



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche scientifique
Université ABOUBEKR BELKAID – TLEMCEN



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

Département d'agronomie

Laboratoire des produits naturels LAPRONA

Mémoire vue de l'obtention du diplôme de MASTER en science

alimentaire option :

Nutrition et diététique

.Thème :

**Extraction de la pectine à partir
des écorces de citron**

Présenté par :

Achouri marwa souhila & Mehdi aicha

Soutenu le: 23 juin 2025

Devant le jury composé de :

Présidente :Dr. Soualem Mami Zoubida .MCA. Université Tlemcen.

Examinatrice: Dr.Tahraoui Benghalem Ibtissem .MCB. Université Tlemcen.

Encadrante : ELHASSAR MEZIANE Radjaa Kaouthar . MCA. Université Tlemcen.

Remerciements

Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude à toutes les personnes qui ont contribué, de près ou de loin, à la réalisation de ce mémoire.

Tout d'abord, nous remercions chaleureusement Madame Radjaa Meziane, notre encadrante, pour son accompagnement bienveillant, sa disponibilité constante, ses conseils éclairés et la confiance qu'elle nous a accordée tout au long de ce travail. Son expertise, sa rigueur scientifique et son soutien ont été des atouts précieux pour l'aboutissement de ce projet.

Nous souhaitons également remercier l'ensemble du corps enseignant ainsi que le personnel administratif pour la qualité de leur enseignement, leur écoute et leur soutien tout au long de notre parcours universitaire.



Dédicace

À moi-même,

Pour mon courage, ma persévérance et les efforts que j'ai
fournis tout au long de ce parcours.

À ma chère maman et à mon père,

Pour leur amour inconditionnel, leurs prières et leur
soutien indéfectible.

À ma sœur et mes frères,

Merci pour votre présence, vos encouragements et votre
affection sincère.

À l'homme qui partage ma vie,

Pour ton soutien, ta patience et ta force, qui m'ont aidée
à avancer avec courage.

À mes amis,

Merci pour votre écoute, vos mots d'encouragement et
votre amitié fidèle.

À ma binôme,

Merci pour ta complicité, ton soutien .



souhila

Dédicace

À mes parents,

Qui m'ont toujours soutenu et encouragé tout au long de mon parcours. Merci pour votre amour inconditionnel et votre confiance.

À ma grande sœur Bouchra,

Pour ta bienveillance, ton écoute et ta présence rassurante. Tu as su rendre ces années plus douces par ton soutien et ton affection.

À mon amie Sara,

Pour ta joie de vivre, ta générosité et les nombreux souvenirs partagés. Tu as su égayer ces années d'études et les rendre inoubliables.

À Souhila, ma binôme de mémoire,

Merci pour ton engagement, ton sérieux et les grands efforts fournis tout au long de ce travail. Ton implication a été précieuse et a grandement contribué à l'aboutissement de ce projet.

Merci à vous d'avoir été présents à mes côtés tout au long de cette aventure.

Aicha

Liste des tableaux

Liste des figures

Liste des abréviations

Résumé

Introduction

Synthèse bibliographique :

CHAPITRE 1 : Généralités sur les pectines.....	3
I. Définition.....	4
II. Structure des substances pectiques.....	4
II.1 L'homogalacturonane ou acide homogalacturonique (HGA).....	4
II.2 Les galacturonanes substitués.....	5
II.3 Les rhamnogalacturonanes.....	6
III. Localisation des pectines.....	9
IV. Principales sources des pectines.....	10
V. Propriétés physicochimiques des pectines.....	10
V.1 Solubilité et précipitation.....	10
V.2 Propriétés stabilisantes.....	11
V.3 Viscosité.....	12
V.4 Emulsification.....	12
V.5 Gélification.....	13
VI. Utilisations des pectines.....	14
VI.1 Dans l'industrie alimentaire.....	14
VI.2 Dans la diététique.....	14
VI.3 Dans l'industrie pharmaceutique.....	15
VII. Extraction de la pectine.....	16
VII.1 Extraction par voie chimique.....	16
VII.2 Extraction enzymatique.....	16

Table des matières

VII.3	Extraction physique.....	16
CHAPITRE 2 : Généralités sur le citron.....		18
II.1.	Origine et historique.....	19
II.2	Classification et principales variétés du citron.....	19
II.3	Description botanique.....	26
II.4	Structure du fruit.....	26
II.5	Production et répartition géographique en Algérie.....	28
II.6	Composition et valeur nutritionnelle.....	28
II.7	Utilisation de citron.....	30
Matériels et Méthodes :.....		32
I.	Matériel végétale.....	33
II	Préparation de la poudre de citron.....	33
III.	Taux D'humidité.....	35
IV.	Extraction de pectine.....	36
	IV.1 Extraction par traitement acide.....	36
	IV.2 Rendement.....	38
V.	Analyses physico-chimiques.....	38
	V.1 Teneur en humidité.....	38
	V.2 Détermination du poids équivalent.....	39
	V.3 Teneur En Méthoxyle.....	40
	V.4 Teneur en acide galacturonique.....	41
VI.	Dosage des sucres solubles.....	41
Résultats et discussion :.....		44
I.	Taux de l'humidité d'écorce de citron.....	45
II.	Extraction de pectine.....	46

Table des matières

II.1 Rendement.....	46
II.2 Analyses physico-chimiques.....	47
• Taux de l'humidité de la pectine.....	47
• Poids Équivalent.....	49
• Teneur en Méthoxyle.....	50
• Teneur en acide galacturonique.....	51
II.3 Dosage des sucres solubles.....	52
 Conclusion.....	56
Références bibliographiques.....	59

Liste des tableaux

Tableau 01: Appréciation des teneurs en pectines des principaux fruits utilisés pour les confitures.....	10
Tableau 02: Classification du citron.....	20
Tableau 03: Composition de polyphénols pour 100g de citron net.....	28
Tableau 04: Composition en vitamines pour 100gr net de citron.....	29
Tableau 05: Composition de minéraux et d'Oligo-éléments pour 100gr de citron net.....	29
Tableau 06: Composition en macronutriments pour 100g net de citron.....	30

Liste des figures

Figure 01. Molécule de la pectine.....	4
Figure 02. Structure primaire d'un homogalacturonane (HG).....	5
Figure 03. Structure du xylogalacturonane.....	6
Figure 04. Structure de l'apiogalacturonane.....	6
Figure 05. Structure d'un rhamnogalacturonane I.....	7
Figure 06. Structure du Rhamgalacturonane II.....	8
Figure 07. Structure de la paroi cellulaire.....	9
Figure 08. Structure de la paroi primaire.....	10
Figure 09. Stabilité de la pectine.....	12
Figure 10. <i>Eureka citron</i>	21
Figure 11. <i>Interdonato citron</i>	21
Figure 12. <i>Lisbon citron</i>	22
Figure 13. <i>Feminello citron</i>	23
Figure 14. <i>Kütdiken citorn</i>	24
Figure 15. <i>Verna citron</i>	25
Figure 16. <i>Fino citron</i>	25
Figure 17. Feuilles et fruits de citronnier.....	26
Figure 18. Caractéristiques morphologiques d'un citrus.....	27
Figure 19. Image d'un citron de la variété lisbon	34
Figure 20. Image de l'écorces de citron découpés.....	34
Figure 21. Image du séchage des écorces dans l'étuve.....	34
Figure 22. Image de l'écorce de citron après séchage.....	34
Figure 23. Image du broyage de l'écorce séché.....	34
Figure 24. La préparation de la poudre de citron.....	35
Figure 25. Image de la détermination de la teneur en humidité de l'écorce de citron.....	36
Figure 26. Image de les étapes d'extraction de la pectine par la méthode de traitement acide.....	37

Figure 27. Image de changement de couleur de solution vers le rose.....	40
Figure 28. Teneur en humidité relative à la matière sèche de l'écorce de citron.....	45
Figure 29. Rendement de la pectine extraite à partir d'écorce de citron.....	46
Figure 30. Taux d'humidité de pectine citron et pectine commerciale après séchage.....	48
Figure 31. Évolution comparative du poids équivalent de pectine de citron et la pectine commerciale.....	49
Figure 32. Teneur en groupes méthoxyles dans la pectine issue du citron et dans la pectine industrielle.....	50
Figure 33. Teneur en acide galacturonique dans la pectine issue du citron et dans la pectine industrielle.....	51
Figure 34. Courbe d'étalonnage du glucose.....	53
Figure 35. Concentration de sucres solubles dans la pectine de citron et la pectine commerciale.....	54

Liste des abréviations

AG : Acide galacturonique

AOAC : Association of Official Analytical Chemists

CaCO₃: Carbonate de calcium

Ca²⁺ : Ion calcium divalent

DMSO : Diméthylsulfoxyde

DM : Degré de méthylation

HGA : Acide homogalacturonique

HCl : Acide chlorhydrique

HM : Pectine hautement méthylée

FM : Pectine faiblement méthylée

H₂SO₄ : Acide sulfurique

K : Potassium

MeO : Groupement méthoxyle

MS : Matière sèche

Na⁺ : Ion sodium monovalent

NaCl : Chlorure de sodium

NaOH: Hydroxyde de sodium

RG-I : Rhamnogalacturonane de type I

RG-II : Rhamnogalacturonane de type II

SIN 440 : Numéro d'additif pour la pectine (E440)

UV : Ultra-violet (utilisé pour mesure d'absorbance)

Résumé :

Le présent travail a été consacré à l'extraction, la caractérisation physico-chimique et l'évaluation fonctionnelle de la pectine issue des écorces de citron de variété *Citrus limon* Lisbon, dans une optique de valorisation des coproduits agroalimentaires. L'extraction a été réalisée selon un protocole en quatre étapes : extraction acide, précipitation, séparation et séchage. Cette méthode a permis d'obtenir un rendement élevé de 45 %. Les propriétés physico-chimiques de la pectine extraite ont été comparées à celles d'une pectine commerciale issue de la pomme. Les résultats ont révélé une teneur en humidité plus importante, un poids équivalent plus élevé, ainsi qu'un taux de groupements méthoxyles supérieur, suggérant une structure plus méthylée. De plus, la teneur en acide galacturonique avoisinant les 95 % satisfait les normes de qualité requises pour les applications industrielles. La concentration en sucres solubles s'est également révélée plus élevée que celle de la pectine de référence. En résumé ces résultats confirment la qualité technologique de la pectine extraite, soulignant son intérêt pour diverses applications industrielles, notamment dans les formulations alimentaires.

Mots clés: pectine, extraction, citron, variété lisbon, pectine commerciale, valorisation, agrumes.

Abstract:

This work focused on the extraction, physicochemical characterization, and functional evaluation of pectin obtained from the peels of *Citrus limon* Lisbon variety, with the aim of valorizing agri-food by-products. The extraction was carried out following a four-step protocol: acid extraction, precipitation, separation, and drying. This method yielded a high extraction rate of 45%. The physicochemical properties of the extracted pectin were compared with those of a commercial apple-derived pectin. The results revealed a higher moisture content, a greater equivalent weight, as well as a higher degree of methoxyl groups, suggesting a more methylated structure. Additionally, the galacturonic acid content was close to 95%, meeting the quality standards required for industrial applications. The concentration of soluble sugars was also found to be higher than that of the reference pectin. In summary, these findings confirm the technological quality of the extracted pectin, highlighting its potential for various industrial applications, particularly in food formulations.

Keywords: pectin, extraction, lemon, Lisbon variety, commercial pectin, valorization, citrus.

الملخص:

كُرس هذا العمل لاستخلاص البكتين من قشور ليمون صنف ليمون لشبونة، وتوصيفه فيزيائياً وكيميائياً، وتقييمه الوظيفي، بهدف تعظيم قيمة المنتجات الزراعية الغذائية المشتركة. أُجري الاستخلاص وفقاً لبروتوكول من أربع خطوات: الاستخلاص الحمضي، والترسيب، والفصل، والتجفيف. أتاحت هذه الطريقة الحصول على عائد مرتفع بنسبة 45%. قورنت الخصائص الفيزيائية والكيميائية للبكتين المستخرج بخصائص بكتين تجاري من التفاح. كشفت النتائج عن نسبة رطوبة أعلى، ووزن مكافئ أعلى، بالإضافة إلى معدل أعلى لمجموعات الميثوكسيل، مما يشير إلى بنية أكثر ميثلة. بالإضافة إلى ذلك، فإن محتوى حمض الجالاكتورونيك، الذي يبلغ حوالي 95%، يفي بمعايير الجودة المطلوبة للتطبيقات الصناعية. كما وُجد أن تركيز السكريات الذائبة أعلى من تركيز البكتين المرجعي. باختصار، تؤكد هذه النتائج الجودة التكنولوجية للبكتين المستخرج، مما يُبرز أهميته في مختلف التطبيقات الصناعية، وخاصةً في تركيبات الأغذية.

الكلمات المفتاحية : بكتين، استخلاص، ليمون، صنف لشبونة، بكتين تجاري، تثمين، حمضيات.

INTRODUCTION

Introduction:

La valorisation des déchets d'agrumes prend une importance croissante dans le contexte actuel, où la gestion durable des ressources et la réduction de l'impact environnemental sont devenues prioritaires. Oranges, citrons et limes font partie des agrumes les plus répandus, qui sont aussi parmi les fruits les plus cultivés et consommés dans le monde **(Moussaoui, 2023)**. Cependant, leur transformation industrielle génère une quantité considérable de déchets, estimée à environ 50% du poids total du fruit traité. Ces déchets, principalement constitués de peaux, de pépins et de pulpe, sont souvent sous-exploités malgré leur richesse en composés bioactifs **(Sharma et al., 2023)**.

Les déchets d'agrumes sont une source précieuse de polyphénols, des composés phytochimiques dotés de propriétés anti-oxydantes, anti-inflammatoires et anti-carcinogènes. Ces polyphénols, présents en grande quantité dans les peaux des agrumes, ont été associés à divers bienfaits pour la santé, notamment dans la prévention des maladies chroniques telles que le diabète et les maladies cardiovasculaires **(Maqbool et al., 2023)**.

La pectine constitue un composé bioactif présent en quantités significatives dans les résidus d'agrumes, en particulier dans les écorces de citron. Ce polysaccharide complexe est largement exploité dans l'industrie agroalimentaire en tant qu'agent gélifiant et épaississant, et est également valorisé dans les secteurs pharmaceutique et cosmétique en raison de ses propriétés fonctionnelles. Malgré un important potentiel agricole, l'Algérie demeure dépendante des importations de pectine. Toutefois, les sous-produits générés annuellement par les industries nationales de transformation des jus représentent une ressource abondante et sous-exploitée, susceptible de constituer une matière première stratégique pour la production locale de pectine **(Ketema et Desalegn, 2021)**.

Introduction générales

Dans ce contexte, le but principal de notre travail est d'extraire de la pectine à partir des écorces de citron, un sous-produit souvent négligé de l'industrie agroalimentaire. Ce projet s'inscrit dans une démarche à la fois scientifique, économique et écologique.

En choisissant les écorces de citron comme matière première, nous cherchons à valoriser un déchet organique en un produit à haute valeur ajoutée, réduisant ainsi l'impact environnemental des déchets agricoles.

Notre objectif est donc :

- De caractériser la pectine obtenue en termes de rendement, pureté et propriétés physico-chimiques.
- De comparer notre pectine extraite à celle disponible commercialement afin d'évaluer sa qualité.

Cette étude s'inscrit également dans une perspective de développement durable, en promouvant la réutilisation des déchets organiques et en soutenant la bioéconomie circulaire.

CHAPITRE 1 : Généralités sur les pectines

I. Définition:

Les pectines, également connues sous le nom de polyacides ou de polymères, sont des polysaccharides complexes (Walstra, 2003). Elles contribuent à l'unité de la cellule et à la préservation des parois via des interactions mécaniques et chimiques avec d'autres composants, on les retrouve principalement dans la lamelle moyenne et la paroi primaire, où elles agissent comme un ciment intercellulaire, assurant rigidité et cohésion (Donato, 2004). Les pectines se composent essentiellement de chaînes peu polymérisées d'acides galacturoniques reliés par une liaison glycosidique α -(1,4), formant ce qu'on appelle les acides polygalacturoniques, qui ne représentent qu'une infime proportion, entre 1 et 4%. Liens formés entre les unités L-rhamnose en α (1-2) (Goycoolea et Cardenas, 2003; Sharma et al., 2006). Chaque ajout de rhamnose dans la structure crée un coude, donnant ainsi à l'ensemble une forme de zigzag (figure 1). De nombreuses chaînes latérales variées, comme l'arabinane, le galactane et l'arabinogalactane, sont également attachées au squelette rhamnogalacturonique, ce qui explique la grande variété de ces polymères. Les groupes acides sont fréquemment estérifiés par des groupements méthyles ou salifiés par des ions monovalents ou divalents tels que K, Na et Ca^{2+} .

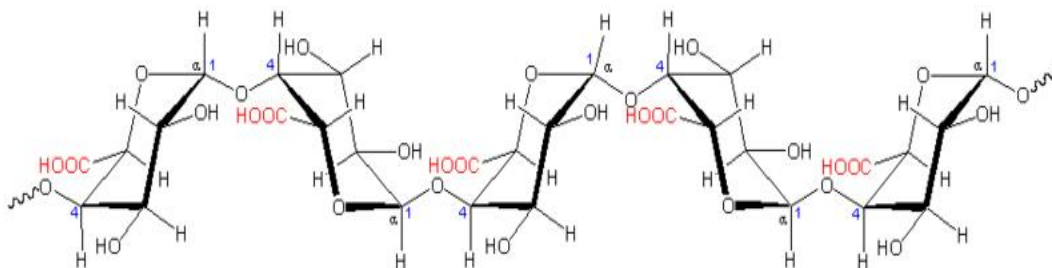


Figure 01: Molécule de la pectine (Schols et Voragen, 2002).

II. Structure des substances pectiques :

II.1 L'homogalacturonane ou acide homogalacturonique (HGA) :

Les homogalacturonanes (Figure 2) représentent 57 à 69 % de la pectine (Jackson et al., 2007). Il s'agit de polymères linéaires composés uniquement d'acides D-galacturoniques connectés par des liaisons α -(1-4). Ces derniers peuvent être estérifiés par le méthanol en position C6 et par l'acide acétique en position C2 ou C3, leurs fonctions carboxyliques et alcools. Elles constituent la zone lisse des pectines. L'application industrielle des pectines et leur potentiel d'interaction sont grandement influencés par la méthylestérification des régions homogalacturonanes (Ralet et

al., 2005). Effectivement, l'interaction ionique entre les régions homogalacturonanes détermine plusieurs propriétés et fonctions biologiques des pectines (Ridley et al., 2001).

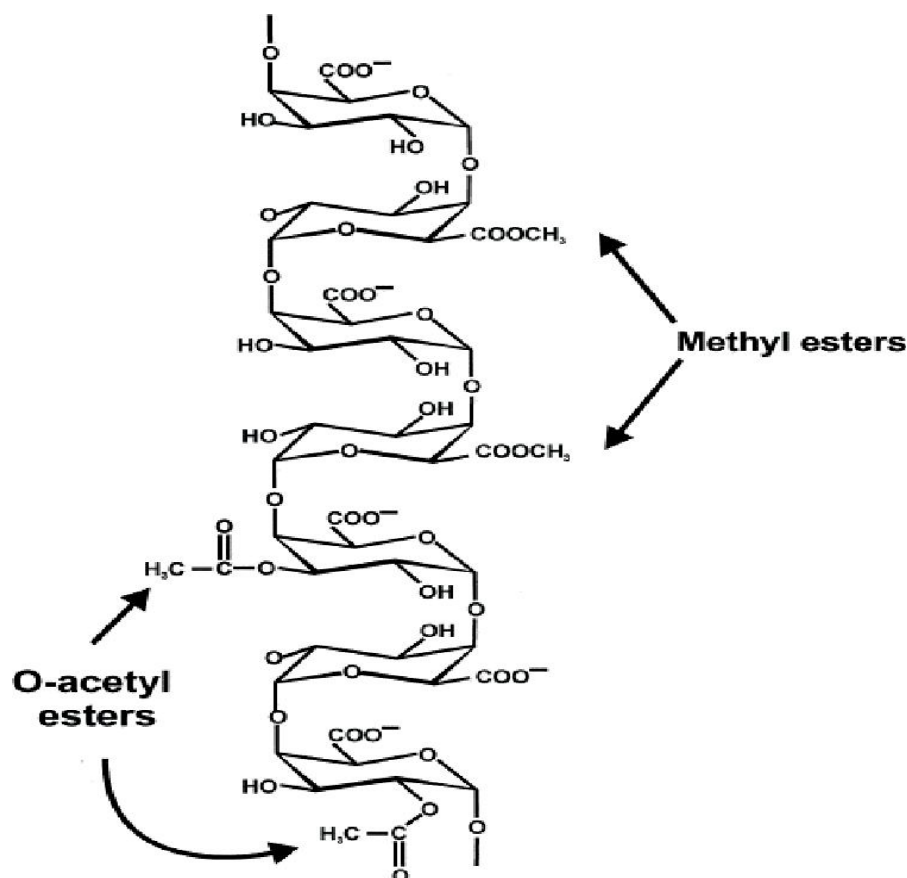


Figure 02: Structure primaire d'un homogalacturonane (HG) (Ridley et al., 2001).

II.2 Les galacturonanes substitués :

En remplaçant l'homogalacturonane par des résidus de D-Xylp ou de D-Apif, deux polysaccharides pectiques ont été identifiés et partiellement décrits. Il s'agit respectivement du xylogalacturonane (**figure 3**) et de l'apiogalacturonane (**figure 4**) d'après Schols et al (1995) et Golovchenko et al (2002).

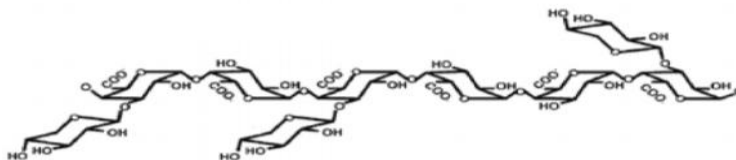


Figure 3 : Structure du xylogalacturonane (Schols et al., 1995).

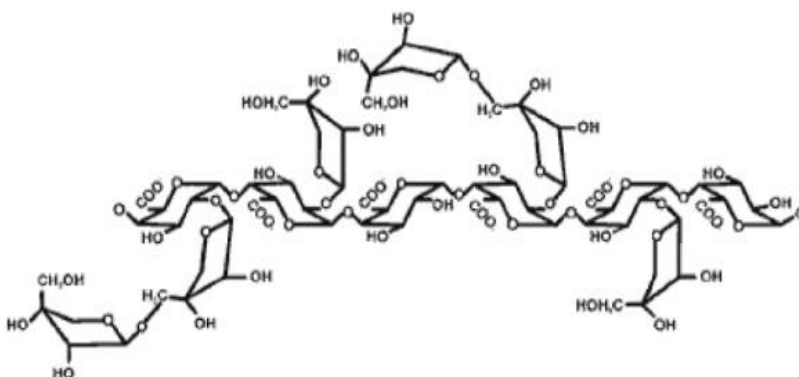


Figure 04: Structure de l'apiogalacturonane (Golovchenko et al., 2002).

II.3 Les rhamnogalacturonanes :

Deux types de rhamnogalacturonane ont été mis en évidence : les Rhamnogalacturonanes de type I (RG-I) et de type II (RG-II).

•Rhamnogalacturonane type I :

Le RG-I est un groupe de polysaccharides pectiques qui constitue 7 à 14 % de la pectine, et près de 20 à 80 % des rhamnoses du RG-I sont substitués (Ridley et al., 2001; Jackson et al., 2007). Le RG-I avec un degré de polymérisation (DP) approximatif de 1 000 est formé d'une succession d'unités rhamnosiques et galacturoniques $[\rightarrow 4)\text{-}\alpha\text{-D-GalA-(1}\rightarrow 2)\text{-}\alpha\text{-L-Rha-(1}\rightarrow]$. À l'instar de l'homogalacturonane, quelques résidus d'acide galacturonique dans le RG-I sont acétylés (Dumville et al, 2000; Perrone et al, 2002). Divers substituts polysaccharidiques neutres peuvent se lier à ce cadre osidique au carbone C4 du L-rhamnose (Figure 5). Parmi ces substituts, on trouve le L-arabinose, le D-galactose, les arabinanes, les galactanes ainsi que les arabinogalactane (Bonnin et al, 2002). Dans certains végétaux tels que la betterave et l'épinard,

les chaînes latérales peuvent être remplacées par des acides phénoliques (comme l'acide férulique ou le coumarique), qui esterifient les fonctions alcools en position 6 des résidus de galactose ou en position 2 des résidus d'arabinose (**Bonnin et al., 2002**).

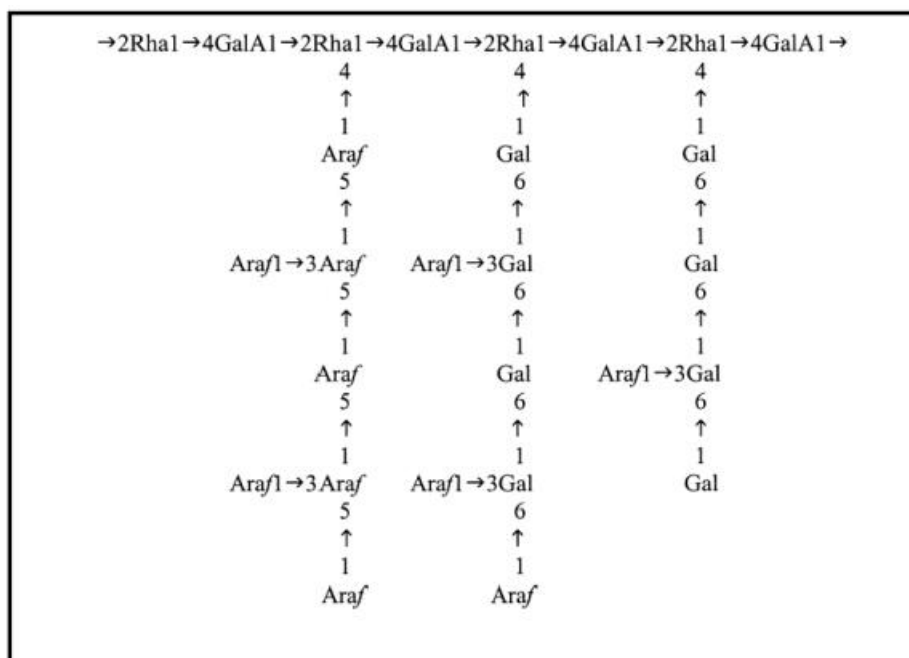


Figure 05 : Structure d'un rhamnogalacturomane (Paulsen et Barsett, 2005).

• Rhamnogalacturonane type II :

Le RG-II est un galacturonane substitué qui constitue 10 à 11 % de la pectine, et dont la structure complexe est fortement préservée au sein des espèces végétales (**Jackson et al., 2007**). Avec un DP se situant autour de 60 (**Dumville et al., 2000**), Le RG-II renferme au moins huit résidus d'acides galacturoniques reliés par liaison 1-4 formant la chaîne principale, sur laquelle sont fixés quatre complexes glycosidiques distinct (**Figure 6**). Ces complexes glycosidiques se composent d'arabinofuranose, d'arabinopyranose, de glucopyranose, de fucopyranose, d'apiofuranose et de galactopyranose ainsi que d'autres sucres peu communs tels que le Dha : acide 3-déoxy-D-lyxo-heptulosarique, le Kdo : acide 3-déoxy-D-manno-octulosonique et l'acide acérique. Il renferme aussi des sucres méthylés peu communs tels que le 2-O-méthylxylose et le 2-O-méthylfucose (**Ridley et al., 2001**). Le RG-II existe principalement sous forme de dimère dans la paroi

cellulaire des plantes grâce à l'établissement d'une liaison covalente de diester de bore. Ce lien est établi entre le OH-2 et le OH-3 des résidus β -D-apiofuranose de chaque unité monomère de RG-II. Par ailleurs, il a été démontré que seule la présence d'apiofuranose résiduel sur chaque chaîne latérale A est impliquée dans ce processus de dimérisation (Ishii et al., 1999 ; Ridley et al., 2001).

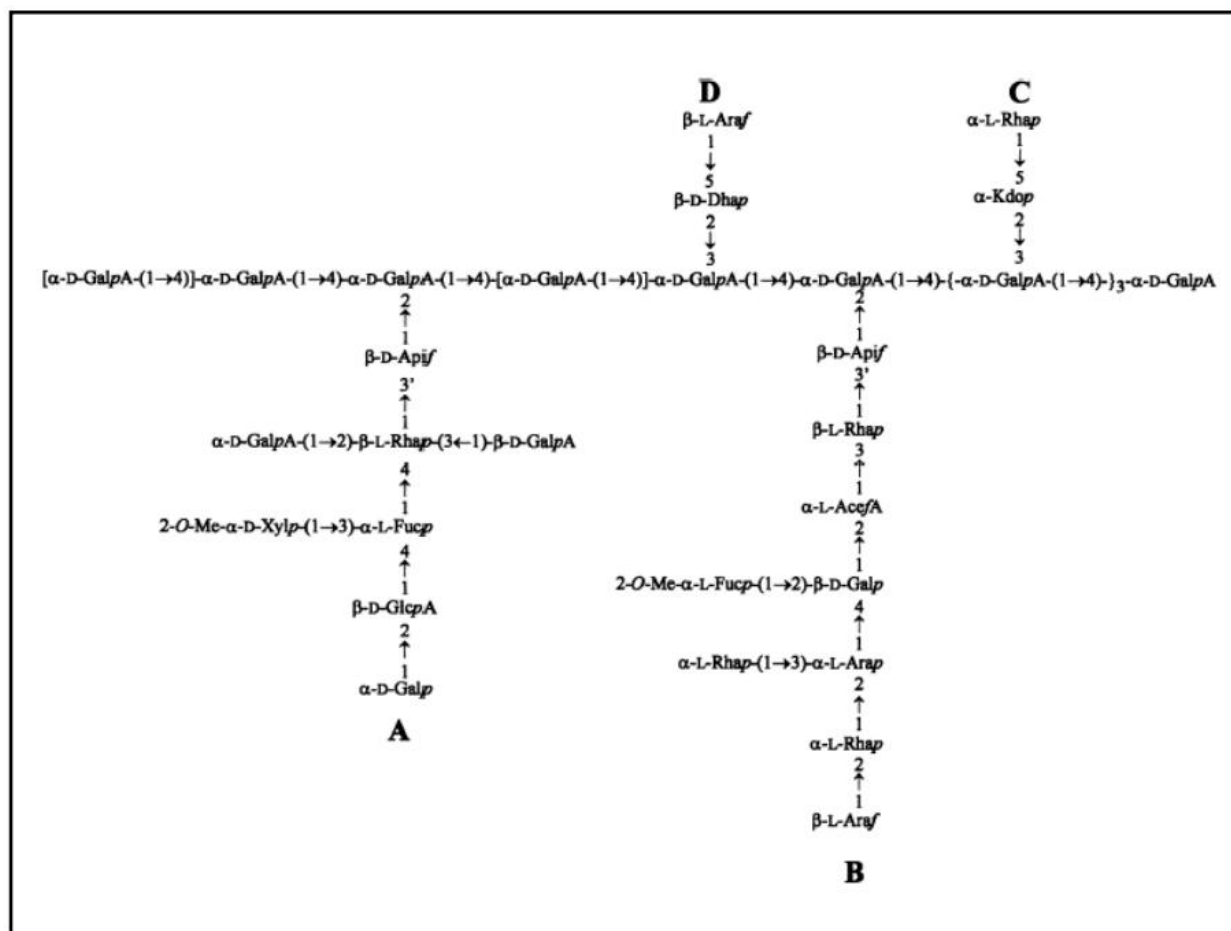


Figure 6 : Structure du Rhamgalacturonane II (Rodrigues-Carvajal et al., 2003).

Ces chaînes latérales sont constituées d'au moins 12 résidus glycosyles différents : Dapirose, 3-C-carboxyl 5-déoxy-Lxylose (acide L-acérique), 2-O-méthyl L-fucose, 2-OméthylD-xylose, L-galactose, acide 3-déoxy-D-lyxo-2-heptulosarique, acide 2-kéto-3-déoxy-D-manno-octulosonique, L-arabinose, D-galactose, L-rhamnose, D-acide glucuronique et D- GalA (O'Neill et al., 2004).

III. Localisation des pectines :

Les pectines sont principalement localisées dans la paroi cellulaire des plantes, notamment dans la lamelle moyenne et la paroi primaire.

- **La paroi cellulaire : (Figure 7)**, confère une rigidité nécessaire à la conservation de la pression osmotique au sein de la cellule, élément vital pour la pérennité de la plante. Elle occupe une position centrale dans le transport, la sécrétion et l'absorption de substances, ainsi que dans la protection de la plante contre les agents pathogènes tels que les bactéries ou les champignons. Elle se compose de la paroi primaire, de la lamelle moyenne et de la paroi secondaire.

- **La lamelle moyenne** : est constituée de pectine, qui joint les parois primaires de deux cellules adjacentes et garantit leur adhésion (**Raven, 2008**).

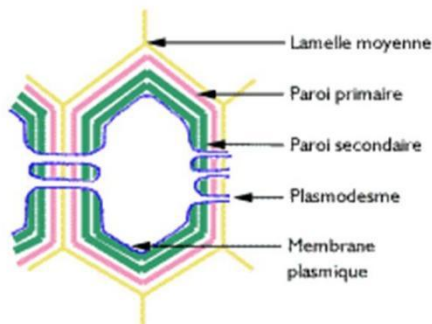


Figure 07 : Structure de la paroi cellulaire (Raven 2008).

- **La paroi primaire (figure 8)** : se compose de protéines, de cellulose, d'hémicellulose, de matières pectiques et d'eau. C'est l'unique élément de la paroi cellulaire des cellules en expansion et en division, ainsi que des cellules matures qui contribuent à la respiration, à la photosynthèse et à la sécrétion. Les fibres de cellulose se disposent de manière aléatoire et sont liées à des molécules d'hémicellulose, de pectine et de glycoprotéines structurales (**Raven, 2008**).

- **La paroi secondaire** : est constituée d'un maillage fibrillaire de cellulose, d'hémicellulose et de lignine, qui se développe lorsque la cellule cesse sa croissance (**Raven, 2008**).

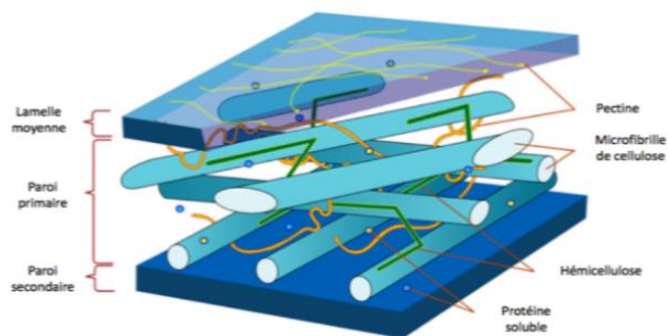


Figure 08 : Structure de la paroi primaire (Chan, 2017)

IV. Principales sources des pectines :

La pectine existe naturellement dans l'endocarpe des fruits sous forme de protopectines, qui se transforment en pectines lors de la cuisson. La quantité de pectines présente dans les fruits fluctue selon le type de fruit et son degré de maturité (Michel, 2002).

Tableau 01: Appréciation desteneurs en pectines des principaux fruits utilisés pour les confitures. Source : Michel (2002)

Fruits pauvres	cerises, pêches, myrtilles, raisins
Fruits moyennement riches	fraises, framboises, mûres
Fruits riches	coings, groseilles, prunes, cassis, abricots
Fruits très riches	citrons, pommes, oranges

V. Propriétés physicochimiques des pectines :

V.1 Solubilité et précipitation :

La pectine est un hydrocolloïde soluble dans l'eau, formant une solution colloïdale opalescente, mais elle est insoluble dans la plupart des solvants organiques, dont l'éthanol. Sa solubilité est influencée par plusieurs facteurs structuraux : masse moléculaire, degré de ramification, degré de méthylestérification (DM) et répartition des groupements méthylesters (Yokoi, 2002; Chen, 2015).

Une pectine sera d'autant plus soluble que sa masse moléculaire est faible, que sa structure est fortement ramifiée et que ses fonctions carboxyliques sont majoritairement estérifiées avec le méthanol (DM élevé). La solubilité dans l'eau est favorisée par la présence de groupements chargés, qui induisent des répulsions électrostatiques réduisant la formation d'agrégats. Le processus de solubilisation suit trois étapes successives : hydratation, gonflement et dissolution (Chen, 2015).

Les pectines sont solubles dans certains solvants spécifiques comme le diméthylsulfoxyde (DMSO), le formamide, le diméthylformamide et le glycérol. En revanche, elles précipitent facilement en présence de solvants organiques tels que l'acétone, l'éthanol et l'isopropanol, ainsi qu'en présence de cations mono et multivalents (Na^+ , Ca^{2+} , H^+ , Al^{3+}), de détergents quaternaires (bromure de cetyltriméthylammonium) et de polymères basiques (protéines et polyamides (Voragen et al., 1996).

V.2 Propriétés stabilisantes :

Les pectines en solution dans un milieu acide sont généralement stables, mais elles peuvent subir des réactions de désésterification et de dépolymérisation (hydrolyse ou β -élimination) sous certaines conditions de pH et de température (Oosterveld et al., 1996).

➤ Stabilité des Pectines en Milieu Acide

Température inférieure à 10°C : La désésterification prédomine, ce qui signifie que les groupements esters des pectines sont progressivement décomposés.

Température plus élevée : La dépolymérisation se produit plus rapidement, pouvant conduire à une dégradation totale des pectines. Cette dégradation est particulièrement rapide à des pH inférieurs à 3, où les groupements acétyles et méthyles sont déstabilisés, et les sucres neutres sont hydroxylés.

➤ Stabilité des Pectines en Milieu Alcalin

Basse température : Les groupements esters sont saponifiés, ce qui signifie qu'ils réagissent avec les ions hydroxyde pour former des sels et de l'alcool.

Température ambiante : La saponification est accompagnée de réactions de dépolymérisation, affectant principalement les liaisons glycosidiques et les résidus méthylés de l'acide galacturonique.

➤ Stabilité des Pectines à pH 4

Les pectines sont stables à un pH de 4, ce qui suggère que ce niveau de pH favorise leur conservation sans dégradation significative.

➤ Effet de la Température Élevée

À des températures supérieures à 60°C, même à un pH proche de 5, la dégradation des pectines peut se produire rapidement, principalement par des réactions de β -élimination qui cassent les liaisons glycosidiques (Oosterveld et al., 1996).

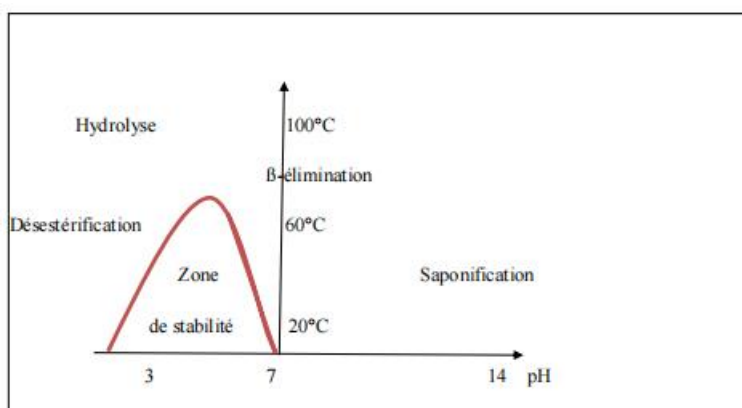


Figure 09 : Stabilité de la pectine (Rrenard, 2010).

V.3 Viscosité :

La viscosité est une propriété physique qui relie le taux de cisaillement à la contrainte exercée sur un fluide. Les agents viscosifiants, tels que la pectine à haut poids moléculaire (HM), modifient le comportement de la phase continue d'un fluide sans former des zones de jonction, contrairement aux gélifiants et à certains stabilisants. Grâce à sa structure moléculaire complexe et son poids moléculaire élevé, la pectine HM est souvent utilisée pour augmenter la viscosité des boissons fruitées, leur conférant une texture plus épaisse et plus agréable (Tilly, 2010).

V.4 Emulsification :

Le rôle d'un agent émulsifiant est de diminuer la tension interfaciale d'une émulsion (eau dans l'huile, huile dans l'eau...) afin de faciliter la dispersion des gouttelettes et d'assurer la stabilité

du mélange. Bien que la majorité des polysaccharides ne possèdent pas de propriétés émulsifiantes, les pectines peuvent être utilisées comme agents émulsifiants à condition de limiter leurs interactions avec les ions divalents (**Akhtar et al., 2002**). Le pouvoir émulsifiant des pectines dépend de leurs caractéristiques structurales ainsi que de facteurs externes, tels que la concentration en polymère et le pH de la solution (**Ngouemazong et al., 2015**).

V.5 Gélification :

Le degré de méthylation ou d'estérification des pectines joue un rôle clé dans la formation des gels.

- **Les pectines hautement méthylées (HM) gélifient en présence de sucres neutres.**
- **Les pectines faiblement méthylées (FM) gélifient en présence de calcium.**

➤ Gélification des pectines hautement méthylées (HM)

Les pectines HM possèdent un degré de méthylation (DM) compris entre 60 et 75%. Elles forment un gel en milieu acide ($2,5 \leq \text{pH} \leq 3$) et en présence d'une forte concentration en sucre ($> 55\%$).

En solution aqueuse diluée, les macromolécules pectiques sont fortement hydratées et portent une charge négative en raison de la dissociation des acides carboxyliques. Pour qu'elles puissent se rapprocher et s'organiser en réseau gélifié, il est nécessaire de réduire leur hydratation et limiter la répulsion entre les groupes ioniques, ce qui est obtenu en abaissant le pH.

L'ajout de saccharose permet de réduire l'hydratation des pectines en agissant comme un fixateur d'eau, favorisant ainsi la formation du gel (**Rees, 1972**). Cette propriété est largement exploitée dans l'industrie des confitures et gelées.

➤ Gélification des pectines faiblement méthylées (FM)

Les pectines FM, obtenues par déestérification contrôlée des pectines HM, forment un gel en présence de cations alcalino-terreux, principalement le calcium (Ca^{2+}). Leur pH de gélification est plus large, variant entre 2 et 6 (**Ralet et al., 2002**).

CHAPITRE 1 : Généralités sur les pectines

Cette structure ne peut se développer que si les régions homogalacturoniques des molécules de pectine sont suffisamment longues (minimum 15 à 20 résidus de GalA). La présence de substitutions méthylester ou acétyle peut entraver cette interaction et donc limiter la formation du gel.

Enfin, pour éviter la précipitation et obtenir un gel homogène, la réaction entre les pectines FM et le Ca^{2+} doit être progressive (**Thibault, 1980**).

Cette propriété est particulièrement exploitée dans l'industrie des produits laitiers.

VI. Utilisations des pectines :

VI.1 Dans l'industrie alimentaire :

Grâce à leur propriété gélifiante, les pectines jouent un rôle essentiel dans l'industrie alimentaire. Elles sont largement utilisées dans la préparation des confitures, marmelades et gelées, où elles assurent la texture et la stabilité des produits.

En plus de leur usage en tant qu'additif alimentaire, les pectines sont employées dans la fabrication d'emballages alimentaires biodégradables sous forme de films comestibles, offrant une alternative écologique et contribuant à la préservation de l'environnement (**Espitia et al., 2014**).

VI.2 Dans la diététique :

Des études épidémiologiques ont démontré que la consommation régulière de pectines contribue au contrôle de la cholestérolémie et joue un rôle préventif contre les maladies cardiovasculaires (**Meziti, 2019**).

Grâce à leur effet coupe-faim, les pectines sont également utilisées dans les régimes amaigrissants pour favoriser la satiété et limiter l'apport calorique. Par ailleurs, des recherches comparant différents régimes ont révélé qu'un régime enrichi en pectine réduit le risque de carcinomes du côlon (**Watanabe et al, 1979**). Il a également été prouvé que les pectines empêchent l'apparition du cancer du côlon chez les sujets exposés à un cancérigène actif (**Heitman et al, 1992; Ohkami et al,**

1995).

VI.3 Dans l'industrie pharmaceutique :

La pectine est largement utilisée dans le domaine médical et pharmaceutique pour ses propriétés protectrices et thérapeutiques. Elle joue un rôle clé dans la protection de la muqueuse digestive, notamment dans le traitement des affections gastro-intestinales, des régurgitations chez le nourrisson en épaississant le contenu gastrique, ainsi que des diarrhées grâce à son pouvoir absorbant. En chirurgie buccodentaire, elle est employée sous forme de bains de bouche pour traiter les hémorragies locales **(Meziti, 2019)**. En tant qu'excipient pharmaceutique, la pectine est intégrée dans la formulation de divers médicaments à administration orale, incluant comprimés, gels, hydrogels, billes, aérogels et enrobés **(Carene et al., 2020)**. Elle est particulièrement étudiée comme vecteur de délivrance ciblée de médicaments pour le côlon, où elle est hydrolysée par des enzymes pectinolytiques **(Chomto et nunthanid, 2019)**. Son utilisation dans les pansements hydrocolloïdes favorise la cicatrisation en formant un gel qui absorbe les exsudats et crée un environnement acide, limitant ainsi la prolifération bactérienne et virale, tout en permettant la libération contrôlée de médicaments comme des antibiotiques et des agents de réparation tissulaire **(Carene et al., 2020)**. De plus, des recherches ont abouti à la conception de nanocapsules mucoadhésives à base de chitosane-pectine pour l'administration oculaire du brinzolamide (BNZ), un inhibiteur de l'anhydrase carbonique utilisé dans le traitement du glaucome **(Dubey et al., 2019)**. Jusqu'en 2002, la pectine était un ingrédient essentiel dans les pastilles pour le mal de gorge en raison de son effet adoucissant. Elle est également exploitée dans l'industrie cosmétique comme stabilisateur et dans les adhésifs médicaux, notamment les dispositifs de colostomie **(Pranati et al., 2011)**. En tant que prophylactique naturel, elle agit contre l'intoxication aux cations toxiques et, lorsqu'elle est administrée par voie intraveineuse, elle réduit le temps de coagulation sanguine, ce qui la rend utile dans la gestion des hémorragies **(Pranati et al., 2011)**. De plus, elle présente une activité antimicrobienne in vitro contre certaines souches bactériennes **(Ziad et al, 2013)**. En pharmaceutique, elle est utilisée dans les formulations à libération contrôlée, notamment sous forme d'hydrogels présents dans les comprimés en tant que liant **(Sriamomsak, 2003)**. Enfin, la pectine s'est révélée prometteuse dans le traitement des colites ulcéreuses, de la maladie de Crohn et du cancer du côlon **(Pranati et al., 2011)**.

VII. Extraction de la pectine :

Plusieurs modes d'extraction des pectines sont envisageables. Il peut s'agir des méthodes chimiques, physiques ou enzymatiques

VII.1 Extraction par voie chimique:

L'extraction chimique des pectines repose sur la solubilisation des pectines présentes dans la pulpe ou les écorces à l'aide d'un acide dilué, sous l'effet de la chaleur. Ce procédé se déroule en trois étapes principales :

- Préparation de la matière première et solubilisation de la protopectine.
- Précipitation des pectines par addition d'alcool.
- Lavage, séchage, broyage et standardisation du produit extrait.

L'optimisation des paramètres d'extraction, tels que le pH, la température, la durée et le rapport solide-liquide, est essentielle pour obtenir des pectines avec un bon rendement. Selon **(Erika et al., 2009)**, l'extraction s'effectue à un pH compris entre 1,5 et 3, à une température variant de 40 à 90 °C, et peut durer entre 10 et 90 minutes.

VII.2 Extraction enzymatique :

sélectivement les composants de la paroi cellulaire végétale, facilitant ainsi la libération de la pectine et réduisant le temps d'extraction **(Renard, 2010 ; Meziti, 2019)**. Parmi les enzymes les plus couramment utilisées, on retrouve les protopectinases, cellulases, protéases, hémicellulases et xylanases, les protopectinases jouant un rôle clé dans la solubilisation de la pectine à partir de la protopectine insoluble **(Picot-Allain et al., 2020)**.

Cette méthode présente plusieurs avantages par rapport à l'extraction conventionnelle : elle permet d'augmenter le rendement, d'opérer à des températures plus basses, réduisant ainsi la

consommation énergétique, et elle est plus respectueuse de l'environnement (**Munarin, 2012**). La pectinase, issue de micro-organismes et de champignons, agit spécifiquement sur les liaisons osidiques de la pectine, diminuant la viscosité de la solution et facilitant les étapes de filtration et de centrifugation. Cependant, malgré son efficacité, l'extraction enzymatique présente des limites, notamment un coût élevé, une réaction difficile à contrôler et un risque de dégradation de la pectine, pouvant altérer ses propriétés fonctionnelles (**Munarin, 2012**).

VII.3 Extraction physique :

L'extraction des pectines à partir de la paroi végétale nécessite un milieu aqueux, qu'il s'agisse d'eau pure, d'agents chimiques dilués ou d'enzymes. Toutefois, plusieurs méthodes d'extraction sont considérées comme physiques ou mécaniques (**Fiscaux et Chau, 2000; Fishman et al., 2000; Sateumdn et al., 2006; Fishman et al., 2006**). Parmi celles-ci, on retrouve :

- **L'extraction par cuisson-extrusion**
- **L'extraction par micro-ondes**
- **L'extraction par Soxhlet ou par pression manuelle**
- **L'extraction par flash-détente**

Le rendement et la composition osidique des pectines obtenues par cuisson-extrusion dépendent des conditions d'extraction. Dans certains cas, cette méthode permet d'atteindre un rendement comparable à celui obtenu par extraction acide (**Ralet et Thibault, 1994, Yapo, 2007**).

Par ailleurs, l'extraction par Soxhlet offre un rendement en pectine plus élevé que l'extraction par pression manuelle. Cependant, dans certaines conditions, cette dernière peut surpasser l'extraction assistée par micro-ondes en termes de rendement.

CHAPITRE 2 : Généralités sur le citron

II.1. Origine et historique:

Le citron est un agrume considéré comme originaire d'Asie du Sud-Est, avec des preuves suggérant que le citron a été cultivé pour la première fois par des scientifiques islamiques au Xe siècle, résultant d'un croisement entre l'orange amère et d'autres agrumes (Ollitraultet, 2000).

Le citron a commencé à se répandre en Inde avant d'atteindre l'Europe au **XIIe siècle**, principalement grâce aux échanges commerciaux et aux conquêtes. Les Arabes ont joué un rôle crucial dans sa diffusion, introduisant le citron en Espagne au **XIe siècle**, puis en Afrique du Nord et dans d'autres parties de la Méditerranée. Les Croisés, lors de leur retour de Palestine, ont également contribué à sa popularité en Europe (Khan et al, 2020).

Au cours des **XVIe et XVIIe siècles**, les explorateurs européens, tels que Christophe Colomb, ont introduit les citrons dans le Nouveau Monde, notamment dans les Caraïbes. La culture du citron s'est ensuite étendue à travers l'Amérique du Sud et les États-Unis, où elle est devenue une culture importante dans des États comme la Floride et la Californie (Cassan, 2008).

Depuis l'Antiquité, la culture des agrumes a exercé une influence significative sur le développement économique et social des nations productrices à l'échelle mondiale. La production d'agrumes est principalement localisée dans les pays du bassin méditerranéen, où ce secteur constitue un segment prometteur avec une forte valeur ajoutée (Sebaoui, 2018).

II.2 Classification et principales variétés du citron:

Le citron appartient à l'espèce *Citrus limon*, de la famille des Rutacées. Il est le fruit du citronnier, un arbre à feuilles persistantes originaire de l'Asie. Selon (Kerfi et Benyahi, 2020) les principales variétés du citron sont :

CHAPITRE 2 : Généralités sur le citron

Classification botanique :

Selon le système APG-IV (2016), la classification botanique du citron est la suivante :

Tableau 02 : Classification du citron (APG-IV, 2016)

Niveau de classification	Classification
Règne	Plantae
Sous-règne	Tracheobionta
Super-division	Spermatophyta
Division	Magnoliophyta
Classe	Magnoliopsida
Sous-classe	Rosidae
Super-ordre	Rosanae
Ordre	Sapindales
Famille	Rutaceae
Sous-famille	Aurantioideae
Tribu	Citreae
Genre	Citrus
Espèce	Citrus limon

Les principales variétés de citron :

Selon Jacquemond (2008), les principales variétés de citron sont :

➤ Eureka (origine américaine) :

Le citronnier Eureka, sélectionné en 1858 à Los Angeles, Californie, provient de graines de citrons importés d'Italie, probablement de la variété Lunario. Cet arbre est vigoureux et peu épineux, produisant des fruits de taille moyenne, de forme elliptique à oblongue, souvent avec un petit col à la base et un court mamelon apical. La pulpe des citrons est jaune, fine, juteuse, acide et aromatique, contenant peu de pépins. L'Eureka a une floraison remontante avec trois à quatre périodes de floraison par an, influencées par les conditions climatiques locales. Bien qu'il produise des fruits toute

CHAPITRE 2 : Généralités sur le citron

l'année, la récolte est plus abondante à la fin de l'hiver et au début du printemps (Himed et al, 2016).



Figure 10: Eureka citron (Espaceagro, 2019)

➤ **Interdonato (origine italienne) :**

Cette variété, un hybride naturel de citronnier et de cédratier, a été identifiée en 1875 à Nizza, en Sicile. Elle se distingue par sa résistance au mal secco et sa précocité. L'arbre est de vigueur moyenne et presque sans épines, mais ne se prête pas au forçage. Les citrons Interdonato sont plus grands que ceux des autres variétés, avec une peau lisse et fine, ainsi qu'un nombre réduit de segments et de pépins. Leur pulpe est moins juteuse et moins acide. Bien que peu cultivé en Italie, ce citron est particulièrement apprécié en Turquie pour sa précocité et sa résistance, où il est récolté et commercialisé rapidement entre septembre et octobre, répondant à un sous-approvisionnement du marché à cette période (Catherine, 2013).

.

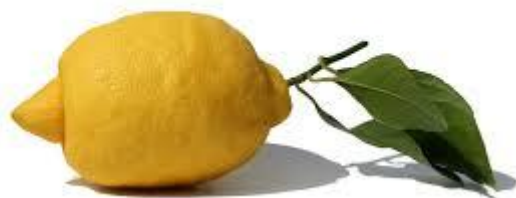


Figure 11: Interdonato citron (Olharfeliz, 2021)

➤ **Lisbon (origine américaine) :**

La variété de citronnier Lisbon a été sélectionnée à partir de plants de la variété Gallego, originaire du Portugal, et était déjà présente en Californie au milieu du XIX^e siècle. Cet arbre est très vigoureux et épineux, offrant une meilleure résistance aux conditions climatiques difficiles telles que la chaleur, le froid, le vent et le manque de soins. Les fruits, bien protégés par la végétation, sont de taille moyenne et présentent une forme elliptique à oblongue (**Marta et al, 2020**). Ils possèdent un léger col à la base et un mamelon apical entouré d'un sillon aréolaire irrégulier. La pulpe est très juteuse et acide, de couleur jaune à maturité, avec un nombre moyen de pépins. L'épiderme est moyennement épais et adhérent, avec une surface finement piquetée et légèrement rugueuse. Comparé au citron Eureka, le Lisbon a souvent un sillon et un mamelon plus développés, ainsi qu'un épiderme moins côtelé et plus lisse. Les citronniers Lisbon ont un port dressé, sont très productifs et ont une floraison principale dominante. La récolte se fait généralement entre le milieu de l'automne et le milieu de l'hiver (**Catherine, 2013**).

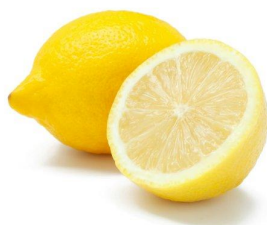


Figure 12: Lisbon citron (Libertyprim, 2017)

➤ **Feminello (origine italienne) :**

Les citrons de type Feminello constituent la majorité de la production italienne. Ces fruits, de taille moyenne, présentent une forme elliptique à oblongue, avec un col et un mamelon de dimensions variables. Leur peau est moyennement épaisse et très

CHAPITRE 2 : Généralités sur le citron

adhérente, tandis que l'épiderme, finement piqueté et modérément lisse, contient des glandes à huile déprimées et est jaune à maturité. La pulpe, de couleur jaunâtre, est très juteuse et fortement acide. Les arbres de cette variété sont d'une vigueur moyenne, peu épineux et très productifs, offrant des récoltes tout au long de l'année. Ce groupe de citronniers se caractérise par une floraison très remontante, ce qui le rend adapté à la technique du forçage. Les citrons récoltés en automne sont appelés « Primofiori », ceux d'hiver « Limoni », et ceux d'été « Verdelli » (Marta et al, 2020).



Figure 13: Feminello citron (Agrumariacorleone, 2020)

➤ **Kütdiken (origine turque) :**

Ce citron turc est très probablement d'origine italienne et présente des similitudes avec les citronniers remontants des types Feminello et Eureka, notamment en ce qui concerne les caractéristiques des fruits. C'est la variété la plus cultivée en Turquie. Classée comme une variété de demi-saison, elle est récoltée à partir de novembre, après l'Interdonato. Elle se prête bien à la conservation, pouvant durer jusqu'à neuf mois. Cependant, sa sensibilité au mal secco demeure son principal inconvénient (Jacquemon, 2008).



Figure 14: Kütdiken citorn (Libertyprim, 2017)

➤ **Verna (origine espagnole) :**

Cette variété espagnole, dont l'origine est inconnue, constitue la majorité des vergers de citronniers en Espagne, bien qu'elle soit peu cultivée ailleurs (Marta et al, 2020). L'arbre est vigoureux et presque sans épines, avec une floraison remontante. Il existe deux périodes de récolte, chacune produisant des fruits aux caractéristiques distinctes : la première, appelée « Cosecha », s'étend de fin février à début juillet, tandis que la seconde, désignée « Rodrejos » ou « Verdelli », couvre tout l'été. Les fruits de la deuxième floraison sont généralement de qualité légèrement inférieure, mais cette récolte supplémentaire permet de répondre à la demande du marché durant les périodes de sous-alimentation. Les fruits présentent un col plus ou moins marqué à la base et un mamelon proéminent à l'apex. Leur épiderme est légèrement rugueux avec de petites déformations. La teneur en jus est bonne et le nombre de pépins est faible à nul. De plus, le fruit se conserve bien sur l'arbre. Cependant, la fructification peut rencontrer des problèmes d'alternance (Catherine et al, 2012).



Figure 15: Verna citron (Monde-vegetal, 2023)

➤ **Fino (origine espagnole) :**

Cette variété, probablement issue d'un semis de citronnier commun de la Vega del río Segura, est connue sous les noms de Mesero, Blanco et Primofiori. L'arbre est vigoureux et a tendance à produire des pousses épineuses. Les fruits sont légèrement plus petits que ceux de la variété Verna, ne possèdent pas de col à la base pédonculaire, et présentent un petit mamelon. Leur épiderme est plus lisse et plus fin. La pulpe est très juteuse et acide, avec un nombre modéré de pépins. Bien que cette variété soit très productive, elle est peu ou pas remontante. La récolte principale débute début octobre et se termine fin février (Jacquemond, 2008).

.



Figure 16: Fino citron (Libertyprim, 2017)

II.3 Description botanique :

Le citronnier, un arbuste à feuillage persistant de la famille des Rutacées, se caractérise par ses branches épineuses et ses feuilles alternes, simples et coriaces. Ses fleurs blanches, hermaphrodites et actinomorphes, sont groupées en cymes axillaires. Le fruit, un hesperidium, est une baie à peau épaisse et parsemée de glandes oléifères. Sa pulpe, acide et juteuse, contient de nombreux sacs cellulaires renfermant le jus et les pépins (Cassan, 2008).



Figure 17: Feuilles et fruits de citronnier (Catherine, 2013)

II.4 Structure du fruit:

Le fruit de forme ovale présente un mamelon distinctif à son extrémité. les fruits d'un arbre peuvent varier en forme et en apparence , que ce soit au sein d'une seule récolte ou d'une saison à l'autre. La peau est constituée de l'extérieur vers l'intérieur de (kimball, 1999 ; Polese, 2008; Bachès et Bachès, 2011; Haineault, 2011) :

1. **L'épiderme** : contient des cires épicuticulaires organisées en plaques, dont la quantité dépend de plusieurs facteurs tels que la variété de la plante, les conditions météorologiques et le taux de croissance. Il formé de deux couche :

CHAPITRE 2 : Généralités sur le citron

Le flavedo: (ou mésocarpe externe) il s'agit de la couche externe de l'écorce , de couleur jaune , verte ou orange . il est riche en pigments en huile essentielles et en composés phénoliques .

L'albedo: (ou mésocarpe interne) : est la partie blanche et spongieuse du fruit, dont l'épaisseur varie selon les variétés et le degré de maturité. Il est notamment riche en fibres alimentaires, en pectine et en flavonoïdes, ce dernier étant responsable de l'amertume du jus.

2. La Pulpe (Endocarpe) : est la partie interne charnue et juteuse du citron , composée de segments (carpelles); en général chaque fruit contient de 8 à 12 segments qui renferment des cellules allongées, semblables à des poils endocarpins . Ces cellules renforcent une grande vacuole où sont stockés de l'eau , des glucides et de l'acide citrique .

3. Graines (Pépins) : habituellement de petite taille, de forme ovale et de couleur blanche, situées à l'intérieur des segments.

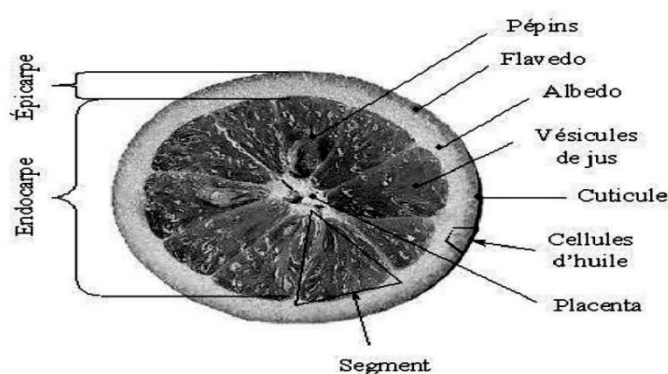


Figure 18: Caractéristiques morphologiques d'un citrus (Duan et al, 2014).

II.5 Production et répartition géographique en Algérie:

En Algérie, la production d'agrumes devrait atteindre au cours de la saison agricole 2013-2014 environ 355 000 tonnes, soit une hausse de 7% comparée à la saison dernière, indiquent les prévisions du ministère de l'Agriculture. Cette hausse proviendrait essentiellement de la hausse de production des citrons (32%), de la clémentine (22%), de la variété Valencia (13%) et de la mandarine (10%) (FAO, 2016).

II.6 Composition et valeur nutritionnelle:

Le citron est un fruit très aqueux, avec une teneur en eau de 90% et une acidité prononcée (pH inférieur à 3). Cette acidité provient principalement de l'acide citrique, associé à de petites quantités d'acide malique. En plus d'être une excellente source de vitamine C et de vitamines du groupe B, le citron renferme des flavonoïdes tels que les naringosides et les hesperidosides. Bien que pauvre en glucides, il constitue une importante source de fibres (cellulose, hémicelluloses et pectines), représentant 2,1% de son poids total. Sa teneur en protéines est inférieure à 1g pour 100g de fruit. En outre, le citron renferme divers minéraux, le potassium étant le plus abondant (Valnet, 2001). Les tableaux ci-dessous présentent les valeurs moyennes, minimales et maximales de chaque nutriment pour 100g de citron.

Tableau 03 : Composition de polyphénols pour 100g de citron net (Ciquel, 2017)

Polyphénols	Quantité
Flavonoïdes	36.89 mg
Lignanes	0.02 mg
Polyphénols totaux	36.91 mg

CHAPITRE 2 : Généralités sur le citron

Tableau 04: Composition en vitamines pour 100gr net de citron (Ciquel, 2017)

Vitamine	Quantité	Min - max
Provitamine A Béta-carotene	3 µg	-
Équivalent Vitamine A	0.5 µg	-
Vitamine B1	0.043 mg	0.034 – 0.06 mg
Vitamine B2	0.025 mg	0.02 – 0.0034 mg
Vitamine B3	0.15 mg	0.1 – 0.23 mg
Vitamine B5	0.21 mg	0.19 – 0.023 mg
Vitamine B6	0.07 mg	0.045 – 0.1 mg
Vitamine B9	21.5 µg	11 – 32 µg
Vitamine C	51 mg	49 – 53 mg
Vitamine E	0.48 mg	0.15 – 0.8 mg

Tableau 05 : Composition de minéraux et d'Oligo-éléments pour 100gr de citron net (Ciquel, 2017)

Minéraux et oligo-éléments	Quantité	Min - max
Calcium	13.7 mg	12.3 – 48 mg
Cuivre	0.034 mg	0.023 – 0.069 mg
Fer	0.34 mg	0.04 – 0.6 mg
Iode	0.3 µg	0.1 – 0.6 µg
Magnesium	8.54 mg	7.3 – 10.9 mg
Manganese	0.015 mg	0.011 – 0.04 mg
Phosphore	18.4 mg	16 – 28.5
Potassium	157 mg	138 -197 mg
sélénium	2.09 µg	0.12 – 4.9 µg
Sodium	0.99 mg	0.12 – 4.9 µg
Zinc	0.054 mg	0.016 – 0.3 mg

Tableau 06: Composition en macronutriments pour 100g net de citron (Ciquel, 2017).

Composants	Quantité/g	Min - Max
Eau	89 g	NC
Proteins	0.84 g	0.5 – 1.1 g
Lipids	0.7 g	0.3 – 1.1 g
Acides gras saturés	0.15 g	0.039 – 0.27 g
Glucides	3.1 g	-
Sucre	2.85 g	2.5 – 3.2 g
Fibre	1.2 g	-
Acide organique	4.88 g	-

II.7 Utilisation de citron :

Le citron est un agrume polyvalent qui a de nombreuses utilisations dans différents domaines :

1. Utilisation médicale : Le citron a été employé pour lutter contre l'insomnie et l'asthme, ainsi que pour dissoudre les cristaux rénaux et ses zestes sont connus pour stimuler l'appétit (**Santo et al., 2011**). L'inhalation de son parfum vivifiant contribue aussi au bien-être mental en apaisant le stress et l'anxiété, soulignant ainsi les multiples bienfaits de l'huile essentielle de citron pour la santé naturelle (**Gonçalves et al., 2024**). Il possède également des propriétés antimicrobiennes, anti-inflammatoires, antioxydantes et anticancéreuses (**Leong et al., 2024**). De plus, il contribue à la réduction de la pression artérielle et au traitement de l'obésité (**Ramful et al., 2011**).

2. Utilisation en cosmétique et soins de beauté : Le citron est largement utilisé en cosmétique pour ses propriétés astringentes et antioxydantes. De plus, de nombreuses

CHAPITRE 2 : Généralités sur le citron

études ont démontré que son jus peut aider à ouvrir les pores de la peau et à éliminer les cellules mortes de l'épiderme (**Yongchaiyudha et al, 2018 ; Leong et al., 2024**).

3. Utilisation agro-alimentaire : Le citron est utilisé en pâtisserie comme arôme et gélifiant grâce à sa teneur élevée en pectine (**Dambuza et al., 2024**). Son jus sert également à la préparation de boissons rafraîchissantes et de pâtes de fruits. Apprécié pour sa saveur acide, il entre dans la composition de diverses boissons comme les limonades, cocktails et jus. De plus, cet agrume est employé comme conservateur naturel pour prolonger la durée de conservation des aliments (**Mahdavi et al, 2021**).

4. Utilisation ménagère et écologique : Le citron est également utilisé dans la fabrication de produits de nettoyage naturels grâce à ses propriétés antiseptiques et désodorisantes. Son pouvoir dégraissant en fait un allié efficace pour l'entretien ménager, notamment pour nettoyer les surfaces et éliminer les mauvaises odeurs. De plus, son utilisation écologique en tant qu'alternative aux produits chimiques contribue à réduire l'impact environnemental (**Mahdavi et al, 2021**).

Matériel et méthodes

L'expérimentation de cette présente étude, a été menée dans laboratoire de produits naturels de l'université de Tlemcen durant une période de un mois (mars 2025).

L'étude repose sur deux parties :

- La première partie : l'extraction de la pectine à partir des écorces de citron en utilisant une méthode d'extraction par traitement acide.

- La deuxième partie : l'analyse physico-chimique et la comparaison entre la pectine extraite de l'écorce de citron et la pectine commerciale de pomme.

I. Matériel végétale :

L'extraction de la pectine est effectuée à partir de l'écorce de l'agrumes de citron variété Lisbon. Cette dernière a été récoltée le mois de mars dans la région de Beni saf (Wilaya d'Aïn Témouchent).

Pour la pectine commerciale est issue de pomme de la marque MyKiTCHEN, Fabriquée à Alger (Elle est composée d'un SIN 440).

II. Préparation de la poudre de citron :

Le citron de la variété Lisbon, fraîchement récoltés sont amenés au laboratoire pour l'extraction. La première étape est le lavage avec de l'eau courante pour éliminer la saleté et la terre sur les surfaces. Ensuite, l'écorce a été complètement retirée et découpée en dés (figure 20). Le séchage est effectué dans une étuve à une température de (60 à 65) °C (figure 21) jusqu'à la stabilité du poids. Les écorces ont été ensuite triturées à l'aide d'un broyeur. La poudre obtenue (figure 23) a été conservée dans des boîtes en verre pour l'analyse.



Figure 19 : Image d'un citron de la variété lisbon



Figure 20: Image de l'écorces citron découpées



Figure 21: Image du séchage des écorces dans l'étuve



Figure 22: Image de l'écorce de citron après séchage



Figure 23: Image du broyage de l'écorce séchée

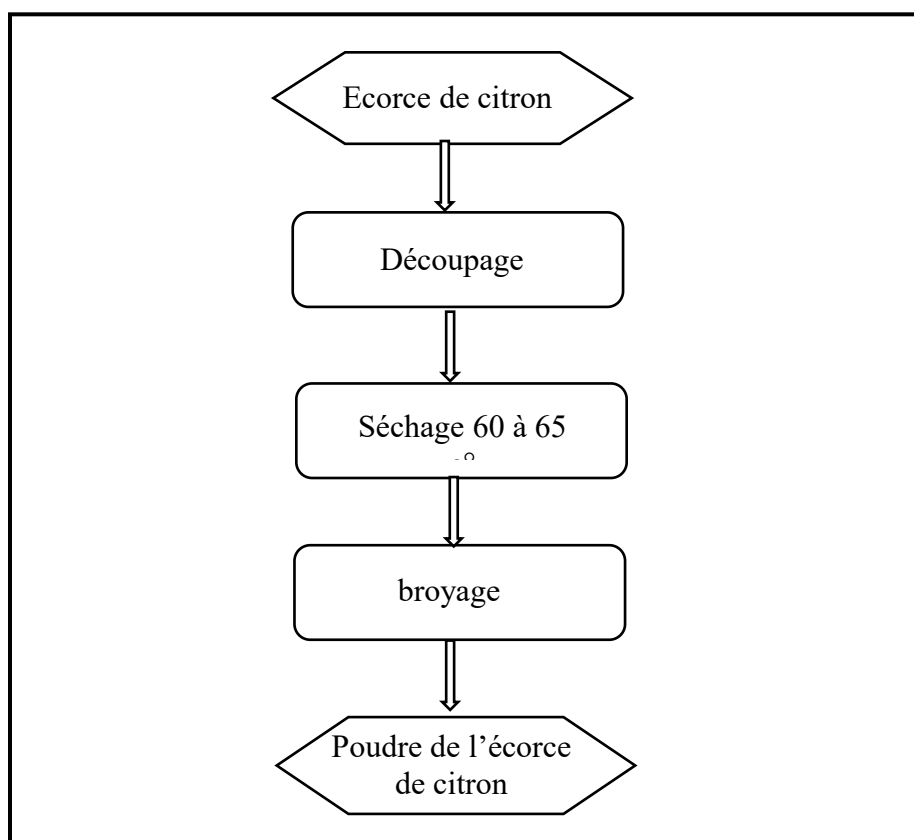


Figure 24 : La préparation de la poudre de citron

III. Taux D'humidité :

La teneur en humidité est le pourcentage en eau perdu durant le séchage par rapport à la matière fraîche. Le taux a été déterminé selon la méthode suivante :

Une masse de 100 g de l'écorce de citron a été introduite dans une étuve portée à une température de (60 à 65) °C. Ce matériel végétal reste soumis au séchage jusqu'à ce que son poids devienne constant (figure 25) la source de figure.

Le taux d'humidité est calculé par la relation suivante :

$$H\% = \frac{(M^2 - M^3)}{(M^2 - M^1)} \times 100$$

M^1 : la masse du papier vide.

M^2 : la masse du papier + la prise d'essai avant le séchage.

M^3 : la masse du papier + la prise d'essai après le séchage.

H : humidité.

Le pourcentage en matière sèche (MS%) est exprimée selon la formule suivante

$$MS\% = 100\% - \%H$$



Figure 25: Image de la détermination de la teneur en humidité de l'écorce de citron

➤ Extraction de pectine :

1. Extraction par traitement acide :

la pectine est extraite selon la méthode de (Lekbir, 2008). La pectine est extraite de la poudre l'écorce de citron dans une solution d'acide chaude, puis précipitée dans une solution d'alcool. L'extraction est effectuée selon les étapes suivantes (figure 26):

- Peser 10g de la poudre de l'écorce.
- La poudre est mise dans 200ml HCl (0.1N) sous agitation et chauffage 90°C pendant 45min.
- Le refroidissement : le mélange est plongé dans la glace pour arrêter l'hydrolyse.

Matériel et méthodes

- L'extrait obtenu est filtré et Le surnageant est récupéré.
- La pectine est alors précipitée avec deux volumes d'alcool 96° pour un volume de surnageant. Le précipité obtenu est lavé par un volume d'alcool 66°.
- Le culot est recueilli, séché et enfin broyé en poudre.
- La poudre fine qui été conditionnée dans des boites hermétiquement fermées à une température inférieure à 10 °C.



**10 g de la poudre
de citron séché**



**Traitement d'acide et
ébullition sous agitation**



Refroidissement



Filtration



Lavage par l'éthanol



Séchage



Broyage

Figure 26: Image de les étapes d'extraction de la pectine par la méthode de

2. Rendement :

Après l'extraction, les pectines humides sont séchées à 60°C jusqu'à ce que leur poids devienne constant, refroidies au dessiccateur, puis pesées au moyen d'une balance de précision. Le rendement est exprimé en poids de pectines sèches extraites à partir de 10g de matière première (écorce de citron séché) le rendement en pectine est calculé suivant l'équation suivante :

$$\text{R.pectine (\%)} = 100 \times P / E$$

Où (R.pectine) est le rendement de la pectine extraite en pourcentage,

(P) : le poids de la pectine extraite.

(E) : le poids des écorces de citron séchées utilisées durant l'extraction.

➤ Analyses physico-chimiques :

Les analyses effectuées dans cette partie se sont des comparaisons entre la pectine extraite de citron et la pectine commerciale.

1. Teneur en humidité :

L'humidité est déterminée selon la méthode de l'AOAC, 1980. Une prise de 1g de la pectine commerciale et la pectine de citron a été chauffée dans l'étuve à 105°C pendant 4h. La teneur en humidité a été exprimée en pourcentage H%

Le taux d'humidité est calculé par la relation suivante :

$$\text{H\%} = [(M^2 - M^3)] / [(M^2 - M^1)] \times 100$$

M¹ : la masse du papier vide.

M² : la masse du papier + la prise d'essai avant le séchage. M³ : la masse du papier + la prise d'essai après le séchage.

H : humidité.

Le pourcentage en matière sèche (MS%) est exprimée selon la formule suivante :

$$MS\% = 100\% - \%H$$

2. Détermination du poids équivalent :

Le poids équivalent, la teneur en méthoxyle, et l'acide galacturonique sont déterminés selon la méthode par **Owens et al., 1952**. La valeur du poids équivalent est utilisée pour calculer la teneur en acide galacturonique. L'expérimentation est effectuée selon le protocole suivant :

- Une prise d'essai de 0.5g de pectine commerciale et pectine de est ajoutée à 5ml d'éthanol.
- Ensuite on ajoute 1g de de chlorure de sodium (NaCl) dans la solution.

Puis, on additionne 10ml d'eau distillée avec 6 gouttes de rouge de phénol (comme indicateur coloré).

- Une agitation rapide est appliquée pour s'assurer que la pectine soit bien solubilisée.
- La solution est titrée avec du NaOH (0.1N) avec une agitation jusqu'à ce que la couleur (rouge de phénol) devient rose persistante pendant au moins 30 Secondes et on note V1.

L'équation suivante est utilisée pour calculer le poids équivalent :

$$\text{poids équivalent} = \frac{\text{masse de l'échantillon} \times 1000}{\text{volume de NaOH} \times \text{normalité de NaOH}}$$



Figure 27: Image du changement de couleur de solution vers le rose

3. Teneur En Méthoxyle :

La solution neutralisée obtenue précédemment est utilisée pour la détermination de la teneur en méthoxyle (MeO).

- L'addition de 25 ml de NaOH 0.25N à la solution neutralisée avec agitation.
- Puis la solution est laissée reposer pendant 30 min à température ambiante.
- Ensuite, 25ml de HCl (0.25N) est ajoutée et la solution est titrée avec du NaOH (0.1N) jusqu'au virage de la couleur de l'indicateur coloré (rouge de phénol) au rose et on note V2.

Le calcul du teneur en méthoxyle est selon l'équation suivante :

$$MeO (\%) = \frac{m\acute{e}q \text{ de } NaOH \times 31 \times 100}{masse \text{ de l'\acute{e}chantillon (mg)}}$$

Où : méq : mélli équivalent. 31 : masse moléculaire de méthoxyle (MeO).

4. Teneur en acide galacturonique :

La teneur en acide galacturonique est calculée par l'utilisation de la valeur de poids équivalent et la teneur en Méthoxyle (MeO) par l'équation suivante :

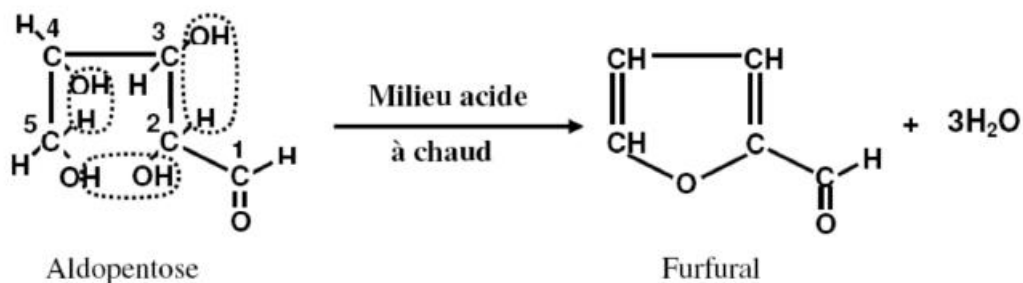
$$AGU (\%) = \frac{176 (\text{méq de NaOH pour l'acide libre} + \text{méq de NaOH pour saponification}) \times 100}{\text{masse de l'échantillon (mg)}}$$

Où : 176 : masse moléculaire de l'acide uronique.

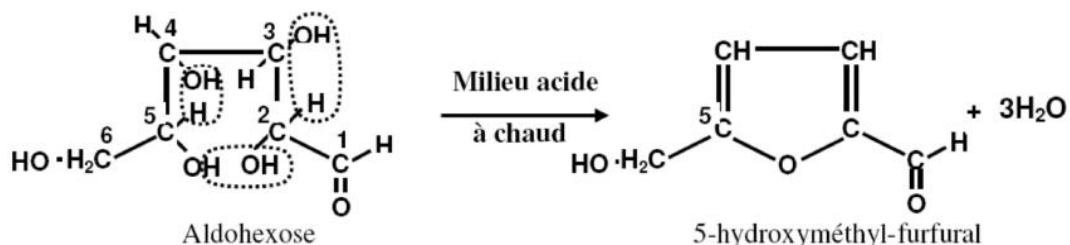
➤ Dosage des sucres solubles :

La concentration en oses neutres est déterminée selon la méthode de **(Dubois et Al, 1956)**, cette technique repose sur la réaction des dérivés du furfural (dérivés Aldéhydiques du furane) issus de la dégradation des oses neutres sous l'action des Acides forts. Ces dérivés se condensent avec le phénol pour former des complexes de couleur brun-jaune, dont l'absorbance est proportionnelle à la quantité d'oses neutres.

• Aldopentose Furfural



- Aldohexose 5-hydroxyméthyl-furfural



Préparation de l'échantillon :

- on mélange 1g de pectine commerciale et de pectine de citron avec 50ml d'eau distillée et de 1g de carbonate de calcium(CaCO₃)
- puis le mélange subit un chauffage jusqu'à l'ébullition pendant 30min avec le maintien d'agitation
- après le refroidissement du mélange, on complète le volume jusqu'à 100ml, puis on ajoute une quantité d'acétate de plomb (10%)
- on faire une 1ere filtration pour éliminer les protéines précipitées par l'acétate du plomb.
- après cette opération, on ajoute une quantité d'oxalate de potassium qui se combine avec l'excès d'acétate de plomb et on fait une 2eme filtration.

• Dosage :

- à partir de l'extrait filtre on prend 1ml qu'on mélange avec 1ml de phénol (5%) et 5ml de H₂SO₄ concentré :
- on chauffe pendant 10 à 15min avec le maintien d'agitation
- puis en refroidi et en fait la lecture de la Densité optique à 485nm des échantillons, du témoin.

Une courbe d'étalonnage est préparée de la même manière que les échantillons

pour permettre de déduire la concentration de notre substance dans l'extrait. La solution mère est à base du glucose à 0.5mg/ml, puis on la répartit dans des tubes à essai comme suit :

	T1	T2	T3	T4	T5	T6
SM (glucose) (ml)	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5
Eau (ml)	1	0.9	0.8	0.7	0.6	0.5

Résultats et discussion

Ce chapitre expose les résultats relatifs à l'extraction de la pectine effectuée à partir de l'écorce de citron appartenant à la variété *Citrus limon Lisbon*.

➤ Taux de l'humidité d'écorce de citron :

L'humidité a été déterminée à partir de l'écorce déshydratée, une fois le poids stabilisé. Les résultats obtenus sont illustrés dans la figure suivante.:

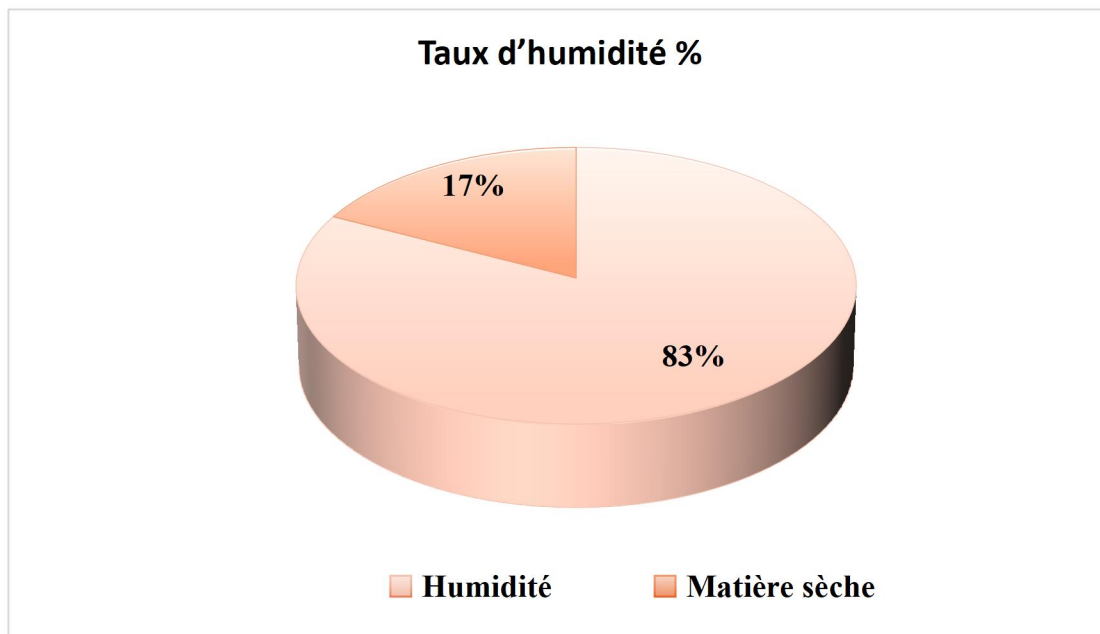


Figure 28: Teneur en humidité relative à la matière sèche de l'écorce de citron

Dans la présente étude, la teneur en humidité de l'écorce de citron (*Citrus limon*), variété Lisbon, a été déterminée à 83 %. Cette valeur est légèrement supérieure à celles généralement rapportées dans la littérature pour les écorces d'agrumes. Par exemple, **Sogi et al. (2013)** ont observé une teneur en humidité d'environ 70 % dans les écorces de pamplemousse (*Citrus paradisi*), tandis que **Duan et al. (2014)** ont rapporté une plage allant de 67 % à 75 % pour différentes variétés de mandarine (*Citrus reticulata*).

Nous avons également confronté nos résultats aux données issues d'une modélisation prédictive de la teneur en humidité des écorces de citron Tahiti (*Citrus latifolia*) au cours du processus de séchage. Selon **Camilo et al (2025)**, cette modélisation révèle une teneur en humidité de 93,38 %, valeur notablement plus élevée que celle obtenue dans notre étude.

La teneur en eau du citron dépend principalement de la variété, du stade de maturité, des conditions de culture, des méthodes de récolte et de stockage, ainsi que des méthodes d'extraction et d'analyse (Naz et al., 2022).

➤ **Extraction de pectine :**

L'extraction de la pectine a été réalisée par traitement acide. Les résultats présentés dans cette partie permettront de comparer la pectine organique extraite à la pectine commerciale issue de la pomme.

1. Rendement :

Il s'agit de la quantité de pectine extraite à partir de la poudre séchée d'écorce de citron.

Les résultats obtenus sont présentés dans la figure suivante :

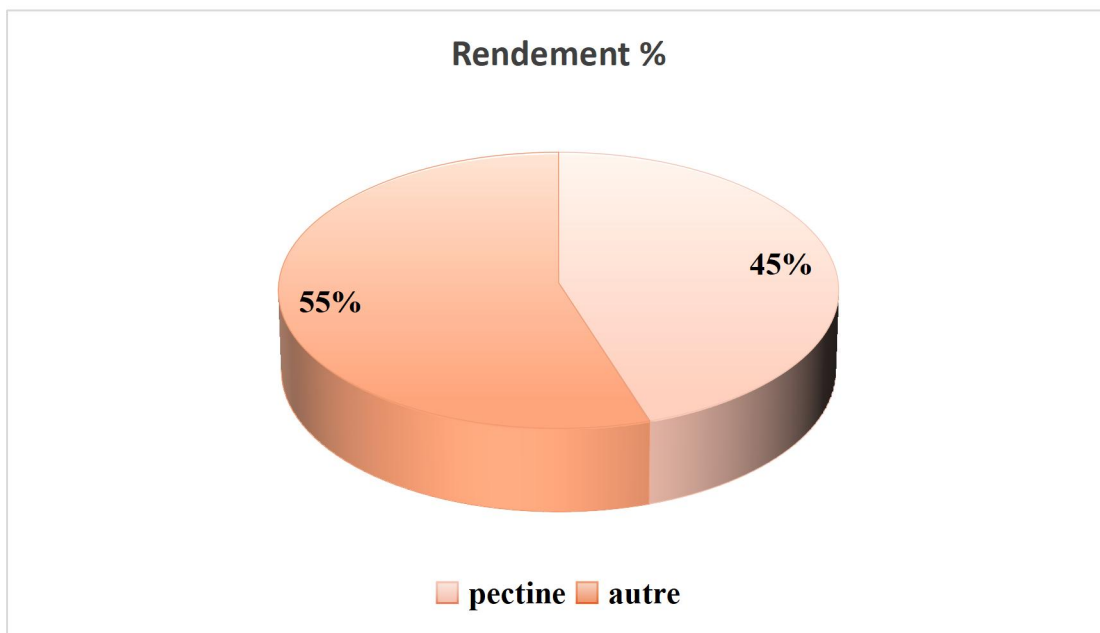


Figure 29: Rendement de la pectine extraite à partir d'écorce de citron

Les résultats indiquent que ce rendement atteint environ 45 % du poids sec de la poudre.

Selon l'étude de Lerotholi et al. (2011), une approche expérimentale basée sur une conception factorielle a été adoptée afin d'évaluer l'effet de divers paramètres-tels que la température, la durée d'extraction, le pH et la taille des particules-sur l'extraction de la pectine à partir de zestes de citron déshydratés. Les résultats ont révélé que chacun de ces facteurs

influence de manière significative non seulement le rendement en pectine, mais également son degré d'estérification et la teneur en acide galacturonique, principal constituant de ce polysaccharide.

Une méthode d'extraction de la pectine à partir de pelures de citron broyées repose sur un processus de digestion acide suivi d'une étape de précipitation impliquant différents types d'alcools. Selon cette approche, le rendement en pectine obtenu oscille entre 1,08% et 2,218% de la matière première, ce qui représente une efficacité d'extraction significativement inférieure à celle rapportée dans nos travaux expérimentaux (**Dambuza et Mabusela. 2024**). De plus l'étude réalisée par **Elfihry et al. (2023)** a évalué l'extraction de la pectine à partir de différentes écorces de fruits (orange, citron, bigarade, coing et grenade), en utilisant principalement l'hydrolyse acide. Les rendements obtenus variaient entre 8,4 % et 29,4 %, avec les meilleurs résultats observés pour l'écorce d'orange (29,4 %) et de citron (29,2 %).

Dans notre étude, nous avons également eu recours au traitement acide comme méthode d'extraction ; toutefois, les résultats obtenus révèlent un rendement nettement plus élevé, atteignant environ 45 % du poids sec de la matière végétale. Cette différence significative pourrait être attribuée à plusieurs facteurs : une matière première plus riche en pectine, des conditions d'extraction mieux maîtrisées (pH, température, durée), ou encore une méthode de traitement plus performante.

2. Analyses physico-chimiques :

. Taux de l'humidité de la pectine :

Le taux d'humidité de la pectine extraite de citron ainsi que celui de la pectine commerciale (issue de pomme) ont été calculés et sont présentés dans l'histogramme ci-dessous:

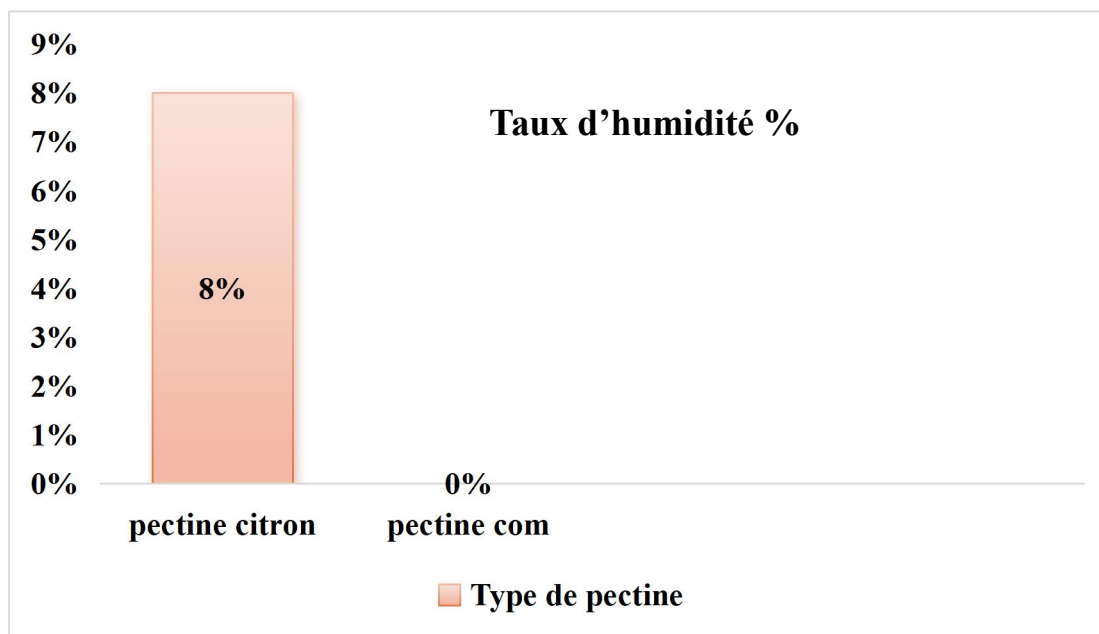


Figure 30: Taux d'humidité de pectine citron et pectine commerciale après séchage

Les résultats obtenus montrent que les différents échantillons analysés présentent des taux d'humidité variables. La pectine de citron affiche un taux d'humidité d'environ 8% du poids sec, tandis que la pectine commerciale ne contient aucune humidité (0 %). Ces variations dans les taux d'humidité soulignent des différences significatives dans la composition et le traitement des échantillons, ce qui peut avoir un impact sur leurs propriétés fonctionnelles et leur conservation.

Dans une étude récente publiée en **2019, Einhorn-Stoll et Kunzek** ont étudié la dégradation thermique de la pectine extraite des agrumes dans des conditions de stockage à haute température (60  C) et à une humidité relative de 80 % pendant quatre semaines. Les résultats ont montré que la teneur en humidité disponible dans l'échantillon joue un rôle crucial dans l'étendue de la d m thoxylation de la pectine, ainsi que dans le type et l'intensité de la dépolymérisation des chaînes. L'étude a également révélé que certaines de ces réactions entrent en concurrence pour l'eau présente, ce qui souligne l'importance de contrôler l'humidité pendant le stockage afin de préserver les propriétés structurales de la pectine.

. Poids  quivalent :

L'objectif de cette expérience est de déterminer le poids équivalent de la pectine de citron par rapport à la pectine commerciale. Les résultats obtenus sont présentés dans la figure suivante :

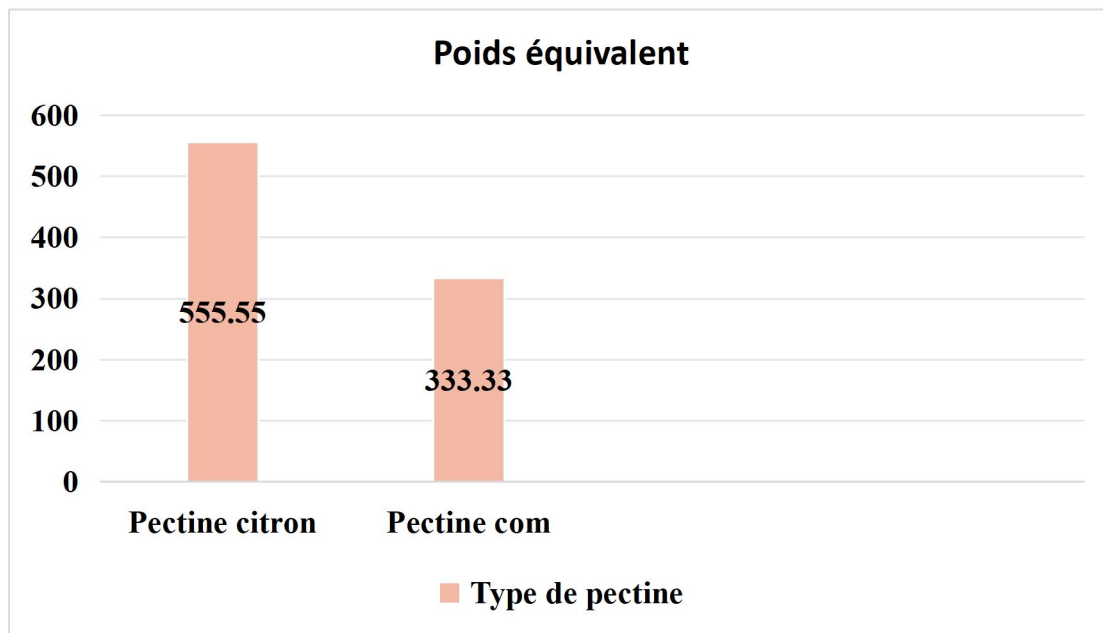


Figure 31:  volution comparative du poids équivalent de pectine de citron et la pectine commerciale

L'analyse révèle que la pectine commerciale présente un poids équivalent de 333,33, sensiblement plus faible que celui de la pectine issue de l'écorce de citron, estimé à 555,55.

Selon (Azad et al. 2014), le poids équivalent de la pectine de citron est fortement influencé par le stade de maturation du fruit. Les échantillons prématurés présentent des poids équivalents plus élevés, indiquant une meilleure qualité de pectine pour des applications industrielles nécessitant des propriétés gélifiantes optimales. De plus ces résultats sont cohérents avec ceux rapportés par Rolin (1993), qui a noté que les pectines extraites de matériaux initialement jeunes ou quelque peu mûrs ont généralement des équivalents pondéraux plus élevés, indiquant une dégradation moindre des chaînes de galacturonane. De plus, Yapo et al. (2007) ont démontré que les pectines d'agrumes extraits d'écorces fraîches et peu transformées présentent des

caractéristiques physico-chimiques supérieures, telles que le poids équivalent et le degré d'estérification. Ces comparaisons soutiennent la qualité prometteuse de l'extrait de pectine de citron utilisé dans cette étude.

. Teneur en Méthoxyle :

La teneur en méthoxyle est un facteur clé influençant à la fois le temps et la capacité de formation des gels de pectine. Les résultats obtenus sont présentés ci-dessous:

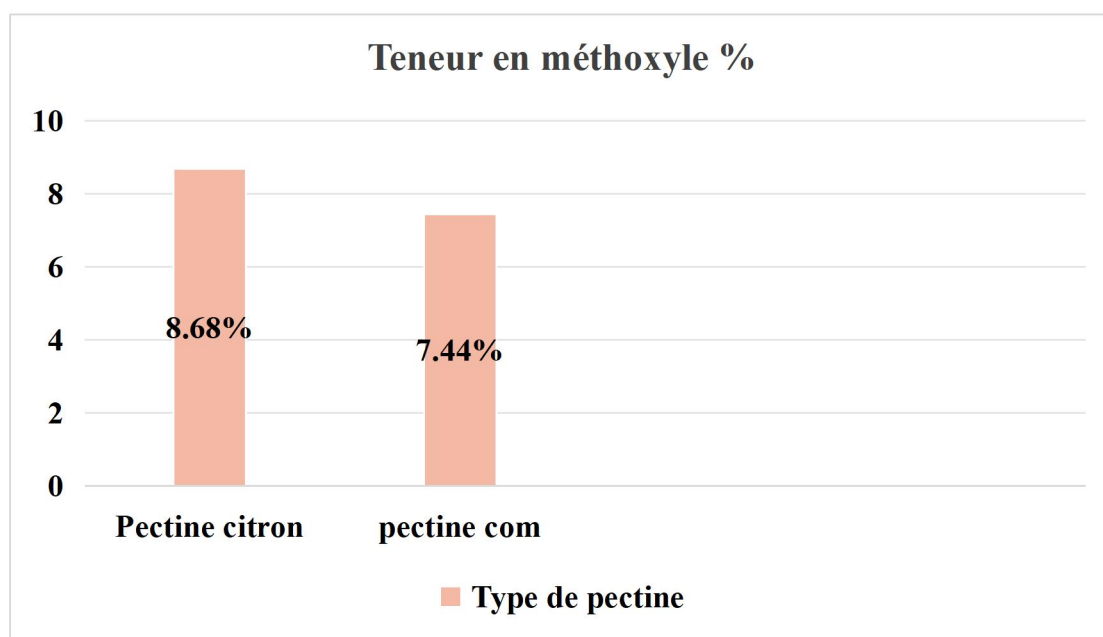


Figure 32: Teneur en groupes méthoxyles dans la pectine issue du citron et dans la pectine industrielle

Les résultats obtenus montrent que la teneur en méthoxyle de la pectine extraite de l'écorce de citron (8,68 %) est légèrement supérieure à celle de la pectine commerciale (7,44 %). Ces deux valeurs indiquent que les deux types de pectine appartiennent à la catégorie des pectines à haute teneur en méthoxyle (HM), caractérisées par un taux de méthoxyle supérieur à 7 %.

Selon **Willats et al. (2006)** et **Combo et al. (2011)**, la teneur en groupes méthoxyles (MeO %) est un paramètre déterminant pour la capacité de gélification de la pectine. En effet, les pectines à haute teneur en méthoxyle forment des gels en présence de fortes concentrations en sucre et à pH acide, tandis que celles à faible teneur en méthoxyle ($\text{MeO} < 7\%$) nécessitent la présence d'ions calcium pour former des gels, même en absence de sucre.

Ainsi, la pectine de citron analysée, avec sa teneur méthoxyle plus élevée que celle de la pectine commerciale, pourrait présenter une meilleure aptitude à la gélification dans des conditions acides et sucrées, ce qui peut être un avantage dans certaines applications alimentaires. Cette différence peut être attribuée à l'origine naturelle et au mode d'extraction de la pectine de citron, qui peut préserver davantage les groupements méthoxyles.

. Teneur en acide galacturonique :

L'estimation du pourcentage d'acide galacturonique a été calculée en fonction du poids équivalent et du taux de méthoxyle. Le figure représente les résultats obtenus :

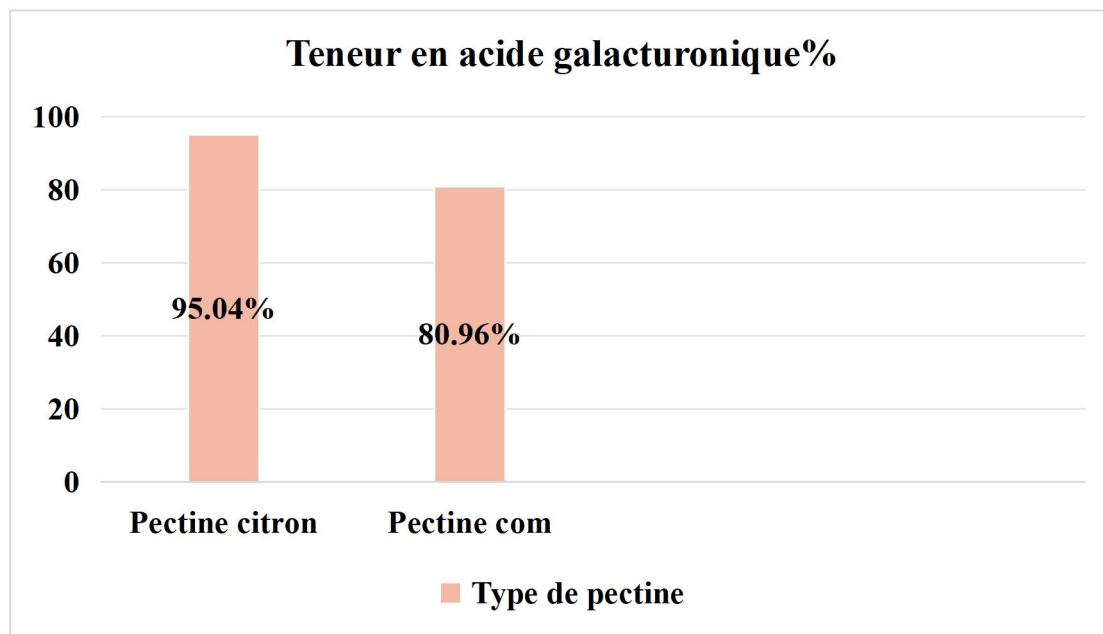


Figure 33: Teneur en acide galacturonique dans la pectine issue du citron et dans la pectine industrielle

L'analyse de la teneur en acide galacturonique (AG) a révélé des valeurs de 95 % pour la pectine extraite de l'écorce de citron et de 80 % pour la pectine commerciale. Ces deux teneurs sont nettement supérieures au seuil minimum de 65 %, exigé par les normes de qualité définies par la FAO et confirmées par l'EFSA (European Food Safety Authority) pour qu'une pectine soit considérée comme apte à un usage alimentaire (EFSA Journal, 2017). Cela signifie que les deux pectines analysées répondent aux critères de pureté exigés pour une utilisation commerciale.

L'acide galacturonique est le principal constituant structural de la chaîne homogalacturonane de la pectine, et sa teneur est généralement utilisée comme indicateur de la pureté et du degré de raffinement du produit. Une teneur élevée en AG est souvent synonyme de meilleure qualité fonctionnelle, notamment en ce qui concerne les propriétés de gélification, d'épaississement et de stabilisation (Voragen et al., 2009).

La valeur de 95 % obtenue pour la pectine de citron suggère une grande richesse en polysaccharides uroniques, ce qui reflète un bon rendement d'extraction et peu d'impuretés (protéines, sucres neutres, cendres, etc.). Cela confère à cette pectine un potentiel technologique élevé, comparable, voire supérieur, à certaines pectines industrielles, notamment pour les formulations exigeant une forte capacité de gélification ou une stabilité accrue.

3. Dosage des sucres solubles :

Le dosage des sucres solubles contenus dans la pectine de citron et la pectine commerciale a été effectué conformément à la méthode spectrophotométrique décrite par (Dubois et al. 1956). Le glucose a servi de standard pour l'élaboration de la courbe d'étalonnage.

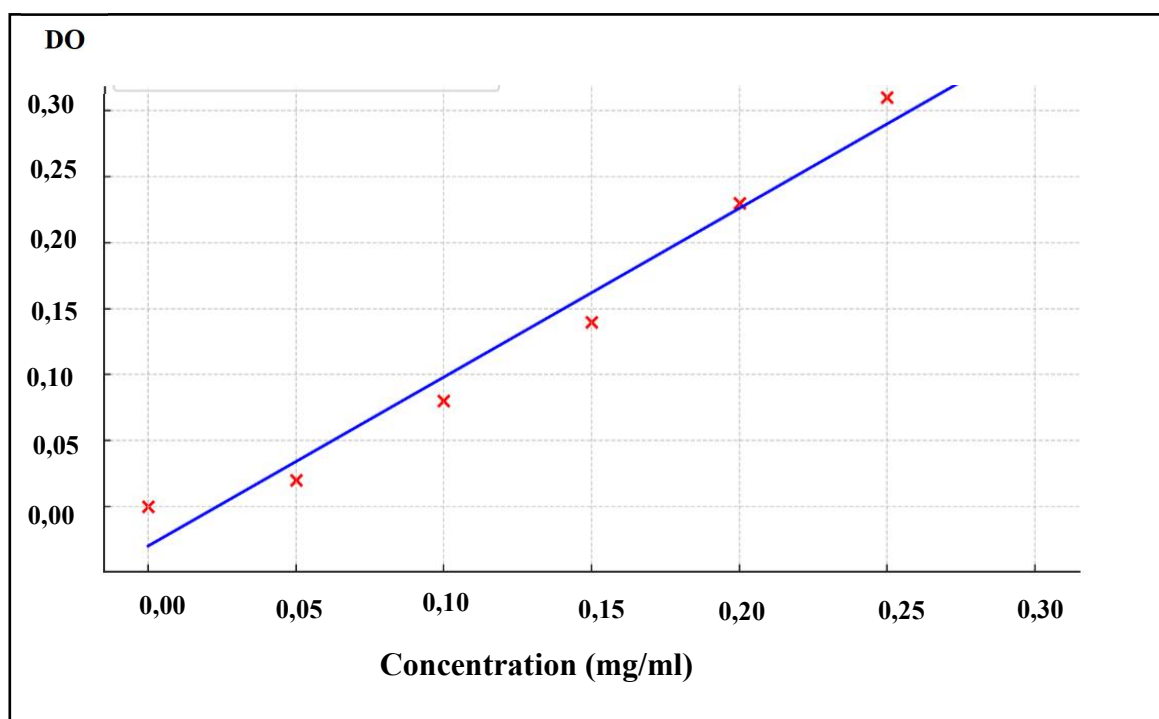


Figure 34: Courbe d'étalonnage du glucose.

  partir de la courbe d'étalonnage et de l'équation obtenue à partir du graphe, nous avons déterminé les concentrations en sucres solubles présentes dans la pectine de citron ainsi que dans la pectine commerciale. Les résultats sont illustrés dans la figure ci-dessous :

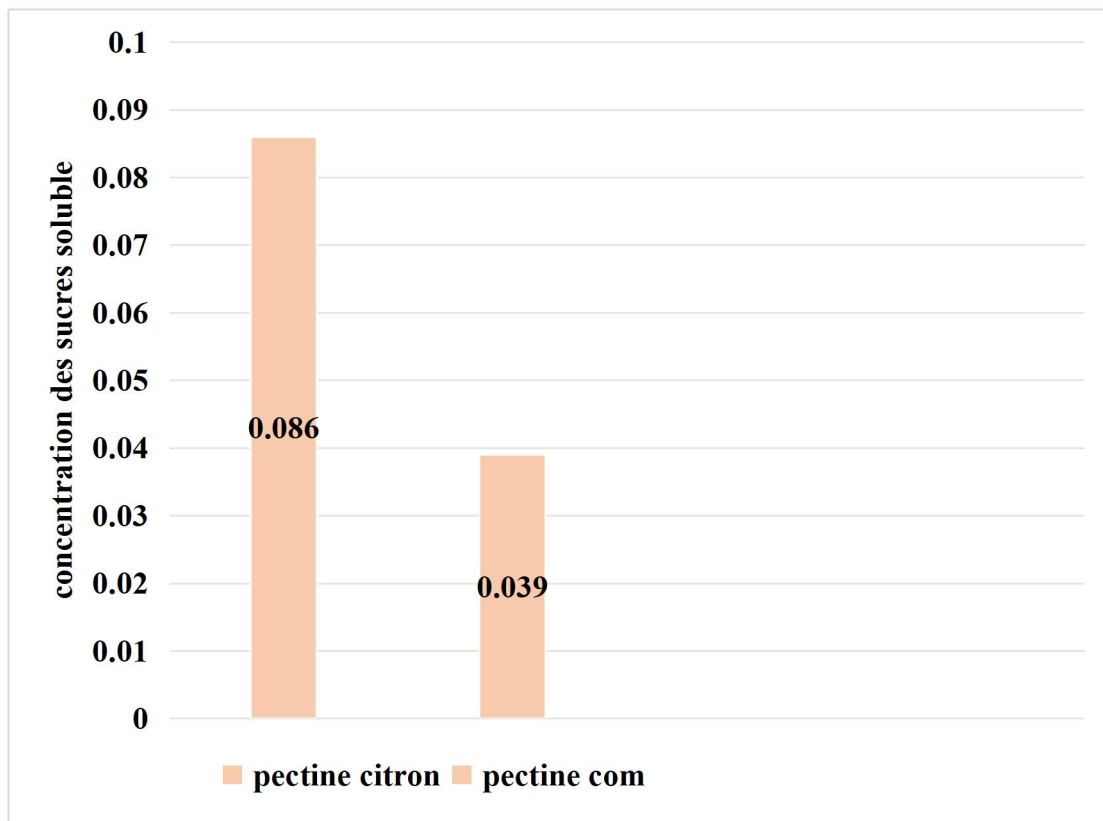


Figure 35: Concentration de sucres solubles dans la pectine de citron et la pectine commerciale

La méthode phénol-acide sulfurique, initialement développée par **Dubois et al. (1956)**, demeure une référence incontournable pour le dosage colorimétrique des sucres totaux, y compris les sucres solubles extraits des matrices complexes comme la pectine. Cette technique repose sur la réaction des sucres avec l'acide sulfurique et le phénol, produisant une coloration dont l'intensité est proportionnelle à la concentration en sucres. Le glucose est couramment utilisé comme standard d'étalonnage, ce qui permet une quantification précise et reproductible.

La pertinence de cette méthode ont été confirmées par des études plus récentes, notamment celles de **Masuko et al. (2005)** et **Yang et al. (2022)**, qui ont validé son efficacité pour l'analyse des polysaccharides et des sucres solubles dans différents types d'échantillons biologiques et

alimentaires. Ces travaux modernes ont aussi permis d'adapter la méthode aux technologies spectrophotométriques actuelles, améliorant ainsi sa sensibilité et sa rapidité d'exécution.

Les calculs des concentrations en sucres solubles dans notre étude révèlent que la teneur en sucres de la pectine extraite de citron (0,086 mg/ml) est plus élevée que celle de la pectine commerciale (0,039 mg/ml). Cette différence pourrait s'expliquer par la nature même des pectines extraites, où la pectine de citron, étant moins purifiée, peut contenir davantage de sucres neutres ou d'impuretés solubles, tandis que la pectine commerciale, souvent plus raffinée, présente une teneur plus faible en sucres libres.

Conclusion

Dans le contexte actuel de développement durable et de réduction des déchets agroalimentaires, la valorisation des coproduits issus de l'industrie fruitière suscite un intérêt croissant. Parmi ces coproduits, les écorces d'agrumes représentent une source potentielle de composés bioactifs, notamment la pectine, largement utilisée dans les industries alimentaire, pharmaceutique et cosmétique.

C'est dans cette optique que la présente étude s'est focalisée sur l'extraction de la pectine à partir des écorces de citron, plus précisément de la variété *Citrus limon Lisbon*. Le protocole d'extraction mis en œuvre s'est articulé autour de quatre étapes fondamentales : l'extraction acide, la précipitation, la séparation et le séchage. L'emploi d'un traitement acide comme méthode d'extraction s'est révélé particulièrement efficace, mettant en évidence le fort potentiel de ce sous-produit agroalimentaire en tant que source naturelle de pectine.

Ce travail nous a permis d'isoler, de caractériser physico-chimiquement et d'évaluer la pectine extraite, en la comparant à une pectine commerciale issue de la pomme, dans le but d'apprécier sa qualité et ses propriétés fonctionnelles.

La pectine extraite de l'écorce de citron Lisbon présente un rendement élevé de 45 %, mettant en évidence l'efficacité du procédé d'extraction et la richesse de cette matière première. Comparée à la pectine commerciale, la pectine de citron naturel se distingue par une humidité, un poids équivalent et un taux de groupements méthoxyl plus élevés, ce qui suggère de meilleures capacités gélifiantes, notamment en milieu sucré et acide. Ces différences s'expliquent également par le caractère moins transformé de la pectine naturelle et par la méthode d'extraction utilisée, qui permet de mieux préserver les propriétés originales de la molécule. Sa teneur en acide galacturonique, avoisinant les 95 %, témoigne d'une excellente pureté, gage de qualité pour les applications industrielles. De plus, le dosage des sucres solubles met en évidence une concentration relativement élevée dans la pectine issue du citron. Cette teneur accrue s'explique par le fait que la pectine naturelle conserve une fraction plus importante de sucres solubles, en raison d'un processus d'extraction moins raffiné, reflétant ainsi une composition plus brute comparée à celle de la pectine commerciale, qui est hautement purifiée.

En conclusion, l'ensemble des résultats obtenus confirme la haute qualité de la pectine extraite du citron ainsi que son fort potentiel technologique dans diverses formulations alimentaires. Grâce à ses excellentes propriétés fonctionnelles — notamment sa capacité gélifiante, sa pureté

élevée et sa richesse en composés méthoxylés — cette pectine se présente comme un ingrédient particulièrement adapté à de nombreuses applications, telles que les confitures, gelées, produits laitiers, ou encore les alternatives végétales, où la texture, la stabilité et la naturalité sont essentielles. Par ailleurs, l'utilisation de coproduits issus de l'industrie des agrumes comme matière première s'inscrit dans une démarche écoresponsable et durable, renforçant à la fois la valeur environnementale et l'intérêt industriel de cette ressource naturelle.

Il est important de compléter et d'approfondir cette étude pour apporter des renseignements sur :

- Évaluer l'activité antioxydante de la pectine extraite afin de déterminer son potentiel fonctionnel et ses applications en tant qu'agent bioactif.
- Explorer l'efficacité de méthodes alternatives d'extraction, telles que l'extraction par ultrasons ou micro-ondes, pour optimiser le rendement et la qualité de la pectine extraite.
- Étendre l'étude à d'autres variétés de citron afin de comparer les rendements et les caractéristiques physico-chimiques des pectines obtenues.
- Améliorer les analyses physico-chimiques en intégrant des techniques avancées pour une caractérisation plus précise des propriétés structurales et fonctionnelles de la pectine.

Références bibliographiques

A

Agrumaria Corleone. (s.d.). Citron. Consulté le 15 mai 2025, à partir de <https://www.agrumariacorleone.com/fr/citron.html>

Akhtar, M., Dickinson, E., Mazoyer, J., & Langendorff, V. (2002). Emulsion stabilizing properties of depolymerized pectin. *Food Hydrocolloids*, 16, 249–256. [https://doi.org/10.1016/S0268-005X\(01\)00109-0](https://doi.org/10.1016/S0268-005X(01)00109-0)

AOAC. (1980). Official methods of analysis (13th ed.). Association of Official Analytical Chemists.

Axelos, M. A. V., & Thibault, J.-F. (1991). Difficultés expérimentales de l'étude des macromolécules pectiques. *Bulletin de la Société Botanique de France*, 138(1), 319–337.

Azad, A. K. M., et al. (2014). Isolation and characterization of pectin extracted from lemon pomace during ripening. *Journal of Food and Nutrition Sciences*, 2(2), 30–35.

B

Bachès, P., & Bachès, D. (2011). Agrumes. Éditions du Rouergue.

Bonnin, E., Garnier, C., Ralet, M. C., & Thibault, J. F. (2002a). Characterisation of pectin subunits released by an optimised combination of enzymes. *Carbohydrate Research*, 337(17), 1687–1696.

Bonnin, E., Garnier, C., Ralet, M. C., & Thibault, J. F. (2002b). Characterisation of pectin subunits released by an optimised combination of enzymes. *Carbohydrate Research*, 337(17), 1687–1696.

C

Camilo, M. M., et al. (2025). Production of Pectin from Citrus Residues: Process Alternatives and Insights on Its Integration under the Biorefinery Concept. In *Pectin: Technological and Functional Properties* (pp. 1–25). Springer.

Carene, M., Picot-Allain, N., Ramasawmy, B., & Emmambux, M.N. (2020). Extraction, caractérisation et applications de la pectine issue de fruits tropicaux et subtropicaux : une revue. *Food Reviews International*. <https://doi.org/10.1080/87559129.2020.1833930>

Cassan, A. (2008). Guide des agrumes (Découvre le chemin des plantes). Institut Klorane.

Chen, J., Liu, W., Liu, C.-M., & al. (2015). Pectin modifications: A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 55(12), 1684–1698. <https://doi.org/10.1080/10408398.2012.718722>

Chomta, P., & Nunthanid, J. (2017). Caractéristiques physico-chimiques de différentes pectines d'agrumes et leur application dans des comprimés pharmaceutiques oraux. *Carbohydrate Polymers*, 174, 25–31. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2017.06.049>

Combo, A. M., et al. (2011). Characterization of sugar beet pectic-derived oligosaccharides obtained by enzymatic hydrolysis. *International Journal of Biological Macromolecules*, 49(1), 1–7.

D

Dambuza, N., & Mabusela, W. T. (2024). Extraction, characterization, and antioxidant activity of pectin from lemon peels collected in different regions. *Food Chemistry*, 400, 134042.

Donato, L. (2004). Heat-induced gelation of bovine serum albumin/low-methoxyl pectin mixtures. In P. A. Williams & G. O. Phillips (Eds.), *Gums and Stabilisers for the Food Industry 12* (pp. 161–166). Royal Society of Chemistry.

Dubey, V., Mohan, P., Singh Dangi, J., & Kesavan, K. (2019). Nanocapsules mucoadhésives à base de chitosane-pectine chargées en brinzolamide pour le traitement du glaucome : formulation, caractérisation et étude pharmacodynamique. *International Journal of Biological Macromolecules*. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.10.219>

Dubois, M., Gilles, K. A., Hamilton, J. K., Rebers, P. A., & Smith, F. (1956). Colorimetric method for determination of sugars and related substances. *Analytical Chemistry*, 28(3), 350–356.

Dumville, J. C., & Fry, S. C. (2000). Uronic acid-containing oligosaccharins: Their biosynthesis, structure and function. *Phytochemistry*, 53(4), 415–423.

Duan, X., Zhang, M., Mujumdar, A. S., & Wang, R. (2014). Effects of high-pressure pretreatment on acid extraction of pectin from pomelo peel. *International Journal of Food Science & Technology*, 49(5), 1214–1220. <https://doi.org/10.1111/ijfs.12418>

Duan, X., Zhang, D., Li, D., & Jiang, Y. (2014). Modification of pectin polysaccharide from citrus peel waste by H₂O₂ and its antioxidant properties. *Food*

Hydrocolloids, 36, 144–150.

Duportal, M., Jorda, E., Sanchez, C., Imbert, E., Loeillet, D., Vannière, H., & CIRAD. (2013). Focus Citron – Taille mini. Observatoire des Marchés du CIRAD.

E

Einhorn-Stoll, U., & Kunzek, H. (2019). Thermal degradation of citrus pectin in low-moisture environment. Food Hydrocolloids, 89, 1–8.

Elfihry, A., El Moukhtar, S., & Bouaziz, M. (2023). Extraction et caractérisation de la pectine à partir d'écorces de fruits : comparaison entre orange, citron, bigarade, coing et grenade. Journal of Food Chemistry and Technology..

EspaceAgro. (s.d.). Citron Eureka – Tunisie. Consulté le 15 mai 2025, à partir de https://www.espaceagro.com/fruits-legumes/citron-eureka_i363991.html

Espitia, P.P.J., Du, W.X., Avena-Bustillos, R.J., Soares, N.D.F.F., & McHugh, T.H. (2014). Films comestibles à base de pectine : propriétés physico-mécaniques et antimicrobiennes – Une revue. Food Hydrocolloids, 35, 287–296. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2013.06.025>

European Food Safety Authority (EFSA). (2017). Re-evaluation of pectin (E 440i) and amidated pectin (E 440ii) as food additives. EFSA Journal, 15(7), 4866.

F

Fishman, M.L., Chau, H.K., Hoagland, P., & Ayyad, K. (2000). Caractérisation de la pectine extraite rapidement de l'albédo d'orange par chauffage micro-ondes sous pression. Carbohydrate Research, 323, 126–138.

G

Golovchenko, V. V., et al. (2002). Structural studies of the pectic polysaccharide from duckweed *Lemna minor* L. *Phytochemistry*, 60(1), 67–77.

Gonçalves, S., Castro, J., Almeida, A., Monteiro, M., Rodrigues, T., Fernandes, R., & Matos, R. S. (2024). A systematic review of the therapeutic properties of lemon essential oil. *Advances in Integrative Medicine*, publié le 18 octobre 2024. <https://doi.org/10.1016/j.aimed.2024.10.004>

Goycoolea, F. M., & Cárdenas, A. (2003). Pectins from *Opuntia* spp.: A short review. *Journal of the Professional Association for Cactus Development*, 5, 17–29.

H

Haineault, C. (2011). *L'agrumiculture: les bases de la culture des agrumes en climat tempéré*. Québec: Éditions Multimondes.

Heitman, D.W., Hardman, W.E., & Cameron, I.L. (1992). Supplémentation alimentaire en pectine et gomme de guar dans la cancérogenèse colique induite par le 1,2-diméthylhydrazine chez les rats. *Carcinogenesis*, 13(5), 815–818. <https://doi.org/10.1093/carcin/13.5.815>

Himed, L., Merniz, S., & Barkat, M. (2018). Chemical composition of *Citrus limon* (Eureka variety) essential oil and evaluation of its antioxidant and antibacterial activities. *African Journal of Biotechnology*, 17(11), 356–361. <https://doi.org/10.5897/AJB2016.15693>

I

Ishii, T., Matsunaga, T., & Hayashi, N. (1999). The structure and function of pectin in the cell wall. *Plant and Cell Physiology*, 40(10), 1100–1105.

J

Jackson, C. L., Dreaden, T. M., Theobald, L. F., Tran, N. M., Beal, T. L., Eid, M., ... & Pishko, M. V. (2007). Pectin induces apoptosis in human prostate cancer cells. *The FASEB Journal*, 21(11), 3323–3332.

Jacquemond, C. (2008). Les principales variétés de citron. Observatoire des Marchés.

K

Khan, M. S., Ahmad, D., Mohammad, F., & Khan, M. S. (2020). Origin and history of lemon (*Citrus limon*). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 68(26), 6955–6969. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.0c01434>

Kerfi, I. G., & Benyahia, R. (2020). Caractérisation physico-chimique des huiles essentielles de l'écorce de citron (*Citrus limon*) et évaluation des activités antioxydantes et anti-inflammatoires (Mémoire de Master, Université de Bejaia).

Kimball, J. W. (1999). *Biology* (5th ed.). Addison Wesley Longman.

Kliemann, E., de Sinas, K.N., Amante, E.R., Prudencio, E.S., Teolilo, R.F., Ferreira, M.M.C., & Amboni, R.D.M.C. (2009). Optimisation de l'extraction acide de la pectine à partir de pelures de fruit de la passion (*Passiflora edulis flavicarpa*) par la méthode des surfaces de réponse. *International Journal of Food Technology*.

L

Lekbir, A. (2008). Extraction et caractérisation de la pectine à partir des déchets de citron [Mémoire de Master, Université Abou Bekr Belkaïd – Tlemcen].

Lerotholi, L., et al. (2011). Extraction and characterization of pectin from mango peels. *African Journal of Food Science*, 5(5), 264–270.

Levigne, S., Thomas, M., Ralet, M.-C., Quemener, B., & Thibault, J.-F. (2002). Determination of the degrees of methylation and acetylation of pectins using a C18 column and internal standards. *Food Hydrocolloids*, 16(6), 547–550. [https://doi.org/10.1016/S0268-005X\(02\)00027-2](https://doi.org/10.1016/S0268-005X(02)00027-2)

Luro, F., Costantino, G., Ollitrault, P., & Curk, F. (2013). Origine et évolution de la diversité des agrumes (Livre 02). Observatoire des Marchés, CIRAD.

Leong, E. J., Tan, L. F., Yap, V. L., Rajagopal, M., & Chandran, R. (2024). Cosmetological applications of Citrus limon: A mini-review. *Indian Journal of Natural Products and Resources*, 15(2), 286–293. <https://doi.org/10.56042/ijnpr.v15i2.11488>

M

Masuko, T., et al. (2005). Carbohydrate analysis by a phenol-sulfuric acid method in microplate format. *Analytical Biochemistry*, 339(1), 69–72.

Meziti, H. (2019). Biochimie appliquée – L3 Biochimie. Université de Sétif, Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie (FSNV).

Michel, F. (2002). Pectins: Structure and function. *Carbohydrate Polymers*, 50(2), 145–158.

Morris, E. R., Rees, D. A., Thom, D., & Boyd, J. (1978). Chiroptical and stoichiometric evidence of a specific primary dimerisation process in alginate gelation. *Carbohydrate Research*, 66(1), 145–154. [https://doi.org/10.1016/S0008-6215\(00\)83674-2](https://doi.org/10.1016/S0008-6215(00)83674-2)

Monde Végétal. (s.d.). Les variétés de citron. Consulté le 15 mai 2025, à partir de <https://monde-vegetal.fr/blogs/blog/varietes-de-citron>

Munarin, F., Tanzi, M.C., & Petrini, P. (2012). Progrès dans les applications biomédicales des gels de pectine. *International Journal of Biological Macromolecules*, 51, 681–689.

N

Naz, F., et al. (2022). Influence of extraction conditions on the carbohydrate and physicochemical properties of pectin from immature persimmon fruit. *Food Hydrocolloids*, 125, 107388.

Ngouemazong, E. D., Christiaens, S., Shpigelman, A., Van Loey, A., & Hendrickx, M. (2015). The emulsifying and emulsion-stabilizing properties of pectin: A review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 14, 705–718. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12155>

O

O'Neill, M. A., Ishii, T., Albersheim, P., & Darvill, A. G. (2004). Rhamnogalacturonan II: structure and function of a borate cross-linked cell wall pectic polysaccharide. *Annual Review of Plant Biology*, 55, 109–139.

Ollitrault, P., Dambier, D., Froelicher, Y., Luro, F., & Cottin, R. (2000). La diversité des agrumes : structuration et exploitation par hybridation somatique. *Comptes rendus de l'Académie d'Agriculture de France*, 86(8), 197–221.

Olhar Feliz. (2021, 12 décembre). Pourquoi le citron est acide ? Consulté le 15 mai 2025, à partir de <https://olharfeliz.typepad.com/citrus/2021/12/pourquoi-le-citron-est-acide-.html>

Oosterveld, A., Beldman, G. B., Schols, H. A., & Voragen, A. J. (1996). Arabinose and ferulic acid-rich pectic polysaccharides extracted from sugar beet pulp. *Carbohydrate Research*, 288(1), 143–153. [https://doi.org/10.1016/S0008-6215\(96\)00150-4](https://doi.org/10.1016/S0008-6215(96)00150-4)

Owens, H. S., McCready, R. M., Shepard, A. D., Schultz, T. H., Pippen, E. L., Swenson, H. A., & Loo, J. A. (1952). Pectin content of citrus peel and pulp. *Industrial & Engineering Chemistry*, 44(11), 2644–2648.

P

Perrone, P., Hewage, C. M., Thomson, A. R., Bailey, K., Sadler, I. H., & Fry, S. C. (2002). Patterns of methyl and O-acetyl esterification in spinach pectins: new complexity. *Phytochemistry*, 60(1), 67–77.

Références bibliographiques

Picot-Allain, M.C.N., Ramasawmy, B., & Emmambux, M.N. (2020). Extraction, caractérisation et applications de la pectine issue de fruits tropicaux et subtropicaux : une revue. *Food Reviews International*.

Polese, M. (2008). *La nouvelle économie urbaine: Le grand retour des villes dans le développement économique*. Éditions de l'Aube.

R

Radio Algérienne. (2024, 30 janvier). Agriculture : la production d'agrumes augmente à plus de 18 millions de quintaux durant la saison en cours.

Ralet, M. C., Dronnet, V., Buchholt, H. C., Thibault, J. F. (2005). Enzymatically and chemically de-esterified lime pectins: Characterisation, polyelectrolyte behaviour and calcium binding properties. *Carbohydrate Polymers*, 60(4), 477–490.

Ralet, M.-C. & Thibault, J.-F. (1994). Étude des caractéristiques structurales des pectines extraites de pulpe de betterave. *Carbohydrate Polymers*, 23(1), 1–9.

Raven, P. H., Evert, R. F., & Eichhorn, S. E. (2008). *Biology of Plants* (7th ed.). W. H. Freeman and Company.

Rees, D. A. (1972). Polysaccharide gel: A molecular view. *Chemistry and Industry*, 1972, 632–636.

Ridley, B. L., O'Neill, M. A., & Mohnen, D. (2001). Pectins: Structure, biosynthesis, and oligogalacturonide-related signaling. *Phytochemistry*, 57(6), 929–967.

Rolin, C. (1993). Commercial pectin preparations. In R. H. Walter (Ed.), *The Chemistry and Technology of Pectin* (pp. 49–60). Academic Press.

S

Schols, H. A., & Voragen, A. G. J. (2002). The chemical characterisation of commercial lemon pectins. In Summer course Glycosciences (7th European on Glycosciences). Wageningen University.

Schols, H. A., Voragen, A. G. J., & Rombouts, F. M. (1995). The GalA residues may, in some plants, be substituted at O-3 with a β -linked xylosyl residue. *Phytochemistry*, 39(5), 1143–1147.

Sebaoui, O. (2018). Modélisation et optimisation de l'extraction de la pectine à partir du zeste de citron et de son utilisation dans l'encapsulation des composés phénoliques des margines de l'industrie oléicole (Thèse de doctorat, Université de Bejaia).

Sharma, R., Kaur, R., & Oberoi, H. S. (2006). Effect of acid type and concentration on properties of pectin extracted from apple pomace. *Environment and Ecology*, 24S(Special 3A), 745–748.

Sogi, D. S., Siddiq, M., Greiby, I., & Dolan, K. D. (2013). Total phenolics, antioxidant activity, and functional properties of “Sunrich” and “Rio Red” grapefruit peel. *Food Chemistry*, 141(3), 1294–1301. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.03.048>

Sriamomsak, P. (2003). Chimie de la pectine et ses utilisations pharmaceutiques : un aperçu. *Silpakorn University Journal, Supplément spécial*, 206–228.

T

Thibault, J.-F. (1980). Les pectines. In : Les polymères végétaux, polymères pariétaux et alimentaires non azotés. Paris : Éditions Gauthier-Villars.

Tilly, G. (2010). Pectines. Techniques de l'ingénieur, J2 670, 1–11.

V

Valnet, J. (2001). Aromathérapie (11^e éd.). Maloine.

Visser, J., & Voragen, A. G. J. (1996). Pectins and pectinases. In Progress in Biotechnology (Vol. 14, pp. 1–715). Elsevier Science B.V.

Voragen, A. G. J., Coenen, G.-J., Verhoef, R. P., & Schols, H. A. (2009). Pectin, a versatile polysaccharide present in plant cell walls. Structural Chemistry, 20(2), 263–275.

W

Walstra, P., Wouters, J. T. M., & Geurts, T. J. (2005). Dairy Science and Technology (2^e éd.). CRC Press.

Watanabe, K., Reddy, B.S., Weisburger, J.H., et al. (1979). Effets de l'alfalfa, de la pectine et du son de blé sur la cancérogenèse colique induite par l'azoxyméthane ou la méthylnitrosourée chez des rats F344. Journal of the National Cancer Institute, 63(1), 141–145.

Willats, W. G. T., Knox, J. P., & Mikkelsen, J. D. (2006). Pectin: New insights into an old polymer are starting to gel. *Trends in Food Science & Technology*, 17(3), 97–104.

Y

Yang, Y., et al. (2022). Potential role of cell wall pectin polysaccharides, water state, and microstructure in the texture changes of pickled kohlrabi. *Food Chemistry*, 372, 131231.

Yoo, S.H., Fishman, M.L., Hotchkiss, J., Arland, T., & Lee, H.G. (2006). Comportement viscométrique des solutions de pectines à haut et bas degrés de méthoxylation. *Food Hydrocolloids*, 20(1), 62–67.

Yapo, B.M. (2007). Étude de la variabilité structurale des pectines. Thèse de doctorat, Université d'Avignon et des Pays de Vaucluse, France.

Yapo, B. M., Robert, C., Etienne, I., Wathelet, B., & Paquot, M. (2007). Effect of extraction conditions on the yield and purity of yellow passion fruit peel pectin and on the molecular characteristics of the extracted pectin. *Food Chemistry*, 100(4), 1356–1364.

Yokoi, H., Obita, T., Hirose, J., Hayashi, S., & Takasaki, Y. (2002). Flocculation properties of pectin in various suspensions. *Bioresource Technology*, 84(3), 287–290. [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(02\)00032-0](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(02)00032-0)

Z

Ziad, D., Mihir, S., & Roula, M.A.M. (2013). La pectine montre une activité antibactérienne contre *Helicobacter pylori*. *Advances in Bioscience and Biotechnology*, 4(2), 273–277.

Résumé :

Le présent travail a été consacré à l'extraction, la caractérisation physico-chimique et l'évaluation fonctionnelle de la pectine issue des écorces de citron de variété *Citrus limon* Lisbon, dans une optique de valorisation des coproduits agroalimentaires. L'extraction a été réalisée selon un protocole en quatre étapes : extraction acide, précipitation, séparation et séchage. Cette méthode a permis d'obtenir un rendement élevé de 45 %. Les propriétés physico-chimiques de la pectine extraite ont été comparées à celles d'une pectine commerciale issue de la pomme. Les résultats ont révélé une teneur en humidité plus importante, un poids équivalent plus élevé, ainsi qu'un taux de groupements méthoxyles supérieur, suggérant une structure plus méthylée. De plus, la teneur en acide galacturonique avoisinant les 95 % satisfait les normes de qualité requises pour les applications industrielles. La concentration en sucres solubles s'est également révélée plus élevée que celle de la pectine de référence. En résumé ces résultats confirment la qualité technologique de la pectine extraite, soulignant son intérêt pour diverses applications industrielles, notamment dans les formulations alimentaires.

Mots clés: pectine, extraction, citron, variété lisbon, pectine commerciale, valorisation, agrumes.

Abstract:

This work focused on the extraction, physicochemical characterization, and functional evaluation of pectin obtained from the peels of *Citrus limon* Lisbon variety, with the aim of valorizing agri-food by-products. The extraction was carried out following a four-step protocol: acid extraction, precipitation, separation, and drying. This method yielded a high extraction rate of 45%. The physicochemical properties of the extracted pectin were compared with those of a commercial apple-derived pectin. The results revealed a higher moisture content, a greater equivalent weight, as well as a higher degree of methoxyl groups, suggesting a more methylated structure. Additionally, the galacturonic acid content was close to 95%, meeting the quality standards required for industrial applications. The concentration of soluble sugars was also found to be higher than that of the reference pectin. In summary, these findings confirm the technological quality of the extracted pectin, highlighting its potential for various industrial applications, particularly in food formulations.

Keywords: pectin, extraction, lemon, Lisbon variety, commercial pectin, valorization, citrus.

الملخص:

كُرس هذا العمل لاستخلاص البكتين من قشور ليمون صنف ليمون لشبونة، وتوصيفه فيزيائياً وكيميائياً، وتقييمه الوظيفي، بهدف تعظيم قيمة المنتجات الزراعية الغذائية المشتركة. أجري الاستخلاص وفقاً لبروتوكول من أربع خطوات: الاستخلاص الحمضي، والترسيب، والفصل، والتجفيف. أتاحت هذه الطريقة الحصول على عائد مرتفع بنسبة 45%. قورنت الخصائص الفيزيائية والكيميائية للبكتين المستخرج بخصائص بكتين تجاري من التفاح. كشفت النتائج عن نسبة رطوبة أعلى، ووزن مكافئ أعلى، بالإضافة إلى معدل أعلى لمجموعات الميثوكسيل، مما يشير إلى بنية أكثر مثيلة. بالإضافة إلى ذلك، فإن محتوى حمض الجالاكتورونيك، الذي يبلغ حوالي 95%، يفي بمعايير الجودة المطلوبة للتطبيقات الصناعية. كما يُجد أن تركيز السكريات الذاتية أعلى من تركيز البكتين المرجعي. باختصار، تؤكد هذه النتائج الجودة التكنولوجية للبكتين المستخرج، مما يُبرز أهميته في مختلف التطبيقات الصناعية، وخاصة في تركيبات الأغذية.

الكلمات المفتاحية: بكتين، استخلاص، ليمون، صنف لشبونة، بكتين تجاري، ثمين، حمضيات.