée par centrifugation des échantillons avec 5% de KOH. Le résidu appelé ligno-cellulose est ensuite centrifugé avec de l'acide acétique à 50% à un pH de 5,0 à 5,5. Le résidu est séché sous forme d'hémicellulose. La cellulose peut être extraite en utilisant du KMnO_4 mélangé à un tampon de lignine dans un taux de 2:1, suivi de l'ajout d'une solution déminéralisée. La lignine peut être extraite à l'aide de H_2SO_4 à la température de réfrigération. On ajoute ensuite de l'eau distillée froide et, après la précipitation, on élimine l'acide par lavage. Le résidu avec de l'eau distillée chaude. La lignine brute peut ensuite être séchée à l'air (Verma et Banerjee, 2010).

- **Optimisation des méthodes d'extraction des fibres :**

Une méthode d'extraction des fibres alimentaires solubles du blé, du seigle, de l'orge, de l'avoine, des pommes de terre, des carottes, laitue et des pois a été optimisée. L'étude a comparé quatre conditions d'extraction :

- 1) Tampon acétate à pH 5, 96°C pendant 1 h suivie d'une dégradation de l'amidon à 60°C pendant 4 h.
- 2) Extraction à l'eau à 38°C pendant 2 h.
- 3) Tampon HCl/KCl à pH 1,5 à 38°C pendant 2 h.
- 4) Prétraitement à l'éthanol absolu à 96°C pendant 1 h suivi de la dégradation de l'amidon à 60°C pendant 4 h absolu à 96°C pendant 1 h suivi d'une extraction à l'eau à 38°C pendant 2 h.

L'extraction à haute température a donné le meilleur rendement d'extraction tandis que l'extraction acide a donné le plus faible. Les carottes ont donné les FAT les plus élevées et les pommes de terre les moins élevées. Les chercheurs ont conclu que les conditions d'extraction affectent le rendement et la composition des fibres résultantes. L'extraction des fibres alimentaires des graines de dattes a été optimisée. Les graines ont été séchées à 50°C pendant 2 jours, broyées et les fibres ont été extraites en utilisant de l'eau pour certains échantillons et de l'acétone pour d'autres. Après agitation pendant 1 h à 40°C, centrifugation et filtration, la butanone et le butanol ont été utilisés pour purifier les fibres. Le résidu a été séché à 60°C et broyé en tant que concentré de fibres alimentaires. Les chercheurs ont conclu que l'utilisation

d'une extraction à l'eau suivie d'une purification au butanol donne le taux le plus élevé de fibres alimentaires (**Maphosa et Jideani, 2016**).

2.2. Comparaison des méthodes d'extraction des fibres :

Les méthodes de traitement à sec conviennent aux plantes dont l'amidon est le principal matériau de stockage. Ces méthodes nécessitent une classification répétée pour purifier les fractions, ce qui constitue un inconvénient car cela réduit la récupération du produit (**Bogracheva et al., 2001**). Le procédé conventionnel de broyage par voie humide utilise de grandes quantités de SO₂ pendant l'étape de trempage. Le SO₂ n'est pas respectueux de l'environnement car il réagit avec d'autres gaz polluants tels que le NO₂ dans l'atmosphère, formant ainsi des pluies acides. Il est également associé à de graves troubles respiratoires et irrite particulièrement les personnes asthmatiques (E. A. Ramirez et al., 2009). Le processus conventionnel de trempage par broyage humide prend beaucoup de temps. Pouvant prendre jusqu'à 36 heures. L'évaporation de l'eau de trempage représente jusqu'à 21 % du capital et de l'énergie totaux, ce qui la rend très coûteuse (**Eckhoffang et al., 1999**).

La méthode de broyage humide à l'alcali est aussi fastidieuse et longue que la méthode conventionnelle. Le processus produit cependant un flux d'eaux usées relativement acceptable pour l'environnement (**Eckhoffang et al., 1999**).

La méthode de broyage humide enzymatique a été mise au point pour surmonter les problèmes associés à la méthode de broyage humide classique. Dans cette méthode, le SO₂ est réduit à des niveaux minimaux pour conférer des propriétés antimicrobiennes et le temps de traitement est également réduit (**Prosky et al., 2008**).

La méthode modifiée de broyage par voie humide implique l'utilisation d'eau et permet d'obtenir des produits d'une grande pureté qui peuvent être utilisés pour un grand nombre d'applications, y compris la recherche scientifique (**Bogracheva et al., 2001**). La méthode de broyage humide modifiée utilise beaucoup moins d'eau que la méthode traditionnelle de broyage par voie humide et ne nécessite pas l'utilisation de produits chimiques (**Dalgetty et Baik, 2003**).

Les méthodes enzymatiques-gravimétriques extraient un groupe de polysaccharides, la lignine, certains amidons résistants, cires, produits de la réaction de Maillard et composés phénoliques. Elles donnent un rendement en fibres supérieur de presque deux fois par rapport aux méthodes enzymatiques-chimiques (**Salehifar et Fadaei, 2011**). Elles sont également

rapides, plus faciles d'effectuer et ne surestiment pas les fibres (**Dhingra et al., 2012**). La limitation de ces méthodes est que certains polysaccharides insolubles, la lignine et tous les polysaccharides solubles sont perdus. Le résidu obtenu contiennent également de la matière azotée et les oligosaccharides et l'amidon résistant ne sont pas quantifiés (**Gordon et Okuma, 2002**). La dialyse, qui est employée dans la purification des fibres solubles, est coûteuse.

La méthode chimique enzymatique est plus rapide et plus facile à réaliser que les méthodes gravimétriques non enzymatiques (**Caprita et Caprita, 2011**). Cependant, elle est peu respectueuse de l'environnement en raison de l'utilisation de divers produits chimiques qui, s'ils ne sont pas correctement manipulés ou éliminés, constituent une menace pour l'environnement (**Al-Farsi et Lee, 2005**). Ces méthodes sont également fastidieuses, prennent du temps et les produits chimiques sont également préoccupants en raison de la possibilité de résidus de solvants dans le produit (**Dhingra et al., 2012**).

Les méthodes non enzymatiques-gravimétriques font également appel à des produits chimiques et isolent la cellulose, la lignine et les hémicelluloses insolubles dans l'acide. L'utilisation de produits chimiques améliore l'élimination de l'amidon et des protéines, fournissant ainsi une fibre de grande pureté. Cependant, les méthodes chimiques ont une faible sélectivité et les conditions d'extraction sont difficiles à contrôler, ce qui limite leur utilisation (**Yangilar, 2013**). En outre, solutions alcalines dissolvent les hémicelluloses et certaines fibres solubles, les rendant ainsi indisponibles dans la fibre extraite (**Daou et Zhang, 2012**). Une méthode d'extraction idéale doit être respectueuse de l'environnement, sûr, facile à mettre en œuvre et rentable. Les produits chimiques, les enzymes et les équipements utilisés dans de nombreuses méthodes ont tendance à être très coûteux. La méthode de broyage humide utilise de l'eau et un minimum de produits chimiques, ce qui en fait l'une des méthodes d'extraction de fibres les plus rentables. **Le tableau 5** résume les avantages et les inconvénients des différentes méthodes discutées dans ce travail.

La connaissance des avantages et des limites des méthodes d'extraction est importante lors de la sélection d'une méthode pour extraire un type particulier de fibres d'une certaine plante. Une méthode qui est moins coûteuse et qui utilise un minimum de produits chimiques. Au fil des ans. Avec les progrès de la technologie et l'augmentation des connaissances, des méthodes d'extraction de fibres plus efficaces, plus robustes et plus reproductibles pourront être développées (**Bach Knudsen, 2001**). Cependant, les travaux réalisés sur les méthodes d'extraction des fibres sont encore très limités et des recherches supplémentaires sont nécessaires.

Tableau 05 : Avantages et limites des méthodes d'extraction des fibres.

Méthode	Avantages	Limites	Références
Traitement à sec	-Réduction de la consommation d'eau et d'énergie. -Pas d'utilisation de réactifs.	-Uniquement pour les usines dont l'amidon comme principal stockage. -Faible rendement.	(E. A. Ramirez et al., 2009)
Broyage Conventionnel humide	- Quantité appréciable de fibres obtenue.	-Grandes quantités de SO ₂ . -Consommation de temps. -Très coûteux.	(Salehifar et Fadaei, 2011)
Broyage humide alcalin	-Moins d'eaux usées produites Fastidieux.	-Consommation de temps.	(AACC, 1987)
Broyage humide enzymatique	-Réduction du SO ₂ au minimum. -Temps de traitement réduit.	Résidus éventuels de SO ₂ dans le produit.	(Salehifar et Fadaei, 2011)
Broyage humide modifié	-Produits de haute pureté. -Beaucoup moins d'eau utilisée. -Pas de produits chimiques.	-Eaux usées.	(Ojimelukwe, 2009)
Gravimétrique Enzymatique	-Rendement plus élevé qu'enzymatique-chimique. -Rapide et facile à mettre en œuvre.	-Certaines fibres insolubles, lignine et toutes les fibres solubles sont perdues. -Les résidus contiennent des matières azotées	(Gordon et Okuma, 2002)
Enzymatique-chimique	-Rapide et facile à réaliser par rapport à la gravimétrie enzymatique.	-Résidus chimiques dans les produits. -Consommation de temps.	(Dhingra et al., 2012)
Gravimétrique non enzymatique	-Fibres de grande pureté.	-Faible sélectivité. -Conditions d'extraction difficiles à contrôler.	(Mwaikambo, 2006)
Physiques	-Structure des fibres préservée.	-Peu crédible.	(Mwaikambo, 2006)
Microbiennes	-Structure des fibres maintenue. -Haute sélectivité. -Facile à manipuler.	-Substances toxiques produites.	(Mwaikambo, 2006)

Conclusion

Conclusion

Les données scientifiques restent contradictoires sur certains effets des fibres. Les fibres alimentaires ont plusieurs effets protecteurs contre les maladies chroniques, notamment les maladies cardiovasculaires, le diabète, le syndrome métabolique, le syndrome inflammatoire de l'intestin, l'obésité et le cancer colorectal dans l'analyse ajustée selon l'âge.

Présentes dans de nombreux aliments, les fibres sont parfois difficiles à identifier et beaucoup de gens ignorent leurs véritables bénéfices ou encore ne connaissent pas les recommandations de leur consommation dont elles font l'objet.

En 2016, l'activité des industries agroalimentaires a généré 3,8 millions de tonnes de déchets non dangereux, dont 70 % sont issus d'animaux ou de végétaux. Ces déchets dits organiques sont quasiment tous réutilisés, comme matière première ou pour la production d'énergie. Souvent mélangés à de la matière organique, les déchets banals des industries agroalimentaires (papier, cartons, plastiques...) ne sont triés que pour moitié et sont alors majoritairement recyclés. La moitié des établissements agroalimentaires conçoivent surtout la gestion des déchets comme une préoccupation environnementale, un quart comme une contrainte.

Gestion des problèmes environnementaux dans les industries agroalimentaires apporte une vision d'ensemble de la gestion de ces problèmes. Il les considère dans leur double aspect théorique et pratique et propose de nombreux exemples qui contribuent à élaborer des stratégies de traitement et à mettre en œuvre des solutions concrètes dans une perspective de développement durable.

Dans ce travail, nous avons cherché et comparé certaines différentes méthodes d'extraction et purification des fibres alimentaires face à plusieurs avantages et limites mais nous avons préféré la méthode physique car elle garde la structure des fibres, plus que ça peu crédible par rapport à autres méthodes qui sont très coûteux, fait par des produits chimiques toxiques et sont mal au environnement.

De plus, notre étude met en valeur les différents domaines d'utilisation des fibres alimentaires tels que les domaines industriels, pharmaceutiques et non-alimentaires dans un but de valorisation des déchets issu de l'industrie agro-alimentaires.

Références Bibliographiques

Références bibliographiques

A

AACC. (1987). Chemistry and Technology; St. Paul Minnesota : 1987. *Acta Tropica*, 32(3), 267- 272.

AACC. (2001). The definition of dietary fiber : American Association of Cereal Chemists. *Cereal Food. World.* 2001, 46, 112-126. *Acta Virologica*, 19(6), 501- 508.

Abd-Talib et al. (2014). Effect of pH on ionic exchange and function in rat and rabbit myocardium. *The American Journal of Physiology*, 229(3), 570- 581.

Ahmed, F., Sairam, S., et Urooj, A. (2011). In vitro hypoglycemic effects of selected dietary fiber sources. *Journal of Food Science and Technology*, 48(3), 285- 289.
<https://doi.org/10.1007/s13197-010-0153-7>

Al-Farsi, M. A., et Lee, C. Y. (2005). Optimization of phenolics and dietary fibre extraction from date seeds. *Food Chem.* 2008, 108, 977-985. *The American Journal of Gastroenterology*, 64(5), 365- 370.

Alrefaai, L., Cade, J. E., et Burley, V. J. (2013). Dietary fibre intake and constipation in the UK Women’s Cohort Study. *Proc. Nutr. Soc.* 72, E287–E287 (2013). *American Journal of Obstetrics and Gynecology*, 124(3), 263- 267. [https://doi.org/10.1016/0002-9378\(76\)90154-x](https://doi.org/10.1016/0002-9378(76)90154-x)

Amiri, M. S., Mohammadzadeh, V., Yazdi, M. E. T., Barani, M., Rahdar, A., et Kyzas, G. Z. (2021). Plant-Based Gums and Mucilages Applications in Pharmacology and Nanomedicine : A Review. *Molecules*, 26(6), 1770.
<https://doi.org/10.3390/molecules26061770>

Anderson, et Berry. (2000). Sensory, shear, and cooking properties of lower-fat beef patties made with inner pea fiber. *Journal of Food Science*, 65(5), 805–810. *Acta Virologica*, 19(6), 500.

Anonymous. (2010). Processing methods for dry peas, lentils & chickpeas; USA Dry Pea & Lentil Council, Moscow, 2010. *The American Journal of Medical Technology*, 41(12), 457- 462.

AOAC. (2000). Method 991.43 for soluble and insoluble dietary fibre; Association of Analytical Communities : Gaithersburg, MD. 2000. *Acta Virologica*, 19(6), 500.

Azmir, et al. (2013). Rapid infusion of sodium bicarbonate and albumin into high-risk premature infants soon after birth : A controlled, prospective trial. *American Journal of Obstetrics and Gynecology*, 124(3), 263- 267.

B

Bach Knudsen, K. E. (2001). The nutritional significance of « dietary fiber » analysis, *Anim. Feed Sci. Technol.* 2001, 90, 3-20. *Acta Virologica*, 19(6), 501- 508.

Benitez, V., Rebollo-Hernanz, M., Hernanz, S., Chantres, S., Aguilera, Y., et Martin-Cabrejas, M. A. (2019). Coffee parchment as a new dietary fiber ingredient : Functional and physiological characterization. *Food Research International*, 122, 105- 113.

<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.04.002>

Biswas, A. K., Kumar., V., Bhosle., S., Sahoo, J., et Chatli, M. K. (2011). Dietary fibers as functional ingredients in meat products and their role in human health. *Inter. J. Livest Prod.* 2011, 2, 45-54. *American Journal of Mental Deficiency*, 80(4), 388- 393.

Bland, R. D., Clarke, T. L., et Harden, L. B. (2013). Rapid infusion of sodium bicarbonate and albumin into high-risk premature infants soon after birth : A controlled, prospective trial. *American Journal of Obstetrics and Gynecology*, 124(3), 263- 267.

[https://doi.org/10.1016/0002-9378\(76\)90154-x](https://doi.org/10.1016/0002-9378(76)90154-x)

Bogracheva., T., Cserhalmi, Z., Czukor, B., Fornal, J., Schuster-Gajzago., L., Kovacs, E. T., Lewandowicz, G., et Soral-Smietana, M. (2001). Carbohydrates in Grain Legume Seeds : Improving Nutritional Quality and Agronomics characteristics; CABI Publishing, New York : 2001; 89-92 pp. *Acta Virologica*, 19(6), 501- 508.

Bourmaud et al, (2018). Oxygenation of frog gastric mucosa in vitro. *The American Journal of Physiology*, 229(6), 1510- 1513.

Bourmaud et Baley. (2010). Use of the latent image technique to develop and evaluate problem-solving skills. *The American Journal of Medical Technology*, 41(12), 457- 462.

C

Caprita, R., et Caprita, A. (2011). Chemical Methods for the Determination of Soluble and Insoluble Non-Starch Polysaccharides – Review. *J Anim. Sci Biotech.* 2011, 44, 73-80.
American Journal of Mental Deficiency, 80(4), 388- 393.

Cardoso, Mendes, et Nunes. (2007). Effect of transglutaminase and carrageenan on restructured fish products containing dietary fibres. *International Journal of Food Science and Technology*, 42, 1257–1264. *The American Journal of Gastroenterology*, 64(5), 365- 370.

Cruz-Requena, M., Escobedo-García, S., Salas-Tovar, J. A., Mora-Cura, Y., Chávez-González, M. L., Castillo-Reyes, F., Flores-Gallegos, A. C., & Rodríguez-Herrera, R. (2019). Definitions and Regulatory Perspectives of Dietary Fibers. In *Dietary Fiber : Properties, Recovery, and Applications* (p. 1- 25). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816495-2.00001-0>

D

Dalgetty, et Baik. (2003). Isolation and characterization of cotyledon fibers from peas, lentils, and chickpeas. *Cereal Chemistry*, 80(3), 310–315. *American Journal of Diseases of Children (1960)*, 130(1), 39- 42.

Daou, C., et Zhang, H. (2012). Study on Functional Properties of Physically Modified Dietary Fibres Derived from Defatted Rice Bran. *J. Agric. Sci.* 2012, 4, 85-97. *American Journal of Obstetrics and Gynecology*, 124(2), 193- 195.

Del Campo, Alegría, Zazpe, et Echeverría. (2006). Diluted acid hydrolysis pretreatment of agri-food wastes for bioethanol production. *Industrial Crops and Products*, 24(3), 214–221. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 29(1), 105- 109.
<https://doi.org/10.1093/ajcn/29.1.105>

Dhingra, D., Michael, M., Rajput, H., et Patil, R. T. (2012). Dietary fibre in foods : A review. *J. Food Sci. Technol.* 2012, 49, 255 – 266. *American Journal of Obstetrics and Gynecology*, 124(2), 193- 195.

Diedericks, C. (2014). Functional properties of Bambara Groundnut (*Vigna Subterranea* (L) Verdc) non-starch polysaccharides in model and food systems. Masters in Food Technology

Thesis. Cape Peninsula University of Technology(2014), South Africa. *The American Journal of Physiology*, 229(3), 570- 581.

Dobia et al, (2010). Use of the latent image technique to develop and evaluate problem-solving skills. *The American Journal of Medical Technology*, 41(12), 457- 462.

E

Eckhoffang, S. R., Du, L., Yang, P., Rausch, K. D., Wang,, D. L., Li., B. H., et Tumbleson, M. E. (1999). Comparison between Alkali and Conventional Corn Wet-Milling : 100-g Procedures. *Cer. Chem.* 1999, 76, 96-99. *Acta Virologica*, 19(6), 498.

Elba, C., ANA, B., et Eva, G. (2017). Coffee berry processing by-product valorization : Coffee parchment as a potential fiber source to enrich bakery goods. *Journal of Food, Nutrition and Population Health* (2017), London, 1(2), 1-12. *The American Journal of Physiology*, 229(3), 754- 760.

Elleuch., M., Bedigian., D., Roiseux., O., Besbes, S., et Blecker, C. (2010). Dietary fibre and fiberich by-products of food processing; Characterisation technological functionality and commercial applications : A review. *Food Chem.* 2010, 124, 411-421. *The American Journal of Medical Technology*, 41(12), 457- 462.

Englyst, H. N., et Cummings, J. H. (1987). Improved Method for Measurement of Dietary Fiber as Non-Starch Polysaccharides in Plant Foods. *Journal of AOAC INTERNATIONAL*, 71(4), 808- 814.

Espinosa-Alonso et al. (2006). Nutrition education in the medical school curriculum : A proposal for action: a curriculum design. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 29(1), 105- 109.

Esteban, R. M., Mollá, E., et Benítez, V. (2017). Sources of Fiber. In *Dietary Fiber for the Prevention of Cardiovascular Disease* (p. 121- 146). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-805130-6.00007-0>

F

Figuerola, F., HurtadoF., M. L., Estevez., A. M., Chiffelle.,, L., et Asenjo., F. (2005). Fibre concentrates from apple pomace and citrus peel as potential fibre sources for food

enrichment. *Food Chem.* 2005, 91, 395-401. *The American Journal of Clinical Hypnosis*, 18(3), 200- 203. <https://doi.org/10.1080/00029157.1976.10403798>

Fuentes-Zaragoza, E., Riquelme-Navarrete, M. J., Sánchez-Zapata, E., & Pérez-Álvarez, J. A. (2010). Resistant starch as functional ingredient : A review. *Food Research International*, 43(4), 931- 942. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2010.02.004>

Fuller, S., Tapsell, L. C., et Beck, E. J. (2018). Creation of a fibre categories database to quantify different dietary fibres. *Journal of Food Composition and Analysis*, 71, 36- 43. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2018.05.004>

Furda, I. (1977). Fractionation and examination of biopolymers from dietary fibre. *Cereal Food World*. 1977, 22, 252-254. *Advances in Enzyme Regulation*, 13, 413- 433.

G

Garcia-Amezquita, L. E., Tejada-Ortigoza, V., Pérez-Carrillo, E., Serna-Saldívar, S. O., Campanella, O. H., et Welti-Chanes, J. (2019). Functional and compositional changes of orange peel fiber thermally-treated in a twin extruder. *LWT*, 111, 673- 681. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.05.082>

Garcia-Salas et al, M. L. (2010). Use of the latent image technique to develop and evaluate problem-solving skills. *The American Journal of Medical Technology*, 41(12), 457- 462.

Gill, S. K., Rossi, M., Bajka, B., et Whelan, K. (2021). Dietary fibre in gastrointestinal health and disease. *Nature Reviews Gastroenterology & Hepatology*, 18(2), 101- 116. <https://doi.org/10.1038/s41575-020-00375-4>

Gordon, D. T., et Okuma, K. (2002). Determination of Total Dietary Fiber in Selected Foods Containing Resistant Maltodextrin by Enzymatic-Gravimetric Method and Liquid Chromatography : Collaborative Study. *J AOAC Int.* 2002, 85, 435-444. *Acta Virologica*, 19(6), 509.

Gullón, P., Gullón, B., Romaní, A., Rocchetti, G., et Lorenzo, J. M. (2020). Smart advanced solvents for bioactive compounds recovery from agri-food by-products : A review. *Trends in Food Science & Technology*, 101, 182- 197. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.05.007>

H

Haak, B. W., Prescott, H. C., et Wiersinga, W. J. (2018). Therapeutic Potential of the Gut Microbiota in the Prevention and Treatment of Sepsis. *Front Immunol* 9, (2018) 292-2042. *The American Journal of Physiology*, 229(6), 1510- 1513.

Hernanz et al. (2008). Responses to drug therapy in ulcerative colitis. Evaluation by rectal biopsy and histopathological changes. *The American Journal of Gastroenterology*, 64(5), 365- 370.

I

Iriondo-DeHond, A., Iriondo-DeHond, M., et Del Castillo, M. D. (2020). Applications of Compounds from Coffee Processing By-Products. *Biomolecules*, 10(9), 1219. <https://doi.org/10.3390/biom10091219>

J

J. Guan, K. M., et Eskridge, M. A. (2005). Hanna-Acetylated starch polylactic acid loose-fill packaging materials, *Industrial Corps and Products* 22 (2005), 109-123. *The American Journal of Clinical Hypnosis*, 18(3), 200- 203.

Jacobs, L. R. (1986). Relationship between Dietary Fiber and Cancer : Metabolic, Physiologic, and Cellular Mechanisms. *Experimental Biology and Medicine*, 183(3), 299- 310.

K

Kim, J. T., et Netravali, A. N. (2012). Non-food application of camelina meal : Development of sustainable and green biodegradable paper-camelina composite sheets and fibers. *Polymer Composites*, 33(11), 1969- 1976. <https://doi.org/10.1002/pc.22337>

Kuo, S. M. (2013). The interplay between fiber and the intestinal microbiome in the inflammatory response. *Adv Nutr* 4, (2013) 16-28. *American Journal of Obstetrics and Gynecology*, 124(3), 263- 267.

Kvavadze et al. (2009). Biochemical and electrophoretic studies of erythrocyte pyridoxine kinase in white and black Americans. *American Journal of Human Genetics*, 28(1), 9- 17.

L

Lacy, B. E., et al. (2016). Bowel disorders. *Gastroenterology* 150, 1393–1407.e5 (2016). *The American Journal of Physiology*, 229(3), 746- 753.

Lattimer, J. M., et Haub, M. D. (2010). Effects of Dietary Fiber and Its Components on Metabolic Health. *Nutrients*, 2(12), 1266- 1289.

Lawther, J. M., Sun, R., et Banks, W. B. (1995). Extraction, fractionation, and characterization of structural polysaccharides from wheat straw. *J. Agric Food Chem.* 1995, 43, 667-675. *Acta Virologica*, 19(6), 489- 492.

Lebo, S. E., Gargulak, J. D., et McNally, T. J. (2001). Lignin. In John Wiley & Sons, Inc. (Éd.), *Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology* (p. 12090714120914.a01.pub2). John Wiley & Sons, Inc. <https://doi.org/10.1002/0471238961.12090714120914.a01.pub2>

Link et al. (2010). Cancer chemoprevention by dietary polyphenols: Promising role for epigenetics. *Biochemical Pharmacology. The American Journal of Medical Technology*, 41(12), 457- 462.

Liu, Y., Shi, J., et Langrish, T. (2006). Water-based extraction of pectin from flavedo and albedo of orange peels. *Chemical Engineering Journal*, 120(3), 203- 209.
<https://doi.org/10.1016/j.cej.2006.02.015>

M

Maphosa, Y., et Jideani, V. A. (2016). Dietary fiber extraction for human nutrition—A review. *Food Reviews International*, 32(1), 98- 115.
<https://doi.org/10.1080/87559129.2015.1057840>

Martín, M. A., Siles, J. A., Chica, A. F., et Martín, A. (2010). Biomethanization of orange peel waste. *Bioresource Technology*, 101(23), 8993- 8999.
<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2010.06.133>

McRorie et McKeown. (2017). Coronary vascular and myocardial responses to carotid body stimulation in the dog. *The American Journal of Physiology*, 229(3), 754- 760.

Menezes, E. W., Tadini, C. C., Tribess, T. B., Zuleta, A., Binaghi, J., Pak, N., & Lajolo, F. M. (2011). Chemical composition and nutritional value of unripe banana flour (*Musa*

acuminata, var. Nanicão. *Plant Foods Hum. Nutr* (2011)., 66(3), 231–237. *American Journal of Mental Deficiency*, 80(4), 388- 393.

Meyer, K. A., Kushi, L. H., Jacobs, D. R., Slavin,, J., Sellers, T. A., et Folsom, A. R. (2000). Carbohydrates, dietary fiber, and incident type 2 diabetes in older women. *Acta Virologica*, 19(6), 500.

Mohanty et al. (2018). Oxygenation of frog gastric mucosa in vitro. *The American Journal of Physiology*, 229(6), 1510- 1513.

Mohnen, D. (2008). Pectin structure and biosynthesis. *Current Opinion in Plant Biology*, 11(3), 266- 277.

Mongeau, R., et Brooks, S. P. J. (2016). Dietary Fiber : Properties and Sources☆. In *Encyclopedia of Food and Health* (p. 404- 412). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384947-2.00784-4>

Morowitz, M. J., Di Caro, V., Pang, D., Cummings, J., Firek, B., et Rogers, M. B. (2017). Dietary Supplementation With Nonfermentable Fiber Alters the Gut Microbiota and Confers Protection in Murine Models of Sepsis. *Crit Care Med* 45,(2017) e516-e523. *The American Journal of Physiology*, 229(3), 754- 760.

Mudgil, D. (2017). The Interaction Between Insoluble and Soluble Fiber. In *Dietary Fiber for the Prevention of Cardiovascular Disease* (p. 35- 59).

Mudgil et Barak. (2013). Rapid infusion of sodium bicarbonate and albumin into high-risk premature infants soon after birth : A controlled, prospective trial. *American Journal of Obstetrics and Gynecology*, 124(3), 263- 267.

Mwaikambo, L. Y. (2006). Review of the history, properties and application of plant fibres. *Afric. J. Sci. Technol.* 2006, 7, 120-133. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 29(1), 105- 109.

N

National Institute for Health and Care Excellence. Irritable bowel syndrome in adults : Diagnosis and management NICE, 2017. (2017). *The American Journal of Physiology*, 229(3), 754- 760. <https://doi.org/10.1152/ajplegacy.1975.229.3.754>

Nie, Y., et Luo, F. (2021). Dietary Fiber : An Opportunity for a Global Control of Hyperlipidemia. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 2021, 1- 20.
<https://doi.org/10.1155/2021/5542342>

O

Ojimelukwe, P. C. (2009). Sourcing and Processing of Legumes. Raw Materials Research and Development Council, Abuja,2009. *American Journal of Human Genetics*, 28(1), 9- 17.

OMS. (1999). OMS ARTICLE. *Acta Virologica*, 19(6), 498.

P

Palsson, O. S., et al. (2016). diagnostic questionnaires and tables for investigators and clinicians. *Gastroenterology* 150, 1481–1491 (2016). *The American Journal of Physiology*, 229(3), 746- 753.

Park, Y. ;, Brinton, L. A., Subar, A. F., Hollenbeck, A., et Schatzkin, A. C. (2009). Dietary fiber intake and risk of breast cancer in postmenopausal women : The National Institutes of Health-AARP Diet and Health Study. *Am. J. Clin. Nutr.* 2009, 90, 664-671.
American Journal of Human Genetics, 28(1), 9- 17.

Poole-Wilson, P. A., et Langer, G. A. (2014). Effect of pH on ionic exchange and function in rat and rabbit myocardium. *The American Journal of Physiology*, 229(3), 570- 581.
<https://doi.org/10.1152/ajplegacy.1975.229.3.570>

Prakongpan., T., Nitithamyong., A., et Luangpituksa, P. (2002). Extraction and Application of Dietary Fiber and Cellulose from Pineapple Cores. *J. Food Sci.* 2002, 67, 1308-1313. *Acta Virologica*, 19(6), 509.

Prosky, L., Asp, N.-G., Furda, I., Devries, J. W., Schweizer, T. F., et Harland, B. F. (2008). Determination of Total Dietary Fiber in Foods and Food Products : Collaborative Study. *Journal of AOAC INTERNATIONAL*, 68(4), 677- 679.

Puri et al. (2012). Development of a special electrode for continuous subcutaneous pH measurement in the infant scalp. *American Journal of Obstetrics and Gynecology*, 124(2), 193- 195.

Q

Quigley, et al. (2015). Irritable bowel syndrome : A global perspective. World Gastroenterology Organisation Global Guidelines <https://www.worldgastroenterology.org/guidelines/global-guidelines/irritable-bowel-syndrome-ibs/irritable-bowel-syndrome-ibs-english> (2015). *The American Journal of Physiology*, 229(3), 721- 730.

R

Ramirez, E. A., Johnston., D. B., McAloon., A. J., et Singh, V. (2009). Enzymatic corn wet milling : Engineering process and cost model. *Biotechnol. Biofuel.* 2009, 2, 2. *American Journal of Human Genetics*, 28(1), 9- 17.

Ramirez, E. C., Johnston, D. B., McAloon, A. J., Yee, W., et Singh, V. (2008). Engineering process and cost model for a conventional corn wet milling facility. *Industrial Crops and Products*, 27(1), 91- 97. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2007.08.002>

Rausch, K. D., Hummel, D., Johnson, L. A., et May, J. B. (2019). Wet Milling : The Basis for Corn Biorefineries. In *Corn* (p. 501- 535). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811971-6.00018-8>

Rodriguez, R. A. J., Fernandez-Bolanos ., J., Guillen, R., et Heredia, A. (2006). Dietary Fibre from Vegetable Products as a Source of Functional Ingredients. *Trends Food Sci. Technol.* 2006, 17, 3-15. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 29(1), 105- 109. <https://doi.org/10.1093/ajcn/29.1.105>

Rosell, C. M., Santos, E., et Collar, C. (2009). Physico-chemical properties of commercial fibres from different sources : A comparative approach. *Food Res. Int.* 2009, 42, 176-184. *American Journal of Human Genetics*, 28(1), 9- 17.

S

Sagar, N. A., Pareek, S., Sharma, S., Yahia, E. M., et Lobo, M. G. (2018). Fruit and Vegetable Waste : Bioactive Compounds, Their Extraction, and Possible Utilization: Fruit and vegetable waste.... *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 17(3), 512- 531. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12330>

Salehifar, M., et Fadaei, V. (2011). Comparison of some functional properties and chemical constituents of dietary fibers of Iranian rice bran extracted by chemical and enzymatic methods. *Afric. J. Biotechnol.* 2011, 8, 18525-18531. *American Journal of Mental Deficiency*, 80(4), 388- 393.

Salmoral, Gonzalez, et Mariscal. (2000). Biodegradable plastic made from bean products. *Industrial Crops and Products*, 11(2–3), 217–225. *Acta Virologica*, 19(6), 500.

Sanjoaquin, M. A., Appleby, P. N., Spencer, T. C., et Key, T. J. (2004). Nutrition and lifestyle in relation to bowel movement frequency : A cross-sectional study of 20630 men and women in EPIC-Oxford. *Public Health Nutr.* 7, 77–83 (2004). *The American Journal of Cardiology*, 37(2), 223- 230. [https://doi.org/10.1016/0002-9149\(76\)90316-7](https://doi.org/10.1016/0002-9149(76)90316-7)

Santagata, R., Ripa, M., Genovese, A., et Ulgiati, S. (2021). Food waste recovery pathways : Challenges and opportunities for an emerging bio-based circular economy. A systematic review and an assessment. *Journal of Cleaner Production*, 286, 125490. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125490>

Sharma, P., Gaur, V. K., Kim, S.-H., et Pandey, A. (2020). Microbial strategies for bio-transforming food waste into resources. *Bioresource Technology*, 299, 122580. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.122580>

Simpson, H. L., et Campbell, B. J. (2015). Review article : Dietary fibre-microbiota interactions(2015). *Aliment Pharmacol Ther* 42, 158-179. *The American Journal of Physiology*, 229(3), 721- 730.

Singer, M., Deutschman, C. S., Seymour, C. W., Shankar-Har, M., Angus, D. C., Vincent, J. L., Van Der Poll, et Opal. (2016). The Third International Consensus Definitions for Sepsis and Septic Shock (Sepsis-3) (2016). *JAMA* 315, 801-810. *The American Journal of Physiology*, 229(3), 746- 753. <https://doi.org/10.1152/ajplegacy.1975.229.3.746>

Singh, S. K., Johnson, L. A., Pollak, L. M., Fox, S. R., et Bailey, T. B. (1997). Comparison of Laboratory and Pilot-Plant Corn Wet-Milling Procedures. *Cereal Chemistry Journal*, 74(1), 40- 48. <https://doi.org/10.1094/CCHEM.1997.74.1.40>

Southgate, D. A. T. (1969). Determination of carbohydrates in foods : Unavailable carbohydrates. *J. Sci. Food Agric.* 1969, 20, 331-335. *Acta Physiologica Polonica*, 26(6), 553- 558.

Soxhlet. (1879). Human placental delta5-3beta hydroxysteroid dehydrogenase activity (delta5-3beta HSDH) : Intracellular distribution, kinetic properties, retroinhibition and influence of membrane delipidation. *Steroids*, 26(5), 551- 570.

Streppel, M. T., Ocke, M. C., Boshuizen, H. C., et Kok, F. J. ; (2008). Dietary fiber intake in relation to coronary heart disease and all-cause mortality over 40 y : The Zutphen Study. *Am. J. Clin. Nutr.* 2008, 88, 1119-1125. *The American Journal of Gastroenterology*, 64(5), 365- 370.

T

Threapleton et al. (2013). Rapid infusion of sodium bicarbonate and albumin into high-risk premature infants soon after birth : A controlled, prospective trial. *American Journal of Obstetrics and Gynecology*, 124(3), 263- 267.

Tilg, H., et Moschen, A. R. (2015). Food, immunity, and the microbiome. *Gastroenterology* 148, (2018)1107-1119. *The American Journal of Physiology*, 229(3), 721- 730.

Tosh, S. M., et Yada, S. (2010). Dietary fibres in pulse seeds and fractions : Characterization, functional attributes, and applications. *Food Research International*, 43(2), 450- 460.

Tucker, L. A., et Thomas, K. S. (2009). Increasing total fiber intake reduces risk of weight and fat gains in women. *J. Nutr.* 2009, 139, 576-581. *American Journal of Human Genetics*, 28(1), 9- 17.

Tungland et Meyer. (2002). Elizaveta Nilolaevna Levkovich-75th birthday. *Acta Virologica*, 19(6), 509.

V

Vankar. (2004). Electrocardiographic changes and cardiac arrhythmias in patients receiving psychotropic drugs. *The American Journal of Cardiology*, 37(2), 223- 230.

Verma., A. K., et Banerjee, R. (2010). Dietary fibre as functional ingredient in meat products : A novel approach for healthy living – a review. *J. Food Sci. Technol.* 2010, 47, 247-257. *The American Journal of Medical Technology*, 41(12), 457- 462.

Vu, H. T., Scarlett, C. J., et Vuong, Q. V. (2018). Phenolic compounds within banana peel and their potential uses : A review. *Journal of Functional Foods*, 40, 238- 248.
<https://doi.org/10.1016/j.jff.2017.11.006>

W

Wronkowska, M. (2016). Wet-Milling of Cereals : Wet-milling of Cereals. *Journal of Food Processing and Preservation*, 40(3), 572- 580. <https://doi.org/10.1111/jfpp.12626>

Y

Yangilar, F. (2013). The Application of Dietary Fibre in Food Industry : Structural Features, Effects on Health and Definition, Obtaining and Analysis of Dietary Fibre : A Review. *J. Food Nutri. Res.* 2013, 3, 13-23. *American Journal of Obstetrics and Gynecology*, 124(3), 263- 267.

Z

Zhang et al. (2011). Review of drug treatment for Down's syndrome persons. *American Journal of Mental Deficiency*, 80(4), 388- 393.

Zhang, J. W., Wang, J. H., Wang, G. H., Wang, C. C., et Huang, R. Q. (2019). Extraction and characterization of phenolic compounds and dietary fibres from banana peel. *Acta Alimentaria*, 48(4), 525- 537. <https://doi.org/10.1556/066.2019.48.4.14>

Zhang, Y., Nypelö, T., Salas, C., Arboleda, J., Hoeger, I. C., et Rojas, O. J. (2013). Cellulose Nanofibrils. *Journal of Renewable Materials*, 1(3), 195- 211.
<https://doi.org/10.7569/JRM.2013.634115>

Zhou, X., Li, W., Mabon, R., et Broadbelt, L. J. (2017). A Critical Review on Hemicellulose Pyrolysis. *Energy Technology*, 5(1), 52- 79.
<https://doi.org/10.1002/ente.201600327>

Annexes

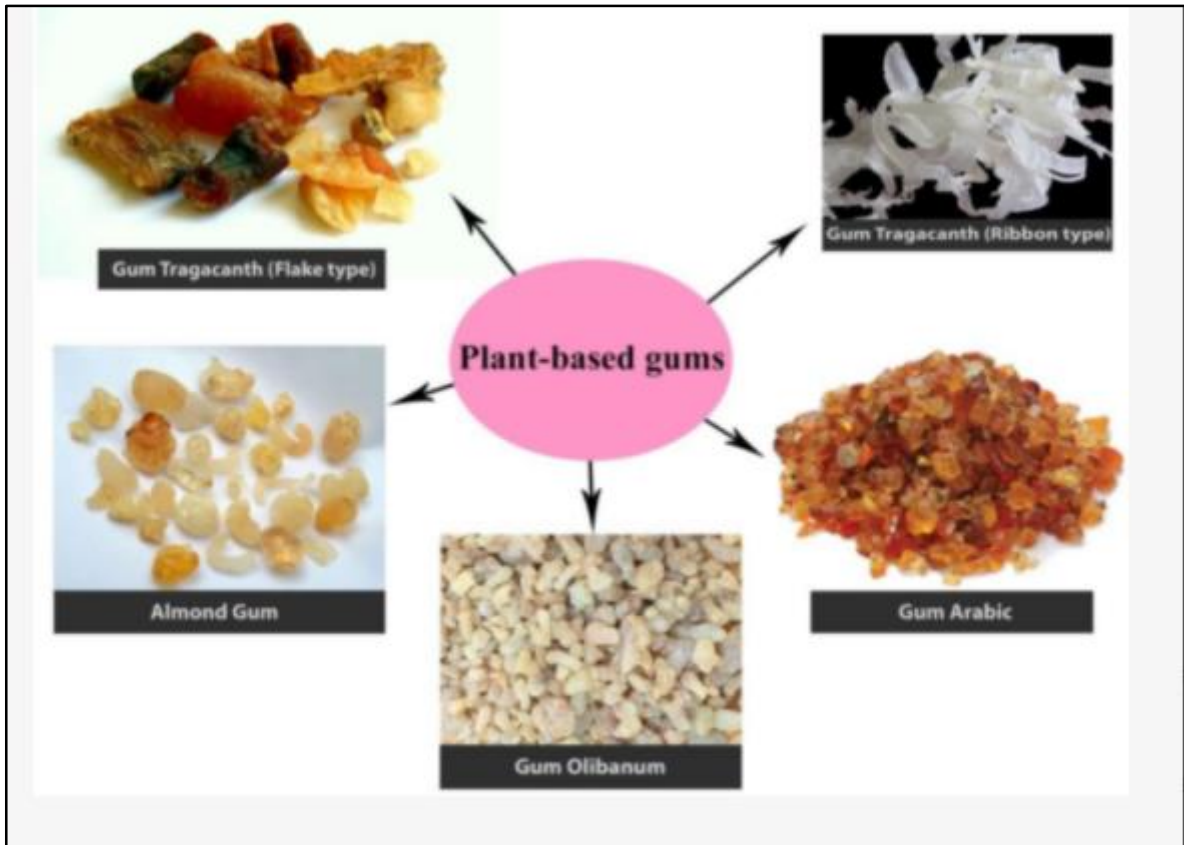


Figure A1 : Les différents types de gomme (Amiri et al., 2021).

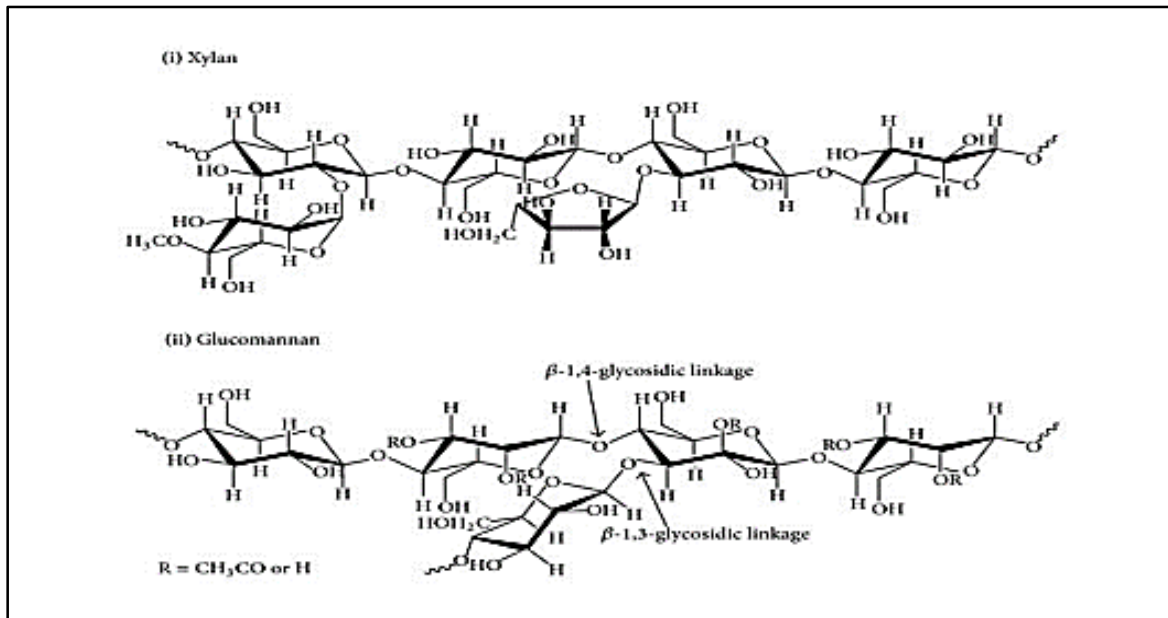


Figure A2 : Structure d'hémicelluloses (Zhou et al., 2017).

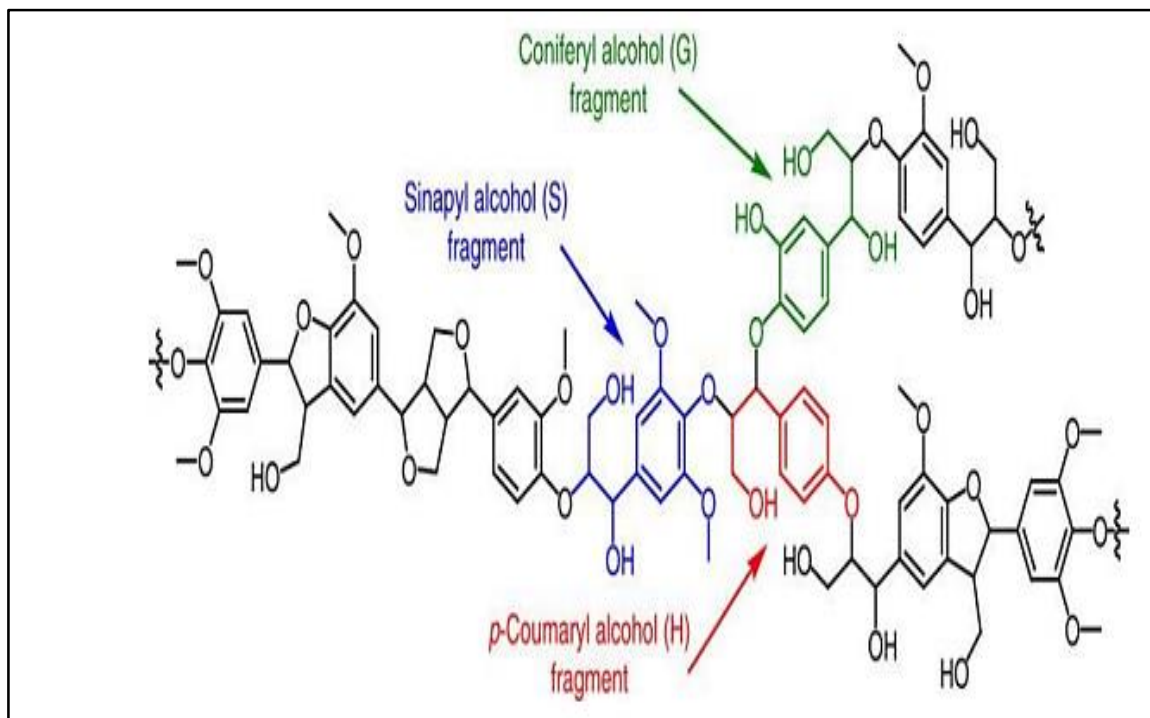


Figure A3 : Représentation schématique d'une structure de la lignine

(Lebo *et al.*, 2001).

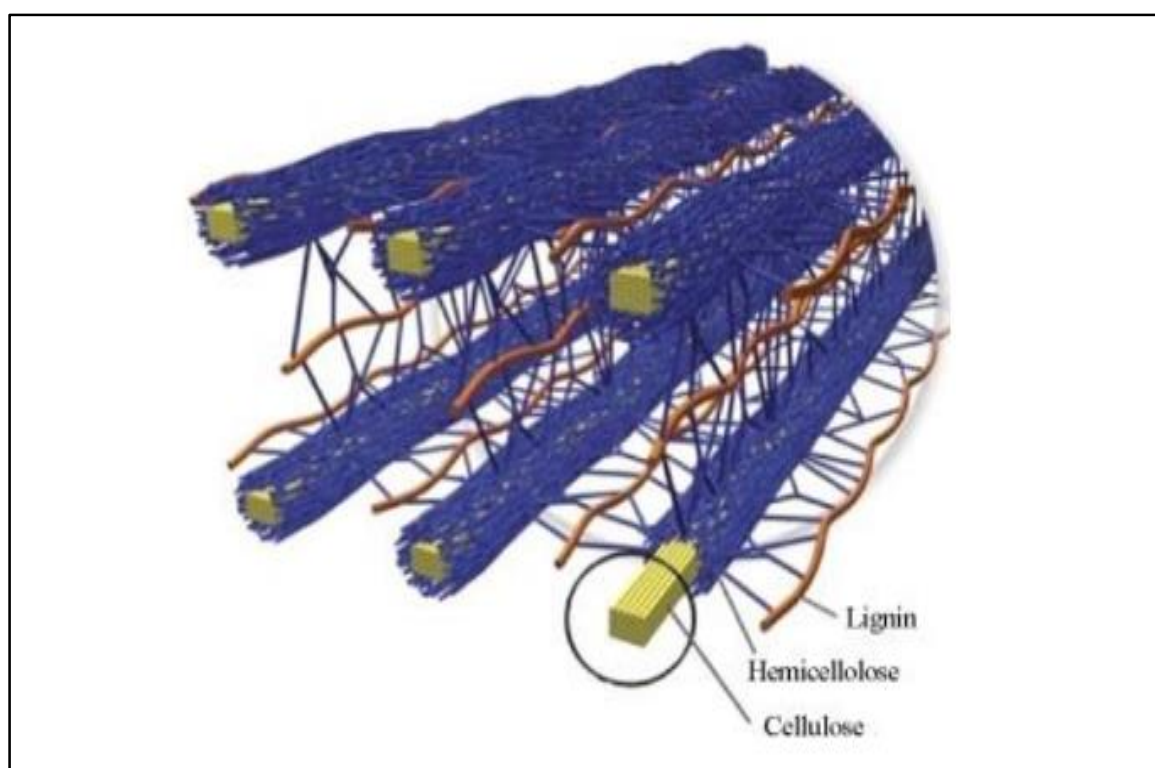


Figure A4 : Structure de la paroi de cellules végétales macroscopiques

(Mongeau et Brooks, 2016).

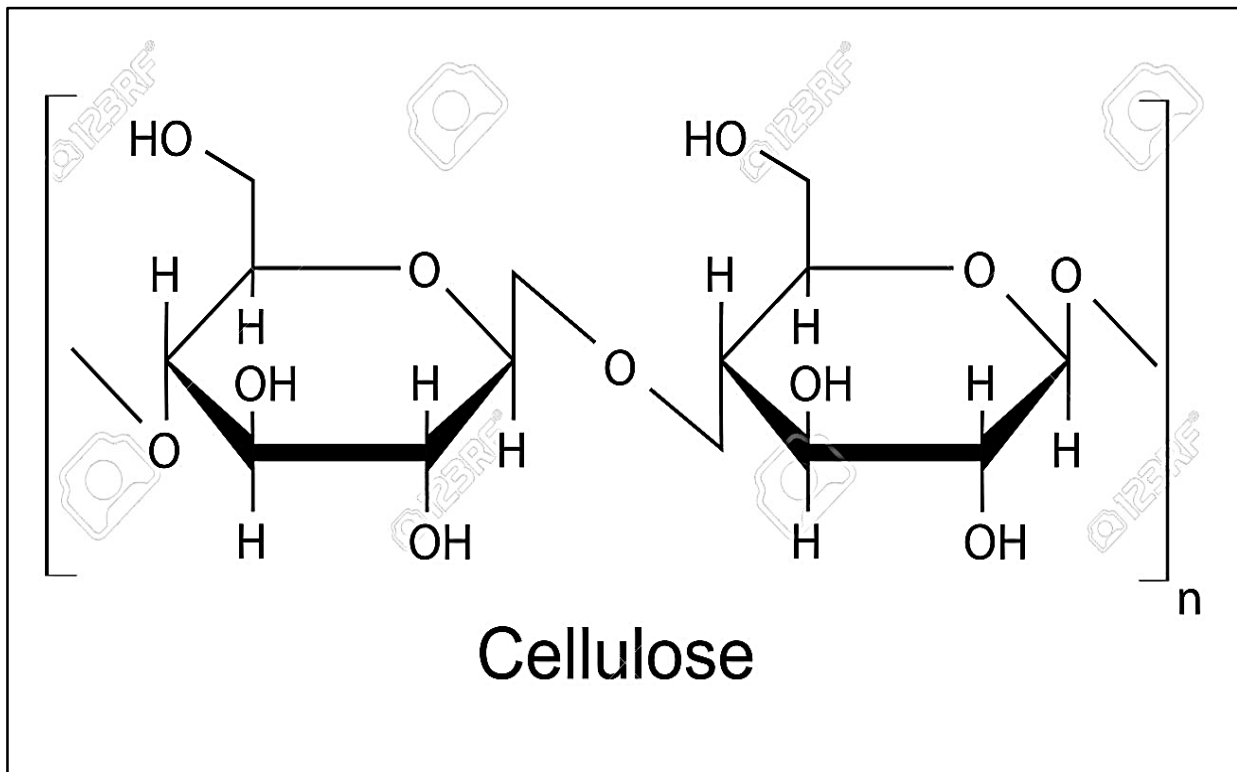


Figure A5 : La structure chimique de la cellulose (Zhang *et al.*, 2013).

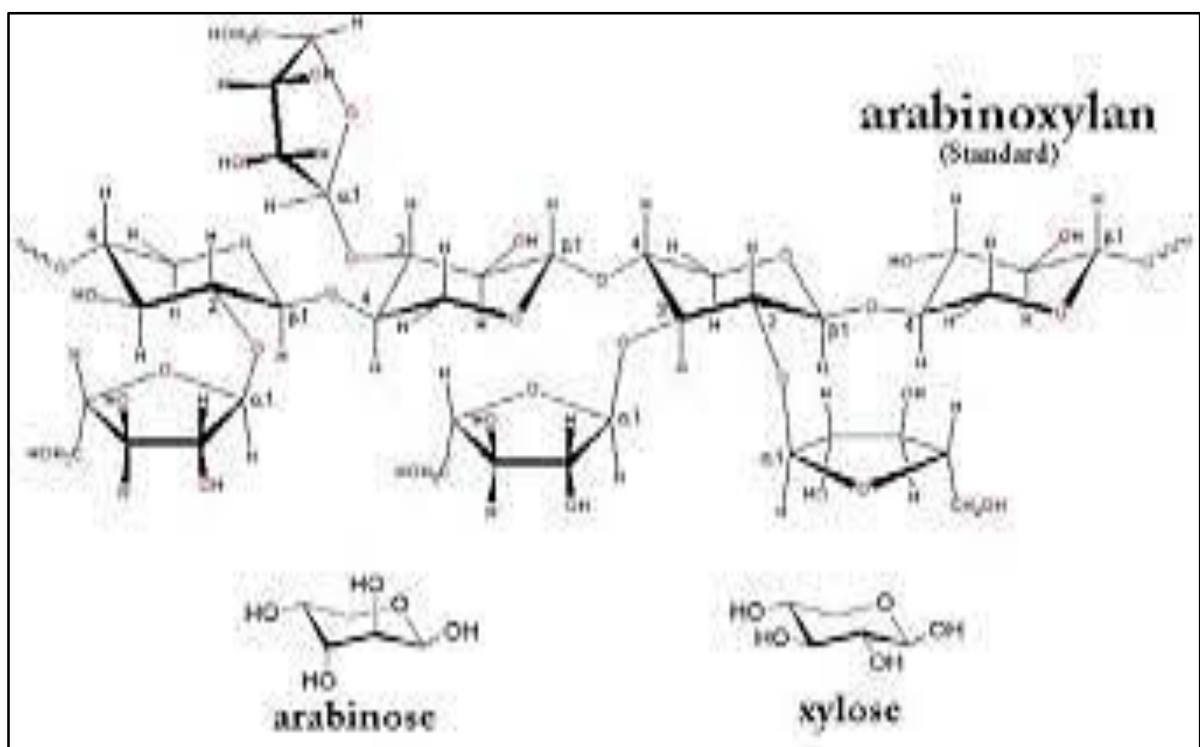


Figure A6 : La structure chimique du mucilage (Amiri *et al.*, 2021)

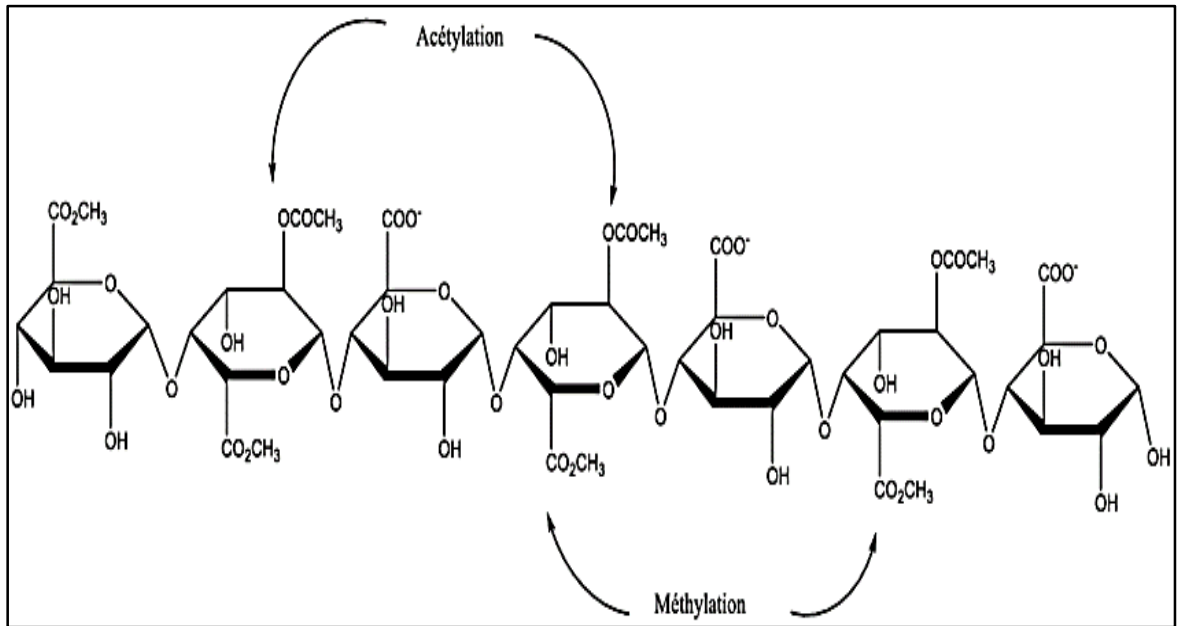


Figure A7 : Structure de la pectine (Mohnen, 2008).

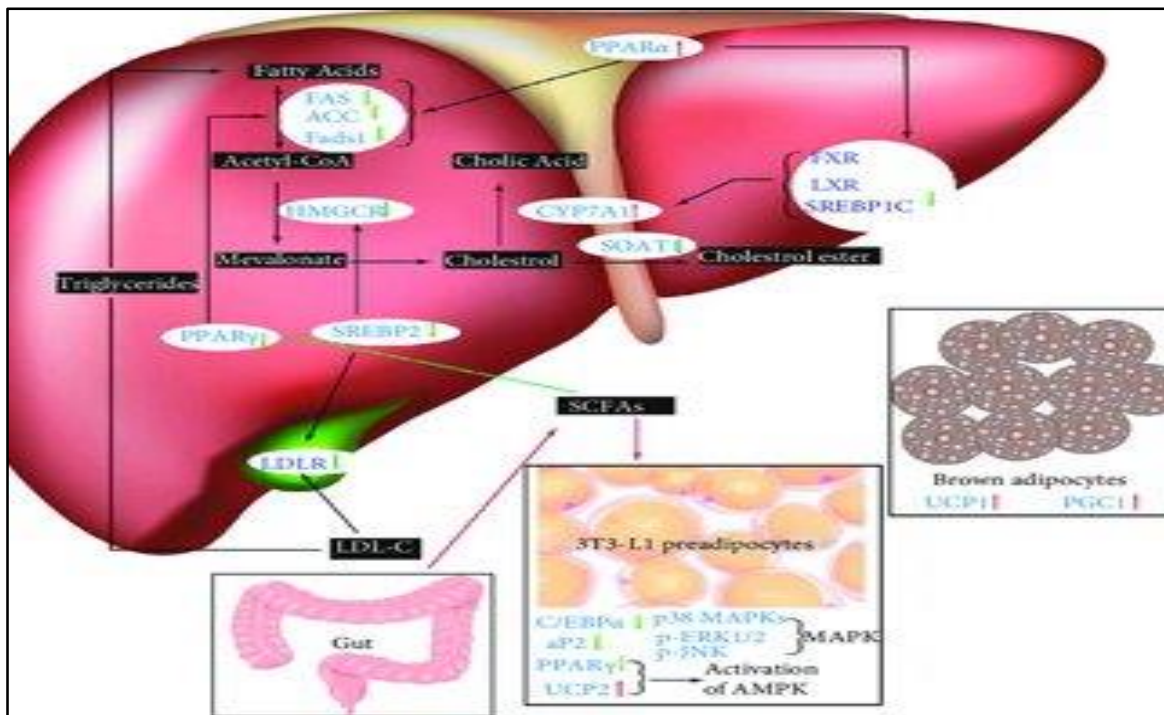


Figure A8 : Mécanisme moléculaire des fibres alimentaires sur la réduction des lipides (Nie et Luo, 2021).

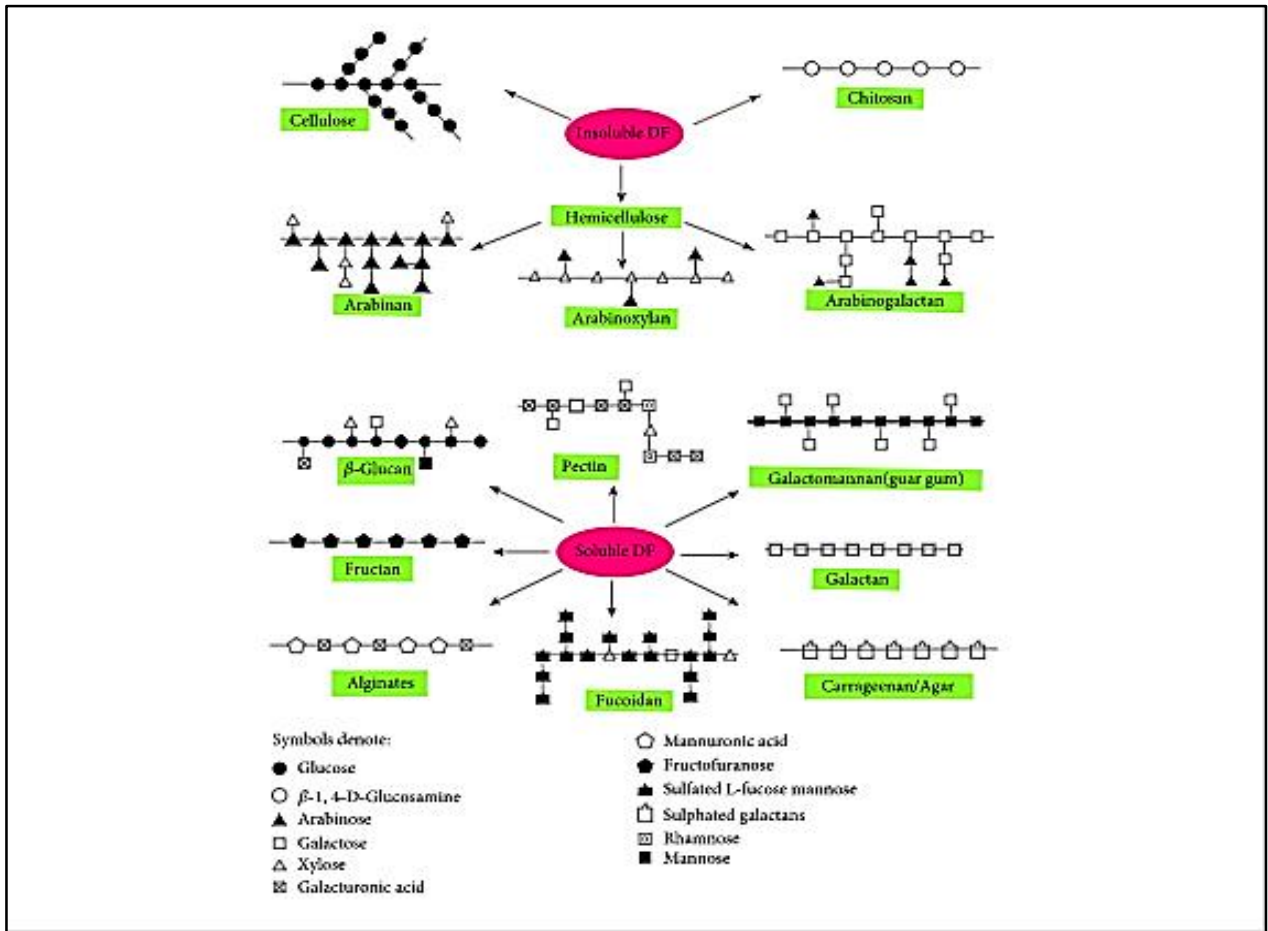


Figure A9 : Structures et classifications des fibres alimentaires (Nie et Luo, 2021).

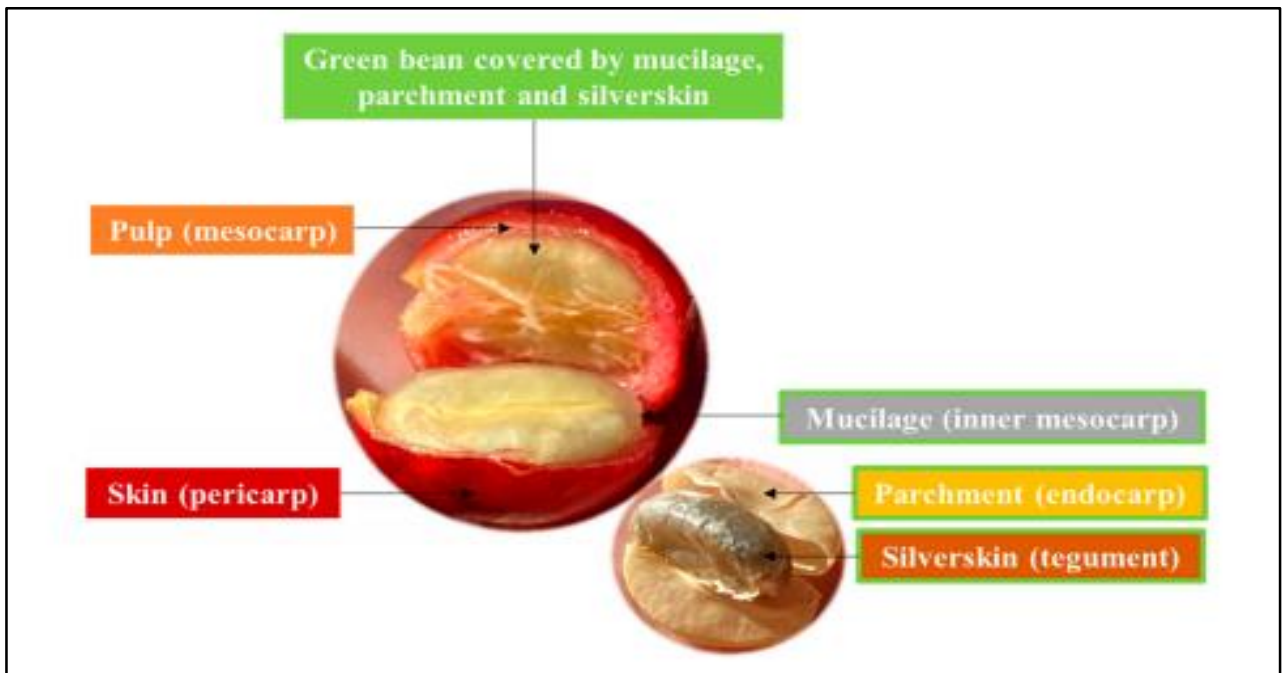


Figure A10 : Identification des sous-produits du café dans l'anatomie de la cerise du café (Iriondo-DeHond et al., 2020)

الملخص

أصبحت الألياف الغذائية من أهم المكونات الغذائية التي تؤدي كلاً من الوظائف التكنولوجية أثناء تحضير المنتجات الغذائية والفوائد الفسيولوجية للإنسان. إن الألياف الغذائية لها تأثير وقائي ضد الأمراض الالتهابية المختلفة للقولون، ودراستنا تعرض وتقرن بعض الأساليب المختلفة لاستخراج وتطهير الألياف الغذائية التي تولدها الصناعة الغذائية، لإنتاج عدة عناصر من النفايات في عدة مجالات مثل المجال الغذائي (إنتاج المكملات الغذائية) وفي المجال غير الغذائي (استخدام الألياف في صناعة الورق) وكل ذلك يجب أن يكون تحت إشراف أساليب محددة جيداً وتقييم جيد من أجل اختيار الطريقة التي تعطي العائد الصحيح في فترة محددة وبدون هدر. ويقدم هذا العمل لمحة عامة عن أحدث تعريف للألياف الغذائية، ويصف مصادر الألياف الغذائية وهيكلها وخواصها الوظيفية، ويلخص المبادئ الأساسية لاختيار الألياف الغذائية الصحيحة، وكيفية إعادة تدوير النفايات التي تحتوي على ألياف غذائية لإعادة استخدامها في مختلف القطاعات الصناعية.

الكلمات المفتاحية: الألياف الغذائية، مجالات الاستخدام، الفوائد الفسيولوجية، مصدر الألياف، الخصائص الوظيفية، المخلفات والبقايا الغذائية، إعادة التدوير.

Abstract

Dietary fiber has become one of the most important food ingredients that exert both technological functions during the preparation of food products and physiological benefits on humans. Dietary fibers have a protective effect against different inflammatory diseases of the colon, our study, presents and compares some different methods of extraction and purification of dietary fibers generated by the food industry, to produce several elements from waste in several areas such as food field (eg: food supplement), and non-food field (use of fibers for paper making) and all this must be under the supervision of treatment and methods well determined and well evaluated in order to choose the method that gives the right yield in a precise period and without waste. This work gives an overview of the latest definition of dietary fiber, describes the sources, structure and functional properties of dietary fiber, and summarizes the basic principles for selecting the right dietary fiber, how to recycle waste containing dietary fiber for reuse in different industrial sectors.

Key words: dietary fiber, areas of use, physiological benefits, source of fiber, functional properties, waste food and residues, recycling.

Résumé

Les fibres alimentaires sont devenues l'un des ingrédients alimentaires les plus importants qui exercent à la fois des fonctions technologiques pendant la préparation des produits alimentaires et des bénéfices physiologiques sur les humains. Les fibres alimentaires ont un effet protecteur contre différentes maladies inflammatoires du colon, notre étude, présente et compare certaines différentes méthodes d'extraction et purification des fibres alimentaires générées par l'industrie agroalimentaire, pour produire plusieurs éléments à partir de déchets dans plusieurs domaines tels que le domaine alimentaire (Par exemple : complément alimentaire), et domaine non-alimentaire (Utilisation des fibres pour la fabrication de papier) et tout ça doit être sous la supervision des traitements et des méthodes bien déterminés et bien évalués afin de choisir la méthode qui donne le bon rendement dans une période précise et sans gaspillage. Ce travail donne une vue d'ensemble de la définition la plus récente des fibres alimentaires, décrit les sources, la structure et les propriétés fonctionnelles des fibres alimentaires, et résume les principes de base pour sélectionner les bonnes fibres alimentaires, comment recycler les déchets qui en contiennent pour les réutiliser dans différents secteurs industriels.

Mots clés : Fibres alimentaires, propriétés fonctionnelles, industrie agro-alimentaire, domaines d'utilisation, recyclage.