REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEURE ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE DE MEDEA

FACULTE DES SCIENCES

Mémoire

Présenté pour obtenir le diplôme de **Master**

En chimie

Spécialité :
Chimie macromoléculaie

Par :

Ouldmoussa dalila
Zakane lila

Thème :

Caractérisation des biomolécules extraites de l'espèce *Cucurbita.moschata*

Déposé le : /09 /2020, Devant le jury composé de :

ZOUAMBIA. Yamena	MCA	Univ-Médéa	Présidente
MAACHOU. Hamida	MCA	Univ-Médéa	Examinatrice
MADANI. Leila	MCB	Univ-Médéa	Encadreur

Année universitaire 2019 /2020

الملخص:

الهدف من هذا العمل هو المساهمة في استخلاص أحسن لمحتوى البكتين المتواجد في فواكه القرع الجوز وذلك باختيار طريقة الاستخلاص بواسطة الماء على الساخن باستعمال التسخين بالتحريض الكهرومغناطيسي عوضا عن التسخين الكلاسيكي. بالنسبة لاستخلاص المواد البكتينية، درسنا أثر جزء الفاكهة المستعمل على مردود البكتين وكذلك ذلك الخاص بنسبة ك/ح (كتلة المادة النباتية / حجم الماء المستعمل)

النتائج أظهرت بأن أحسن مردود كان في القشور ب 32.8% في شروط الاستخلاص (PH=معتدل,100°C, 30دقيقة، ك/ح=20/1) في حين ان أقل مردود كان بالنسبة للب ب 24.5% في شروط الاستخلاص (PH =معتدل، 100°C, 30 دقيقة, ك/ح=10/1)

القيم المختلفة لكميات البكتين المستخلصة بواسطة الماء الساخن باستعمال التسخين بالتحريض الكهرومغناطيسي دلّت على أن طريقة التسخين المستعملة فعالة لتحسين استخلاص البكتين وأن التغيير في الكتلة وجزء المادة النباتية (قشور ولب) يستطيع التأثير على مردود البكتين المستخلصة.

الكلمات المفتاحية: قرع الجوز، بكتين، التحريض الكهرومغناطيسي، الاستخلاص بالماء، لب

Résumé :

Le but de ce travail est de contribuer à mieux extraire le contenu en pectines résidantes dans les fruits de *Cucurbita moschata,* et cela en optant à une extraction avec l'eau à chaud utilisant un chauffage par induction électromagnétique au lieu du chauffage classique. Pour l'extraction des substances pectiques, on a étudié l'effet de la partie du fruit traité sur le rendement en pectines ainsi que celui du rapport (masse de la matière végétale / volume d'eau utilisée). Les résultats montrent que le meilleur rendement était pour les écorces avec 32.8% dans les conditions d'extraction (PH =neutre ,100°C, 30min, m/v=1/20), tandis que le rendement était très faible pour la pulpe 24.5% sous les conditions d'extraction (PH=neutre ,100°,30 min, m/v=1/10).

Les différentes valeurs des quantités de pectines extraites avec l'eau à chaud utilisant un chauffage par induction électromagnétique ont indiqué que le mode de chauffage utilisé est efficace pour améliorer l'extraction des pectines et que la variation de la masse et la partie de la matière végétale (pulpe et écorce) peuvent affecter le rendement en pectine extraite.

Mots clés : *Cucurbita moschata*, pectine, induction électromagnétique, extraction à l'eau, pulpe

Abstract :

The aim of this work is to contribute to better extract the contain of pectines in the *Cucurbita moschata* fruits with choosing the extraction with hot water using a heating assisted by electromagnetic induction in the place of the classical heating.

For the extraction of pectic substances, we have studied the effect of the part of the fruit used on the pectin yield also the one of the ratio (vegetable mass/ water volume used).

The results show that the best yield was for the peels with 32.8% under the extraction conditions (PH =neutre, 100°C, 30min, m/v=1/20), when the lowest yield was for the flesh with 24.5% under the conditions (PH =neutre, 100°C, 30min, m/v=1/10).

The different values of extracted pectins quantities with hot water using a heating assisted by electromagnetic induction indicated that the heating mode use is efficient to ameliorate the pectins extraction and that the variation of vegetable mass and fruit part (flesh, peel) can influence the extracted pectin.

Key-words: *Cucurbita moschata*, pectin, electromagnetic induction, extraction with water, flesh.

Remerciements

À la fin de ce travail, nous voudrions tout d'abord remercier Dieu Tout-Puissant de nous avoir aidé à mener à bien ce travail,

N**ous exprimons notre gratitude et notre reconnaissance au* **Dr .*Madani Leila, *qui a supervisé cette étude et qui nous a donné beaucoup de son temps,*

L'espace de sa patience, la sublimité de sa création et son style distinctif de suivi du travail ont eu le plus grand effet sur le plaisir à achever ce travail. Que Dieu Tout-Puissant la récompense avec la meilleure récompense et d'écrire son travail à l'échelle de ses bonnes actions.

Nous remercions également Dr. ***Zouambia Yamina*** *pour accepter de présider le jury de ce travail et* Dr.***Maachou Hamida*** *qui a pris de son temps pour évaluer ce travail. Nous remercions également tous ceux qui ont contribué de près ou de loin au développement de ce travail à qui nous exprimons notre profonde reconnaissance.*

Dalila et Leila

Dédicaces

Sous la direction de Dieu Tout-Puissant, je dédie ce travail à :

Sa biographie parfumée était son premier crédit pour ses études supérieures, mon père bien-aimé

A ceux qui m'ont mis sur le chemin de la vie, ma chère mère, que Dieu repose son âme

À mes frères Bilal, Mohamad, Radwan, Abde Kader, sa femme Mariam et sa fille Dalila

À mon fiancée Riad et sa famille

A tous mes amis (surtout) après Hadda, Hanane, Sabrina, Khadija, Amina

A la promotion Master chimie macromoléculaire de l'année 2020

Dalila

Dédicaces

Louange à dieu, et il suffit de prier le bien – aimé Mustafa et sa famille quiconque est fidèle :

Louange à dieu, qui m'a fait réussir à apprécier cette étape de ma carrière académique, c'est le résultat d'efforts et de succès grâce à dieu tout –puissant, dévoué aux parents généreux, que dieu les protège et les perpétue comme une lumière sur mon chemin.

A toute la famille honorable qui m'a toujours soutenu mes frères et sœurs Hanane, Bouchra, Bakhta, Noura, hamza, à ma belle-sœur Ahlam à mon fiancé Halim et à toute sa famille.

Aux Camarades, que dieu les bénisse et leur accorde le succès au Master de chimie macromoléculaire et à l'ensemble de la promotion 2020

A toute ceux qui ont un impact sur ma vie et tous ceux qui ont aimé nom cœur

Zakane Lila

Sommaire

Résumé

Introduction générale

Chapitre I parti bibliographique

I.1. Généralité sur cucurbitacée

I.1.1. Origine et description générale 03

I.1.2. Aspect descriptif et botanique 03

I.1.3. Classification 04

I.1.4. Différentes variétés en Algérie 06

I.1.5. Importance économique 06

I.2. Généralités sur l'espèce *Cucurbita. Moschata* 06

I.2.1. Origine et description générale 06

I.2.2. Aspect descriptif et botanique 07

Classification 07

Caractères morphologiques 07

I.2.3. Principales variétés 10

I.2.4. Utilisations 11

I.2.5. Composition de *Cucurbita.moschata* 12

I.3. Biopolymére 13

I.3.1. Définition d'un biopolymère 13

I.3.2. Application des biopolymères 15

I.3.3. Pectine 16

I.3.3.1. Définition 16

I.3.3.2. Structure moléculaire des pectines 18

A- Homogalacturonane 18

B- Rhamnogalacturonane Type I 18

C- Rhamnogalacturonane type II 19

I.3.3.3. caractérisation macromoléculaire et physico-chimique de la pectine 20

I.3.4. Extraction des pectines 25

I.3.4.1. Méthodes chimiques 26

I.3.4.2. Méthodes enzymatiques 26

I.3.4.3. Méthode physico-chimiques 27

I.3.5. Domaines d'application de la pectine 27

Chapitre II Matériels et Méthode

II.1. Introduction 29

II .2. Les produits et matériels 29

II.3. Préparation du matériel végétal 30

II.4. Détermination de la teneur en eau 31

II.5. Extraction des substances pectiques 31

II.5.2. Protocole expérimentale 31

II.5.2. Calcul du rendement en pectine extraction 34

Chapitre III Résultats et discussion

III. Résultats et discussion 35

III.1.Teneur en eau de la matière végétale 35

III.2. Extraction des substances pectiques 38

III.2.1. Aspect des substances pectiques 38

III.2.2.Rendement des substances pectiques 39

Conclusion 41

Liste des figures

Figure	Titre	Page
Chapitre I : partie bibliographique		
Figure I-1	Echantillons de fruits du genre *Cucurbita*	04
Figure I-2	Photo d'une feuille de Cucurbita.moschata	08
Figure I-3	Photo d'une feuille de *Cucurbita.moschata*	09
Figure I-4	Photo des fruits de *Cucurbita.moschata*	09
Figure I-5	Photo des graines de *Cucurbita.moschata*	10
Figure I.6	Organigramme représentant les différentes familles Des biopolymères	14
Figure I-7	Schéma de la structure de la paroi primaire)a) et la paroi cellulaire(b) D'une Cellule Végétale	17
Figure I-8	Structure primaire de l'homogalacturonane	18
Figure I-9	Structure chimique de xylogalacturonane	20
Chapitre II Matériels et Méthode		
Figure II-1	Le fruit de la courge musquée butternut	30
Figure II -2	A- poudre de l'écorce du butternut, B-poudre de la pulpe du butternut	30
Figure II-3	Protocole expérimental d'extraction des pectines à partir des pulpes et des écorces de la courge butternut	33
Chapitre III Résultats et discussions		
Figure III.1	Teneur en eau des écorces de la courge musquée (Butternut).	36
Figure III.2	Teneur en eau de la pulpe de la courge musquée (Butternut).	36
Figure III.3	Différentes mesures de la teneur en eau des écorces de la courge musquée (Butternut) par différents modes de séchage et pendant deux périodes de séchage (24h-48h)	37

Figure III.4	Echantillons des pectines extraites à partir des deux parties des fruits secs de la variété Butternut : A-Ecorce B- Pulpe.	38
Figure III.5	Rendement en pectines extraites des différentes parties séchées (écorce, chair) du fruit de la courge Butternut) (eau à chaud T=100°C, chauffage assisté par induction magnétique).	40

Liste du tableau

Tableau	Titre	Page
Chapitre I : partie bibliographique		
Tableau I-1	Aspect morphologiques des principales espèces et variétés de la famille des Cucurbitacée	05
Tableau I-2	Principales variétés de l'espèce *Cucurbita.moschata*.	11
Tableau I-3	Composition phytochimique de *Cucurbita moschata*	13
Tableau I-4	Composition nutritionnelle de *Cucurbita moschata*	13
Tableau I-5 :	Les applications des biopolymères	15
Tableau I-6	teneur de pectine dans les végétaux	17
Tableau I-7	Exemples de masses molaires M mesurées pour différentes pectines	22
Tableau I-8	Applications de la pectine	28
Chapitre II Matériels et Méthode		
Tableau II.1	Liste du matériel et méthodes	29
TableauII-2	différentes conditions opératoires de l'extraction des pectines à partir de la courge butternut.	32

Symboles et abréviations

Symbole	**Signification**
DA	Degré d'acetylation
DE	Degré d'estérification
DM	Degré de Méthylation
DP	Degré de polymérisation
HM	hautement méthylé
LM	faiblement méthylé
R%	Rendement
T	Température (C°)
TE	Teneur d'eau

Introduction :

La pectine est un produit naturel d'une importance capitale dans la bioraffinerie émergente qui utilise les déchets des fruits comme matière première. D'un point de vue fonctionnel, la pectine est un hydrocolloïde, à savoir une substance capable de piéger l'eau et de former des gels à faible concentration. Généralement obtenue à partir d'écorces de citron ou de marc de pomme, la pectine est principalement utilisée comme épaississant et stabilisant dans l'industrie alimentaire même employée en tant que complément nutritionnel, en raison de ses propriétés chimiques uniques, son activité biochimique et de son pouvoir nutritif. Cependant, son utilisation se développe dans de nombreux autres secteurs. Aujourd'hui, la pectine est un produit naturel d'importance croissante connaissant une constante croissance de la production et de l'utilisation.

La valorisation de la biodiversité du règne végétal que constituent en partie les fruits et les légumes est un domaine qui devient de plus en plus prisé dans de nombreux pays. En effet la Courge musquée est un aliment de base qui revête un rôle social et économique pour la société avec de nombreux éléments fonctionnels pour des applications dans les formulations alimentaires et pharmaceutiques tels que les vitamines, en outre c'est une excellente source de pectine naturelle à faible coût.

Les industries de l'agriculture, de la transformation des aliments, de la pharmacie et de l'alimentation animale s'intéressent de plus en plus à la courge musquée en raison de la valeur productive nutritionnelle et sanitaire des polysaccharides des fruits ainsi que des protéines et huiles des graines.

Bien que dans le monde entier, des tentatives ont été faites pour extraire la pectine des courges, le peu de ces tentatives s'orientent vers l'extraction avec de l'eau à chaud qui reste depuis le temps une méthode conventionnelle la plus simple nécessitant beaucoup de temps et une haute température pour isoler toute la pectine disponible. Delà apparait le besoin d'optimiser cette technique pour le développement des méthodes durables pour l'extraction de la pectine.

Soucieux de contribuer à une vue perspective qui va dans le même sens des principales tendances de recherche des méthodes d'extraction respectueuses de la nature , le présent travail s'inscrit dans le contexte d'identifier une des opportunités ouvertes vers des productions à l'échelle de ce biopolymère précieux, ainsi que vers les efforts pour élargir l'approvisionnement en matières premières et l'amélioration des méthodes d'extraction. Nous visons alors une alternative de chauffage classique pour l'extraction des pectines.

Depuis au moins une décennie, l'extraction employant le chauffage assisté par induction magnétique est généralement considérée une méthode beaucoup plus efficace pour extraire les biomolécules. Ce qui confère; en des temps considérablement plus courts; un produit de meilleure qualité et haut rendement.

Dans le présent travail, nous chercherons à mettre en évidence et à démontrer par le biais d'une méthode de chauffage efficace ce que le fruit de la courge *Cucurbita moschata* recèle comme réserve en substances pectiques.

Nous avons subdivisé notre travail en deux grandes parties : La première partie propose une mise au point bibliographique sur l'espèce étudiée le *cucurbita moschata* en recensant ses caractères botaniques, sa composition et son importance. Nous présenterons aussi une rubrique bibliographique sur la pectine qui prend en compte de sa présence dans la plante, sa composition chimique, son utilisation ainsi que la technique de son extraction.

La deuxième partie décrit le matériel et les méthodes utilisées au cours de la réalisation de ce travail dans son côté pratique et enfin les résultats obtenus sont présentés et discutés dans la troisième partie. Une conclusion générale vient à la fin pour récapituler tout ce qui ressort de ce travail avec quelques perspectives.

I.1 Généralité sur les Cucurbitacée :

I.1.1 Origine et description générale :

Les cucurbitacées sont des plantes potagères herbacées originaires des zones tropicales d'Amérique. En raison de leur teneur élevée en nutriments, leur présence et utilisation dans l'alimentation humaine s'est accru remarquablement depuis qu'elle a été décelée au Mexique 7000 ans avant notre ère. Primitivement cueillies par les peuplades itinérantes, elles furent ultérieurement cultivées par les civilisations sédentaires. Après la découverte du Nouveau Monde, leur durée de conservation (surtout pour les courges d'hiver) et leur effet antiscorbutique, ne tardèrent pas au faire adopté par les navigateurs, ce qui a facilité leur dissémination sur tous les continents au cours des XVIIème et XVIIIème siècles.

Des nombreuses variétés apparaissent au XIXème siècle, ce qui a permet leur classification botanique **[1]**. Les ancêtres communes des toutes les courges contiennent une substance appelée cucurbitacine qui est toxique et responsable de l'amertume (gout amer), cette dernière a pu être éliminée dans les variétés cultivées par des procédés de sélection **[2].**

I.1.2 Aspect descriptif et botanique :

- **La plante :**

Les cucurbitacées appartenant à l'ordre des Violales sont des plantes monoïques herbacées annuelles dicotylédones grimpantes ou rampantes à croissance rapide, portant des feuilles aux lobes palmées, des vrilles hélicoïdales et des fleurs souvent voyantes, unisexuées, c'est-à-dire, mâles ou femelles.

. Plusieurs caractéristiques des membres de la famille les rendent aisément reconnaissables, avec des longues tiges non ligneuses, les fleurs unisexuées, habituellement colorer jaunâtres ou blanchâtre, ne s'ouvrent que pendant un court laps des temps, souvent moins d'une journée.

- **Le fruit :**

Il est entouré d'une écorce dure caractéristique, enveloppant une pulpe charnue avec des nombreuses graines. La plupart des fruits (figure I-1) sont des baies de forme et des dimensions variables de 15 à 25cm de diamètre **[3],** leur poids dépasse 8kg (varie 1 à 2,5 kg pour *Cucurbita.moschata*).

Les membres de la famille des cucurbitacées sont adaptés aux climats chauds et aucun d'entre eux ne supporte le gel.

I.1.3 Classification :

Cette famille est connue par sa grande diversité génétique, qui comprend environ 120 genres **[4].** La famille de Cucurbitacée est une famille des plantes dicotylédones qui comprend environ plus de 900 espèces tropicales et subtropicales. Les principaux genres de cette famille sont **[5].**

- *Gurania* (75 espèces),
- *Sicyos* (50espèces),
- *Momordica* (45 espèces),
- *Cayaponia* (45 espèces)
- Cucumis (32 espèces)
- Cucurbita (24 espèces) **[6].**

Dans le genre *Cucurbita*, à côté des espèces sauvages, amères et impropres à la consommation qui compte jusqu'à 8 espèces **[7],** il existe d'autre qui sont fréquemment cultivées et d'autres moins, six espèces comestibles ont été identifiées :

- *Cucurbita ficifolia* (courge à feuilles de figuier) ;
- *Cucurbita argyrosperma* ou mixa (chayote) ;
- *Telfairia occidentalis* (Hook) ;
- *Cucurbita maxima* (potiron) ;
- *Cucurbita moschata* (courge musquée) ;
- *Cucurbita pepo* (citrouille) **[8].**

Le genre *Cucurbita* est doté d'une étonnante variabilité génétique qui se traduit, chez Les fruits, par d'innombrables formes et couleurs et aussi une grande diversité des tailles. Leur aspect morphologique peut varier d'une variété à une autre au sein d'une même espèce (tableau I-1).



Figure I-1 : Echantillons des fruits du genre *Cucurbita*

Tableau I-1 : Aspect morphologiques des principales espèces et variétés de la famille des *Cucurbitaceae*. **[9]**

Espèces	Forme	Couleur	Pédoncule des fruits	Photo
Ficifolia	Pratiquement sphérique. Lisse à légèrement granuleuse.	Peau vert foncé avec des taches blanchâtres Chair blanche	Pédoncule assez mince, anguleux (6 à 7 côtes), s'évasant légèrement au point d'insertion sur le fruit.	
Maxima	Sphérique aplatie, oblongue, en forme de toupie ou de banane. Lisse, granuleuse à verruqueuse, à côtes arrondies (10) bien marquées ou peu profondes.	Peau Unie : blanche, jaune, orangée, rouge, rose, bleue. Bicolore : bleu et rose, vert et jaune ou orange Chair : jaune foncée à rouge brique	Cylindrique et spongieux. Plus gros que la tige	
Mixta	Cylindrique, oviforme ou piriforme. Lisse	Peau Unie : blanche, jaune, verte Bicolore : vert et blanc, vert et jaune, vert clair et vert foncé Chair :blanche, blanche rosée, crème, jaune	Légèrement anguleux, s'évasant légèrement au point d'insertion sur le fruit. Parfois gros, cylindrique et liégeux.	
Pepo	Cylindrique, oblongue, piriforme, sphérique, en soucoupe ou oviforme Lisse, granuleuse ou verruqueuse Côtes (10) peu marquées, très profondes et anguleuses.	Peau : Unie : blanche, jaune ,verte, orange Bicolore : crème et vert, vert et jaune, vert et blanc Chair : blanche à orangée	Très dur à maturité. Long et anguleux, à 5 côtes qui ne s'élargissent pas au point d'attache mais semblent s'étendre sur le fruit	

I.1.4 Différentes variétés en Algérie :

- Courge Musquée de Provence (Cucurbita moschata)
- Potiron rouge vif d'Etampes (Cucurbita maxima)
- Potiron marron (Cucurbita maxima)
- Butternut (Cucurbita moschata).

I. 1.5 Importance économique :

L'importance économique des Cucurbitacées, surtout dans les régions sèches, est Considérable car cette famille est répandue dans tous les pays du monde et est connue pour ses fruits comestibles : courges, citrouilles (*Cucurbita*), melons, concombres (*Cucumis*), pastèques (*Citrullus*).

La motivation première pour les cultures des cucurbitacées est économique pour la plupart des producteurs. L'objectif est la quête de revenus pour satisfaire leurs besoins socioéconomiques.

La production mondiale des cucurbitacées avoisine 25 millions de tonnes **[10],** le premier producteur est la chine suivie par l'inde. Malgré leurs atouts alimentaires, les cucurbitacées restent des cultures marginales pour les interventions nutritionnelles en Afrique.

En Algérie, Selon les services agricoles, les superficies consacrées à cette culture ont atteint environ 400 hectares dans chaque Wilaya, soit une production globale d'environ plus de 44.000 tonnes **[11].**

I.2- Généralités sur l'espèce *Cucurbita.Moschata* :

I.2.1 Origine et description générale :

Cucurbita.Moschata **(**Duchesne) ; l'une des cinq espèces de la famille des Cucurbitacées les plus couramments cultivées ; est un légume fortement apprécié, à usages multiples, facile à cultiver, à haut rendement potentiel et à haute valeur nutritive, très résistantes aux maladies. Elle est largement cultivée comme plante potagère pour son fruit comestible à maturité. En plus, il faut porter attention au potentiel des feuilles et des graines, comme source végétale de matières grasses et des protéines**. [12,13 ,14].**

L'espèce *Cucurbita.Moschata* est une plante appartenant au genre *Cucurbita*; issue des zones tropicales et subtropicales telles que le Mexique et l'Amérique du Sud. Elle peut posséder plusieurs noms communs : courge musquée, courge muscade, giraumon (Antilles-Guyane), sucrine, Courge musquée en fleurs.

I.2.2 Aspect descriptif et botanique :

I.2.2- a Classification : [15]

Règne : Plantae

Division : Magnoliophyta

Classe : Magnoliopsida

Ordre : Violales

Famille : Cucurbitaceae

Sous-famille : Cucurbitoideae

Tribu : Cucurbiteae

Genre : Cucurbita

Nom binominal : Cucurbita.moschata (Duchesne**,** 1786**)**

Classification phylogénétique :

Ordre : Cucurbitale

Famille : Cucurbitaceae

I.2.2-b Caractères morphologiques :

- **Plante** : Cucurbita.moschata est une plante herbacée annuelle, grimpante, très ramifiée, grimpante par des vrilles latérales à 3–4 ramifications ; tiges anguleuses à angles obtus, très coureuses, pubescentes au début, s'enracinant souvent aux nœuds.
- **Feuilles** : alternes, simples, sans stipules ; pétiole de 9–24 cm de long, cannelé ; limbe à contour largement ovale, 5–7-palmatilobé à lobes peu profonds, de (10–20–35 cm de diamètre, profondément cordé à la base, à bord denté, muni de poils doux, avec parfois des taches blanches disparaissants à la sénescence, à 3 nervures partant de la base. (Figure I-2)



Figure I-2 : Photo d'une feuille de Cucurbita.moschata

- **Fleurs** : solitaires, unisexuées, régulières, 5-mères, grandes, de 10–20 cm de diamètre, jaune citron à orange foncé, sépales libres, subulés à linéaires, de 1–3

cm de long ; corolle campanulée, avec des lobes largement étalés ; fleurs mâles à pédicelle long (jusqu'à 16 cm), à 3 étamines à filets libres, anthères généralement conniventes en un long organe tordu ; fleurs femelles à pédicelle court (jusqu'à 3,5 cm), à ovaire infère, ellipsoïde, 1-loculaire, à style épais et 3 stigmates 2-lobés. (Figure I-3)



Figure I-3 : Photo d'une feuille de *Cucurbita.moschata*

- **Fruit** : grosse baie globuleuse à ovoïde ou cylindrique, pesant jusqu'à 10 kg, avec une grande variété de couleurs, souvent couverte de taches vertes et des stries grises, avec des petites protubérances verruqueuses ; chair jaune à orange, graines nombreuses ; pédoncule du fruit élargi à l'apex. (Figure I-4)



Figure I-4 : Photo des fruits de *Cucurbita.moschata*

- **Graines** : obovoïdes, aplaties, de 1–2 cm × 0,5–1 cm, habituellements blanches ou fauves, parfois foncées, à surface lisse ou un peu rugueuse et bord proéminent. Plantule à germination épigée ; hypocotyle de 2–3 cm de long ;

cotylédons elliptiques, de 2–4 cm de long, cunéiformes à la base, obtus à l'apex entier. Un fruit de *C.moschata* peut contenir environ250-300 graines d'un poids de 8 g/100graines. (Figure I-5)

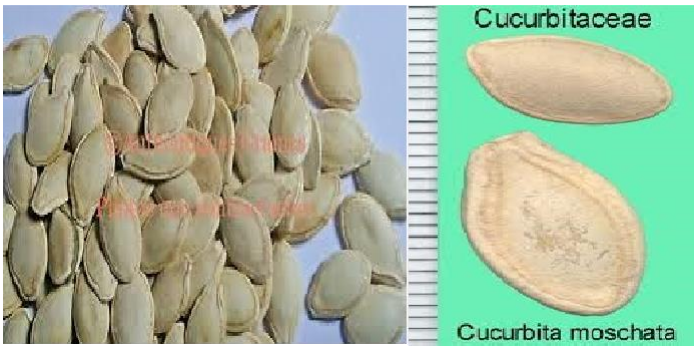


Figure I-5 : Photo des graines de *Cucurbita.moschata*.

I.2.3 Principales variétés :

Il existe des nombreuses variétés de *Cucurbita moschata*, le fruit allant d'une forme cylindrique à globuleuse ou ovoïde. Le Tableau I.2 englobe les différentes variétés de l'espèce *Cucurbita.moschata*. Toutes ses variétés s'hybrident facilement entre elles pour donner d'autres cultivars améliorés.

Tableau I-2 : Principales variétés de l'espèce *Cucurbita.moschata*.

Variétés	Photo
Courge musquée de provence	 
Courge longue de Nice	
Doubeurre ou Butternut • Butternut Waltham • Butternut Ponca	 
Yokohama	
Courge pleine de naples ou courge porte- manteau	 
Courge à trompe d'Albenga	
Sucrine du Berry	 

I.2.4 Utilisations :

Le *Cucurbita moschata* a de multiples utilisations qui sont:

- **Culinaires** : la poudre des graines est comme ingrédients de soupe. Le fruit est également apprécié comme légume et pour la confection de gâteau de courge et en Asie du Sud-Est, on en fait des sucreries et des desserts.

  En Zambie, 40% des ménages utilisent les feuilles de courge comme plat d'accompagnement pendant la saison des pluies. Dans le Mashonaland de

l'Ouest et d'autres régions du Zimbabwe, les feuilles de courge sont le légume-feuilles le plus apprécié.

- **Médicinales :** *Cucurbita.moschata* a été aussi utilisée dans la médecine traditionnelle pour ses activités antidiabétique, anti-hypertensive, anti-tumorale, immuno-modulatrice, antibactériennes, anti-cholésterolémique et anti-inflammatoire **[16]**
- La pulpe de *Cucurbita.moschata* est utilisée comme cataplasme pour les brûlures, les inflammations et le traitement des maux têtes.

  Les graines comme vermifuge, contre les problèmes d'hypertension et les douleurs de la prostate. Cette plante a plusieurs utilisations médicinales en Thaïlande et en Chine, les graines fraîches écrasées sont utilisées comme antihelminthique et aussi appliquées sur des infections cutanées ou des inflammations.

I.2.5 Composition de *Cucurbita.moschata* :

Cucurbita.moschata est un aliment très efficace en régime d'alimentation équilibré en raison de ses précieuses et importantes sources de fibres et son contenu de carbohydrates environ (17 kcal/100g de fruit frais). Ces carbohydrates constituents 60-80% de la matière sèche de sa pulpe **[17].**

Cucurbita.moschata est une excellente source de vitamine A et des caroténoïdes telles que la ß et α carotène, la ß cryptoxanthine, la lutéine, la zeaxanthine qui contribuent à ses propriétés antioxydants revendiquées **[18].**

Bien que ce soit un aliment faible en gras, *Cucurbita.moschata* contient des graisses saines sous la forme d'acide α linoléique et oméga 3 qui sont très bénéfiques pour la santé et que le corps ne peut pas synthétiser naturellement **[19].**

Le balayage phytochimique des extraits de *C. moschata* comme source potentielle des macronutriments et de composés phytochimiques a révélé la présence de glucides, polyphénols, flavonoïdes et tanins dans la pulpe, les graines et les écorces des fruits.(tableau I-3) ainsi que la présence des protéines, de glucides et des lipides d'intensité variable.(tableau I-4).

Tableau I-3 : Composition phytochimique de *Cucurbita moschata* **[20]**

Partie de fruit	**Pulpe**	**écorce**	**graines**
Composés			
Polyphénols (mgGAE/ g MS)	156.3	37.3	66.7
Flavonoïdes (mg QE/g MS	240.75	140.24	75.75
Tannins (mg CE/g MS)	222.2	75	130

Tableau I-4 : Composition nutritionnelle de *Cucurbita moschata* **[20]**

Partie de fruit	**Pulpe**	**(écorce)**	**graines**
Composés			
Protéines (mg/g matière sèche)	156.3	37.3	66.7
Lipides (mg/g matière sèche)	240.75	140.24	75.75
Carbohydrates (mg/gmatière sèche)	222.2	75	130

I.3 Biopolymére :

I.3.1 Définition d'un biopolymère :

On peut ajouter le préfixe bio à un polymère si pour son obtention l'une des voies suivantes a été envisagée :

- L'utilisation de la biomasse comme source de matière première pour la synthèse chimique du polymère.
- L'utilisation de la biomasse comme charge dans l'extraction des polymères naturels (l'amidon, la cellulose, les protéines, chitine, chitosane, pectine etc…)
- L'utilisation des micro-organismes ou des bactéries modifiées génétiquements pour la synthèse des polymères : hydroxyalcanoates(PHA) un homopolymère, le polyhydroxybutyrate (PHB) et différents copolyesters tels que les poly-(hydroxybutyrate-Co-hydroxyvalérate) (PHBV) **[21]**
- L'utilisation d'une source fossile renouvelable comme matière première pour la synthèse chimique du polymère. Ils sont constitués des polyesters

aliphatiques tels que le poly (caprolactone) (PCL), de copolyesters aliphatiques tels que le poly (butylène succinate adipate) (PBSA) ou le poly (ester amide) (PEA) et de copolyesters aromatiques tel que le poly (butylène adipate téréphtalate) (PBAT). **[22]**

- L'ajout d'un additif à des polymères d'origine fossile (issus du pétrole) pour permettre de favoriser leur dégradabilité. **[21]**
- La figure I-6 représente un organigramme qui récapitule tous les types de biopolymères possibles.

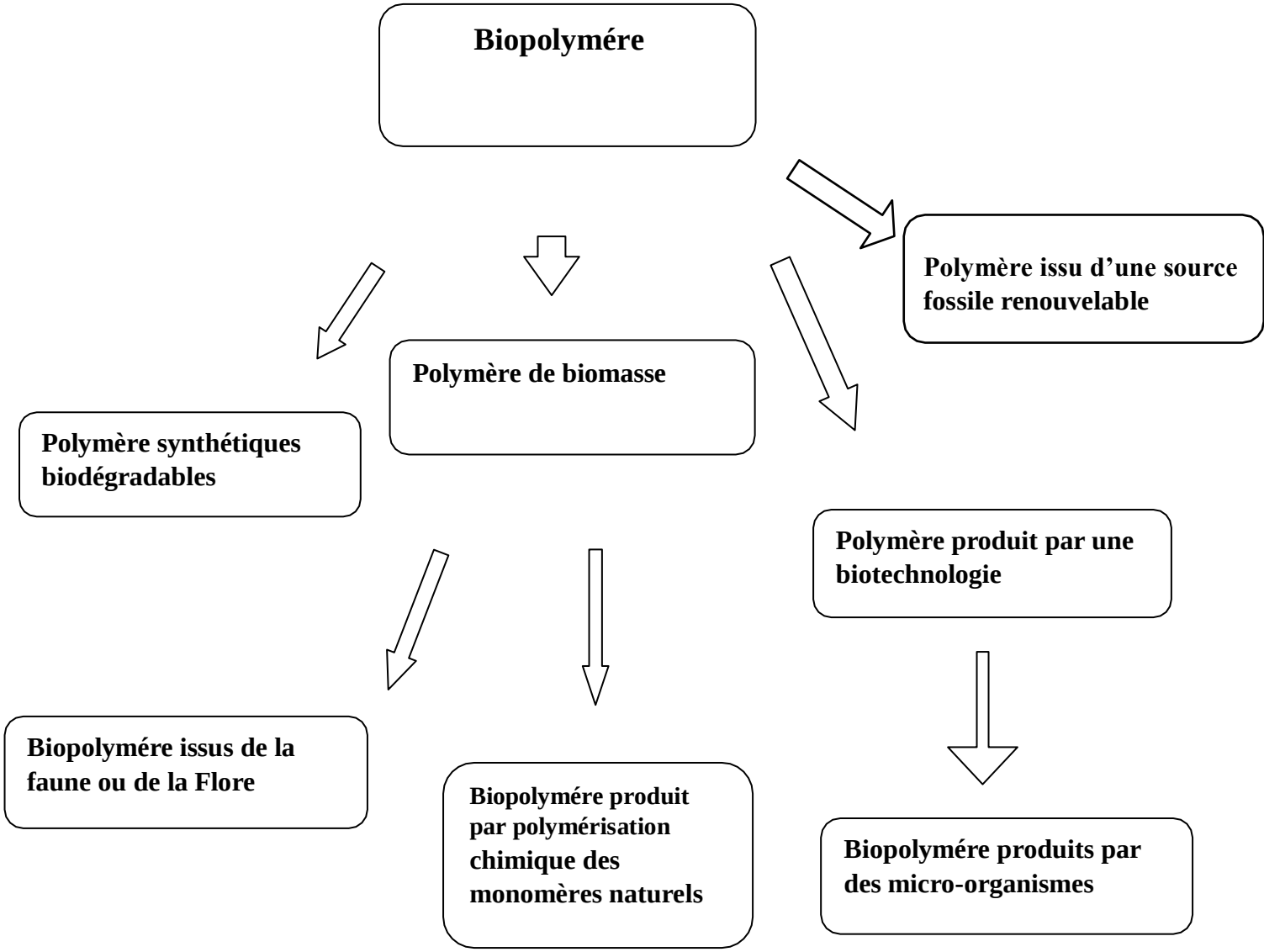


Figure I.6: Organigramme représentant les différentes familles des biopolymères.

I.3.2 Application des biopolymères : [23]

Les biopolymères ont de plus en plus d'applications industrielles (tableau I-5) dues à une tendance dans l'industrie à substituer par des composés biodégradables les polymères dérivés du pétrole qui s'éloigne d'être dégradables. On les appelle alors des bioplastiques. Dès 1930, Ford avait fait appel à des protéines de soja pour produire des pièces intérieures de voiture puis des pièces de carrosserie. Mais, aujourd'hui, un nouvel élan est donné aux bioplastiques du fait des difficultés liées aux:

- Recyclages de nos déchets toujours plus nombreux.
- Nécessités de valoriser les sous-produits agricoles.
- Soucis d'approvisionnements pétroliers de plus en plus couteux.

Tableau I-5: Les applications des biopolymères**. [24]**

Biopolymères	Application ciblées
Polymères à base d'amidon	Emballages et sacs
Polymères à base de cellulose	Emballages
Polymères à base de protéine	Galénique, emballages alimentaires
Polymères à base d'huile	Peinture, vernis
Polymères de synthèse à base d'acide lactique	Emballages, textiles
Polyesters bactériens (Polyhydroxyalcanoates)	Matériaux Médicaux (Fil de suture, galénique, implant vasculaire, vêtement et accessoire médicaux, Ostéosynthétique), emballage rigide
Cellulose	Encapsulation de médicament, membrane d'hémodialyse.
Alginates	Encapsulation de médicament, implantation cellulaire.
Polyaspartates	Encapsulation de médicament, fil de suture, peau artificielle.
Poly-lysine	Encapsulation des médicaments, biosenseur,bactéricide.

I.3.3 Pectine :

I.3.3.1 Définition :

La pectine est un biopolymère issu d'une biomasse dans son état natif, son nom issu du mot grec " pektikos " qui signifie se congeler ou se solidifier. La pectine est un polysaccharide qui a été découvert pour la première fois dans le jus de pomme par Vauquelin en 1970 **[25].**

Présente dans tous les tissus végétaux et localisée au niveau de la paroi cellulaire, cette dernière assure la collision et la rigidité, en agissant comme ciment intercellulaire. La pectine joue également un rôle dans la défense de la plante, lorsqu'un agent pathogène digère la paroi cellulaire par l'intermédiaire d'enzyme, la pectine est le premier substrat. Les enzymes sécrétées par ces agents dégradent la pectine et libèrent des oligogalacturonides qui eux agissent ensuite comme des molécules de signal initiant la réponse immunitaire de la plante, stimulant ainsi la production de molécules oxygénées, d'inhibiteurs de protéase et d'antimicrobien comme la phtaléine. La pectine influence aussi diverses propriétés des parois cellulaires telles que :

- La porosité
- La charge de surface,
- Le pH et l'équilibre ionique en formant des réseaux et en piégeant des molécules de soluté qui permettent le transport.

Dans les zones entre la paroi primaire et la lamelle moyenne impliquée dans l'adhésion cellulaire (figure I-7), ce biopolymère forme un réseau plus ou moins lâche, dépendant du type cellulaire, stabilisé par des liaisons cationiques et hydrogène. La nature des pectines évolue avec l'âge des tissus végétaux, elles se trouvent sous deux formes :

- **La protopectine :** insoluble puisqu'elle est liée aux autres composantes, assure la rigidité des tissus végétaux **[26]**
- **L'acide pectique :** soluble dans l'eau froide, cette forme apparait au cours de murissement quand leur dégradations en sucres et en acides ont lieu par voie enzymatique **[26].**

La pectine est un carbohydrate structural présent dans les parois cellulaires présentes en teneur variable d'une plante à l'autre. (Tableau I-6).

Tableau I-6 : teneur de pectine dans les végétaux **[27 ,28].**

L'origine	Teneur en pectine (% de poids frais)
Pomme	4.5
Carotte	10
Raifort	15
Tomate	03
Marc de pomme	15-20
Capitules de tournesol	25
Marc de betterave	15-20
Albédo des agrumes	30-35
Tamarin	1.71
Ecorce de fruit de la passion	2.10-3
Banane	0.7-1.20
Mangue	0.26-0.42
Ananas	0.04-0.13

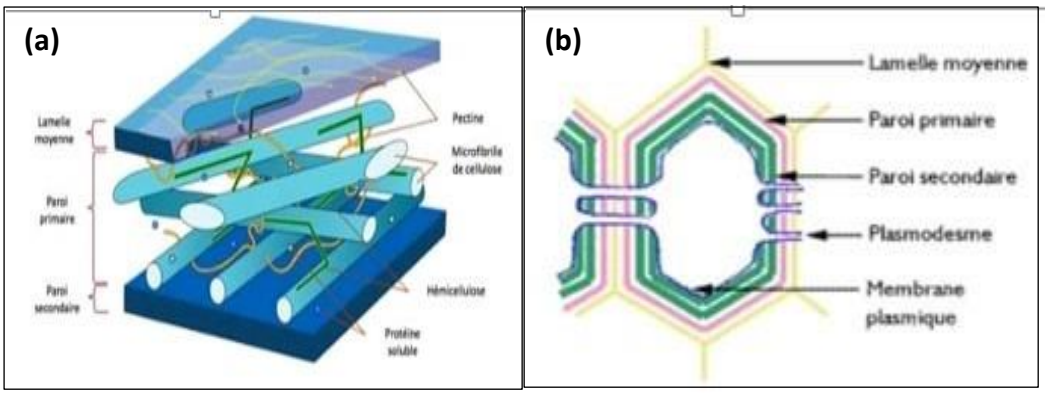


Figure I-7 : schéma de la structure de la paroi primaire(a) **[25],** et la paroi cellulaire(b) **[29]** d'une cellule végétale.

I.3.3.2 Structure moléculaire des pectines :

Les pectines sont des hétéro polysaccharides caractérisés par une forte teneur en acide galacturonique (Gala), monomères liés entre eux par des liaisons α-(1-4) et partiellement acétylés ou estérifiés par des groupements méthyles. La structure des pectines est constituée essentiellement de trois domaines distincts, à savoir :

- L'homogalacturonane qui représente 57 à 69 % de la pectine.
- Les rhamnogalacturonanes I (RG-I) qui représente 7 à 14 % de la pectine.
- Les rhamnogalacturonanes II (RG-II) qui représente 10 à 11 % de la pectine

I.3.3.2-a Homogalacturonane :

Les homogalacturonanes sont des polymères linéaires constitués uniquement d'acides D-galacturoniques reliés entre eux par des liaisons α-(1-4) et dont les fonctions carboxyliques et alcools peuvent être estérifiées respectivement par du méthanol en position C6 et par l'acide acétique en position C2 ou C3. La méthyl estérification des régions homogalacturonanes détermine dans une large mesure l'application industrielle des pectines et leur capacité d'interaction. En fonction de ces estérifications, les pectines sont caractérisées par un degré de méthylation (DM) et un degré d'acétylation (DA) qui correspond au rapport des acides galacturoniques estérifiés (méthylés ou acétylés) sur les acides galacturoniques totaux (Figure I-8). En effet, des nombreuses propriétés et fonctions biologiques des pectines sont déterminées par une interaction ionique entre régions homogalacturonanes.

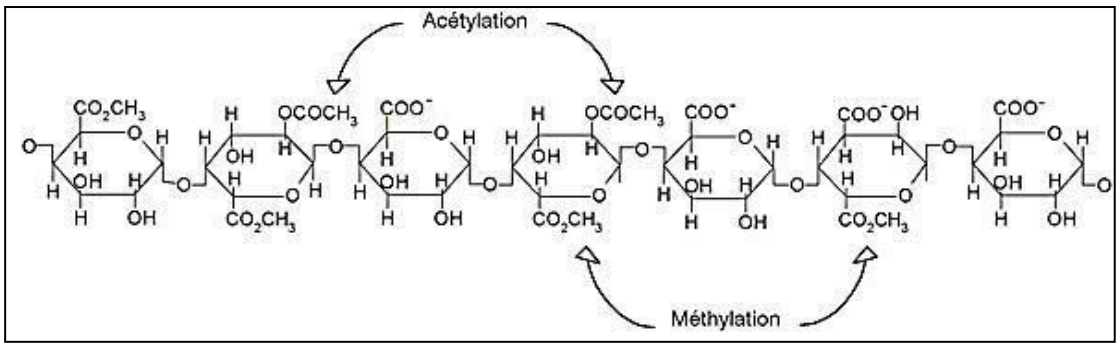


Figure I-8: Structure primaire de l'homogalacturonane **[30].**

I.3.3.2-b Rhamnogalacturonane Type I:

Le RG-I est une famille de polysaccharides pectiques d'un degré de polymérisation (DP) d'environ 1000 est constitué d'une alternance d'unités rhamnosiques et d'unités galacturoniques [→ 4)-α-D-GalA-(1→2)- α-L-Rha-(1→]. Ces chaînes sont liées sur le squelette rhamnogalacturonique par le C4 de façon majoritaire ou par le C3 du résidu

de rhamnose [31]. Dans les pectines environ 20 à 80 % des rhamnoses du RG-I sont substitués. Comme dans l'homogalacturonane, certains résidus d'acide galacturonique de RG-I sont acétylés. Différents substituants polysaccharidiques neutres sont capables de se greffer à ce squelette osidique au niveau du carbone C4 du L-rhamnus. Parmi ces substituants, on peut citer :

- ✓ Le L'arabinose
- ✓ Le D-galactose
- ✓ Les arabinanes
- ✓ Les galactanes ou les arabinogalactanes.

Chez certains végétaux (betterave, épinard, etc.), les chaines latérales peuvent être substituées par des acides phénoliques (acide férulique ou coumarique) estérifiant les fonctions alcools en position 6 des résidus de galactose ou en position 2 des résidus d'arabinose.

I.3.3.2-c Rhamnogalacturonane type II :

Ils sont caractérisés par un squelette homogalacturonique avec un degré de polymérisation (DP) d'environ 60, la structure complexe est très conservée au sein des espèces végétales [32]. Ils sont constitués d'un enchaînement de huit résidus d'acide galacturoniques liés en β (1→4), constituant la chaine principale substituée par quatre chaînes latérales d'oligosaccharides qui sont composés de :

- arabinofuranose,
- arabinopyranose,
- glucopyranose,
- fucopyranose,
- apiofuranose
- galactopyranose
- Autres sucres inhabituels tels que le Dha : acide 3-déoxy-D-lyxo-heptulosarique, le Kdo : acide 3-déoxy-D-manno-octulosonique et l'acide acérique, des sucres méthyles rarement observés comme le 2-O-méthylxylose et le 2-O-méthylfucose.

Le RG-II se présente principalement sous la forme d'un dimère dans la paroi cellulaire des plantes par l'établissement de liaison covalente de diester de bore. Le rhamnogalacturonane. La formation du dimère (dRG-II) est une réaction réversible,

c'est-à-dire que le dimère peut être converti en monomère (mRG-II) par un traitement à pH acide pendant 30 min **[33, 34].**Le RG-II est libéré des structures complexes de pectines grâce à des enzymes tels que les pectinases.

La chaine principale d'homogalacturonanes dans la molécule de pectine peut également être substituée par des unités simples de β-Dxyloselié sur le C3 des acides galacturoniques. Ces zones sont appelées xylogalacturonanes (Figure I-9). Dans la pomme, ces liaisons sont regroupées dans des zones spécifiques des homogalacturonanes qui présentent des degrés des substitutions de l'ordre de 75% **[35].**

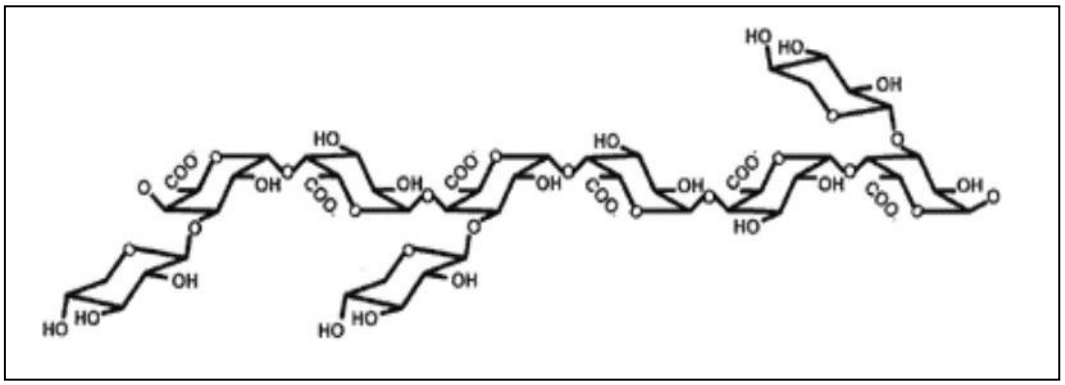


Figure I-9: Structure chimique de xylogalacturonane **[36]**

I.3.3.3 Caractérisation macromoléculaire et physico-chimique de la pectine :

Les différentes entités structurales secondaires de la pectine changent avec la méthodologie d'extraction, la matière première, et d'autres facteurs environnementaux. Les caractéristiques macromoléculaires de la pectine sont des causes déterminantes des applications industrielles des pectines incluent principalement :

- **La masse molaire :** la masse malaire ou moléculaire et par voie de conséquence le degré de polymérisation de la pectine est une caractéristique physico-chimique importante. La longueur des chaînes d'acides galacturoniques influe considérablement la masse moléculaire. Les valeurs de masses molaires de la pectine, qui s'étendent de quelques dizaines à plusieurs centaines de kilo daltons (k Da) (tableau I-7), sont nettement moins élevée que celle de la cellulose ou de l'amidon. Basé sur la viscosimétrie, la

masse molaire moyenne de la pectine commerciale varie entre 50,000 et 150,000 daltons **[37].**

- **La teneur en acide galacturonique (AG) :** Les pectines sont donc principalement caractérisées par leur teneur en acide galacturonique (AG)
- **Degré d'acétylation (DAc) :** est définit comme le pourcentage de résidus galacturosy les estérifiés par un groupement acétyle.
- **Degré de méthylation DM ou Degré d'estérification DE :** On définit le degré de méthylation (DM) comme le rapport du nombre des carboxylates méthylés sur le nombre total des carboxyles présents. L'estérification augmente l'hydrophobicité de la molécule et lui confère un caractère chimique différent, d'un point de vue fonctionnel, on distingue trois catégories des pectines :
  - ✓ Les acides pectiques possèdent un degré de méthylation inférieur à 5% (DM<5)
  - ✓ Les pectines faiblement méthylées (LM) présentent un degré de méthylation inférieur à 50% (DM<50).
  - ✓ Les pectines hautement méthylées (HM) présentent un degré de méthylation supérieurà 50% (DM>50).

Dans la betterave sucrière et la pomme, des DM de 70 à 80% sont rapportés **[38 ,39].** Le degré d'estérification des pectines a un impact sur la flexibilité de la molécule : plus le degré d'estérification est faible, plus la pectine est rigide **[38].**

Tableau I-7 : Exemples de masses molaires M mesurées pour différentes pectines

Origine	M(kDa)	Technique analytique	Référence
Pomme	70	Diffusion de la lumière	[40]
Pomme	34,8	Chromatographie d'exclusion stérique	[40]
Citron	21 à 250	Diffusion de la lumière	[41]
Citron	32 à 336	Chromatographie d'exclusion stérique	[41]
Orange	84,5 à 102,8	Diffusion de la lumière	[42]

La pectine est principalement utilisée dans l'industrie agroalimentaire et pharmaceutique pour ses propriétés physiques. Ces propriétés sont généralement dépendantes de ses propriétés moléculaires (structure) :

- **Solubilité :**

La structure de la pectine la rend insoluble dans les solvants organiques. La solubilité dans l'eau est généralement dépendante de la distribution des groupements méthyles et de la masse molaire. La solubilité de la pectine augmente avec la diminution du DM et pour les petites masses molaires de pectine. De plus, la présence des groupements chargés sur le polymère entraine des répulsions électrostatiques entre ces groupements chargés, ce qui diminue la formation d'agrégats et facilite sa solubilité. L'ionisation de ces groupements se réalise lorsque la pectine est dans une solution au pH supérieur au pKa des fonctions carboxyliques de la pectine (pKa ≈ 3,5). Ainsi, un pH supérieur à 5,5 favorise la solubilisation de la pectine. La pectine se solubilise grâce à 3 étapes successives : hydratation, gonflement et dissolution. Ce processus se traduit par une augmentation de la viscosité du milieu.

La solubilité des pectines dépend de divers paramètres dont:

- Le solvant, sa nature et sa force ionique.
- La nature de la pectine et sa concentration.

- Le pH de la solution.
- La température de la solution.
- Les contre- ions d'autres polymères existants dans la solution.
- Le degré de polymérisation.
- L'ionisation des groupements carboxyles et leur distribution.

➢ **Stabilité :**

La stabilité maximale des pectines a lieu à pH 4. Pour des pH < 3 et à basse température, les groupements acétyles et méthyles sont déstabilisés et les sucres neutres sont hydroxylés. Si la température est élevée l'hydrolyse est accélérée. En milieu alcalin et à basse température les groupements esters sont saponifiés. En milieu neutre et à température ambiante la saponification est accompagnée de la réaction de dépolymérisation, cette dégradation a lieu uniquement dans les liaisons glycosides et dans les résidus méthylés de l'acide galacturonique. A des températures supérieures à 60° C, cette dégradation n'a lieu qu'à pH légèrement acide (pH proche de 5).

La pectine peut jouer le rôle d'un stabilisant qui permet d'éviter la séparation d'un milieu hétérogène Les pectines HM de haut DE possèdent cette propriété spécifique de pouvoir stabiliser des particules des caséines acides, par interaction Pectines HM-caséines, dans des boissons laitières acidifiées. La pectine agit dans ce cas comme un défloculant et stabilise les caséines par encombrement stérique. En présence de pectine, les particules de caséine vont se charger en partie positivement (pKi caséine = 4,6) et former des particules dipolaires et elles ne s'agrègent plus et la formation d'un sédiment est évitée. Ces particules vont interagir entre elles en absence de pectine, puis précipiter.

➢ **Flexibilité :**

La flexibilité des polyélectrolytes peut être évaluée sur la base de mesures de la viscosité intrinsèque en fonction de la force ionique du milieu. Les pectines sont considérées comme des molécules semi-flexibles. électrostatique des chaînes à la viscosité intrinsèque. La nature des substituants et le nombre des charges portées par les chaînes peuvent l'influencer. Il a été montré que l'augmentation des groupes rhamnosyles augmente la flexibilité; elle serait maximale pour un DM autour de 50%. En revanche, l'amidation entraîne une plus forte rigidité **[43].**

- **Caractère viscosifiant :**

La viscosité est la grandeur qui relie le taux de cisaillement à la contrainte. Les agents dits viscosifiants ont la propriété de modifier le comportement de la phase continue, sans former des zones de jonction contrairement aux gélifiants et certains stabilisants. La pectine HM possède cette caractéristique due à son haut poids moléculaire. Ainsi, on retrouve son utilisation dans les boissons fruitées.

- **Caractère émulsifiant**:

Le rôle d'un agent émulsifiant est de réduire la tension interraciale d'une émulsion (eau dans l'huile, huile dans l'eau...) pour lui permettre de se diviser en fines gouttelettes et d'être stable. Le pouvoir émulsifiant des pectines est influencé par les caractéristiques structurelles de celles - ci et les conditions extrinsèques comprenant la concentration en polymère et le pH de la solution [44]. Les études réalisées sur les pectines dépolymérisées de citrus ou de pomme ont montré qu'à des poids moléculaires inférieurs à 80 KDa, ces dernières possèdent de bonnes propriétés émulsifiantes avec un taux d'acétylation bas [45].

- **Caractère gélifiants :**

La gélification est un procédé qui consiste à former un gel. On peut définir un gel comme un système colloïdal. Les gels des pectines sont des gels physiques formés par associations locales entre chaînes macromoléculaires au niveau des zones des jonctions. La nature exacte de la zone de jonction dépend de :

- La structure chimique des pectines et doit être d'une longueur minimale pour être stable compte-tenu des caractéristiques du milieu.
- Facteurs intrinsèques (masse moléculaire, charge...)
- Facteurs extrinsèques (température, pH, force ionique, nature des ions dans le milieu...).

L'appartenance des pectines aux familles HM ou LM gouverne principalement les mécanismes de gélification :

- ✓ Pour les pectines HM, le mécanisme de gélification correspond à la formation d'interactions hydrophobes entre les groupements méthyles et des liaisons hydrogènes entre les groupements carboxyliques des résidus d'acide galaturonique non estérifiés et les alcools secondaires en présence des sucres neutre **[46].** Les sucres limitent l'activité de l'eau ce qui favorise les interactions pectines-pectines par rapport aux interactions pectines-eau [47]. La vitesse de gélification augmente si la température ou le pH diminue et si

le DM ou la teneur en co-solutés augmente. Les gels obtenus ne sont pas thermoréversibles **[48].**

✓ Les pectines LM sont capables d'avoir un mécanisme de formation de gel basé sur les interactions entre les cations (Ca+) et les groupements carboxyliques déprotonés des acides galacturoniques. Dans ce cas le mécanisme de gélification requiert la présence d'ions divalents et conduit à des gels qui peuvent être thermoréversibles. Une augmentation de la température se traduit par affaiblissement des zones de jonctions et une diminution de la force du gel **[42].** La masse molaire des pectines LM est un facteur déterminant de la force des gels: plus celle-ci est grande plus les gels formés sont rigides.

➢ **Dégradation chimique des pectines :**

Les substances pectiques en solution peuvent subir deux grands types de dégradation :

- La désestérification : réaction classique qui libère le méthanol et forme des pectases.
- La dépolymérisation.

Ces deux types de réactions dépendent du pH et de la température :

- En milieu acide (pH = 1-3), à température inférieure à 10 °C, la désestérification prédomine alors qu'à plus forte température la dépolymérisation a lieu plus rapidement et peut conduire à une dégradation totale des pectines **[49].**
- En milieu neutre ou alcalin, à basse température, les substances pectiques sont désestérifiées sans incidence notable sur leur degré de polymérisation **[50].**

I.3.4 Extraction des pectines :

La pectine fut isolée pour la première fois par J. Braconnot en 1825, mais ce n'est qu'au début du 20^{éme} siècle qu'elle est extraite de façon industrielle. L'industrie utilise principalement des sources riches en pectine comme le marc de pomme (reste des pommes broyées et pressées) ou les écorces d'agrumes qui sont riches en propectine (précurseur de la pectine liée aux autres composants de la paroi primaire) et en acide pectique.

La richesse chimique de la paroi cellulaire végétale qui se traduit par la grande diversité structurale des macromolécules, essentiellement polysaccharidiques, fait exiger des protocoles à utiliser suffisamment de sélectivité pour permettre l'extraction privilégiée des pectines. Ils doivent également avoir le souci de protéger l'intégrité des structures moléculaires en limitant la dégradation de ces dernières.

La pectine peut être liée on non liée aux autres polymères pariétaux par conséquent trois différentes méthodes permettent leur extraction des parois végétales :

- Méthodes chimiques
- Méthodes enzymatiques
- Méthodes physico-chimiques : ultrasons, micro-ondes, pression

I.3.4.1 Méthodes chimiques :

Les pectines sont des hydrocolloïdes et à ce titre, elles sont fréquemment isolées après extraction en solution aqueuse (à froid ou à chaud) suivie d'une coagulation dans l'alcool. Le coagulum d'un aspect fibreux ainsi obtenu est filtré, lavé, séché et enfin, broyé pour de obtenir une poudre fine.

L'extraction des p ectines acides faiblement méthylestérifiées est facilitée par la présence de chélateurs calcium tels que le CDTA, l'EDTA, l'imidazole ou l'oxalate d'ammonium **[51].**

Les pectines sont généralement extraites avec de l'eau chaude (90 à 100°C), en milieu acide (pH compris entre 1.5 et 3.0) et à des temps allants de 0.5 à 6 heures **[52].**

I.3.4.2 Méthodes enzymatiques :

L'introduction d'enzymes du groupe des hydrolases ou lyases dans le milieu réactionnel permet de cibler les liaisons glycosidiques. Le traitement enzymatique intervient sur les liaisons osidiques de la pectine et assure leurs coupures. Ces méthodes dites « méthodes douces » sont peu consommatrices d'énergie, moins polluante et limitent les réactions secondaires (comme la caramélisation). Cependant, la production enzymatique reste coûteuse et la réaction est difficile à contrôler.

Les pectines extraites par voie enzymatique ont un degré d'estérification plus élevé et sont très solubles dans l'eau **[53]** .Toutefois, le traitement prolongé de la matière première (environ 20 h) donne lieu à une pectine à faible indice de gélification **[54].**

I.3.4.3 Méthode physico-chimiques :

Différentes méthodes physiques comme les micro-ondes, l'irradiation γ et les ultrasons peuvent être utilisées pour activer les réactions chimiques de l'extraction des pectines.

- **Ultrasons :**

L'extraction assistée par ultrason est une méthode simple, efficace et peu coûteuse. Elle permet d'améliorer les rendements d'extraction avec une réduction de la durée et de la température sans que la texture du gel obtenue ne soit altérée. Une étude portant sur l'extraction de la pectine à partir de l'écorce de pamplemousse assistée par ultrasons a montré que le rendement augmente de 16.34 % par rapport à la méthode conventionnelle avec une diminution de la température de 13.3°C et de la durée de l'opération de 37.78 %. La microstructure et la couleur de la pectine obtenue n'ont pas été affectées par ce type d'extraction **[55].** Une autre étude réalisée sur l'extraction de la pectine à partir du fruit de la passion a conduit à un rendement supérieur à celui obtenu par la méthode conventionnelle de 1.6 fois **[56].** Appliqué à l'extraction des pectines de marc de pomme, la sonication comme préalable de l'extraction augmente de 23 à 28 % les rendements massiques d'extraction sans que la texture du gel obtenue ne soit altérée **[57].**

- **Micro-ondes :**

L'utilisation des microondes pour extraire les pectines permet de réduire la durée, les coûts de l'extraction avec de bons rendements et de limiter les phénomènes de dépolymérisation par rapport aux méthodes conventionnelles **[58 ,59].**

Appliquée à l'extraction des pectines à partir de l'albedo des agrumes, l'utilisation des micro-ondes limiterait- en comparaison avec des protocoles conventionnels - les phénomènes de dépolymérisation de ces dernières préservant par voie de conséquence leurs propriétés physico-chimiques **[59].**

- **Pression**

L'extraction des pectines d'agrumes réalisée sous pression, tout en préservant le rendement massique d'extraction, génère - par rapport à des protocoles conventionnels - des extraits de masses moléculaires plus importantes **[60 ,61.**

I.3.5 Domaines d'application de la pectine :

D'un point de vue nutritionnel, les pectines sont considérées comme des fibres solubles ayant une forte capacité de rétention d'eau. Plusieurs effets bénéfiques pour

la santé ont été rapportés concernant l'élimination des métaux lourds et la diminution du taux de cholestérol plasmatique Les pectines connaissent un développement remarquable depuis ces dernières années en raison de leurs nombreuses applications.

Tableau I.8 : Applications de la pectine

Domain	Propriété et application	Référence
Alimentaire	Gélifiant, épaississant, stabilisant La formation des complexes de protéine-polysaccharide, amélioration des propriétés fonctionnelles des protéines.	[62]
Cosmétique	Fabrication des vernis, des biles et des crèmes. Agent épaississant et stabilisant des gels pour les cheveux, les lotions et le shampooing.	[63]
Biomédical	Préparations cicatrisantes des plaies Adhésifs médical Dispositif de prothèse implantable Dispositif de colostomie Diminue le cholestérol Inhibe l'oxydation des lipides Réduire le cancer et les métastases Stimuler la réponse immunitaire.	[64] [65]
Environnement	Matière première pour la production de produits comestibles films biodégradables, adhésifs, substituts de papier, mousses, plastifiants.	[66] [67]
Pharmaceutique	Filmogènes : matrices d'encapsulation et de vectorisation de molécules d'intérêt (arômes, antioxydants, antimicrobiens, huiles essentielles, principes actifs,…)	[68] [69 ,70]

II.1. Introduction :

Dans l'ordre de préoccupation qui confère à cette étude sa substance, on a entrepris l'extraction des composés macromoléculaires d'intérêt qui existent dans la courge musquée cultivée à Biskra sud-ouest d'Algérie. Pour ce faire, une étude expérimentale ; réalisée au sein des laboratoires de biologie et de chimie de l'université de Médéa ; consiste en une :

- Extraction des substances pectine à partir des écores et des pulpes du fruit de la courge musquée par l'eau distillée à chaud en utilisant une méthode innovante de chauffage qui est le chauffage par induction électromagnétique.

Dans cette partie, ou décrit tout le matériel et les produits utilisés ainsi que les différents modes opératoires suivis pour réaliser toutes les expériences de ce travail.

II.2. Les produits et matériels :

Les différents produits, ainsi les matériels utilisés lors de cette étude expérimentale, sont rassemblés dans tableau :

Tableau II.1 : liste du matériel et méthodes

Matériels	Produits
Balance Etuve Thermomètre Chauffage par induction Electromagnétique Spatule Eprouvette L'entonnoir Papier filtre Becher	Acétone Ethanol

II.3. Préparation du matériel végétal

La matière végétale utilisée dans cette étude est les écorces d'une variété de courge musquée appelée courge doubeurre ou par anglicisme Butternut (figureII-1). Les fruits sont récoltés à la fin de la maturité à Biskra sud-ouest d'Algérie. La courge musquée soigneusement lavées à l'eau de robinet avant de la peler, et la pulpe est bien purifiée des graines, un échantillon des écorces et des pulpes séparées a été utilisée à l'état frais pour la mesure de la teneur en eau. La pulpe et l'écorce ont été séchées à l'air libre à température ambiante pendant 15 jours, une fois bien séchées, elles ont été broyées en poudre (d≤8mm) à l'aide d'un broyeur électrique (figure II-2). Les poudres obtenues sont stockées dons des flacons bien fermés à température ambiante jusqu' à ce qu'elles soient utilisées.



Figure II-1 : Le fruit de la courge musquée butternut

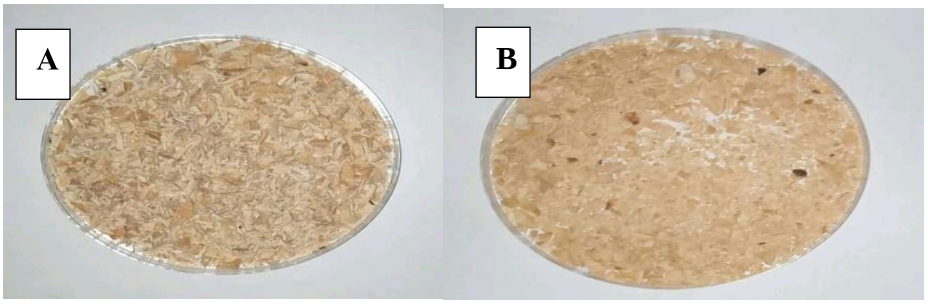


Figure II -2 : A- poudre de l'écorce du butternut, **B**-poudre de la pulpe du butternut

II.4. Détermination de la teneur en eau :

La teneur en eau est déterminée comme étant la quantité d'eau en grammes contenue dans la matière végétal fraiche .la teneur en eau des écorces fraiches a été déterminée par le procédés d'élimination d'eau par le séchage de ces écorces dans une étuve à 50°C jusqu' à l'obtention d'un poids constant.

Le pourcentage en eau contenue dans la matière végétal est déterminé par formule suivante :

$$\mathbf{TE\ (\%) = \frac{m_f - m_i}{m_i} * 100}$$

TE% : teneur en eau en %.

m_f : masse finale de la matière végétale sèches.

m_i : masse initiale de la matière végétale fraiches.

II.5. Extraction des substances pectiques :

II.5.1. Protocole expérimentale :

L'isolation des substances pectique à partir des écorces de la courge musquée butternut a été réalisée par extraction à l'eau distillée à chaud en suivant les étapes qui suivent :

- Une masse de poudre de matière végétale a été homogénéisée avec l'eau distillée dans ce cas le PH est égal à 7. Le mélange réactionnel a été maintenu à une température particulière 100°C assurée par un chauffage par induction magnétique pendant 30 minutes avec agitation.
- La matière végétale épuisée a été séparée de la solution contenant le jus pectique par filtration à travers la gaze.
- La pectine a été précipitée en ajoutant deux volumes d'éthanol à un volume de jus pectique (rapport volumique jus pectique / éthanol : 1/2).
- Après 24 heures de précipitation à la température ambiante, le précipité est filtré à travers un papier filtre puis lavé par l'acétone.
- Finalement, le produit fini est séché dans l'étuve à 45°C. La pectine obtenue est broyée, pesée pour la conserver finalement dans des flacons bien fermés.

Les principales étapes suivies dans l'extraction de la pectine sont résumées sur la figure II-3.

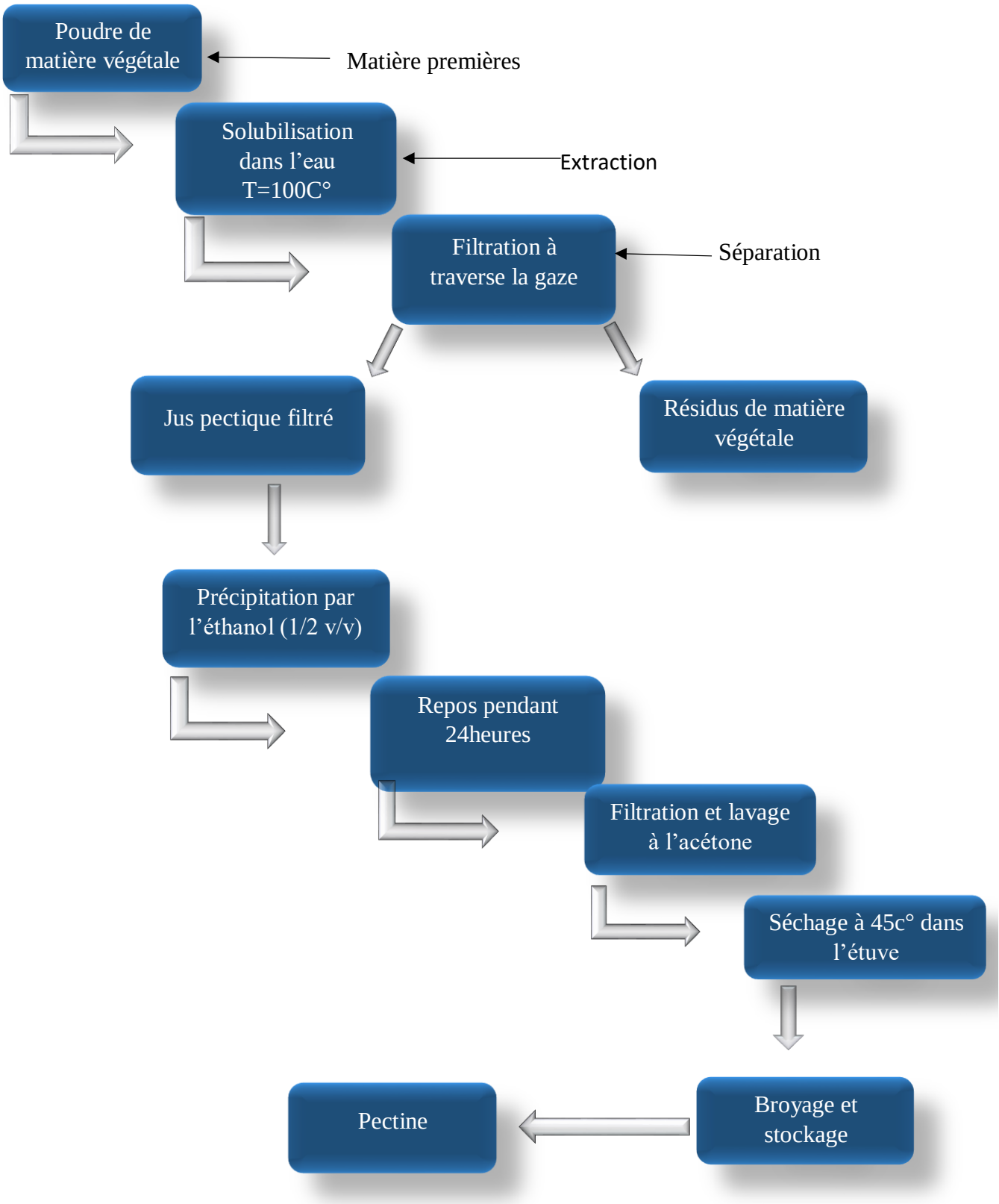


Figure II-3 : Protocole expérimental d'extraction des pectines à partir des pulpes et des écorces de la courge Butternut

Les différentes conditions opératoires d'extraction de pectines sont décrites sur le tableau II-2.

Tableau II-2 : différentes conditions opératoires de l'extraction des pectines à partir de la courge butternut.

Matière végétale	**eau (T = 100^{0}C)**		
	pH	t (min)	Rapport Matière végétale /eau distillée
Ecorces sèches	7	30	1/10
	7	30	1/20
Pulpes sèches	7	30	1/10
	7	30	1/20

II.5.2. Calcul du rendement en pectine :

Les rendements en pectine sont exprimés en pourcentage et ils ont été calculés par rapport à la masse initiale de la matière végétale séchée selon la relation suivante :

$$R\ (\%) = m/m0\ .100$$

m : est la masse de la pectine extraite (g)

m0 : est la masse de l'échantillon utilisé (g)

III. Résultats et discussions :

III.1 Teneur en eau de la matière végétale :

D'après les résultats des mesures des teneurs en eau ; obtenus après séchage pendant 48h à l'étuve des écorces et de la pulpe fraîche ; représentées sur les figures III.1 et III.2 l'eau constitue la majeure partie du fruit de la courge butternut représentant bien plus de 3/4 de la masse des écorces ainsi que celle de la pulpe de la courge butternut. La présence de l'eau dans les différentes parties du fruit du la courge butternut n'est pas uniforme. Il est clair que la pulpe est plus riche en eau (89.53%) que les écorces du butternut (83.72%). Les résultats trouvés présentent une bonne concordance par rapport à ceux reportés dans les travaux de Anshu Sharma et al. (2018).

[71] qui ont trouvé une teneur en eau de 83.30% du poids total des écorces fraîches et 87.17% de celui de la pulpe fraîche du fruit de *Cucurbita. moschata* provenant de l'Inde. Cette richesse en eau de la pulpe et des écorces de cette variété de plante a été reportée par plusieurs travaux dans la littérature Ramachandran et al **[72]**, Pritika (2015) **[73]**, Kim *et al*. (2012)**[74]** mais supérieures aux résultats deUsha *et al.* (2010) **[75]**, Bhat et al (2013) **[76]**, et Kumari (2013) **[77]**, pour le *C. moschata*.

Ces variations sont probablement expliquées par les différentes variétés et les espèces analysées, l'origine géographique et le stockage, car une conservation prolongée provoque la déshydratation du fruit (courge).

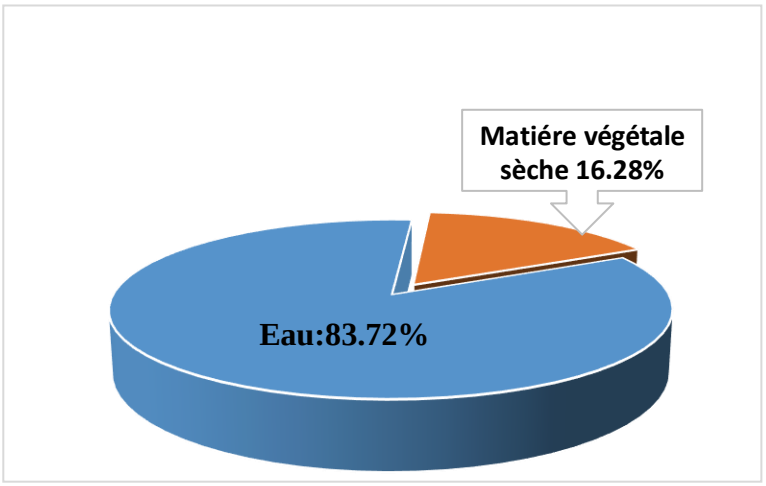


Figure III.1 : Teneur en eau des écorces de la courge musquée (Butternut).

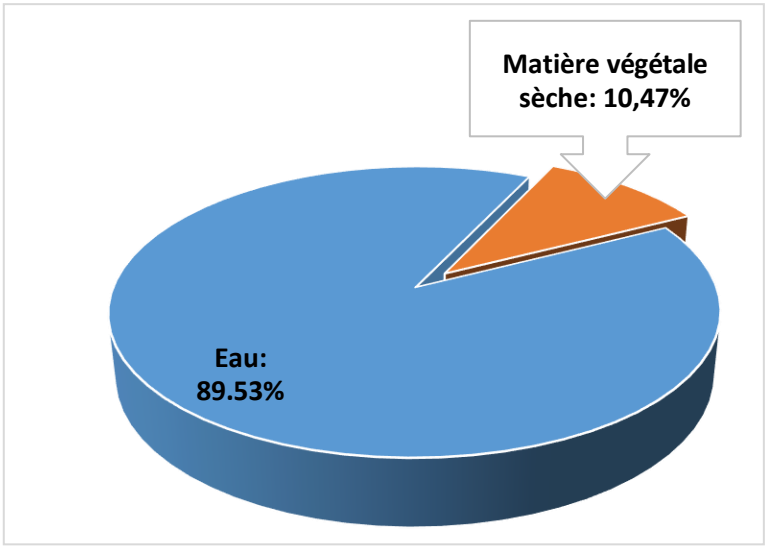


Figure III.2 : Teneur en eau de la pulpe de la courge musquée (Butternut).

Les résultats des teneurs en eau des écorces de la courge musquée butternut séchées par deux modes différents (air libre- étuve) et pendant deux différentes durées de séchage sont représentées sur la figure IV.3. Le contenu en eau des écorces de butternut séchées à l'étuve pendant 24h et de celles séchées pendant 48h à l'air libre sont bien inférieures à celles obtenues par séchage à l'étuve pendant une durée de 48h avec des valeurs de 26.74%, 77.73% et 83.72% respectivement.

Cependant, il est à remarquer qu'il est certain de sous-estimer la quantité d'eau présente dans les écorces si on se contente d'une durée de 24h de séchage à l'étuve car l'ampleur de la différence en terme du contenu en eau entre les deux durées de séchage étudiées apparait clairement supérieure à celle dans le cas ou deux modes de séchage sont comparés pour la même durée.

Cette différence est de 7.15% en balayant le mode de séchage de celui à l'étuve vers un séchage à l'air libre, mais elle dépasse 68% pour une réduction de la durée de séchage de 48h vers 24h. La valeur réelle de toute l'eau contenue ne peut être estimable qu'à 48h de séchage.

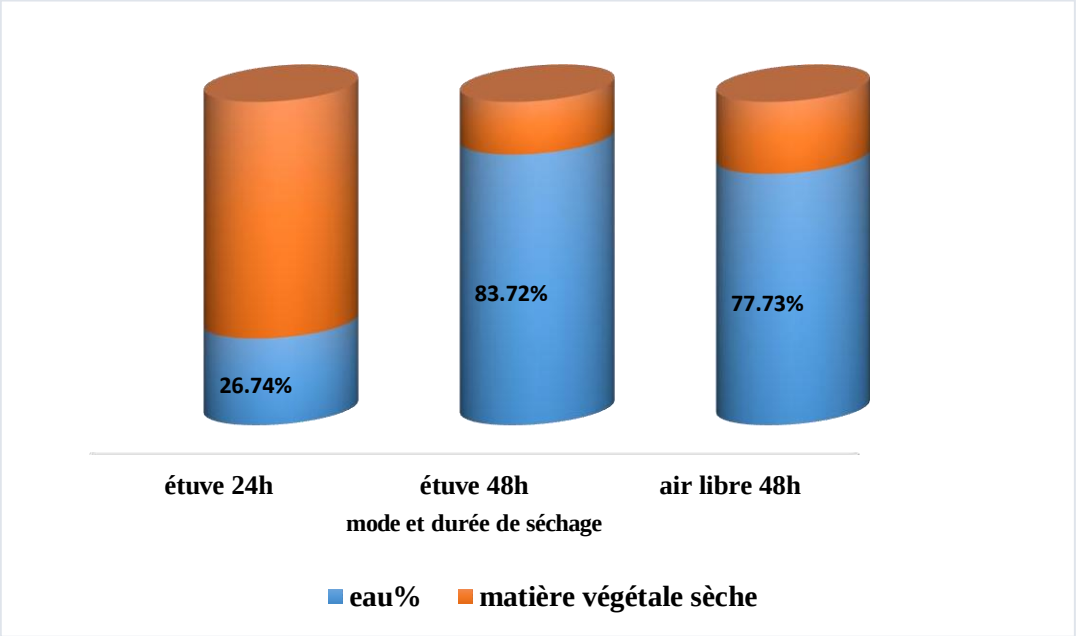


Figure III.3 : Différentes mesures de la teneur en eau des écorces de la courge musquée (Butternut) par différents modes de séchage et pendant deux périodes de séchage (24h-48h)

III.2 Extraction des substances pectiques :

III.2.1 Aspect des substances pectiques :

Les pectines issues des deux parties du fruit de la courge Butternut (écorce, chair) ont une couleur brune qui tend vers l'orange (figure III.4), la couleur est un peu plus claire quand il s'agit de la chair. Une couleur marron pour des pectines extraites à partir des écorces de a été reporté par Charity U. et al (2016) **[78]**.

Il existe des facteurs qui peuvent avoir contribué à la variation de la couleur des pectines **[79]** entre autre : la contamination de surface, le matériel agricole utilisé et l'erreur humaine.

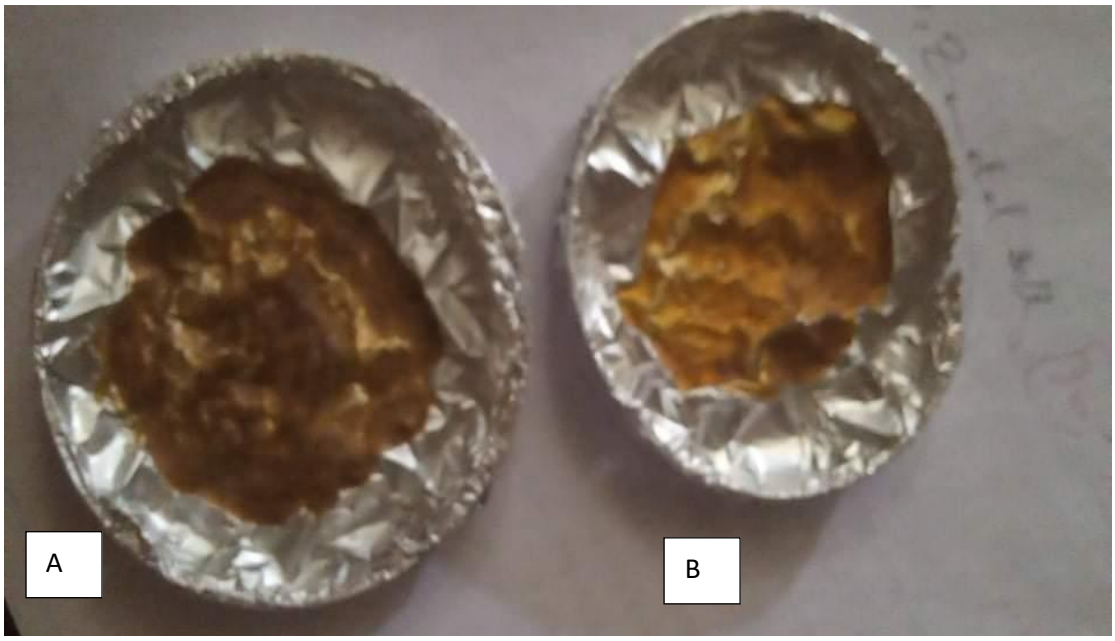


Figure III.4 : échantillons des pectines extraites à partir des deux parties du fruits sèches de la variété Butternut : **A**-Ecorce, B- Pulpe.

III.2.2 Rendement des substances pectiques :

L'examen des résultats représentés sur la figure III.5 des rendements en pectines extraites aux différentes conditions opératoires indiquées sur le tableau II-2 a permis de noter que :

- Les rendements en pectines extraites des différentes parties sèchées à l'air libre (écorces, chair) du fruit de la courge musquée butternut varient de 11% à 32.4%. Ces valeurs sont supérieures à ceux rapportés par Ramanchandran et al (2017) **[72]** qui a enregistré pour la courge musquée un rendement maximal de 6.32% en utilisant l'eau sous pression. Ce même auteur en 2020**[80]** a rapporté un rendement de 5.33% en utilisant l'eau à chaud. Ces différences en rendement varient car la quantité de pectine extraite dépend nettement de la partie de la plante, la teneur en eau de la matière végétale, la méthode d'extraction et des conditions opératoires tel que le pH, le temps d'extraction, le mode de chauffage…etc.
- Les écorces du Butternut contiennent une quantité de pectine plus importante que celle contenue dans les chairs du même fruit. Cela peut être expliqué par la distribution de pectine qui n'est pas uniforme dans ces deux parties en terme de sa localisation dans le tissu végétal, de sa quantité et même de son type (protopectine, au sein du fruit. Le meilleur rendement avoisinant 32.40% est celui obtenu après 30minutes d'extraction en utilisant un rapport masse végétale/ eau égal à 1/20.

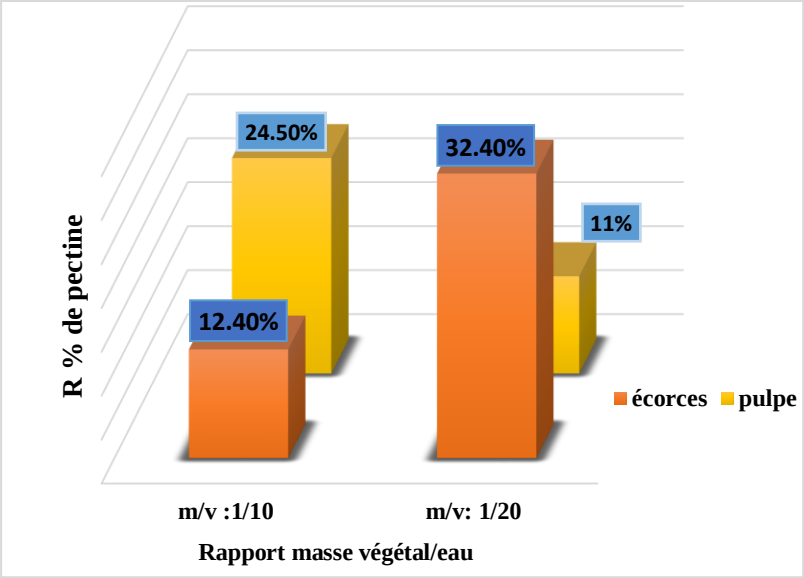


Figure III.5 : Rendement en pectines extraites des différentes parties séchées (écorce, chair) du fruit de la courge butternut) (eau à chaud T=100°C, chauffage assisté par induction magnétique).

L'influence du rapport matière végétale/eau peut être dévoilée en examinant les histogrammes de la figure III.5. Cette influence diffère d'une d'une partie à l'autre. Pour la courge Butternut le rendement en pectine des écorces augmente de 12.40% à 32.40% quand le rapport (m/v) varie de 1/10 à 1/20, tandis que dans le cas de la pulpe cet effet suit le sort inverse. Le rendement passe de 24.50% à 11% pour la même variation de (m/v). Il est clair que l'augmentation du volume d'eau d'imprégnation fait activer la solubilisation des pectines résidant dans les écorces du butternut, par la suite augmenter la quantité des pectines extraites de celles-ci. Par contre concernant la pulpe l'action de la bonne imprégnation dans l'eau n'arrive pas à compenser l'action de l'excès d'hydrolyse des pectines solubilisés résultant de la dilution excessive des solutions... Ce type de variation a été aussi dévoilé en 2020 par Ramachandran et al **[80]**.

Par le biais de cette étude qui consiste en l'extraction des substances pectiques d'intérêt existantes dans les écores et les pulpes du fruit de la courge musquée par l'eau distillée à chaud en utilisant une méthode innovante de chauffage qui est le chauffage par induction électromagnétique, on avait l'objectif de mettre en évidence l'amélioration des capacités de l'extraction à l'eau à chaud classique qui reste depuis le temps une méthode conventionnelle la plus simple nécessitant beaucoup de temps et une haute température pour isoler la pectine. D'après les témoignages bibliographiques exposés dans notre synthèse bibliographique, il paraît que l'espèce *Cucurbita.moschata* est une source riche des pectines à faible coût, ces pectines revêtent des multiples usages qui connaissent sans cesse une croissance constante de la production et de l'utilisation.

La caractérisation de la matière végétale utilisée pour l'extraction en terme de teneur en eau a révélé une composition riche en eau, l'eau constitue la majeure partie du fruit de la courge Butternut représentant bien plus de 3/4 de la masse des écorces ainsi que celle de la pulpe de la courge butternut. La pulpe est plus riche en eau (89.53%) que les écorces du butternut (83.72%). En effet, il pourrait être utile de prolonger la durée de séchage à 48h pour éviter la sous-estimation du contenu en eau dans les parties du fruit de la courge butternut. La différence en terme du contenu en eau est beaucoup plus prononcée entre les deux durées de séchage étudiées par rapport à celle dans le cas ou deux modes de séchage sont comparés pour la même durée. Cette différence est de 7.15% en balayant le mode de séchage de celui à l'étuve vers un séchage à l'air libre, mais elle dépasse 68% pour une réduction de la durée de séchage de 48h vers 24h.

De l'ensemble des résultats obtenus et par comparaison à la littérature on s'est permis de conclure que l'utilisation du chauffage par induction électromagnétique qui s'intègre dans une optique de développer la méthode conventionnelle d'extraction par l'eau à chaud améliore nettement les rendements en pectines extraites des différentes parties séchées à l'air libre (écorces, chair) du fruit de la courge musquée butternut et qui varient de 11% à 32.4%.

Par ailleurs, il pourrait être clair que la distribution de pectine n'est pas uniforme dans les différentes parties du fruit du butternut en terme de sa localisation dans le tissu végétal, de sa quantité et même de son type (protopectine, acide pectique). Les écorces manifestent une richesse en pectine par rapport à la pulpe. Le meilleur rendement avoisinant 32.40% en pectine extraite des écorces, cependant pour la pulpe le meilleur rendement n'excède pas 24.50%.

En outre, et par comparaison des rendements à différents rapport masse végétale/ volume d'eau, l'impact diffère selon la partie du fruit utilisée. Tandis qu'une variation de m/v de 1/10 à 1/20

est favorable pour une extraction de pectine à partir des écorces, elle peut provoquer une diminution en rendements des pectines extraites de la pulpe du fruit de la courge musquée butternut. L'ensemble des conclusions qui précèdent montre qu'en plus de la différence de la quantité et du type de pectine dans le tissu végétal des différentes parties du fruit, l'effet de l'action d'imprégnation dans l'eau peut se confronter à des phénomènes compétitifs qui dégradent la pectine extraite comme l'excès d'hydrolyse des pectines solubilisés résultant de la dilution excessive des solutions.

Plusieurs points mériteraient d'être approfondis dans des études ultérieures, entre autre :

- La caractérisation physico-chimique des pectines extraites par l'hydrolyse à l'eau à chaud utilisant le chauffage par induction électromagnétique,
- La recherche de l'effet des conditions opératoires d'extraction par l'hydrolyse à l'eau chaude assisté par le chauffage par induction électromagnétique sur les caractéristiques et les rendements des pectines extraites.
- Tester les bioactivités des pectines extraites.
- Comparaison avec d'autre méthodes innovante d'extraction de pectine, ce qui ouvrent des pistes qui semblent prometteuses en terme de nouvelles sources ou bien en terme de développement durable des moyens d'extraction.

Références bibliographiques

- **[1]** Chaux C. et Foury C. (1994). Productions légumières : légumineuses Potagères, légumes fruits, Tome 3, Technique et documentation, Paris, 563 p
- **[2]** Pahud Y., Tardy M. et Meldem M. (2006). Courge: citrouille et potiron. Edition Cabedita.2-22p.
- **[3]** N'Kounkou et al.N'Kounkou J.S., Bembe A.P., Kami E., Saminou O.C., Makita-Madzou J.P., Nsongola G. et Miekountima J., (2003). Contribution à la taxonomie des Cucurbitaceae oléifères au Congo-Brazzaville. Communication, 4 e séminaire international, valorisation du safoutier (Dacryodes edulis) et autres oléagineux non conventionnels 15p.
- **[4]** Vanier P. (2007). La citrouille au fil du temps, Usages culinaires, Conservation, Jardinage biologique, Ecologie et environnement
- **[5]** BOTINEAU M. (2010) Botanique systématique et appliquée des plantes à fleurs. Ed Tec & Doc, Lavoisier, p722- 733.
- **[6]** [Gomes RS, de Almeida CF, Chagas RR, Júnior RM, Fara JS, da Silva DJH (2020) Winter squash (*Cucurbita moschata D*.) Displays Promising Nutritional Aspects in Fruits, Seeds and in the Seed Oil. J Plant Biochem Physiol. 8:248.
- **[7]** (Robinson and Decker-Walters, Robinson R.W. and D.S. Decker- Walters. (1996). Cucurbits. CAB International, New York**.**
- **[8]** Caili F., Huan S. et Quanhong L. (2006). A review on pharmacological Activities and Utilisation Technologies of pumpkin. Plant Foods for Human Nutrition.61:73-80
- **[09]** https://fr.qwe.wiki/wiki/Cucurbita
- **[10]** FAO. 2014 FAO statistical database. Food and Agriculture Organisation. http://www.fao.org. (Accession Date: 24/05/2015).
- **[11]** Benalia M. (2016).Etude de la fraction lipidique de quelques graines de Cucurbitacées. Thèse de l'université de Kasdi Merbah Ouergla
- **[12**] G.j.H Grubbrn 2004. légumes
- **[13]** Quasim D. C., MC Millan, D.Talwar, N. Sattar, D.ST. J. O'reilly, J. Kinsella (2005).Lower concentrations of carotenoids in the critically-ill patient are related to a systemic inflammatory response and increased lipid peroxidation. Clinic.Nutr.22(5): 459–462**.**

- **[14]** Azizah, A. H., Wee, K. C., Azizah, O. and Azizah, M. (2009).Effect of boiling and stir frying on total phenolics, carotenoids and radical scavenging activity of pumpkin (Cucurbita moschato). Int.Food Res. J.16: 45-51
- **[15]** Ghedira, K. & Goetz, P. Phytothérapie (2013) 11: 46.
- **[16]** Fu C, Shi H, Quanhong L. (2006). A Review on Pharmacological Activities and Utilization Technologies of Pumpkin. Plant foods for human nutrition (Dordrecht, Netherlands). 61. p73.80
- **[17**]Tamer et al. Tamer, C.E., Incedayi, B., Parseker Y€onel, S., Yonak, S., ¸Copur, €O.U., (2010). Evaluation of several quality criteria of low calorie pumpkin dessert. Notulae Botanicae HortiAgrobotanici 38, 76–80.
- **[18]** Wood R, (1999). The New Whole Foods Encyclopedia: A Comprehensive Resource for Healthy Eating. Middlesex, England: Penguin Books Ltd; 464pp
- **[19]** Mateljan G. (2007) The World's Healthiest Foods. Seattle, WA: George Mateljan Foundation Publishing;[en ligne] http://www.whfoods.com/genpage.php?tname=foodspice&dbid=63page consultée (le 27/04/2018)
- **[20]** S. Enneb, S. Drine, M. Bagues, T. Triki, F. Boussora, F. Guasmi, K. Nagaz, A. Ferchichi (2020) « «Phytochemic al profiles and nutritional composition of squash (Cucurbita moschata D.) From Tunisia South African Journal of Botany 130 165_171.
- **[21]** El hadji Boubacar LY(2008). « nouveaux matériaux composites thermoformables à base de fibre De cellulose », thèse doctorat de l'INP Grenoble.
- **[22]** GAUDIN Solène (2008). Etude de durabilité photo chimique de composites bois-polymères Biodégradables. thèse doctorat université Blaise Pascal,
- **[23]** T. Keshavarz, Ipsita Roy. (2010). Polyhydroxyalkanoate: bioplastics with a green agenda », Journal of current opinion in Microbiology.
- **[24]** NATHALIE JARROUX (2008) « les biopolymères : différentes familles propriétés et Applications », université d'Evry Val d'Essonne.

- **[25]** Chan S-Y., Choo W.S., Young D-J. et al. (2017). « Pectin as a Rheology Modifier: Origin, Structure, Commercial Production and Rheology ». Carbohydrate Polymers 161: 118-139.
- **[26]** Szpunar J., Pellerin., Makarov A., Doco T , Williams P., Lobinski R ., (1999) Speciation of metal –carbohydrate complexes in fruit and vegetable samples by size exclusion HPLC-ICP.MS. Journal of Analytical Atomic Spectrometry 14;639-64
- **[27]** Bonnin, E., Renard, C.M.J.C., Thibault, J.F., Ducro, P. (1997). Les enzymes de dégradation des parois végétales: mode d'action et utilisation alimentaires. Enzymes en Agroalimentaire. Larreta-Garde V., Eds. Techniques et Documentations Lavoisier. 6, 168 - 200.
- **[28]** Thibault, J.F., Ralet, M.C. (2001). Pectins: Their origin, structure and functions. Dans: Advanced Dietary Fibres. Mc Cleary, B.V. and Prosky L., Eds. Oxford Blackwell Science, 32, 369 - 378.
- **[29]** Raven P. H., Evert R. F. et Eichhorn S.(2008). « Biologie végétale » 7e éd., De Boeck, Bruxelles, 733 p
- **[30]** Combo, Ag. M. M.; Aguedo, M.; Paquot, M. (s. d.). (2011).Les oligosaccharides pectiques : production et applications possibles
- **[31]** Lai C., Yang L., Lin W.-C. (2015). Type II arabinogalactan from Anoectochilus formosanus induced dendritic cell maturation through TLR2 and TLR4. Phytomedicine 340: 233-254.
- **[32]** O'Neill et al., (1990). The pectic polysaccharides of primary cell walls. In Methods in plant biochemistry (PM Dey., p. 415-451).
- **[33]** Ishii T. et al. (1999). The plant cell wall polysaccharide rhamnogalacturonan II self-assembles into a covalently cross-linked dimmer. J. Biol. Chem., 274(19), 13098-13104
- **[34]** O'Neill A.M ,Darvill A.G & Albesrsheim P,(2001) substances .Encylopedia of life Sciences ,John Wiley & Sons (Ed),pp1-11
- **[35]** Schols, H. A., Bakx, E. J., Schipper, D., & Voragen, A. G. J. (1995a). A xylogalacturonan subunit present in the modified hairy regions of apple pectin. *Carbohydrate Research*, *279*(0), 265-279.

- [36] Wong, D. (2008). Enzymatic Deconstruction of Backbone Structures of the Ramified Regions in Pectins. *The Protein Journal*, *27*(1), 30-42.
- **[37]** Nawirska O-A, Kita A, Biesiada A, SokolLetowskaA, Kucharska AZ, (2013). Characteristics ofantioxidant activity and composition of Pumpkin seed oils .Cultivars.food.chem:139 155-161.
- **[38**] Morris, G. A., Ralet, M.-C., Bonnin, E., Thibault, J.-F., & Harding, S. E. (2010). Physical characterisation of the rhamnogalacturonan and homogalacturonan fractions of sugar beet (Beta vulgaris) pectin. *Carbohydrate Polymers*, *82*(4), 1161-1167.
- **[39]** Krall, S. M., & McFeeters, R. F. (1998). Pectin Hydrolysis: Effect of Temperature, Degree of Methylation, pH, and Calcium on Hydrolysis Rates. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 46(4), 1311-1315.
- **[40]** Malovikova, A., Rinaudo, M. & Milas, M. (1993). "On the characterization of polygalacturonate salts in dilute solution." Carbohydrate Polymers 22: 97-92.
- **[41]** Ousalem, M., Busnel, J.P. & Nicolai, T. (1993). "A static and dynamic light scattering study
- **[42]** Kar, F. & Arslan, N. (1999). "Effect of temperature and concentration on viscosity of orange
- **[43]** Axelos et Thibault ,Axelos, M.A.V. & Thibault, J.F. (**1991b**). The chemistry of low-methoxyl pectin gelation.dans *The Chemistry and Technology of Pectin*. Editeur: Walter, R.H., New York, AcademicPress: 109-118
- **[44]** Ngouemazong, E.D., Christiaens, S., Shpigelman, A., Loey, A.V., Hendrickx, M. (2015). The Emulsifying and emulsion - stabilizing properties of pectin: A review. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety. 14, 705 - 718.
- **[45]** Mazoyer, J., Leroux, J., Bruneau, G. (1999). Use of depolymerised citrus fruit and aplle as emulsifiers and emulsion stabilisers. SKW Biosystems. 5, 900 – 268
- **[46]** Oakenfull, D., & Scott, A. (1984). Hydrophobic Interaction in the Gelation of High Methoxyl Pectins. *Journal of Food Science*, *49*(4), 1093–1098.

- **[47]** Sato, Y., & Miyawaki, O. (2008). Analysis of Intermolecular Interaction among Pectin Molecules in Aqueous Sugar Solutions. *Food Science and Technology Research*, *14*(3), 232-238.
- **[48**] Thakur, B.R., Rakesh, K.S. & Handa, K.H. (1997). "Chemistry and uses of pectin-A review. «Critical Reviews in Food Science and Nutrition 37(1): 47-73
- **[49]** Voragen, A, Thibault, J.F., Pilnik, W., Axelos, M.A.V. & Renard, C.M.G.C. (1995). Pectins. Dans Food polysaccharides and their applications. Editeur: Stephen, A.M., New York, Marcel Dekker: 287-339.
- **[50]** Kim, W.J., Rao, V.N.M. & Smit, C.J.B (1978). "Demethylation of pectin using acid and ammonia." Journal of Food Science 43: 74-78.
- **[51]** Yeoh, S., Shi, J., Langrish, T.A.G. (2008). Comparisons between different techniques for Water-based extraction of pectin from orange peels. Desalination. 218, 229 – 237.
- **[52]** Ralet, M.C., Bonin, E., Thibault, J.F. (2002). Pectins, dans: Biopolymers Polysaccharides II, Steinbüchel A. (Ed.), Wiley-VCH Verlag Gmbh, Weinheim. 8 (12), 345 - 380.
- **[53]** Turakhozhaev, M.T., Khodzhaev, M.A. (1993). Plant pectin substances methods of isolating pectin substances Chemistry of Natural Compounds. 29, 558 - 565.
- **[54]** Sakai, T., Sakamoto, T., Hallaert, J., Vandamme, E.J. (1993). Pectin, pectinase and protopectinase: production, properties and applications. Adv. Appl. Microbiol. 39, 213 - 294.
- **[55]** Wang, W., Ma, X., Xu, Y., Cao, Y., Jiang, Z., Ding, T., Ye, X., Liu, D. (2015). Ultrasoundassisted heating extraction of pectin from grapefruit peel: Optimization and comparison with the conventional method Food Chemistry.178, 106 - 114.
- **[56]** De Oliveira, C.F., Giordani, D., Lutckemier, R., Gurak, P.D., Olivera F.C., Ferreira Marcza, L D. (2016). Extraction of pectin from passion fruit peel assisted by ultrasound. 71, 110 - 115.
- **[57]** Panchev. I, Kirchev, N, kratchanov, c. (1988).Improving pectin technology: II extraction using using ultrasonic treatment imternational jornal of

food science and technology, 2 jornal of food science and technology, 23,331-341.

- **[58]** Wang, S., Chen, F., Wu, J., Wang, Z., Liao, X., Hu, X. (2007). Optimization of pectin extraction assisted by microwave from apple pomace using response surface methodology, Journal of Food Engineering. 78, 693 - 700.
- **[59]** Fishman, M.L., Chau, H.K., Hoagland, P., Ayyad, K. (2000). Characterization of pectin, flash
  Extracted from orange albedo by microwave heating, under pression.
  Carbohydr. Res. 323,126 – 138
- **[60]** Brat P.Olle D .Reynes M .Alter P.CogatP.O.(2002).Preparation of tropical fruit purees by flash vacuum-expansion .International Society for Horucultural science 575:535-541
- **[61]** Kuribayashi T(1992),., Properties of pressure extracted from Satsuma mandarin by pressure treatement, Colloque INSERM, 224, 337-339
- [**62]** D. Saha, S. Bhattacharya (2010), Hydrocolloids as thickening and gelling agents in food: a critical review, J. Food Sci. Technol. 47, 587–597.
- **[63]** P. Srivastata, R. Malviya. (2011) Source of pectin, extraction, and its applications in Pharmaceutical industry- an overview, 10–18.
- [**64**] Voragen, A, Thibault, J.F., Pilnik, W., Axelos, M.A.V. & Renard, C.M.G.C. (1995). Pectins. Dans Food polysaccharides and their applications. Editeur: Stephen, A.M., New York, Marcel Dekker: 287-339.
- **[65]** C.L. Jackson, T.M. Dreaden, L.K. Theobald, N.M. Tran, T.L. Beal, M. Eid, et al. (2007), Pectin induces apoptosis in human prostate cancer cells: correlation of apoptotic function with pectin structure, Glycobiology. 17, 805–819.
- [**66]** K.T. Inngjerdingen, T.R. Patel, X. Chen, L. Kenne, S. Allen, G.A. Morris, et al (2007).Immunological and structural properties of a pectic polymer from Glinus oppositifolius, Glycobiology. 17, 1299–1310.
- **[67]** D. Mohnen. (2008), Pectin structure and biosynthesis, Curr. Opin. Plant Biol. 11 266–277.
- **[68]** W. Zhang, K.M. Mahuta, B.A. Mikulski, J.N. Harvestine, J.Z. Crouse, J.C. Lee, et al. (2014), Novel pectin-based carriers for colonic drug delivery, Pharm. Dev. Technol. 1–4.

- **[69]** Liu, L.S., Fishman, M.L., Kost, J., Hicks, K.B. (2003). Pectin - based systems for colonspecific drugdelivery via oral route. Biomaterials. 24, 3333 - 3343.
- **[70]** Zam, W., Bashour, G., Abdelwahed, W., Khayata. W. (2013). Formulation and in-vitro release of pomegranate peels' polyphénols microbeads. International Journal of Pharmaceutical Sciences and Research. 4 (9), 3536 - 3540.
- **[71]** Anshu Sharma, Anju K Dhiman, Surekha Attri and Rajni Kant Thakur. (2018). Comparative evaluation of physico-chemical attributes of different portions of C. moschata and C. maxima species of pumpkin. International Journal of Chemical Studies ; 6(2): 3209-3213.
- **[72]** PreethiRamachandran, anjuK.Dhiman and SurekhaAttri . (2017) ''Extraction of Pectinfrom Ripe Pumpkin (Cucurbita moschata Duchex.Poir) usingeco-freindly technique'' Indian journal of ecology 44:685-689.
- **[73]** These MSc, Dr. YS Parmar UHF, Nauni, Solan, HP, India, (2015).Pritika. Studies on drying and dehydration of ripe pumpkin (Cucurbita moschata Duchex Poir),
- **[74]** Kim MY, Kim EJ, Kim YN, Choi IC, Lee BH (2012). Comparison of the chemical compositions and nutritive values of various pumpkin (Cucurbitaceae) species and parts. Nutrition Research and Practice, 6:21-27.
- **[75]** Usha R, Lakshmi M, Ranjani M. Nutritional (2010), sensory and physical analysis of pumpkin flour incorporated in to weaning mix. Malaysian Journal of Nutrition. 16:379-387.
- **[76]** Bhat MA, Bhat A (2013). Study on physico-chemical characteristics of pumpkin blended cake. Journal of Food Processing Technology; 4:9
- **[77]** Kumari B. (2013).Utilization of dehydrated pumpkin (Cucurbita moschata Duch ex Poir) and its seeds for development of value added products. MSc Thesis, Dr YS Parmar UHF, Nauni, Solan, HP, India,
- [**78]** Charity U. Ogunka-Nnoka and Mary F. Atinlikou. (2016). Extraction and Characterization of Pectin from some selected non-citrus agricultural food wastes, Journal of Chemical and Pharmaceutical Research 8(5):283-290.
- **[79]** Fishman M. L., Chau H. K., Hoagland P., et al.(1999). « Characterization of pectin, flashextractedfrom orange albedo by microwaveheating, under pressure ». Carbohydrate research323: 126–138.

• **[80]** PreethiRamachandran, Anju K Dhiman, SurekhaAttri and Tejpreet Kaur. (2020). Influence of Various Factors on Yield and Quality of Pumpkin Pectin Extracted with Water).*ChemSciRevLett* 9 (34), 388-397