**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 macromoléculaire
**Par :**

**Denideni Bouchra**

**Sellaoui Maroua**

## Thème :

# Propriétés physico-chimiques des bio-polymères extraits d'une biomasse végétale

Déposé le : 20/07 /2021, au jury composé de :

| | | | |
|---|---|---|---|
| Dr. MaachouHamida | Grade : MCA | Université de Médéa | Présidente |
| Dr.Zouambia Yamina | Grade : MCA | Université de Médéa | Examinatrice |
| Dr.Madani Leila | Grade : MCB | Université de Médéa | Encadreur |

Année universitaire 2020/2021

## *Remerciement*

*On remercie* ***« Allah »*** *le tout puissant de nous avoir donné la santé et la volonté d'entamer et de terminer ce mémoire.*

*Tous d'abord, ce travail ne serait pas aussi riche et n'aurait pas pu avoir le jour sans l'aide et l'encadrement de Mm Madani Lila, on le remercie pour la qualité de son encadrement exceptionnel, pour sa patience, sa rigueur et sa disponibilité durant notre préparation de ce mémoire.*

*Nos remerciement s'adresse* à :

***Madame maachou hamida*** *: nous sommes honorée que vous ayez accepté la présidence jury de ce mémoire.*

***Madame zouambia yamina :*** *votre venue en tant qu'examinateur nos honore, nous sommes très reconnaissante et ont vous adresse notre vifs remerciements.*

*Notre remerciement s'adresse également à tous nos professeurs pour leur générosité et la grande patience dont ils ont su faire preuve malgré leur charge académique et professionnelle.*

# *Dédicace :*

*Avec un très grand amour et beaucoup de respect, je dédie ce modeste travail :*

*A l'homme, mon précieux offre du dieu, qui doit ma vie, ma réussite et tout mon respect :* ***mon cher père Mohamed***

*A la femme qui a souffert sans me laisser souffrir, qui n'a jamais dit non âmes exigences et qui n'a épargné aucun effort pour me rendre heureuse :* ***mon adorable mère khadra***

***À mes chers frères et soeurs*** *: Djamel et sa famme Souad, Abdelkader ,Youcef, Alam ,Amel pour leur grand amour et leur soutien qu'ils trouvent ici l'expression de ma haute gratitude.*

***A ma copine Maroua, en*** *témoignage de l'amitié sincère qui nous a liées et des bons moments ensemble, je te souhaite une vie pleine de succès.*

***A mes meilleurs amis*** *avec lesquelles j'ai partagé de beaux moments :* ***sabrine, Soulef, Mounia, Israa, Ibtissem, hadjer, Sarah*** *puisse dieu vous donne santé, bonheur, courage et surtout réussite. Ames collègues étudiants de ma promotion 2020.*

*Dendeni Bouchra .*

# Dédicaces

Tous d'abord je bénis mon Dieu chaque jour de ma vie, de m'avoir donné la santé, la chance d'étudier et de suivre le bon chemin.

Je dédie, tout particulièrement ce modeste travail qui est le fruit de mes études, à mes très chers parents «Ahmed et Aicha» , symbole de sacrifice qui m'ont encouragé.

A mes deux chère frères « Hamza et Omar » et mes deux pires de bijoux sœurs «Chaima et Chahinez ».

A mes tout amies spécialement mon binôme « Bouchra» et mon amie «Amira».

A tous ceux qui me sont chers : grande famille et mes amis

En témoignage de ma profonde affection.

Maroua.

**الملخص:**

في هذه الدراسة، اهتممنا بفحص تأثير الشروط العملية المختلفة للاستخلاص عن طريق التحلل المائي بواسطة الماء الساخن على كمية وخصائص البكتين المستخلصة من نوعين من القرع (اليقطين والقرع الضخم). النتائج التي تم الحصول عليها أوضحت ان المردود والخصائص الفيزيو- كيميائية تتأثر: بطريقة التسخين، ومدة الاستخلاص، ونسبة كتلة النبات / حجم الماء والجزء المستخدم من الثمرة (لب، بذور، قشور). ومن بين التأثيرات التي تمت دراستها ، كان التأثير الأكثر أهمية هو تغير جزء الثمرة ، طريقة التسخين وقوة الميكروويف أيضا. بتسخين الميكروويف بقوة 270 واط تحت شروط الاستخراج (ز = 15 دقيقة ، نسبة كتلة النبات / الماء 10/1) يمكننا استخراج أفضل مردود من لب اليقطين (8.7٪) من البكتين (بدرجة عالية الميثيل ، وبأكبر وزن معادل يقدرب 120 كيلو دالتون) بينما يتم الحصول على أقل محصول من بذور القرع الضخم الذي لا يتجاوز 0.8٪ من البكتين ضعيف الميثيل المستخلص في شروط الاستخلاص (ز = 10 دقائق ، نسبة كتلة نبات / حجم الماء تبلغ (10/1) وقوة 270 واط). بالإضافة إلى عدم انتظام توزيع البكتين في الأجزاء المختلفة من الثمار المدروسة ، فقد وجد أن القشور تسمح باستخراج البكتين الضعيف الميثيل بينما هذا الأخير يكون عالي الميثيل من اللب والبذور.

**الكلمات المفتاحية**: بكتين، استخلاص, القرع ,القرع الكبير ,القرع البلدي ,الميكروويف

**Résumé :**

Dans cette étude, on s'intéresse à examiner l'impact des différentes conditions opératoires d'extraction par l'hydrolyse par l'eau à chaud sur les quantités et les propriétés des pectines extraites de deux variétés de *courge* (*cucurbita pepo et cucurbita maxima*). Les résultats montrent que le rendement et les caractéristiques physico-chimiques sont affectés par : le mode de chauffage, le temps d'extraction, le rapport masse végétale/volume d'eau et de la partie du fruit utilisée (pulpe, graines, écorces). Parmi les effets étudiés, le plus important effet est celui de la variation de la partie du fruit, du mode de chauffage et de la puissance des micro-ondes aussi. Avec un chauffage par micro-ondes à une puissance de 270W dans les conditions d'extraction (t=15min, un rapport masse végétale/eau de 1/10) on arrive à extraire à partir de la pulpe de *Cucurbita.pepo* un meilleur rendement (8.7%) de pectine (hautement méthylée, et d'un poids équivalent très important de 120kDa).Tandis que le plus faible rendement est obtenu des graines de C*ucurbita maxima* qui ne dépasse pas 0.8% de pectine faiblement méthylées extraite dans les conditions d'extraction ( t=10min , un rapport masse végétale/eau de (1/10) et une puissance de 270W). En plus de la non uniformité de la distribution des pectines dans les différentes parties des deux fruits étudiées, il a été trouvé que les écorces permettent d'extraire des pectines faiblement méthylées tandis que ces dernières sont hautement méthylées à partir de la pulpe et des graines.

**Mots clés** : pectine, extraction, *Cucurbita*, *cucurbita maxima*, *cucurbita pepo*, micro–onde.

**Abstract :**

In this study, we are interested in examining the impact of the different operating conditions of extraction by hot water hydrolysis on the quantities and properties of pectins extracted from two squash varieties (*Cucurbita pepo* and *Cucurbita maxima*). The results showed that the yield and the physicochemical characteristics are affected by: the heating mode, the extraction time, the ratio of plant mass / volume of water and the part of the fruit used (pulp, seeds, and peels). Among the studied effects, the most important effect is the variation of the fruit part, the heating mode as well the power of the microwaves. With microwave heating at a power of 270W under extraction conditions (t = 15min, a plant mass / water ratio of 1/10) we can extract the best yield from the pulp of Cucurbita.pepo (8.7%) of pectin (high methylated, and of high equivalent weight of 120kDa). While the lowest yield is obtained from the seeds of *Cucurbita maxima* which does not exceed 0.8% of low methylated pectin extracted in the extraction conditions (t = 10min, a plant mass / water ratio of (1/10) and a power of 270W). In addition to the non-uniformity of pectin distribution in the different parts of both fruits studied, it was found that the peels allow to extract low methylated pectins while the latter are highly methylated from the pulp and seeds. .

***Keywords*** : pectin, extraction, *Cucurbita, ,cucurbita maxima ,cucurbita pepo,* microwave.

**Sommaire**


| | |
|---|---|
| **Introduction général** | 1 |
| **Chapitr I : généralité sur les cucurbitees** | **3** |
| 1. généralité sur la biomasse | 3 |
| 1 .1.Définition de la biomasse végétale | 3 |
| 1 .2.Ressources de la biomasse | 3 |
| I. Généralité sur les cucurbitacées | 3 |
| I.1.L'Origine de cucurbitacées | 3 |
| I.1. 2. Spécificités botaniques | 3 |
| I.1.3. Le genre *Cucurbita* | 4 |
| I.1.4.Classification botanique | 4 |
| I.1.5. Différentes variétés en Algérie | 4 |
| I.3.Cucurbita maxima | 5 |
| I.3.1.Description botanique de *Cucurbita.maxim*a | 6 |
| I .3.2.Type et description des fruits | 6 |
| I .3.3.Description de la graine | 7 |
| I.3.4. utilisation de *Cucurbita maxima* | 7 |
| I .3.5.Activité antimicrobienne de Cucurbirta maxima | 9 |
| I.4.*Cucrbita.pepo* (citrouille) | 9 |
| I.4.1 classification botanique | 11 |
| 1.4.2 Description botanique | 11 |
| I.4.3 Composition de la citrouille | 12 |
| 1.4.4 Utilisation de la citrouille | 15 |
| **Chapitre II : généralités sur la pectine** | **17** |
| II.1. Historique | 17 |
| II.2. Définition | 17 |
| II.3. Sources des pectines | 18 |
| II.4. Structure de la pectine | 19 |
| II.4.1. L'homogalacturonane ou acide homogalacturonique (HGA) | 20 |
| II.4.2. Les galacturonanes substitués | 20 |
| II.4.3. Les rhamnogalacturonanes | 21 |
| les rhamnogalacturonanes de type I (RG-I) | 21 |
| les rhamnogalacturonanes de type II (RG-II) | 21 |
| II.5. Types de pectine | 22 |
| II.6. Rôle de pectine | 23 |
| II.7. Propriétés physico- chimiques | 24 |
| II.7.1. La masse moléculaire | 24 |
| II.7.2. Solubilité et précipitions de pectine | 25 |
| II.7.3. Viscosité | 25 |
| II.7.4. Propriétés de Gélification et stabilisantes | 26 |
| II.9. Extraction des pectines : | 27 |
| II.9.1.Méthodes physico-chimiques | 27 |
| II.9.2. Méthodes physico-chimiques activées | 28 |
| II.9.3. Méthodes enzymatiques | 29 |

II.10. Utilisations des pectines 29
**Chapitre III :matériels et méthodes** **31**
III.1. Introduction 31
III.2. Produits et matériels 31
III.2.1. Produits chimiques 31
III.2.2. Matériels 31
III.3. Préparation de la matière végétale 32
III.4. Détermination de la teneur en eau 33
III.5. Extraction de la pectine 33
III.6. Calcul du rendement en pectine extraite 37
III.7. Analyse et caractérisation physicochimique des pectines extraites 38
III.7.1. Détermination du Poids équivalent 38
III.7.2. Détermination de la teneur en méthoxyle (MeO%) 38
III.7.3. Détermination de degré d'estérification DE (Méthode titrimétrique) 38
III.7.4. Analyse par spectroscopie FTIR 39
**Chapitre IV : résultats et discussion** **40**
IV.1. Teneur en eau de la matière végétale 40
IV.2. Extraction des substances pectiques 41
IV.2.1. Aspect des substances pectiques 41
IV.2.2. Rendement des pectines 42
IV.2.2.1 Influence du temps d'extraction sur le rendement 44
IV.2.2.2. Influence du rapport m/v sur le rendement 45
IV.2.2.3 Influence de la partie de fruits dur le rendement 46
IV.2.2.4. Influence de la teneur en eau sur le rendement 46
IV.2.2.5. Influence du mode de chauffage utilisé sur le rendement 48
IV.2.2. 6. Influence de la puissance de M.O sur le rendement 48
IV.2.2.7. Caractérisation physico-chimique des pectines extraites 49
**Conclusion général** **58**
**Référence bibliographie** **60**

| | | |
|---|---|---|
| **Chapitre I** | **GENERAILIRE SUR LES CUCURBITACEES** | |
| **FigureI.1** | quelques fruits de *Cucurbita.maxima.* | 7 |
| **FigureI.2** | Pédoncule (A), fruit (B) et graine (C) de *Cucurbita.pepo* (6980-7340 ans av. J.-C). | 10 |
| **Figure I.3** | Constituants d'un fruit de citrouille | 13 |
| **Chapitre II** | **GENERALITE SUR LES PICTINES** | |
| **Figure II.1** | Structure des unités d'acides D- galacturoniques dans la pectine | 19 |
| **FigureII.2** | Structure de l'homogalacturonane HGA et ponts Ca2+ entre deux chaines d'HG | 20 |
| **FigureII.3** | Structure des galacturonanes substitués | 21 |
| **FigureII.4** | Structure du rhamnogalacturonanes II | 22 |
| **FigureII.5** | Pectines hautement méthylés | 23 |
| **FigureII.6** | Pectines faiblement méthylés | 23 |
| **Chapitre III** | **MATERIELS ET METHODES** | |
| **FigureIII.1** | matière végétal : a) fruit de C*ucurbita.maxima,* b) fruit de C*ucurbita.pepo* | 32 |
| **FigureIII.2** | matière végétale séchée et broyée (**A**)- pulpe, (**B**) - écorces (**C**) – graines. | 33 |
| **FigureIII.3** | Protocole expérimental de l'extraction de la pectine par l'eau à chaud | 34 |
| **FigureIII.4** | Extraction assistée par induction électromagnétique. | 35 |
| **FigureIII.5** | Extraction de pectine assistée par micro-onde. | 36 |
| **CHAPITRE IV** | **RESULTATS ET DISCUSSIONS** | |
| **FigureIV.1** | Teneur en eau des différentes parties de *cucurbita.maxima* et *cucurbita.pepo* | 41 |
| **Figure IV.2** | pectines extraites des : (a)graines (b) écorces(c)pulpe | 41 |
| **FigureIV.3** | Influence du temps d'extraction sur le rendement de pectine extraite à partir de la pulpe sèche de *Cucurbita.pepo* (**I.M** :t=55C°, m/v=1/10; **M.O** :m/v=1/10,270W) | 44 |
| **FigureIV.4** | Influence du rapport m/v sur le rendement de la pectine extraite par micro-onde des écorces de C*ucurbita.pepo* (t=15min ;puissance faible ) | 45 |
| **Figure IV.13** | spectres I.R des pectines extraites par M.O des différentes parties du fruit de *C. pepo* (écorces, pulpe). | 55 |

| | | |
|---|---|---|
| **Figure IV.5** | Influence de la partie de la plante sur le rendement de pectine extraite par micro-onde de *Cucurbita maxima* (puissance faible, m/v=1/10 t=10min) et *Cucurbita.pepo* (puissance faible, m/v=1/10, t=15min) | 46 |
| **Figure IV.6** | Influence de la teneur en eau sur le rendement de la pectine extraite par micro-onde des différentes parties du fruit du *Cucurbita maxima* (270W, 1/10,10min) | 47 |
| **Figure IV.7** | Influence de la méthode de chauffage sur le rendement de la pectine extraite de la pulpe du *Cucurbita.pepo* | 48 |
| **Figure IV.8** | Influence de la puissance sur le rendement de la pectine extraite de la pulpe de *Cucurbita.maxima* par micro-onde (t=2min,m/v=1/10) | 49 |
| **Figure IV.9** | Influence de la partie de la plante sur : a/ le degré d'estérification, b/ le Poids équivalent, c/ le taux des groupements Méthoxyl (MeO%) de la pectine extraite par micro-onde 270W (10min pour C.maxima et 15 min pour C.pepo). | 50 |
| **Figure IV.10** | Influence du mode de chauffage sur : a/ le degré d'estérification, b/ le Poids équivalent, c/ le taux des groupements Méthoxyl (MeO%) de la pectine extraite à partir de la pulpe de C.pepo. | 51 |
| **Figure IV.11** | Influence de la puissance de chauffage M.O sur : a/ le degré d'estérification, b/ le Poids équivalent, c/ le taux des groupements Méthoxyl (MeO%) de la pectine extraite à partir de la pulpe de C.pepo. | 53 |
| **Figure IV.12** | spectres I.R des pectines extraites par M.O des différentes parties du fruit de C.maxima (écorces, graines, pulpe). | 55 |
| **Figure IV.14** | spectres I.R des pectines extraites par différents modes de chauffage à partir de la pulpe de *C.pepo.* | 56 |
| **Figure IV.15** | spectres I.R des pectines extraites par M.O à différentes puissances du fruit de *C.pepo.* | 56 |

| | | |
|---|---|---|
| **TableauI.1** | Classification botanique du genre Cucurbita | 4 |
| **Tableau I.2** | Les principales espèces et variétés du genre Cucurbita | 5 |
| **Tableau I.3** | Activité antimicrobienne de Cucurbita. Extraits évalués in-vitro(Cucurbita maxima). | 8 |
| **Tableau I.4** | La classification de Cucurbita.pepo | 9 |
| **Tableau I.5** | Illustration de quelques organes de Cucurbita.pepo | 11 |
| **Tableau I.6** | Constituants d'un fruit de citrouille | 12 |
| **Tableau I.7** | Différents nutriments de la citrouille | 13 |
| **Tableau I.8** | Composés nutritifs dans les graines et l'écorce de la citrouille. | 14 |
| **Tableau I.9** | Composition minérale de la citrouille | 14 |
| **Tableau I.10** | Utilisation thérapeutique de cucurbita pepo | 16 |
| **Chapitre II** | **Généralités sur la pectine** | |
| **Tableau II.1** | Teneur en substances pectiques de quelques végétaux. | 18 |
| **Tableau II.2** | Exemples de masses molaires M mesurées pour différentes pectines | 25 |
| **Tableau II.3** | Propriétés des pectines issues de quelques types d'extraction | 28 |
| **Tableau II.4** | Déférentes application des pectines | 29 |
| **Chapitre III** | **Matériels et méthodes** | |
| **Tableau III.1** | Produits chimiques utilisés. | 31 |
| **Tableau III.2** | Différentes conditions opératoires de l'extraction des pectines à partir de la C*ucurbita.pepo* (chauffage par Bain-marie) | 35 |
| **Tableau III.3** | Différentes conditions opératoires de l'extraction des pectines à partir de la C*ucurbita.pepo* ( chauffage par induction magnétique) | 36 |
| **Tableau III.4** | Différentes conditions opératoires de l'extraction par micro-ondes des pectines à partir de *(Cucurbita. pepo).* | 37 |
| **Chapitre IV** | **Résultats et discussion** | |
| **Tableau IV.1** | Rendements des pectines extraites de *Cucurbita .pepo* et *Cucurbita. maxima* | 43 |

## Liste des abréviations

C.pepo: Cucurbita. pepo.

C.maxima : Cucrbita. maxima.

HG: homogalacturonane

HGA :acide homogalacturonique

RG I: rhamnogalacturonane I

RG II: rhamnogalacturonane

XGA : xylogalacturonane

Gal A : acides galacturoniques

Rha : unités rhamnosiques

DM : degré de méthylation

HM : pectine hautement méthylées

LM : pectine faiblement méthylées

L.M.A: Löw methylatedamidated pectines

Dac : Le degré d'acétylation

DE : degré d'estérification

KDa : kilo Dalton

M : mole/L

T° : la température

IM : Induction magnétique

BM : Bain marie

MO :Micro-onde

# Introduction Générale

**Introduction Générale :**

La bioraffinerie émergente utilisant les déchets des fruits et des légumes comme matière première vient envahir de plus en plus le secteur économique autant qu'une solution environnementale peu coûteuse et fortement rentable. La pectine est un produit naturel d'une importance capitale dans la bioraffinerie. Généralement obtenue industriellement à partir d'écorces de citron ou de marc de pomme, la pectine est un produit naturel connaissant une constante croissance de production et d'utilisation. Elle 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 biologique très diversifiée lui confère un rôle brillant dans le domaine pharmaceutique et dans beaucoup d'autres domaines.

Renouvelable et non polluante, la biomasse végétale est une source d'énergie, de matériaux et de produits chimiques. Sa valorisation constitue l'une des voies d'avenir pour participer à la maitrise des consommations de ressources non renouvelables et lutter contre le changement climatique. Les applications de la biomasse redeviennent, de nouveau attractifs pour le secteur économique et la tendance de chimie verte.

En effet, dans le cadre de ce travail, la biomasse considérée s'agit de deux variétés du genre Cucurbita : *Cucurbita.pépo* et *Cucurbita.maxima* qui sont des aliments de base, et qui revête un rôle social et économique pour la société avec de nombreux éléments nutritifs et fonctionnels pour des applications dans les formulations alimentaires et pharmaceutiques tels que les vitamines, en outre c'est une parmi les sources de pectine naturelle à faible coût.

A ce jour, l'application des micro-ondes trouve amplement son utilisation dans le milieu industriel et les foyers (séchage, décongélation pasteurisation, extraction…), ce qui a suscité notre intérêt pour nous en servir comme un moyen d'extraction des pectines à partir des fruits de *Cucurbita.pépo* et *Cucurbita.maxima*. Cependant, dans le cadre de ce travail on s'est orienté vers une tentative d'apporter une amélioration de 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 l'isolation des pectines. En plus, on s'est voulu ambitieux de contribuer à élargir les connaissances concernant l'impact des différents paramètres opératoires d'extraction sur les caractéristiques physico-chimiques des pectines extraites.

Nous avons subdivisé notre travail en quatre chapitres: Le premier chapitre propose une mise au point bibliographique sur les espèces étudiées le *Cucurbita.pépo* et *Cucurbita.maxima* en

recensant leur caractérisation botanique, leur composition et leur importance. Nous présenterons dans le second chapitre une rubrique bibliographique sur quelques généralités sur les pectines ainsi que les techniques de leurs extractions.

Le matériel et les méthodes utilisées au cours de la réalisation de ce travail dans son côté pratique sont décrit dans un troisième chapitre et enfin les résultats obtenus sont présentés et discutés dans le dernier chapitre. Tout ce qui ressort de ce travail avec quelques perspectives sont à la fin récapitulé dans une conclusion générale.

# Chapitre I :

# Généralité sur les Cucurbitacées

## I. Généralités sur la biomasse :

La biomasse est une source d'énergie renouvelable unique qui peut se présenter sous forme liquide, solide, ou encore gazeuse **(Riess, 2012).** Dans le domaine de l'énergie, la biomasse regroupe « la fraction biodégradable des produits, déchets et résidus provenant de l'agriculture, y compris les substances végétales et animales, ainsi que la fraction biodégradable des déchets industriels et ménagers **(Volle, 2017).**

### I .1. Définition de la biomasse végétale :

La biomasse végétale est constituée principalement de :

- Matière organique : La matière organique à l'échelle macromoléculaire consiste en matière d'origine végétale ( résidu alimentaire , bois , feuilles) dont les principaux constituants sont la cellulose, l'hémicellulose, la lignine et des matières extractibles **(Volle, 2017).**Et d'autres d'origine animales (cadavres d' animaux …)
- Matière inorganique.

### I .2. Ressources de la biomasse :

Les filières agricoles, forestières et l'industrie agro-alimentaire sont les principaux agents fournisseurs de labiomasse. Cette biomasse est susceptible d'être valorisée énergétiquement avec production de biodiésel, bioéthanol, bio méthane et hydrogène. Il y a différentes voies de production de bioéthanol à partir des plantes sucrière (betteraves, datte...) et de plantes lignocellulosique**(Saidi, 2011).**

## I.2. Généralité sur les cucurbitacées :

### I.2.1. L'Origine de cucurbitacées :

La famille des cucurbitacées est originaire des zones tropicales d'Amérique :

- Au Mexique, 7000 ans avant notre ère que leur présence a été décelée .
- Après la découverte du nouveau Monde, leur dissémination sur tous les continents a Au cours des XVIIème et XVIIIème siècles leur extension se poursuive, des nombreuses variétés apparaissent au XIXème siècle, ce qui a permet leur classification botanique **(Rakotovao, 1994-1999).**

### I. 2.2. Spécificités botaniques :

La famille des Cucurbitacées est une famille des plantes dicotylédones qui comprend environ 800 espèces réparties en 130 genres **(Smith, 1997 ;Botinea,2010).)**.Dont les principaux sont :

- Gurania (75 espèces),

- Sicyos (50espèces),
- Momordica (45 espèces),
- Cayaponia (45 espèces) et
- Cucumis (32 espèces)

Les Cucurbitacées sont des plantes herbacées, parfois sous-ligneuses à la base ou plus rarement ligneuses, annuelles ou vivaces, leur longévité est de l'ordre de 6 à 8 ans. Elles sont plus ou moins rampantes ou grimpantes (voire décombantes) grâce à des vrilles caulinaires spiralées (à la base du pétiole placées à l'équerre du plan tige-feuille). **(http : //fr.wikipedia.org/wiki/Cucurbitaceae,)**.

En région tempérée, cette famille est connue particulièrement par ses fruits comestibles: les courges (Cucurbita), les melons (Cucumismelo), les concombres(Cucumissativus), les pastèques (Citrulluslanatus)**. (Hatam et al.,1989)**

### I.2.3. Le genre *Cucurbita* :

Le genre *Cucurbita* est l'un des 130 genres sous les quelles sont regroupés les espèces de la famille des cucurbitacées, il comprend plusieurs espèces d'été et d'hiver. A côté des espèces sauvages, amères et impropres à la consommation, six espèces comestibles ont été identifiées comme Cuc*urbita.pepo* et *Cucurbita .maxima* .

### I.2.4. Classification botanique :

Classiquement le genre Cucurbita est botaniquement décrit comme montré sur le tableau I.2 **(Vanier, 2007).**

**Tableau I.1 :** Classification botanique du genre *Cucurbita.*

| | |
|---|---|
| **Règne** | Plantae |
| **Division** | Manoliophyta |
| **Classe** | Magnoliopsida |
| **Famille** | Cucurbitaceae |
| **Genre** | Cucurbita |

### I.2.5. Différentes variétés en Algérie :

Dans le monde entier, la consommation des fruits de *Cucurbita* ne cesse d'augmenter**(FAO.2016).**En Algérie, Selon les services agricoles, les superficies consacrées à cette culture ont atteint durant ces dernières années environ 400 hectares dans chaque Wilaya, soit une production globale d'environ plus de 44.000 tonnes**(Benalia M. 2016).**

Plusieurs variétés appartenant au genre cucurbita sont cultivées en Algérie on cite celles qui connaissent une large culture :

- Courge Musquée de Provence (*Cucurbitamoschata*)
- Potiron rouge vif d'Etampes (*Cucurbita maxima*)
- Potimarron (*Cucurbita maxima*)
- Butternut (*Cucurbitamoschata*)
- Citrouille (*Cucurbitapepo*)

Ces variétés appartenant à plusieurs espèces du même genre enregistrent des morphologies distinctes surtout concernant leur fruits (tableau I.2).

**Le tableau I.2 :** Les principales espèces et variétés du genre Cucurbita **(Caili et al., 2006 ; Polèse, 2006).**

| **Espèces** | **Variétés** | **Images** |
|---|---|---|
| | Courge musquée (Courge Butternut) |  |
| *Cucurbitamoschata* | Musquée de Provence |  |
| *Cucurbita.pepo* | Citrouille |  |
| | Pâtisson |  |
| | Courge spaghetti |  |

| | | |
|---|---|---|
| *Cucurbita .maxima* | Giraumon |  |
| | Potiron |  |
| | Potimarron |  |

**I.3. *Cucurbita maxima* :**

Le *Cucurbita.maxima* est apparu dans les régions tempérées basses terres centrales d'Amérique du Sud de l'espèce sauvage *Cucurbita.* andreanaNaud. et était cultivé au Pérou dès 4000 BP **(Nee, 1990 ; Robinson et Decker-Walters, 1996 ; Sanjur et al., 2002 ; Whitaker, 1981).**En Amérique du Nord*Cucurbita.maxima* est le plus souvent cultivé comme courge d'hiver. Elle est une plante herbacée annuelle à tiges grimpantes ou rampantes épaisses. La croissance de *Cucurbita.maxima* l'habitude est souvent rampante et prostrée, mais des formes compactes existent, y compris certains buissons extrêmes phénotypes **(Broderick, 1982 ; Denna et Munger, 1963 ; Loy et Broderick, 1990).**

**I.3.1. Description botanique de *Cucurbita.maxim*a :**

- **Nom :**Cucurbita maxima Duch.
- **Famille :** Cucurbitacées, la famille des courges
- **Noms communs :** Courge d'automne, **(Tropicos.org. Missouri Botanical Garden. 09 Jan 2014 ; Michigan Flora Online).**
- **Étymologie :***Cucurbita*, en latin, signifie « gourde » et maxima signifie « le plus grand » **(Mahoney, K. 2002-2014. Latdic)**
- **Synonymes botaniques :***Cucurbita*andreana Naudin, *Cucurbita.pepo* var. maxima (Duch.) **(Tropicos.org. Missouri Botanical Garden. 09 Jan 2014).**

**I .3.2. Type et description des fruit :**

Les fruits de C. maxima ( Figure I.1) sont techniquement classés comme des baies ; elles sont très variables dans la forme, la couleur et la taille :

- **La forme :** un cylindre allongé, ovale, aplati, globuleux, en forme de cœur et/ou se rétrécissant en un cou incurvé à une ou aux deux extrémités. La longueur est de 5,8 à 71,6 cm et la largeur de 11,2 à 48,6 cm.
- **La peau** : lisse, verruqueuse, ridées, ou/et ont des crêtes longitudinales peu profondes à profondes.
- **Couleur :** Il y a souvent plus d'une couleur sur la peau douce à dure : rouge, blanche, grise, noire, verte, crème et/ou orange.
- **La chair :** est aussi variable en couleur et en épaisseur. Il peut être blanc, jaune ou orange, et généralement de 1 à 6,4 cm épais.
- **Poids :** Certaines citrouilles et courges pèsent plus de 90 kg (environ 200 livres), mais elles vont généralement de 0,3 à 50kg. Chaque fruit porte peu à nombreuses graines (**Lu, A. & C. Jeffrey 2011 ; MissouriBotanicalGardens (n.d.) ; Andres, T.C. 2010 ; Ferriol, M., B. Picó, & F. Nuez 2004 ; Lomova, E.I. &Terekhina N.V. 2003-2009).**



**Figure I.1 :** quelque fruit de *Cucurbita.maxima.*

**I .3.3. Description de la graine :**

Les graines ovales peuvent être blanches, crème, orange ou marron, et sont composés de 34-54% d'huile. La taille et le poids des graines augmentent avec la taille du fruit, allant de 1,6 à 2,9cm de long, 0,7 à 1,6 cm de large, 0,28 à 0,69 cm d'épaisseur **(Plants For A Future, 1996-2012** ; **Ferriol, M., B. Picó, & F. Nuez 2004 ; Lomova, E.I. &Terekhina N.V. 2003-2009)**.

### I.3.4. utilisation de *Cucurbita maxima:*

Un bref aperçu de ses utilisations ethno pharmacologiques : Des études ethno pharmacologiques récentes ont montré que Cucurbita maxima Duchesne est parmi les plantes *Cucurbita* les plus couramment utilisées pour les traitements médicinaux traditionnels. Comme représenté sur le TableauI.3.

**Tableau I .3 :** utilisations thérapeutiques de *Cucurbita maxima*

| Nom scientifique (Commun) | Emplacement | Nom local | Pièces utilisées | Administration | Maladie(s) Traitement | Les références |
|---|---|---|---|---|---|---|
| *Cucurbita maxima* Duchesne (Squash | PaysBasque, péninsule Ibérique | Kalabazea | graines | Orale | Digestif (Vers intestinaux, Constipation) | (Menendez-Baceta et al., 2014) |
| | Districtde Mkuranga, Tanzanie | Maboga | Feuilles | Orale | Anémie | (Peter et al ; 2014) |
| | Peuple polonais à Misiones, Argentine | Zapallo | graines | Orale | parasites intestinaux | (Kujawska et Pieroni, 2015) |
| | Collinesde Nelliyampathydu Kerala, Inde | Parangi | graines | Orale | Vomissements de sang, Bile de sang | (Vijayakumar et al., 2015) |
| | Mauritius | Giromon | fruits<br>Fleurs<br>graines<br>fruits | Orale<br>Cutanée<br>orale<br>Cutanée | urinoir désordres<br>Cataracte<br>Insuffisance rénale<br>Blessure | (Mahomoodally et al ; 2016) |
| | Agro NocerinoSarnese, | Cocozza | graines | orale | Prostatite | (MottietMotti,2017) |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Campanie, Italie du Sud | | | | | |
| | Inde | UNSP | Fleurs | UNSP | Ostéosarcome | (Nayak et al., 2017) |
| | Descente pakistanaise à Copenhague, Danemark | Kadoo | Fruits | orale | Pression artérielle, Constipation | (Ramantet al.,2017) |
| | région Ashanti, Ghana | UNSP | Feuilles | orale | Cancer (poumon, tête) | (Agyare et al.,2018) |

**I .3.5. Activité antimicrobienne de Cucurbirta maxima :**

- **Études in vitro :**

**Tableau I. 4.** Activité antimicrobienne de *Cucurbita*.Extraits évalués in vitro(*Cucurbita maxima*).

| *Cucurbita.* /partie de la plante | Extrait | Microbienne | Les références |
|---|---|---|---|
| *Cucurbita. maxima* Duchesne Fruit | Ether de pétrole et Méthanol | Giardia lamblia | (Elhadi et al.,2013) |
| *Cucurbita .maxima* Duchesne Fleurs | De l'alcool | Salmonella typhi, Escherichia coli Enterobacterfaecalis, Bacillus cereus Curvularialunata Candida albicans | (Muruganantham et al., 2016) |
| *Cucurbita .maxima* Duchesne Pelures | L'eau | Escherichia coli Pseudomonas sp. Vibriocholerae | (Geetha, 2014) |
| *Cucurbita .maxima* Duchesne des graines | Éthanol | Entamoebahistolytica Staphylococcus aureus Bacillus subtilis | (Kabbashi et al., 2014) |

| | | | |
|---|---|---|---|
| | | Pseudomonas aeruginosa<br>Escherichia coli<br>Candida albicans<br>Aspergillus niger | |
| *Cucurbita .maxima* Duchesne des graines | Éthanol | Staphylococcus aureus<br>Bacillus subtilis<br>Staphylococcus werneri<br>Pseudomonas putida<br>Pseudomonas aeruginosa<br>Proteus mirabilis<br>Escherichia coli<br>Kleibsellapneumoniae | (Ravishankar et al.,2012) |

**I.4. *Cucrbita.pepo* (citrouille) :**

Le Cucurbita.pepo connu généralement par la citrouille est l'une des plus anciennes espèces cultivées retrouvée dans des restes archéologiques américains. La preuve est liée à des graines de citrouille datées entre 5500 et 7000 av. J.-C, qui ont été trouvées en Mexique (Figure I.7). Après des siècles, Christophe Colomb a rapporté la première fois en 1492, l'implantation de la citrouille dans son itinéraire; puis Gasper Espinosa la rencontre aussi dans son parcours en voyageant. Ensuite la culture de la citrouille a été introduite en Europe en 15ème siècle par des espagnols.**Belkebla Amina &Makhloufi Nawal(2016).**




**Figure I.2 :** Pédoncule (A), fruit (B) et graine (C) de *Cucurbita.pepo* (6980-7340 ans av. J.-C).

La citrouille qui est un fruit très nutritif, il renferme des molécules bioactives. Ses graines renferment une gamme impotente d'éléments bénéfiques, contribuant à traiter les problèmes

liés à la prostate, vessie etempêcher la formation des calculs rénaux. Ainsi, elles sont connues pour leurs effets préventifs naturels contre l'ostéoporose**.(Fruhwirth et Hermetter,2007).**

**I.4.1. Classification de *Cucurbita.pepo* :** La classification de *Cucurbita.pepo* est représentée dans le tableau I.5

| | |
|---|---|
| **Règne** | Plante |
| **Division** | Manoliophyta |
| **Subdivision** | Spermatophytes |
| **Classe** | Magnoliopsida |
| **Superordre** | Rosanae |
| **Ordre3** | Cucurbitales |
| **Famille** | Cucrbitaceae |
| **Genre** | Cucurbita |
| **Espèce** | Cucurbitapepo |

**Tableau I.5 :** Classification de *Cucurbita. pepo***.( Vanier P. 2007)**

**I.4.2. Description botanique :**

La citrouille est un fruit issu d'une plante herbacée, annuelle à longue tige très vigoureuse, rampante, qui s'accroche par des vrilles ramifiées à tout support. Ses feuilles sont grandes, cordiformes, à nervation palmées, formant cinq lobes arrondis avec de grandes fleurs (5à10cm) pentamères, unisexuées, de couleur jaune(**Wichtl M. et Anton ,2003 ;brunton,2009).** Le fruit est une grosse baie volumineuse avec une chaire épaisse de couleur jaune orangé **(Polèse, 2006),** renfermant de nombreuses graines dans une pulpe spongieuse. Ses graines sont aplaties, de forme ovale, blanchâtr**(Wichtl M. etAnton ,2003 ;brunton,2009).** Les différents organes de la citrouille (Cucurbitapepo) sont illustrés dans le tableau I.6.

**Tableau I.6** : Illustration de quelques organes de *Cucurbita.pepo*.

| **Espèces** | **Feuilles et fleurs** | **Grains** | **Fruits** |
|---|---|---|---|
| *Cucurbitapepo (citrouille*) |   |  |  |

## I.4.3. Composition de la citrouille :

La citrouille se compose d'une coque supérieure, de pulpe et des graines. Cork ou de l'écorce du représente environ 17% du poids total de la citrouille, la chair jusqu'à 75% et les graines ne prennent pas plus de 11%.

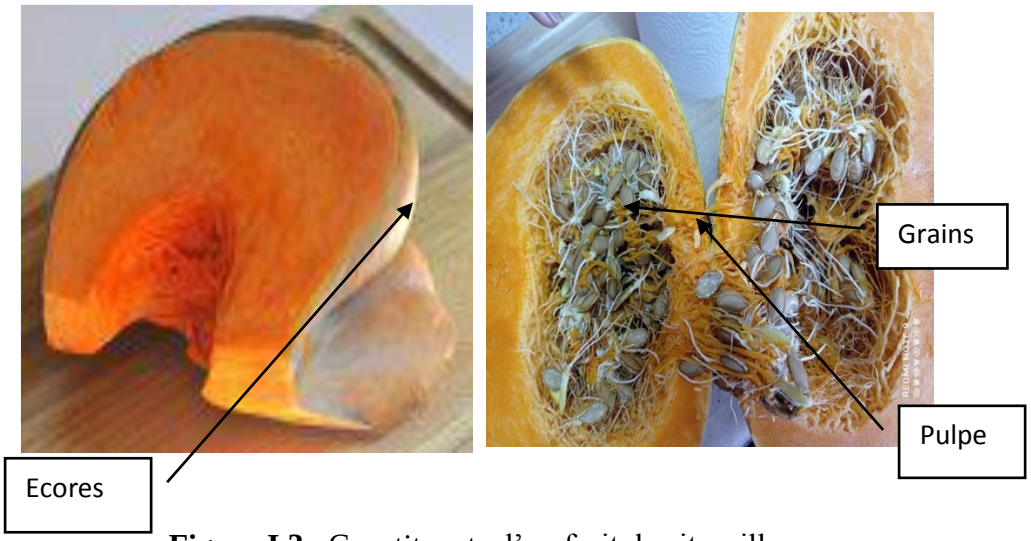



**Figure I.3** : Constituants d'un fruit de citrouille

La valeur nutritionnelle estimée pour 100 g de citrouille est donnée dans le Tableau I.9.(**https://xibaaru.sn/secrets-de-femmes/8-raisons-de-consommer-graines-decitrouille/)**

**Tableau I.7 :**Différents nutriments de la citrouille

| nutriments | Quantités |
|---|---|
| Protéines | 1.1g |
| lipides | 0.13g |
| glucides | 4.59g |
| Eau | 91g |
| fibres | 2.16g |
| Vitamine C | 12g |
| Vitamine A | 128µg |
| Vitamine E | 1.1mg |
| Vitamine B1 | 0.05mg |

Le fruit de la citrouille peut contenir 66% de carbohydrates 2.3% carbohydrates et 3% de protéines. Les quantités des nutriments se trouvent à des quantités variables dépendant de la partie du fruit considérée (tableau I.7) (**M. C. Achilonu, I. C. Nwafor, D. O. Umesiobi and M. M. Sedibe2018).**

**Tableau I.8 :** Composés nutritifs dans les graines et l'écorce de la citrouille.

| Composition | Partie du fruit | Quantité en g/kg |
|---|---|---|
| Carbohydrates | Chair | 62.23 |
| | Ecorce | 43.76 |
| | Graine | 122.20 |
| Protéines | Chair | 2.08 |
| | Ecorce | 9.25 |
| | Graine | 308.83 |
| Matière grasse | Chair | 0.55 |
| | Ecorce | 4.71 |
| | Graine | 439.88 |
| Fibres | Chair | 3.72 |
| | Ecorce | 12.28 |
| | Graine | 148.42 |
| Eau | Chair | 967.7 |
| | Ecorce | 935.98 |
| | Graine | 7.06 |

L'analyse minérale indique que la citrouille contient des teneurs importantes en minéraux (Tableau I.9**). (Rosa Martha Perez Gutierrez,2016)**

**Tableau I.9 :** Composition minérale de la citrouille

| éléments | Quantités g/kg |
|---|---|
| **Mn** | 0.5 |
| **Fe** | 1.37 |
| **Cu** | 2-5 |
| **Pb** | 0.29 |
| **P** | 11.38 |
| **Ni** | 0.5 |
| **Ca** | 179 |
| **Mg** | 190 |
| **Na** | 159 |
| **K** | 160 |

Tandis que les graines contiennent de 35 à 55 % d'huile et de 30 à 40% de protéines, ainsi que les vitamines tel que : la vitamine E, la vitamine A, les vitamines de groupe B (B1, B2, B6), la vitamine C et la vitamine D **(Deimel, 2007).**

### I.3.4. Utilisation de *Cucurbita pepo* :

Les citrouilles sont couramment utilisées pour la consommation humaine (tartes, puddings, plats). Dans de nombreux pays, les citrouilles sont cultivées principalement pour la production de graines qui peuvent être utilisées pour la consommation ou la production d'huile **(Filbrandt et Katelyn, 2012)**. La valeur énergétique des graines de citrouille varie de 550 à 610 calories par 100g (**Deimel, 2007)**. Les citrouilles sont aussi associées aux décorations d'automne ainsi qu'à l'alimentation hivernale. Il existe cependant un marché pour la citrouille d'Halloween biologique **(Chait, 2009).**

Les pouvoirs antibactérien et antifongique peuvent être attribués à cette plante grâce à sa composition phytochimique riche en caroténoïdes, cucurbitosides, multi furanes et en scalènes (583.2-747mg/100g), ce dernier composé est un triterpène précurseur des hormones stéroïdes, cholestérol et la vitamine D dans le corps humain. Il est très effectif dans le traitement de certain type de cancer **(Dutta D, Chaudhuri UR, Chakraborty, R. 2006,Rosa Martha Perez Gutierrez 2016).**

Les graines ont été longtemps employées dans la médecine traditionnelle pour la remédiations des différentes maladies (tableau .I.10), en particulier, comme traitement contre des vers (ténia) **(Younis et al., 2000).**

**Tableau I.10 :** utilisation thérapeutique de *Cucurbita. pepo*.

| Nom scientifique | situation | Partie utilisée | Voie d'administration | Maladie et traitement | Références |
|---|---|---|---|---|---|
| Cucurbita Pepo | Sud d'Ethiopie | Graines | Orale | Blennorragie | **(Balcha, 2014)** |
| | Mexique | Plante entière | Orale | Obésité | **(Alonso –Castro et al .,2015)** |
| | Catalogne | Fleurs | Dermique | Acné, Dermatite, Ecchymose | **Rigatet al.,(2015).** |
| | | Fruits | Dermique | fièvre, Toxicité, | |
| | Afrique du sud | Feuilles | Orale | Blessure, Infection. | **(Asowata-Ayodele et al., 2016).** |
| | Palestine | Graines | Orale | Arthrite | **(Jaradat et al., 2016)** |
| | Nord d'Ethiopie | Fruits | Orale | Cancer du sein | **(Meragiaw et al.,2016)** |
| | Nigeria | feuilles | Orale | Gastrite, Pellicules cutanéesMalaria | **(Anshu et al.,2018).** |

# Chapitre II :

# Généralité sur la Pectine

## II. Généralité sur la pectine :

### II.1. Historique (LekbirAdel , 2008) :

• En 1825 que le chimiste français Bracconot isola pour la première fois des composés particuliers à partir d'extraits de fruit qui gélifient en milieu sucré et acide, et donna le nom de pectine du grec pektikoos signifiant « prise en gelée ».

• En 1924 Smolensk rapporta que la pectine est une substance de polymère d'acides galacturoniques.

• En 1930 Meyer et Marc ont découvert la formation en chaînes de la molécule de pectine.

• En 1937 Schneider et Bock ont en établi la formule développée de la molécule de pectine.

• Depuis le début du XXème siècle, les pectines sont produites industriellement et sont utilisées comme agent gélifiant des denrées alimentaires.

### II.2. Définition :

La Pectine est une substance d'origine végétale dans leur état natif et forment la classe la plus complexe des polysaccharides (hétéropolysaccarides anionique), c'est l'un des composants majeurs des parois cellulaires primaires et cellulaires moyennes des plantes supérieures **(Bayar et al., 2017 ; Chen et al., 2019 ; Paquot et al., 2007).**

Dans le monde végétal, la pectine est un biopolymère indispensable issu d'une polymérisation de plusieurs unités monomères d'acide galacturonique présents dans les parois cellulaires végétales pour assurer sa cohésion et sa rigidité, en agissant comme ciment intercellulaire comme elles participent à la cohésion de la cellule et au maintien des parois par le biais d'interactions mécaniques et chimiques avec les autres constituants de la paroi.

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 libérant des molécules de signal initiant la réponse immunitaire de la plante **(Michel, 2002)**. 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.

Selon l'âge des tissus végétaux, la nature des pectines peut évoluer se trouvant ainsi sous deux formes. **(Voragen et al., 2009 ; Thibault et al., 1993)** :

- La protopectine : insoluble puisqu'elle est liée aux autres composants, assure la rigidité des tissus végétale. La première étape de la dégradation naturelle de la protopectine donne la pectine.
- L'acide pectique : soluble dans l'eau à froid, cette forme apparaît au cours de mûrissement quand leur dégradation en sucres et en acide ait lieu par voie enzymatique. Il est issu de la transformation de la pectine par la pectase. La pectine entièrement déméthoxylée (avec une chaîne intacte) est appelée acide pectique caractérisé par une capacité de gélification faible. Cependant dans les fruits mûrs, la majorité des substances pectiques se trouvent déjà sous forme de pectine.

**II.3. Sources des pectines :**

Comme l'amidon et la cellulose, la pectine est un carbohydrate structural présent dans toutes les plantes. Seules les céréales n'en comportent pas. Les substances pectiques sont les composants intégraux des structures de cellules. Les substances pectiques sont abondantes dans les fruits et les légumes et largement responsables de leur fermeté et forment la rétention de leur tissu. Le processus de la maturation implique l'hydrolyse enzymatique et la dépolymérisation des substances pectiques mères, pour rapporter en partie des pectines solubles. La teneur en pectines d'un tissu végétal varie selon son origine botanique et anatomique. **(Thibault, 1980 ; Steen).**

**Tableau II.1 :** Teneur en substances pectiques de quelques végétaux. **(Bonnin et al., 1997 ; Thibault et Ralet 2001)**

| **Fruits** | **Teneur de pectine (%du poids frais)** |
|---|---|
| Raifort | 15 |
| Albédo des agrumes | 30-35 |
| Ecorce d'orange | 3.60-5.50 |
| Ecorce de citron | 2.50-4.00 |
| Ecorce de fruit de la passion | 2.10-3.00 |
| Marc de pomme | 15.0-25.0 |
| Tamarin | 1.71 |
| Banane | 0.70-1.20 |
| Pulpe de betterave | 15 -20 |
| Pomme | 0.50-1.60 |
| Pêches | 0.10-0.90 |

| | |
|---|---|
| Tomate | 0.20-0.60 |
| Carotte | 0.20-0.50 |
| Mangue | 0.26-0.42 |
| Ananas | 0.04-0.13 |

## II.4. Structure de la pectine :

La structure des pectines est influencée par des réactions enzymatiques et des modifications chimiques pendant la croissance, la maturation et le stockage de la biomasse (**Shuryo, 2003).** La structure chimique complexe varie aussi selon la source végétale, la méthode d'extraction et la localisation **(Thakur et al., 1997).** La molécule de pectine se présente sous la forme d'un polymère linéaire d'acides D- galacturoniques liés en α (1-4) par une liaison glycosidique (figure II.1) **(Fishman et al., 1986).** Le long de la chaîne principale, est présent toute une série de substitutions qui en font rarement une structure homogalacturonique (HG) simple.

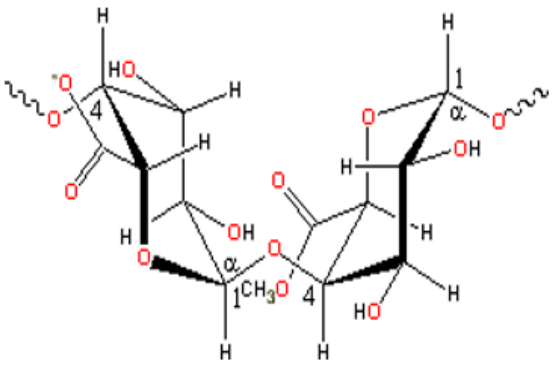


**Figure II.1** : Structure des unités d'acides D- galacturoniques dans la pectine

En dépit de cette grande diversité, trois familles de polysaccharides pectiques ont été isolées des parois primaires : l'homogalacturonane, les galacturonanes substitués, les rhamnogalacturonanes ces familles peuvent être classées en substances pectiques acides (homogalacturonane, rhamnogalacturonane I et II) et des substances pectiques neutres (arabinanes, galactanes, arabinogalactanes) associées de manière covalente au sein de la macromolécule pectique**. (O'Neill et al.,1990)**

### II.4.1. L'homogalacturonane ou acide homogalacturonique (HGA) :

L'homogalacturonane est une chaîne linéaire d'acides D-galacturoniques liés en α-(1,4) dont certains sont méthylestérifiés ou acétylés (figure II.4). En fonction de son taux de méthylestérification, l'HGA pourra être désigné par :

- pectine si le taux de méthylestérification élevé
- acide pectique si le taux de méthylestérification faible.

L'HGA peut représenter jusqu'à 60% des pectines de la paroi primaire. Ses propriétés et ses fonctions biologiques sont souventcorrélées à sa capacité à établir des interactions électrostatiques. La présence de HGA pur a été rarement mise en évidence. Cela a été le cas dans les capitules de tournesol, le sisal, le fruit de Jacquier, l'écorce de sapin et l'ail**.**Les pectines se trouvant aussi dans la lamelle moyenne peuvent être faiblement méthylées et fortement pontées par des ions Ca++, surtout au niveau des jonctions et des espaces intercellulaires, ce qui permet de régler les associations de polysaccharides pectiques entre eux **. (Thibault ,1980 ;Vincken et al., 2003).**

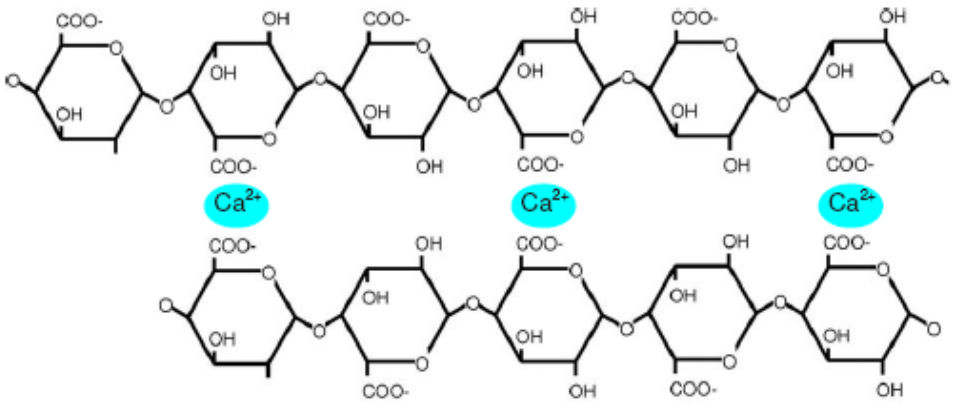



**Figure II.2 :** Structure de l'homogalacturonane HGA et ponts Ca2+ entre deux chaines d'HG**(Ricardo,2006)**

### II.4.2. Les galacturonanes substitués :

Il s'agit respectivement du xylogalacturonane et de l'apiogalacturonane qui constituent la famille des galacturonanes substitués (figure II.4). Les xylogalacturonanes sont obtenus par substitution de la chaîne principale de galacturonane par des résidus de β-D-Xyloses liés en C-3 des résidus de GalA**( Schols et al .,1995).** Les xylogalacturonanes ont été principalement obtenus à partir de tissus reproducteurs (graines de soja, pépins de pomme, pollen de pin).

Plus récemment, des motifs xylooligogalacturonides ont été isolés et caractérisés à partir de différents tissus et organes d'Arabidopsisthaliana**(Zandleven et al., 2007), l**eur fonction biologique n'est pas connue. Les apiogalacturonanes dont leur fonction biologique n'est pas connue, ont été décrits uniquement dans les parois de monocotylédones aquatiques des genres Lemna et Zostera**(Golovchenko et al., 2002).**

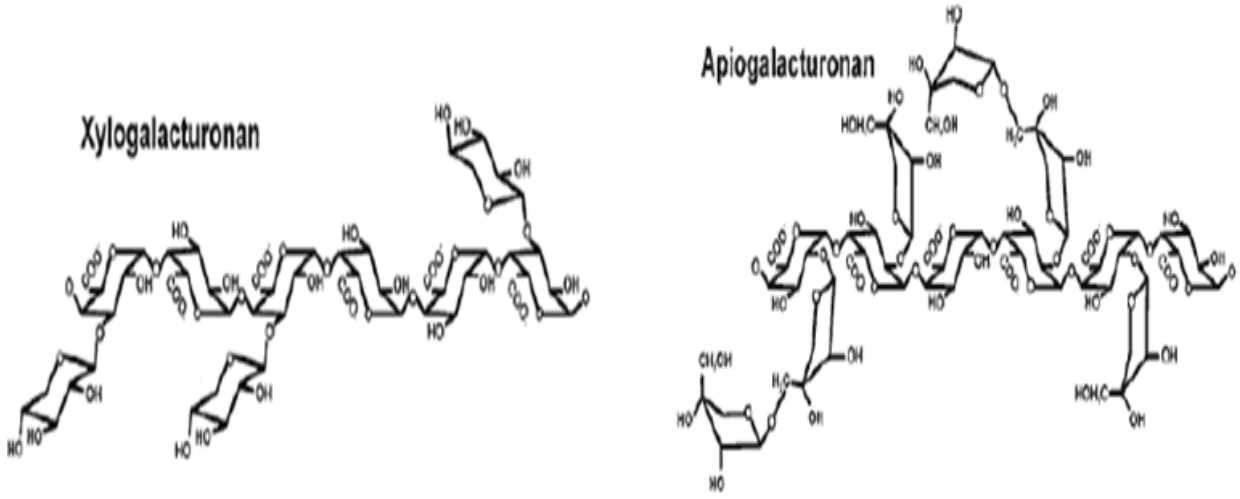



**Figure II.3** : Structure des galacturonanes substitués**.(Schols et al ., 1995 ; Golovchenko et al., 2002)**

**II.4.3. Les rhamnogalacturonanes :** Ce groupe comporte deux représentants :

- **les rhamnogalacturonanes de type I (RG-I) :** ont été décrits pour la première fois par le groupe d'Albersheim**(Talmadge et al., 1973)**. Ils correspondent à une succession de 100, ou plus, unités de disaccharide de α-1,2-L-rhamnose-α- 1,4-D-acide galacturonique. Il s'agit notamment d'arabinanes et/ou de galactanes et d'arabinogalactanes de type I (arabino - 4 - galactane) ou de type II (arabino - 3,6 - galactane.**(Ridley et al., 2001 ; Paulsen et Barsett ,2005 ; Ralet et al ., 2002)**

- **les rhamnogalacturonanes de type II (RG-II) :** ont été décrit pour la première fois en 1978 **(Darvill et all., 1978)**.La structure de la chaîne principale du RG-II repose sur l'association de 11 résidus mono saccharidiques différents est proposée en figure I.4

Le type et la taille des substitutions des RG-I sont variables chez les espèces monocotylédones et dicotylédones **( Darvill et al., 1978 ; York et al ., 2000 ; Thomas et**

**al.,1989).** En revanche, même si quelques différences de structures ont été signalées par Rodriguez-Carvajal et al **(Rodriguez-Carjaval et al., 2003)**. La structure du RG-II apparaît formidablement conservée à travers l'évolution, ce qui laisse supposer qu'ils pourraient avoir une fonction capitale **(Mc Neil et al., 1984)**.

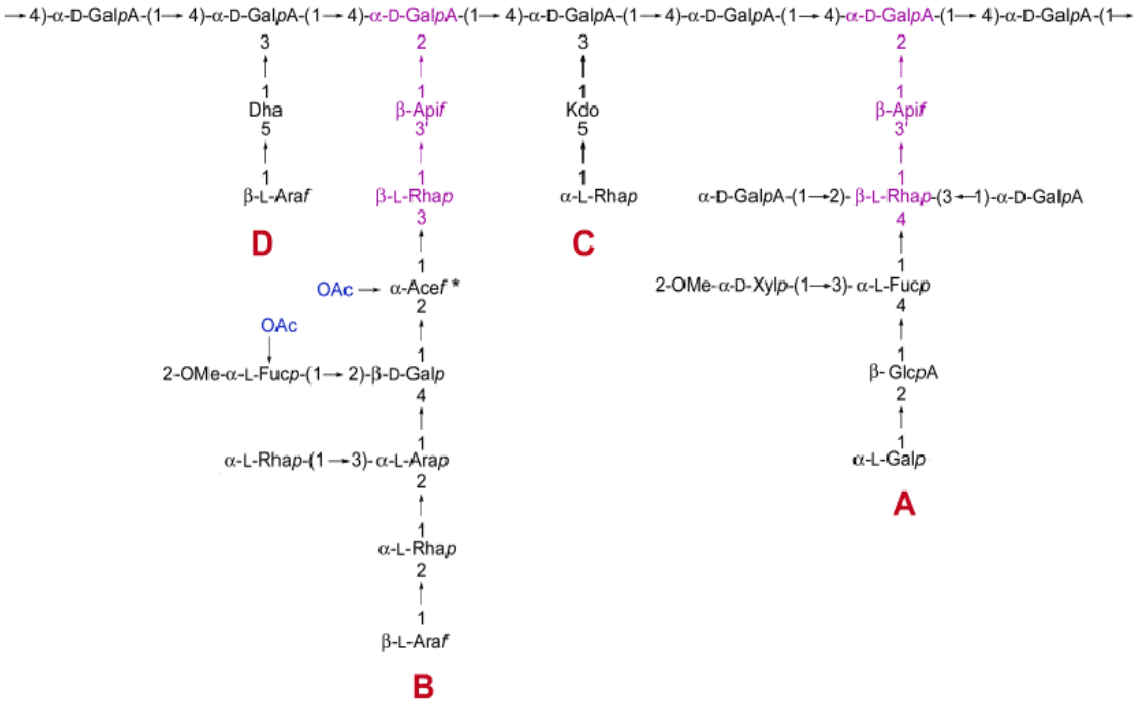



**Figure II.4 : Structure** du rhamnogalacturonanes II **( Rodriguez-Carjaval et al., 2003)**

**II.5. Types de pectine** :

Les pectines sont identifiées à partir de leur degré de méthylation DM exprime en % qui définit le nombre de fonctions carboxyliques méthylées pour cent motifs d'acide galacturonique de la chaîne principale, Le DM de la pectine dépend de son origine végétale, type de tissu végétale, La maturité de celui-ci. Les pectines sont divisées en deux catégories **(Sebaoui, 2018)** :

• Les pectines H.M « pectines hautement méthyles » : sont majoritairement présentes dans la nature, ce sont les pectines dont plus de 50% des groupements carboxyles sont estérifiée avec du méthanol (figure I.5).

• Les pectines L.M « pectines faiblement méthyles »:sont obtenues à partir des pectines HM, soit par voie chimique (dè- estérification alcaline à basse température) ou par

voie enzymatique (utilisation de pectines méthylestérases), ce sont les pectines dont moins de 50% des groupements carboxyles (figure I.6).

A l'état naturel, on retrouve essentiellement de la pectine HM avec un DM qui varie entre 60 et 90% **(Walter ,1991).** Les acides pectiques possèdent un degré de méthylation inférieur à 5% (DM<5)

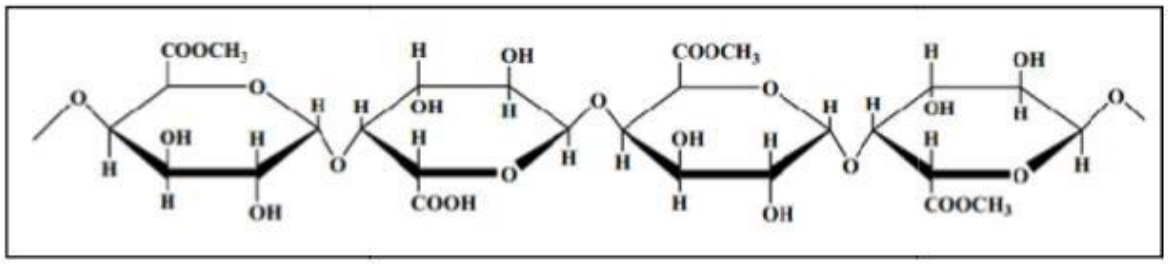


**Figure II.5 :** Pectines hautement méthyles **(Serguschenko et al., 2007)**

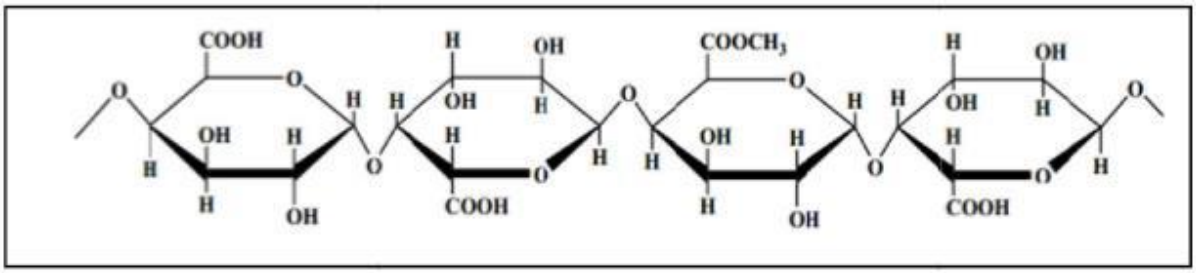


**Figure II.6 :** Pectines faiblement méthyles**(Serguschenko et al., 2007)**

**II.6. Rôle de pectine :**

La pectine joue un rôle important dans la rigidité et la structure du tissu végétal. Elle est retrouvée dans la paroi primaire et la lamelle moyenne impliquée dans l'adhésion cellulaire. Dans ces zones, ce bio polymère forme un réseau plus ou moins lâche, dépendant du type cellulaire, stabilisé par des liaisons cationiques et hydrogène. La pectine joue également un rôle dans la défense de la plante.

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 ionique.**(Chan et al., 2017)**

## II.7. Propriétés physico- chimiques :

### II.7.1. La masse moléculaire :

La détermination de la masse moléculaire des pectines est une donnée difficile à mesurer et pour trois raisons **(Ralet et al., 2002)** :

- Les pectines sont par définition des molécules hétérogènes de structure complexe et diverse ;
- Une fois extraites et purifiées, elles deviennent parfois insolubles dans l'eau qui est pourtant le solvant qui a servi à leur extraction.
- Molécules polyanioniques par définition, les pectines forment - à la suite d'interactions électrostatiques - des agrégats multimoléculaires.

La détermination de la masse moléculaire des pectines doit donc être effectuée par plusieurs méthodes physico-chimiques complémentaires, dont la convergence des résultats permettra d'établir une valeur significative de la masse moyenne des pectines. Afin d'en améliorer la précision, les méthodes devront être étalonnées par l'utilisation d'oligogalacturonides et d'acides pectiques et auront recours, pour s'affranchir des interactions électrostatiques intermoléculaires, à l'utilisation de tampons compatibles avec la méthode physico-chimique.

La masse moléculaire des pectines est moins élevée que celle de la cellulose ou de l'amidon, elle peut donc varier de quelques dizaines à quelques centaines de KDa avec une technique HPLC d'exclusion stérique couplée au laser light scatteringdéveloppé par Ralet et al **(Ralet et al., 2002),** lamasse molaire moyenne de la pectine commerciale varie entre 50,000 et 150,000 daltons d'autre valeurs trouvées en utilisant d'autre techniques sont récapitulées dans le tableau II.2.

**Tableau II.2 :** Exemples de masses molaires M mesurées pour différentes pectines.

| Origine | M(kDa) | Technique analytique |
|---|---|---|
| **Pomme** | 34,8 | Chromatographie d'exclusion stérique |
| **Citron** | 21 à 250 | Diffusion de la lumière |
| **Citron** | 32 à 336 | Chromatographie d'exclusion stérique |
| **Orange** | 84,5 à 102,8 | Diffusion de la lumière |

### II.7.2. Solubilité et précipitions de pectine :

Les pectines sont des hydro colloïdes c'est-à-dire des polysaccharides qui, par définition, sont solubles ou solubilisablés dans /et par l'eau**.** La solubilité des pectines est conditionnée par un certain nombre de facteurs : température, masse moléculaire, taux de ramification, degré de méthyl estérification et répartition des groupements méthylesters **.**Ainsi, La solubilité de la pectine augmente avec la diminution du DM et plus soluble que sa masse moléculaire est faible, que sa structure est fortement ramifiée et que ces fonctions carboxyliques sont engagées dans une estérification avec le méthanol (taux de méthyl estérification fort) **(Chen et al.,2015 ; Thibault et al., 1991)** La pectine se solubilise grâce à 3 étapes successives : hydratation, gonflement et dissolution **( Chen et al.,2015 ) .**

Les pectines peuvent être aisément précipitées en présence de solvants organique (acétone, éthanol, isopropanol) et de cation mono et multivalents (Na+, Ca2+, H+, Al3+) **(Sebaoui, 2018)**

### II.7.3. Viscosité :

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 utilisationdans les boissons fruitées **(Tilly, 2010).**La viscosité de la pectine est inférieure à celle de la plupart des autres gommes, il est donc rare d'utiliser les pectines pour augmenter la viscosité d'un produit **(Lopes Da Silva et. Rao, 2006)**

### II.7.4. Propriétés de Gélification et stabilisantes :

La gélification se définit par l'établissement d'un réseau continu tridimensionnel de molécules de polymère reliées entre elles par des zones de jonction retenant une phase liquide entre les mailles du réseau, les pectines sont capables de former des gels par différents mécanismes, quel que soit leur degré de méthylation. Pour le cas des pectines HM, le degré d'estérification (DE) conditionne la rapidité de la prise du gel, plus il est élevé, plus la formation du gel est rapide. Les pectines faiblement méthylées (LM) sont capables de fixer fortement les ions divalents tels que le calcium. Pour les pectines LM amidées, la cinétique de gélification est proche de celle des pectines LM classiques, néanmoins, la présence des groupements amides permet la gélification des pectines LM à pH acide inférieur à 3 **(Capel et al ., 2006).**

Il existe d'autres caractéristiques des pectines comme :

- La charge induite par la présence de groupements COOH qui est fonction du pH et de la force ionique. À pH neutre, la molécule est chargée négativement, cette charge diminue avec une diminution de pH et une augmentation du DE.
- PKa : la pectine a une valeur de pKa entre 3,5-4,5 **(Rolin et al.,1998)**. Une augmentation de la force ionique masque les charges de la pectine, effet observé avec l'ajout d'ions monovalents et bivalents **(Voragen et al.,1995).** Cependant, les ions bivalents causent aussi la dimérisation des chaînes d'acides galacturoniques par le modèle « boîte d'oeuf ».
- Flexibilité : les pectines sont considérées comme des molécules semi-flexibles dont (B) varie de 0.017 à 0.074,
- Humidité est 12% au maximum. **(www.tresorsdechefs.com)**

- Degré d'acétylation : Les acides D -galacturonique (GalA) liés par des liaisons α-(1→4) peuvent être acétylés sur les positions $C_2$ et/ou $C_3$**(Wicker et al., 2003)** . Le degré d'acétylation (DAc) est défini comme le pourcentage des résidus de GalA estérifiés par un groupe d'acétyle.

**II.9. Extraction des pectines :**

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

**II.9.1.Méthodes physico-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 coagulat ainsi obtenu est filtré, lavé, séché et enfin, broyé pour obtenir une poudre fine.

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 **(Raletet al ., 2002).**

Les rendements d'extraction varient en fonction des conditions opératoires et de l'espèce végétale utilisée. Parmi les nombreux travaux portant sur ce sujet, nous pouvons citer l'extraction de la pectine à partir de :

- L'écorce d'orange qui a permis l'obtention d'un rendement situé dans le domaine 21 - 30 % en utilisant une solution aqueuse acidifiée à pH = 1.70 et à une température de 90°C pendant 120 min **( El-Nawawi et Shehata, 1987 ).** De même, un rendement de 16.10 en pectine a été obtenu en utilisant ce même déchet à une température de 80 °C pour un temps d'extraction de 120 min et un pH de 2.50 **.(Abid et al ., 2009)**
- Marc de pêche avec un rendement maximal de l'ordre de 9.20 % en présence de l'acide nitrique à 70 %, à pH 1.20 et à 80°C pendant 60 min **.(Pagan et Ibarz., 1999)**
- La pelure de betterave où un rendement de l'ordre de 22.40 % a été obtenu pendant4 heures**.( Mesbahi et al., 2005)**
- L'écorce de citron à l'aide du jus de datte acidifié a conduit à un rendement maximal de l'ordre de 11.21 % au bout de 3h et 34 min à un pH = 2.80 et à une température de 84.34°C **.(Masmoudi et al., 2008)**

Tout comme l'influence de la méthode d'extraction sur la qualité et la quantité de la pectine extraite (tableau II-3), les conditions d'extraction (pH, température, temps et rapport : solide-liquide) interviennent aussi.

**Tableau II.3** : Propriétés des pectines issues de quelques types d'extraction **(Benjamin,2016)**

| **Type de pectine** | **Caractéristiques de l'extraction** |
|---|---|
| **les pectines LM** | une extraction à l'eau bouillante en présence d'agents séquestrant les ions Ca2+(EDTA, CDTA, l'imidazole, oxalate d'ammonium) |
| **Pectine HM** | une extraction à l'eau bouillante à partir d'un matériel végétal |
| **les pectines insolubles (acide homopolygalacturonique).** | extraction chimique par un acide à chaud (HCl, H2SO4) ou une base à froid (NaOH ; ou Na2CO3) |

**II.9.2. Méthodes physico-chimiques activées** :

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. 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**(Liu et al., 2006 ; Wang et al., 2007 ; Maran et al., 2014 ; Fishman et al., 2000) .** Yeoh a montré qu'un temps d'extraction de15 min sous radiations micro-ondes est suffisant pour extraire la même quantité de pectine pendant 3h dans un réacteur soxhlet **.(Yeoh et all .,2008).**

L'utilisation des radiations γ induit principalement la formation des radicaux hydroxyles libres qui catalysent la dépolymérisation du polysaccharide**(Courtois, 2009).** Letraitement par l'irradiation γ entraine une diminution de la viscosité et du degré de méthylation des pectines **(Sjoberg, 1987).**

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 **( Wang et al., 2015).** 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 **(De Oliveira el al., 2016).**

### II.9.3. Méthodes enzymatiques :

Contrairement aux méthodes chimiques et physiques, l'introduction d'enzymes du groupe des hydrolases ou lyases dans le milieu réactionnel permet de cibler les liaisons glycosidiques. Ces méthodes dites « méthodes douces » sont peu consommatrices d'énergie et limitent les réactions secondaires (comme la caramélisation)**. (Sebaoui,2018) .**

Les pectines extraites par voie enzymatique ont un degré d'estérification plus élevé et sont très solubles dans l'eau. **(Turakhozhaev et Khodzhaev, 1993).** Toutefois, le traitement prolongé de la matière première (environ 20 h) donne lieu à une pectine à faible indice de gélification **(Sakai et al.,1993).**

## II.10. Utilisations des pectines :

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 diminutiondu taux de cholestérol plasmatique. Les pectines connaissent un développement remarquable depuis ces dernières années en raison de leurs nombreuses applications. Quelques exemples d'applications sont cités dans le tableau II-4.

**Tableau II-4 :** Différentes applications des pectines

| **Domaine** | **Propriété et application** |
|---|---|
| **Alimentaire** | Gélifiant, épaississant, stabilisant. La formation des complexes de protéine-polysaccharide, amélioration des propriétés fonctionnelles des protéines.**(Saha et Bhattacharya ,2010)** |
| **Cosmétique** | Fabrication des vernis, des biles et des crèmes. Agent épaississant et stabilisant des gels pour les cheveux, les lotions et le shampooing.**(Srivastata et Malviya2011)** |
| **Biomédical** | Préparations cicatrisantes des plaies **(Voragen et al., 1995)**<br>Adhésifs médical<br>Dispositif de prothèse implantable<br>Dispositif de colostomie<br>Diminue le cholestérol **(Jacksone et al., 2007)**<br>Inhibe l'oxydation des lipides **(Inngjerdingen et al.,2007)**<br>Réduire le cancer et les métastases<br>Stimuler la réponse immunitaire **(Mohnen,2008)** |
| **Environnement** | Matière première pour la production de produits comestibles<br>films biodégradables, adhésifs, substituts de papier, mousses, plastifiants. **(Zhang et al., 2014)** |
| **Pharmaceutique** | Matrices d'encapsulation et de vectorisation de molécules d'intérêt Antioxydants, antimicrobiens, huiles essentielles, principes actifs,…).**(Liu et al., 2003 ;Zam et al.,2013)**<br>agents anti diarrhée, pour la désintoxication et l'élimination du cholestérol dans le sang. |

| | |
|---|---|
| **Biomatériaux** | Microsphères injectables composées de pectine et de phosphate de calcium dans le but de les utiliser comme support dans une régénération osseuse.**(Munarin et al., 2011)**<br><br>Composites hydroxyapatite/pectine utilisés dans les applications relatives à l'ingénierie tissulaire**(Sumathra et al., 2017).** |

# Chapitre III :

# Matériels et méthodes

## III.1. Introduction :

La partie expérimentale a été réalisée au niveau des laboratoires de chimie et de biologie de la faculté des sciences de l'université de Médéa. Cette étude expérimentale consiste en une extraction par l'eau distillé à chaud des substances pectiques par trois types de chauffage : chauffage classique par bain marie, chauffage par induction électromagnétique et par micro-onde à partir les différentes parties de deux variétés de *Cucurbita (C.pepo, C.maxima)*.

## III.2. Produits et matériels :

### III.2.1. Produits chimiques:

Les réactifs et solvants utilisés au cours de ce travail sont décrits dans le tableau III-1.

**Tableau III-1**: Produits chimiques utilisés

| **Réactifs et solvants** | **Pureté** |
|---|---|
| Ethanol | 96% |
| Acétone | _ |
| Hydroxyde de sodium | 98% |
| Acide chlorhydrique | 37% |
| Chlorure de sodium | 99% |
| Rouge de Phénol | _ |

### III.2.2. Matériels:

- **Plaque chauffante à induction magnétique :** une plaque vitrocéramique de type Samsung de 9 niveaux alimenté avec un courant alternatif.
- **Four de micro-onde :** Panasonic de capacité de 270-1000W**.**
- **Bain marie :** Un bain électrique qui fonctionne avec une température maximale de 100°C.
- **Etuve :** appareil de séchage d'une température maximale de 220°C.
- **Centrifugeuse :** de type WerkNr fonctionne avec une vitesse de rotation 6000 trs/min(Germany).

- **Agitateur magnétique**
- **Balance.**
- **Thermomètre**

### III.3. Préparation de la matière végétale :

Dans cette étude nous utiliserons tous les composants du fruit (pulpe, écorce et graines). Les fruits sont récoltés à la fin de la maturité d'une :

- ✓ Région littorale du nord d'Algérie (Tipaza) pour le *Cucurbita.maxima* (figure III.1.a)
- ✓ Région montagneuse du nord d'Algérie (Hammam mellouane) pour le *Cucurbita.pepo* (figure III.1.b)

La matière végétale a subi une préparation selon les étapes suivantes :

- Lavage du fruit à l'eau de robinet avant de le peler,
- La pulpe est bien purifiée des graines et puis séparée de l'écorce.
- Découpage en tranches fines chaque composante à part pour les sécher.
- Un échantillon de chaque partie séparée a été utilisée à l'état frais pour la mesure de la teneur en eau.
- Broyage en poudre (d≤8mm) à l'aide d'un moulin à café. Les poudres obtenues sont stockées dans des flacons bien fermés à température ambiante jusqu' à ce qu'elles soient utilisées. (figure III.2).

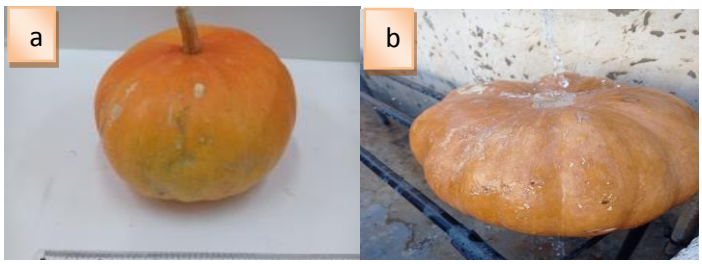



**Figure III.1** : matière végétale : a) fruit de C*ucurbita.maxima*, b) fruit de C*ucurbita.pepo*

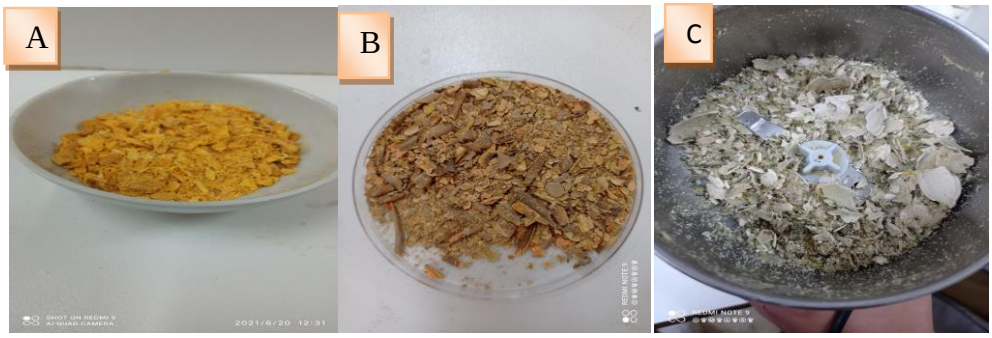



**Figure III.2 :** matière végétale séchée et broyée (**A**)- pulpe, (**B**) - écorces (**C**) – graines.

### III.4. Détermination de la teneur en eau :

La teneur en eau est déterminée comme étant la quantité d'eau en grammes contenue dans la 100g de matière végétal fraiche. La teneur en eau a été déterminée par le procédés d'élimination d'eau par le séchage de la matière végétale a l'aire libre pendant 24 h jusqu' à l'obtention d'un poids constant. Le pourcentage en eau contenue dans la matière végétal est déterminé par formule suivante :

$$T.E\ (\%) = (m_f - m_i / m_f)\ x100$$

T.E% : teneur en eau en %.

$m_f$ : masse finale de la matière végétale sèches.

$m_i$ : masse initiale de la matière végétale fraiche.

### III.5. Extraction de la pectine :

L'extraction des pectines à partir des deux variétés de *Cucurbita* (graines, pulpe et les écorcés) a été effectuée selon le protocole expérimentale de la figure III.3 en utilisant la méthode d'hydrolyse par l'eau chaude assistée par trois modes de chauffage différents :

- ✓ Bain-marie,
- ✓ Induction électromagnétique,
- ✓ Micro-onde.



Solubilisation de la matrice Végétale dans l'eau



Chauffage de mélange



Séchage de pectine précipitée a T=45c°



Broyage de la pectine



Filtration par la gaze



Précipitation dans l'alcool et filtration



Centrifugation a 4000tr/min (10min)

**Figure III.3 :** Protocole expérimental de l'extraction de la pectine par l'eau à chaud

Pour le mode de chauffage par le bain-marie, les extractions de pectines ont été entreprises dans les différentes conditions opératoires décrites sur le tableau III-2

**Tableau III-2 :** Différentes conditions opératoires de l'extraction des pectines à partir de la C*ucurbita.pepo* (chauffage par bain marie)

| Matière végétal | T (°C) | t (min) | Rapport matière végétal /eau |
|---|---|---|---|
| Pulpe sèche | 55<br>55 | 30min<br>60min | 1/20<br>1/20 |

Pour le mode de chauffage assisté par induction magnétique, le protocole opératoire consiste à mélanger une quantité de la matière première séchée (g) avec un volume de V(ml) d'eau, le mélange est ensuite mis dans un récipient magnétisable et émaillé puis chauffé sur une plaque à induction, en fixant le niveau de la puissance correspondant à la température de 55°C sous une agitation continue (figure III.4). Les extractions ont été menées sous différentes conditions opératoires récapitulé dans le tableau III.3




**Figure III.4.** Extraction assistée par induction électromagnétique.

**Tableau III-3** : Différentes conditions opératoires de l'extraction des pectines à partir de la C*ucurbita.pepo* (chauffage par induction magnétique)

| ***Matière végétale*** | **Eau (T = 55 $^0$C)** | |
|---|---|---|
| | **m/v** | **t (min)** |
| ***Pulpe sèche*** | **1/10** | **15** |
| | **1/20** | **15** |
| | **1/10** | **30** |
| | **1/20** | **30** |
| | **1/10** | **45** |
| | **1/20** | **45** |

Pour l'extraction assisté par micro-onde, le mélange matière végétal –eau est mis dans un four à micro-onde. (figure III.5), les extractions ont été effectuées sous plusieurs puissances pendant différents temps (tableau III.4)




**Figure III.5** : Extraction de pectine assistée par micro-onde.

**Tableau.III.4:** Différentes conditions opératoires de l'extraction par micro-ondes des pectines à partir de *(Cucurbita. pepo).*

***Matière végétale*** **Eau (T = 55 $^0$C)**

| | variété | m/v | t (min) | Puissance |
|---|---|---|---|---|
| ***Pulpe sèche*** | ***Cucurbita. Pepo*** | **1/10** | **2** | **270** |
| | | **1/10** | **2** | **440** |
| | | **1/10** | **2** | **1000** |
| | | **1/10** | **10** | **270** |
| | | **1/10** | **10** | **440** |
| | | **1/10** | **15** | **270** |
| ***Ecorces sèches*** | ***Cucurbita. Pepo*** | **1/10** | **15** | **270** |
| | | **1/20** | **15** | **270** |
| ***Graines sèches*** | ***Cucurbita. maxima*** | **1/10** | **10** | **270** |
| ***Graines fraîches*** | | **1/10** | **10** | **270** |
| ***Pulpes sèches*** | ***Cucurbita. maxima*** | **1/10** | **10** | **270** |
| ***Pulpes fraîches*** | | **1/10** | **10** | **270** |
| ***Ecorces sèches*** | ***Cucurbita. maxima*** | **1/10** | **10** | **270** |
| ***Ecorces fraîches*** | | **1/10** | **10** | **270** |

### III.6. Calcul du rendement en pectine extraite :

Les rendements en pectines sont exprimés en pourcentage et ils ont été calculés par rapport à la masse initiale traitée selon l'équation suivante :

$R(\%) = \boldsymbol{m}/\boldsymbol{m_0} \times 100$

Où :

m: est la masse de la pectine obtenue (g),

$m_0$ : est la masse de l'échantillon traité (g).

### III.7. Analyse et caractérisation physicochimique des pectines extraites :

#### III.7.1. Détermination du Poids équivalent :

Le poids équivalent a été déterminé selon la méthode de Ranganna **(Ranganne, 1995)**un échantillon de pectine (0,12 g) a été pesé dans un erlenmeyer de 250 ml ; à laquelle on ajoute 2.5ml d'éthanol, 0,25 g de chlorure de sodium et 50 ml d'eau distillée. Le mélange a été vigoureusement secoué et 3 gouttes de rouge de phénol ont été ajoutées et la solution a été titrée par du NaOH 0,1 N jusqu'à une couleur pourpre au point final. Cette solution de neutralisation a été stockée pour la détermination de la teneur en méthoxyle.

Le Poids équivalent est donné par la relation suivante:

Poids équivalent = $(m_{pect} \times 50) / V_{NaOH} \times N_{NaOH}$

$m_{pect}$ : masse de l'échantillon de pectine.

#### III.7.2. Détermination de la teneur en méthoxyle (MeO%) : ( S Ranganne ,1995)

La détermination de la teneur en méthoxyle a été réalisée en utilisant la méthode de Ranganna. A la solution neutre obtenue précédemment (détermination du PE), on ajoute 6.25 ml de NaOH 0,25N, suivi d'une agitation soigneuse de la solution à température ambiante pendant 30 minutes. Ensuite 6.25 ml de HCl 0,25N ont été ajouté avant de titrer la solution avec du NaOH 0,1N.

La teneur en méthoxyle est calculée comme suit :

Teneur en méthoxyle (%) = $(V_{NaOH} \times N_{NaOH}) 3.1 / m_{pect}$

#### III.7.3. Détermination de degré d'estérification DE (Méthode titrimétrique) :

Le degré d'estérification des pectines est déterminé par la méthode titrimétrique. Un échantillon de pectine (0.12g) a été transféré dans un erlenmeyer de 250 ml, humidifié avec 2 ml d'éthanol et dissous dans 50 ml d'eau distillée. Après la dissolution complète, 5 gouttes de phénolphtaléine ont été ajoutées, et la solution a été titrée avec NaOH (0.5M). Le résultat est enregistré comme « titre initial ». Puis, 10 ml de NaOH (0.5M) a été ajouté, le mélange agité rigoureusement, et laissé reposer 15 min. 10 ml d'HCl (0.5M) ont été ajoutée au mélange puis agité jusqu'à disparition de la couleur rose. Après l'ajout de quelques gouttes de phénolphtaléine un titrage avec NaOH (0.5M) est effectué jusqu'à une couleur rose clair. Ce volume de titrage est enregistré comme le « titre final » . **Singthonga, J.,Cuib(2004),**

Le DE est calculé à partir de la formule suivante :

DE (%)= [Titre final / (Titre initial + titre final)] × 100

### III.7.4. Analyse par spectroscopie FTIR :

La spectroscopie infrarouge est l'une des méthodes efficaces et répandues qui permet l'identification des molécules organiques et inorganiques à partir de leurs propriétés vibrationnelles. Le plus souvent les analyses sont effectuées en transmissions **(sibaoui, 2018).** Certains groupements ou liaisons considérés comme des échantillons marqueurs et notamment les fonctions acides carboxyliques galacturoniques permettent d'indiquer la présence des molécules pectiques.

Dans notre travail les analyses FTIR ont été réalisées à l'aide d'un spectrophotomètre type tensor II (Bruker). L'échantillon à analyser (pectine en poudre) est déposé directement sur une petite cuve puis analyser. Les spectres d'absorption infrarouge ont été enregistrés dans la gamme de nombres d'onde comprise entre 400 et 4000 $cm^{-1}$, avec une résolution de 8 $cm^{-1}$ et un nombre de scanne égale à 20.

# Chapitre IV :

# Résultats et discussions

## IV. Résultats et discussions :

### IV.1. Teneur en eau de la matière végétale :

D'après les résultats des mesures des teneurs en eau ; après séchage pendant 24h à l'air libre des trois parties des fruits étudiées (pulpe, écorces, graines complètes) ; représentées sur les figure IV.1 , il révèle que :

- L'eau qui est un composé de base, constitue la majorité de la masse du fruit du *Cucurbita.pepo* ainsi que celle du *Cucurbita.maxima.*
- La présence de l'eau manifeste une variation avec les différentes variétés du *Cucurbita* et avec les différentes natures du tissu végétale (différentes parties du fruit). L'eau représente plus de la moitié de la masse des graines du *Cucurbita.maxima*. Cette teneur est bien plus supérieure à celle contenue dans les graines du *Cucurbita.pepo* qui n'excède pas le 1/3 de la masse des graines. Les résultats trouvés présentent une supériorité par rapport à ceux reportés dans un travail de **(Fedha et al.,2010)**ou l'eau n'excède pas 5.6% dans les graines de courge, mais elles sont comparables par rapport à ceux du **( Polèse ,2006)**.
- Les résultats concernant la pulpe du *Cucurbita.maxima* ont révélé une richesse en eau par rapport à la pulpe de *Cucurbita.pepo* avec un contenu en eau estimé de (95%) et (89%) respectivement. En revanche les réserves en eau des écorces sont très voisines pour les deux variétés étudiées.
- Il est aisé de remarquer que la présence de l'eau dans les différentes parties des deux fruits étudiés n'est pas uniforme. Il parait que la pulpe c'est la partie du fruit qui peut emmagasiner une importante quantité d'eau comparant aux écorces et aux graines. Cette richesse en eau a été déjà reportée dans la littérature ou les teneurs en eau de la pulpe de la citrouille peut varier de 75.8% à 91.33% **.( Chigwe et Saka ,1994 ; Aamir et .,al 2017)** et celle du *Cucurbita.maxima* de 91.86% à 93.07% (**Carlos et al., 2021)**

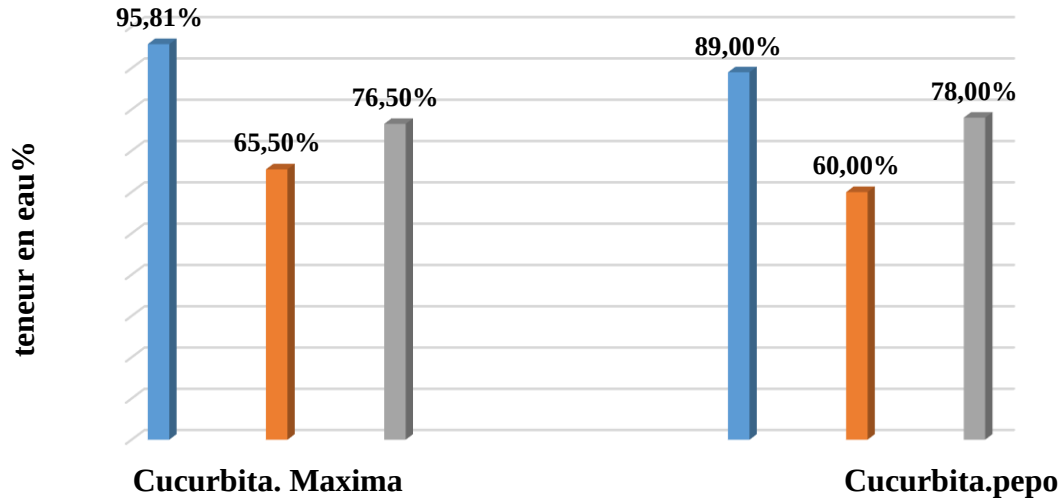



**Figure IV.1: teneur en eau des différentes parties de *Cucurbita .maxima* et *Cucurbita.pepo***

## IV.2. Extraction des substances pectiques :

### IV.2.1. Aspect des substances pectiques :

Les pectines issues des trois parties (pulpe, graines, écorces) des deux variétés de courge (*Cucurbita.pepo* et *Cucurbita.maxima*) ont une couleur marron clair qui tend vers le beige pour les graines du *Cucurbita.maxima* (figure IV.2), la couleur brune qui tend vers l'orange quand il s'agit de la pulpe des deux fruits. La pectine issue des écorces tend vers le marron. A travers la littérature, une couleur qui tend vers le marron pour des pectines extraites à partir des écorces de citrouille a été reportée par Charity U. et al (2016) **(Charity et al.,2016)**

La contamination de surface, le matériel agricole utilisé et la pureté de la pectine sont les majeurs facteurs qui peuvent avoir contribué à la variation de la couleur des pectines **(V.O. Aina.,2012)**




**Figure IV.2 :** pectines extraites des : (a)graines (b) écorces (c) pulpe.

### IV.2.2. Rendement des pectines :

L'examen des résultats des rendements en pectines extraites aux différentes conditions opératoires indiquées sur le tableau IV-1 a permis de noter que :

- Indépendamment des conditions opératoires utilisées pour chaque un des trois modes de chauffage utilisés (induction électromagnétique, micro-onde, bain-marie) dans l'extraction des pectines à l'eau chaude, les rendements en pectines extraites des différentes parties séchées à l'air libre (écorces, pulpe, graines) du fruit de la *Cucurbita.maxima* varient de 0.6 % à 8.7%.
- Les rendements en pectines extraites à partir de deux parties du fruit de *Cucurbita.Pepo* (pulpe, écorces) varient de 1.3% à 4.45%. Ces valeurs sont voisines à celles trouvées par Torkova A.A et al (2018) (**Torkova el al., 2018 )**qui ont enregistré pour la pulpe du *Cucurbita.pepo* un rendement allant de 3.1 à 7.4% en utilisant l'extraction par micro-onde, et 11% pour la pulpe de *Cucurbuta.maxima*. Dans le même travail, pour cette dernière variété les rendements en pectines avoisinent les 10% en utilisant une méthode innovante de cavitation facilitée. Le rendement en pectine par les méthodes classiques utilisant l'hydrolyse par acide à chaud peut varier de 5 à 7% pour *Cucurbita.pepo* d'après ce qui a été décrit par Kostâlovaâ. Z (2016) **(KosÏtÏaÂlova et al., 2016).** Avec cette même méthode on enregistre des rendements de 5% (**Yoo et al.,2012)** et 7.30 % **(jayani, 2019)**.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.
- Le meilleur rendement avoisinant 8.7% est celui obtenu après 15minutes d'extraction par micro-onde en utilisant un rapport masse végétale/eau égal à 1/10 et une puissance 270W.

Dans la suite de cette partie, on va présenter les résultats expérimentaux de l'effet des différents paramètres opératoires sur la quantité et la qualité de la pectine extraite de la *C. pepo* et la *C.maxima.*

**TableauIV.1** : les rendements des pectines extraites de *Cucurbita .pepo* et *Cucurbita. Maxima.*

| ***Matière végétale*** | ***Eau (T = 55 °C)*** | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | *variété* | *m/v* | *t (min)* | *puissance* | *Rendements* |
| *Pulpe sèche* | *Cucurbita. Pepo* | *1/10*<br>*1/10*<br>*1/10* | *2*<br>*2*<br>*2* | *270*<br>*440*<br>*1000* | *1.184%*<br>*5.5%*<br>*1.48%* |
| | | *1/10*<br>*1/10*<br>*1/10* | *10*<br>*10*<br>*15* | *270*<br>*440*<br>*270* | *7.95%*<br>*0%*<br>*8.7%* |
| *Ecorces sèches* | *Cucurbita. Pepo* | *1/10*<br>*1/20* | *15*<br>*15* | *270*<br>*270* | *2.66%*<br>*2.5%* |
| *Graines sèches*<br>*Graines fraîches* | *Cucurbita. maxima* | *1/10*<br>*1/10* | *10*<br>*10* | *270*<br>*270* | *0.8%*<br>*0.069%* |
| *Pulpes sèches*<br>*Pulpes fraîches* | *Cucurbita. maxima* | *1/10*<br>*1/10* | *10*<br>*10* | *270*<br>*270* | *6.4%*<br>*0%* |
| *Ecorces sèches*<br>*Ecorces fraîches* | *Cucurbita. maxima* | *1/10*<br>*1/10* | *10*<br>*10* | *270*<br>*270* | *2%*<br>*0%* |

**IV.2.2. 1 Influence du temps d'extraction sur le rendement :**

A la lumière des résultats présentés sur la figure IV.2, il est à remarquer que pour la *Cucurbita.pepo*, l'influence du temps d'extraction sur le rendement des pectines extraites à partir de la pulpe est significative. Le rendement de pectine augmente avec une prolongation du temps d'extraction, une prolongation du temps jusqu'à 15 minutes peut augmenter le rendement à 8.7%, cet effet favorable du temps favorise les contacts prolongés du solvant-particules engendrant ainsi une solubilisation importante de la pectine dans l'eau. Néanmoins, d'après la littérature, une durée plus longue expose le tissu végétale plus long temps à la chaleur ce qui provoque la dégradation thermique de la pectine. Cette dégradation thermique de la pectine a été aussi décelée dans les travaux de Ramanchandran et al **Ramanchandran et al.,2017 ; Ramanchandran al.,2020)** il a remarqué une forte diminution de rendement en pectine en prolongeant le temps d'extraction, la même remarque a été relevé par Chandel et al(2016) **( Chandel et al.,2016)**. Il est observé que l'amélioration du rendement en pectine est plus prononcée avec (3.32%), en augmentant le temps d'extraction de 2 min jusqu'à 10min, tandis qu'elle ne dépasse pas 0.094% si on prolonge le temps de 10min jusqu'à 15min. ce qui peut se justifier par le fait que dans l'intervalle du temps [10min, 15min], commence le phénomène de dégradation de pectine qui fait réduire le rendement mais la bonne solubilisation de la pectine peut compenser cette diminution. De même pour le chauffage par induction magnétique, le prolongement du temps peut être corrélé positivement avec l'augmentation du rendement avec un maximum atteint à 4.45%.

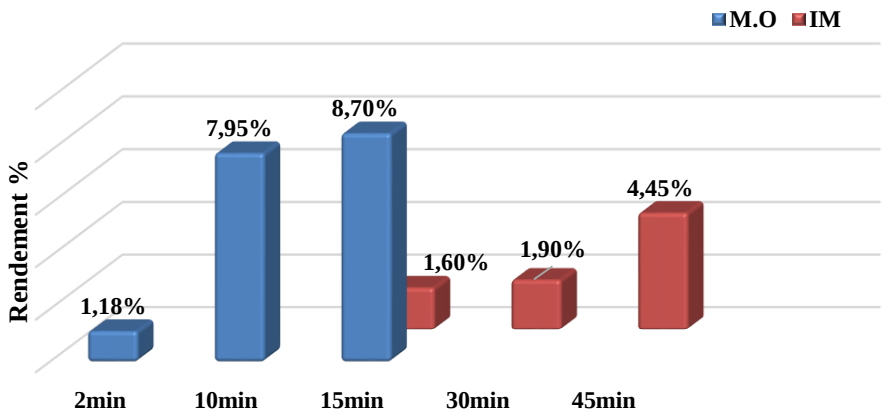



**Figure IV.3: Influence du temps d'extraction sur le rendement de pectine extraite à partir de la pulpe sèche du Cucurbita.pepo (I.M: T=55C°, m/v=1/10 ; M.O: m/v=1/10, 270W)**

### IV.2.2.2. Influence du rapport m/v sur le rendement :

L'influence du rapport (matière végétale/eau) peut être décelée en examinant les histogrammes de la figure IV.4. Pour les écorces de *Cucurbita.pepo* le rendement en pectine diminue de 2.66% à 2.5% quand le rapport (m/v) varie de 1/10 à 1/20. Cependant, il ne s'agit qu'une très faible diminution en rendement de pectine provoquée par l'augmentation du volume d'eau par rapport à la masse des écorces de *Cucurbita.pepo* qui ne dépasse pas les 0.064%. Il est possible que l'augmentation du volume d'eau d'imprégnation fait activer la solubilisation des pectines résidant dans les écorces de la *Cucurbita.pepo*, par la suite la quantité des pectines extraites de celles-ci a connu une certaine croissance mais 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 vu que les substances pectiques qui réside dans cette partie de fruit sont probablement présentes en faibles quantités. Cette faiblesse en libération de pectine peut être aussi dû au fait que cette fraction soit du type protopectines fortement liées aux autres composants du tissu cellulaire en plus du phénomène de dilution excessive. Ces fluctuations peuvent aussi témoigner le non uniformité de la distribution des pectines dans les différentes parties du fruit. Ce type de variation du rendement avec le rapport m/v a été aussi dévoilé en 2020 par Ramachandran et al **(Ramanchandran al., 2020)**

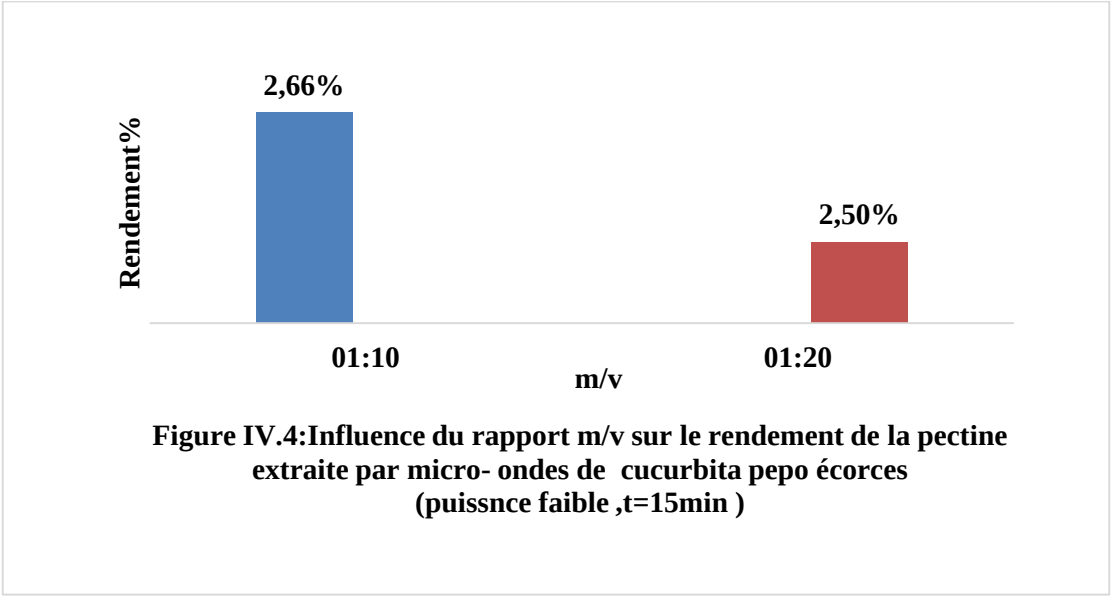
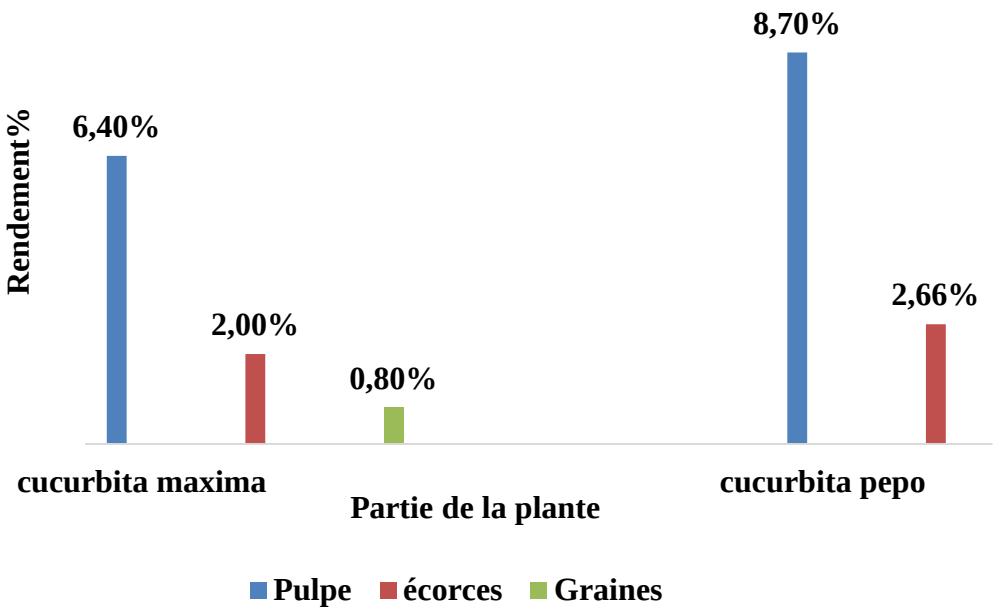



**Figure IV.4:Influence du rapport m/v sur le rendement de la pectine extraite par micro- ondes de cucurbita pepo écorces (puissnce faible ,t=15min )**

### IV.2.2.3. Influence de la partie du fruit sur le rendement :

En examinant la figure IV.5 représentant la variation du rendement en pectine avec les différentes parties du fruit *Cucurbita.pepo* et *Cucurbita.maxima*, on peut constater que la pulpe du *Cucurbita.maxima* est plus riche en pectine (6.4%) suivi par les écorces (2 %) et enfin les graines qui possèdent la plus faible quantité de pectine (0.8%). D'après la même figure cette richesse de la pulpe en pectine est aussi enregistrée pour le C*ucurbita.pepo* (8.7%) contre (2.66%) contenu dans les écorces, ce qui peut indiquer la non-uniformité de la distribution du contenu en pectine dans les trois différentes parties en terme de sa localisation dans le tissu végétal, de sa quantité, au sein du fruit.




**FigureIV.5: Influence de la partie de la plante sur le rendement de pectine extraite par micro-onde de *Cucurbita.maxima* (puissance faible ,m/v =1/10, t=10min) et *Cucurbita.pepo* (puissnce faible , m/v=1/10,t=15min)**

### IV.2.2. 4. Influence de la teneur en eau sur le rendement :

Les résultats représentés sur la figure IV.6 traduisant la variation du rendement en pectine avec les différentes réserves de l'eau dans les graines de *Cucurbita.maxima*. Les graines sèches contenant moins de l'eau permettent d'extraire plus de pectine que celle fraiches qui contiennent plus de l'eau. Le plus grand écart en rendement de la pectine se manifeste pour la pulpe. L'irradiation par micro-ondes ne permet pas d'extraire la pectine en présence de l'eau dans la pulpe et les écorces.

L'interaction du matériel végétal avec les radiations micro-ondes s'expriment avec deux paramètres:

- La constante diélectrique qui correspond au stockage d'énergie micro-onde par la matrice végétale.
- Le facteur de perte diélectrique qui correspond à la dissipation de l'énergie par la matrice végétale sous forme de chaleur.

Ces deux paramètres diélectriques sont dépendants de la présence d'eau libre ou liée, des charges en surface, des liaisons hydrogènes… intrinsèques au matériel végétal. L'eau dans le tissu végétal est le composé principal responsable de la chaleur diélectrique qui est liée aux propriétés diélectriques de la matière végétale. Les propriétés diélectriques des matières végétales diminuent avec la perte d'eau dans ces dernières (Feng, Tang et al., 2002). Cependant, il est possible que même la présence de l'eau doit augmenter la libération des pectines, mais on se trouve devant deux manières possibles pour justifier la diminution des rendements en pectine :

- ☞ Avec une balance à faire entre libération et dénaturation des pectines dues à l'importante quantité de chaleur dans les graines fraiches le rendement peut diminuer.
- ☞ Les tissus végétaux des écorces et des pulpes fraîches possèdent des facteurs diélectriques très élevés ce qui empêchent la chaleur de pénétrer profondément dans la matrice.

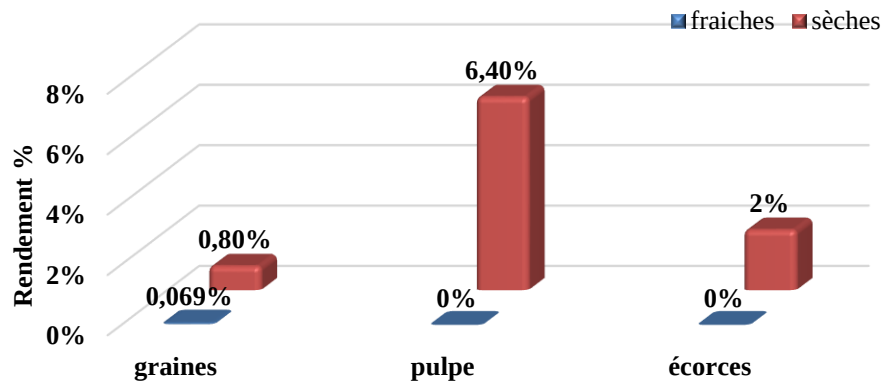



**Figure IV.6: Influence de la teneur en eau sur le rendement de la pectine extraite par micro-ondes des différentes parties du fruit de *Cucurbita.maxima* (270W, 1/10, 10min)**

### IV.2.2.5. Influence du mode de chauffage utilisé sur le rendement :

Sur la figure IV.7, l'effet de la méthode de chauffage est clair sur le rendement des pectines extraites de la pulpe du *Cucurbita.pepo*. Le meilleur rendement qui atteint 8.70% est obtenu en utilisant les radiations micro-ondes (M.O) pour chauffer le milieu réactionnel (matière végétal+ eau). Cette méthode a manifesté une grande efficacité en terme de rendement et en terme de temps réduits d'extraction par rapport à l'induction magnétique (I.M) et le chauffage classique en utilisant le bain-marie (B.M). Les micro-ondes pouvaient véhiculer une énergie substantielle, il s'agit d'un chauffage en volume et non en surface. Ainsi, la matrice traitée absorbe l'énergie directement et s'échauffe rapidement, devenant elle-même source de chaleur. Plusieurs auteurs ont relaté les avantages des micro-ondes dans divers procédés physiques et/ou chimiques et aussi dans l'extraction des pectines.

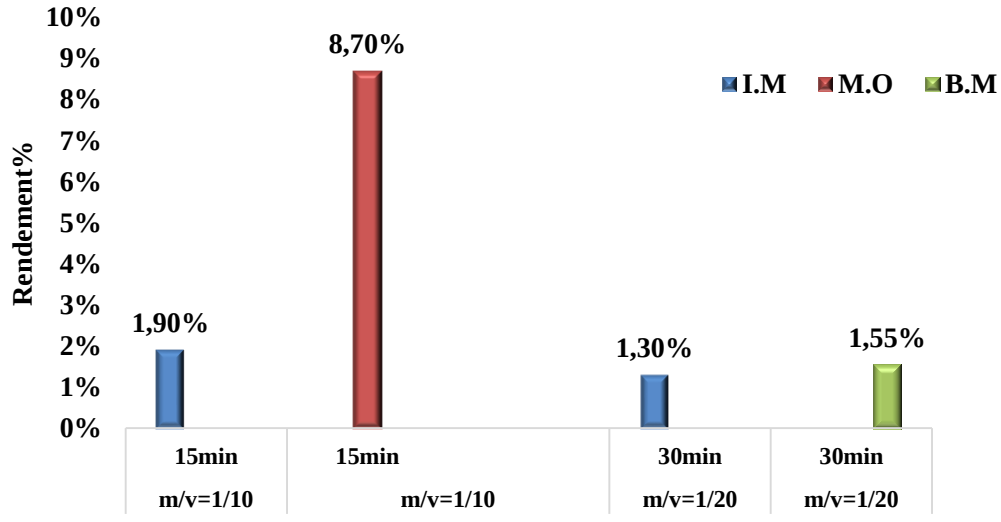



**Figure IV.7: Influence de la methode de chauffage sur le rendement de la pectine extraite de la pulpe du *Cucurbita.pepo* .**

### IV.2.2. 6. Influence de la puissance de M.O sur le rendement :

L'impact de la puissance sur le rendement comme montré sur la figure IV.8 ne suit pas une monotonie, car au début une croissance de rendement est enregistrée avec une augmentation de la puissance de 270W à 440 W ensuite avec plus de puissance une chute de rendement est marquée. Il parait qu'un chauffage par M.O avec une puissance moyenne (440W) peut donner un meilleur rendement pour 2 minutes d'extraction.

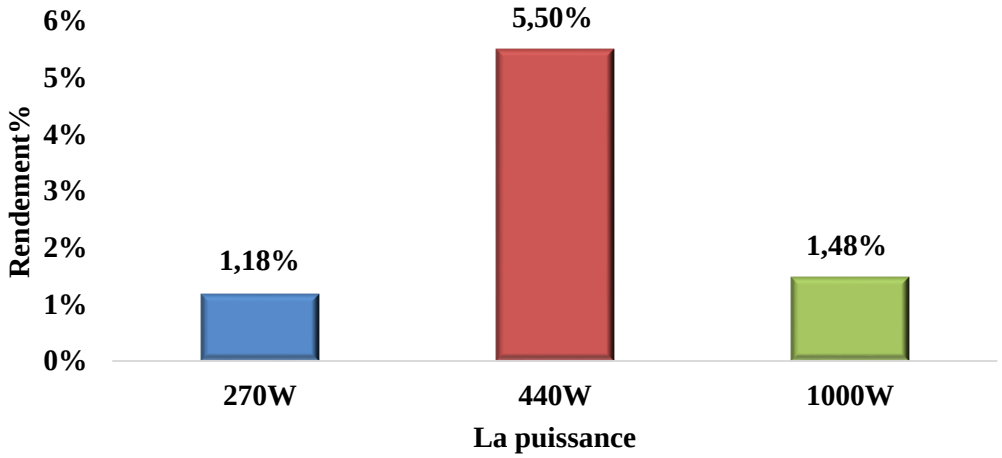



**Figure IV.8:Influence de la puissance sur le rendement da la pectine extraite de la pupe de Cucurbita.maxima par micro-onde (t=2min,m/v=1/10)**

### IV.2.2.7. Caractérisation physico-chimique des pectines extraites :

La caractérisation physico-chimique des pectines extraites par les trois modes de chauffage utilisés (Bain-marie, induction magnétique, micro-ondes) a été basée sur la détermination des :

- Degré d'estérification.
- Taux des groupements Methoxyls.
- Poids équivalents.

D'après les résultats obtenus, il est à remarquer qu'avec une variation de:

- **La partie du fruit** :
  - ✓ Les pectines des deux variétés *C.maxima* et *C.pepo* extraites des pulpes et des graines sont hautement méthylées avec un D.E qui peut atteindre 90.91% et 81.81% respectivement, tandis que celle extraites des écorces est faiblement méthylées avec un D.E 34.98% et 45.89% respectivement (figure IV.9. a).
  - ✓ Le poids équivalent est le plus élevé quand il s'agit de la pectine extraite par micro-onde de la pulpe de *C.pepo* pour une puissance 440W et un temps d'extraction 2min. ce poids équivalent est de l'ordre de 66660Da, en revanche celui le plus faible est 20 fois moins et de l'ordre de 3330 Da pour les pectines extraites des graines de *C.maxima*.(figure IV.9.b).

- ✓ Le taux des groupements Méthoxyls est plus faible pour les écorces de C.*maxima* (5.71%), par contre le taux MeO% est le plus élevée de 14.03% pour la pectine extraite de la pulpe de cette variété (figure IV.9.c).
- ✓ En changeant la variété et la partie de la plante, la pectine extraite pourra avoir de propriétés physico-chimiques différentes.

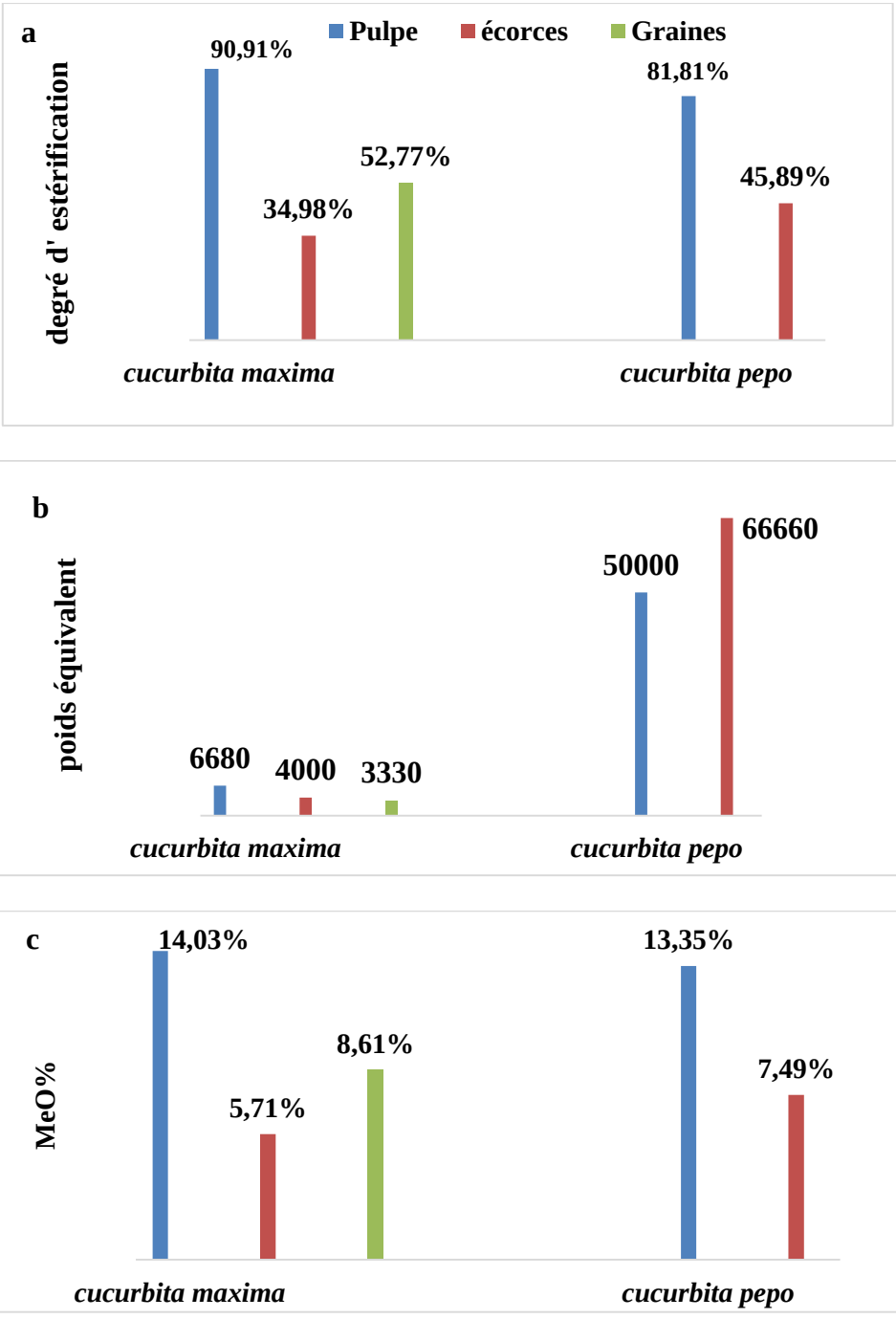



**Figure IV.9** : Influence de la partie de la plante sur : **a/** le degré d'éstérification, **b/** le Poids équivalent, **c/** le taux des groupements Méthoxyl (MeO%) de la pectine extraite par micro-onde 270W ( 10min pour C.maxima et 15 min pour C.pepo).

- **Le mode de chauffage :**
  - ✓ Toutes les pectines sont hautement méthylées même si on change le mode de chauffage. Le degré de méthylation n'est pas affecté par le mode de chauffage (figure IV.10.a).
  - ✓ Un chauffage plus doux peut garantir un poids équivalent élevée. Il peut atteindre 75 kDa par induction magnétique par contre il est abaissé par micro-ondes jusqu'à 50kDa (figure IV.10.b).
  - ✓ Le taux des groupements méthoxyls est peu affecté par le mode de chauffage (figure IV.10.c). Le plus élevé est celui obtenu par I .M (15.69%) , pour le chauffage par M.O et B.M les taux sont un peu plus faibles et s'avoisinent à un ordre de 13%
  - ✓ Parmi les trois caractéristiques physico-chimiques déterminés, le type de chauffage utilisé peut avoir un impact plus remarquable surtout sur le poids équivalent.

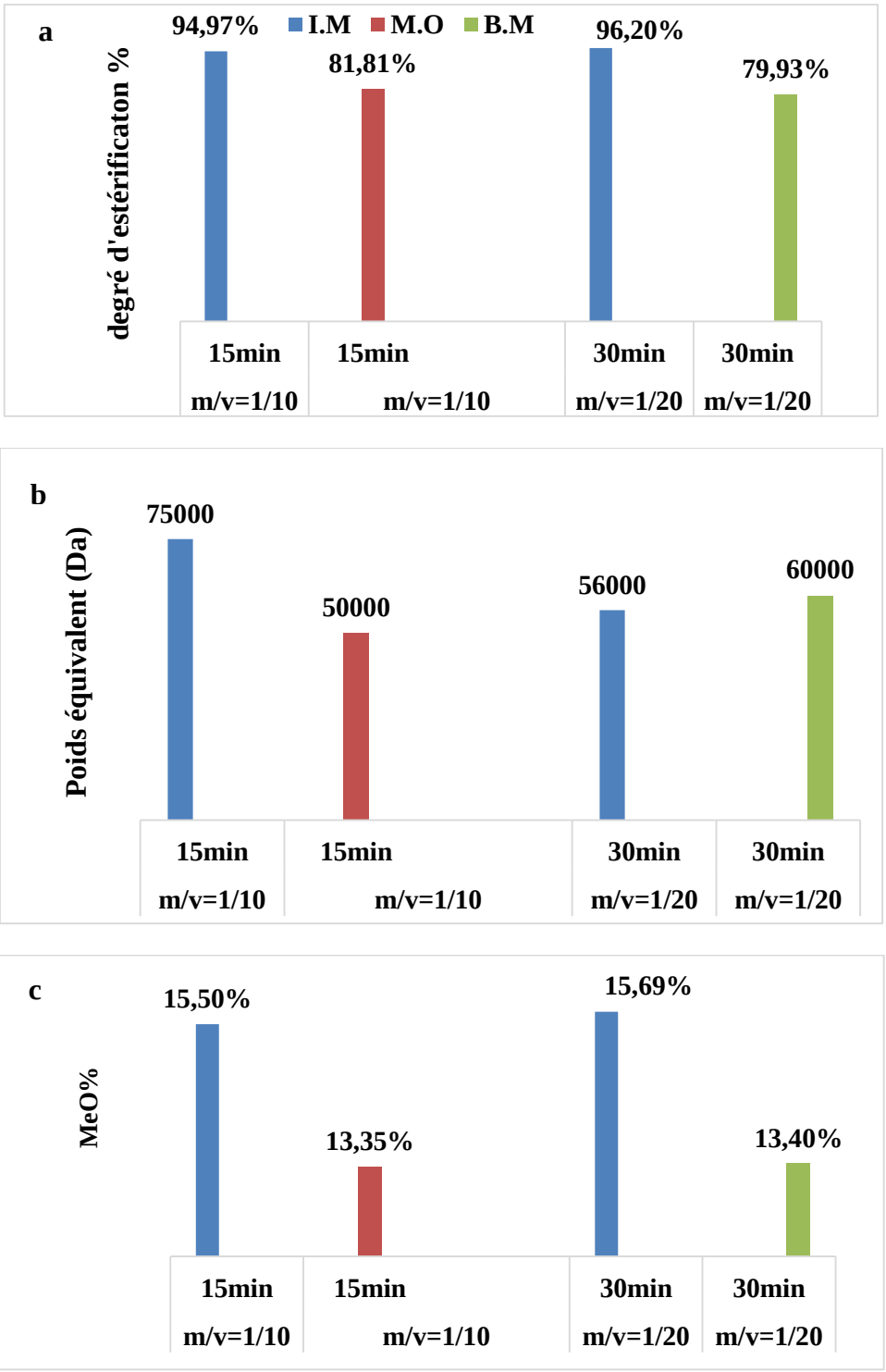



**Figure IV.10** : Influence du mode de chauffage sur : **a/** le degré d'estérification, **b/** le Poids équivalent, **c/** le taux des groupements Méthoxyl (MeO%) de la pectine extraite à partir de la pulpe de *C.pepo.*

- **La puissance du chauffage par micro-onde** :
  - ✓ Toutes les pectines de la variété *C.pepo* extraites de la pulpe sont hautement méthylées avec un D.E qui peut atteindre 95.23%, la puissance de chauffage influe peu le D.E des pectines extraites (figure IV.11. a).
  - ✓ Le poids équivalent est le plus élevé quand il s'agit de la pectine extraite par micro-onde de la pulpe de *C.pepo* pour une puissance 440W et un temps d'extraction 2min. ce poids équivalent est de l'ordre de 120 kDa, en revanche celui le plus faible est de plus de deux fois moins et de l'ordre de 50 kDa pour la plus grande puissance. Le poids équivalent est beaucoup plus sensible à la puissance du chauffage par micro-ondes (figure IV.11.b). **(Ramachadran et al ,2017)** donne des poids équivalents entre 854- 616 g/mole pour le *Cucurbita.moschata*, **(Rehman Salariya ,2005)** ont enregistrés des valeurs entre 783 et 1044 mg/mol pour la pectine de citron.
  - ✓ Le taux des groupements Méthoxyls est faiblement influencé par une variation de la puissance du chauffage. Il est quasiment stable pour les trois puissances testées. le taux MeO% est le plus élevée de 15.51% pour la pectine extraite de la pulpe de *C.pepo* (figure IV.11.c).

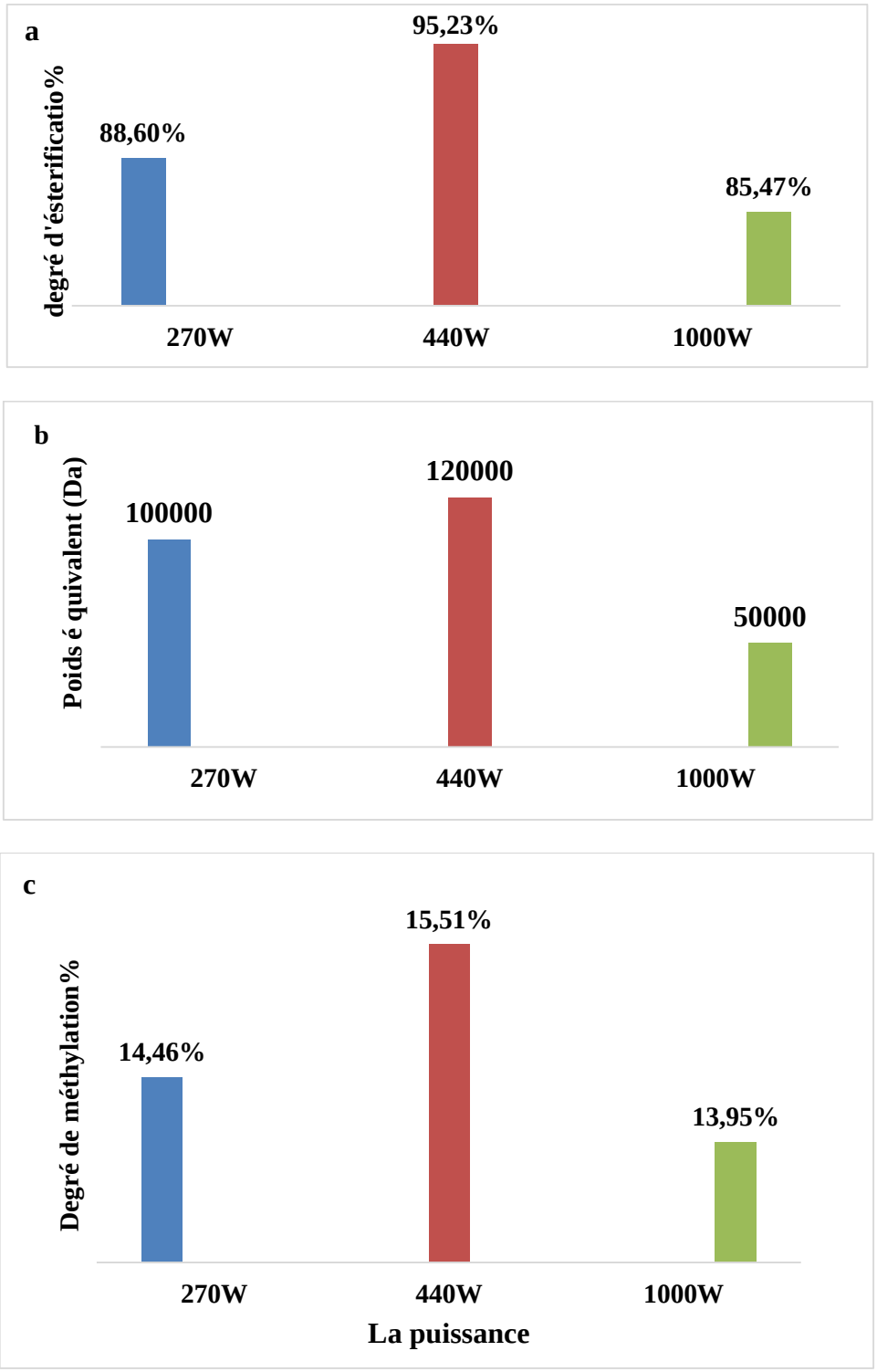



**Figure IV.11** : Influence de la puissance de chauffage M.O sur : **a/** le degré d'estérification, **b/** le Poids équivalent, **c/** le taux des groupements Méthoxyl (MeO%) de la pectine extraite à partir de la pulpe de *C.pepo.*

**Spectroscopie FTIR :**

Les spectres FTIR de pectines extraites à partir de la *C.pepo* est *C.maxima* sont représentés sur les figures VI-12, VI-13, VI-14,VI-15 . Tous ces spectres FTIR marquent les principaux pics typiques correspondant à des groupements spéciaux dans les régions de nombre d'ondes suivantes :

- 3200-3600 $cm^{-1}$ une bande large correspondant à la vibration du groupe OH.

- Deux bandes intenses autours de 2924 $cm^{-1}$ et 2830 $cm^{-1}$ correspondent aux vibrations des groupes C-H (CH3 et CH2).

- 1500 -2000 $cm^{-1}$ correspond aux groupements C=O, une bande plus forte se produisant à 1696, 1644 ,1741, 1711$cm^{-1}$ pour les esters (COO-R) et 1595, 1399, 1540, 1399 $cm^{-1}$ une bande pour les ions carboxyles (COO-).

600-1250 cm-1 qui est une région d'empreinte de pectine montre des pics au tour de, 1140 cm-1 1070 cm-1, 1050 cm-1 indiquent la présence des liaisons -glycosidiques caractéristiques des substances pectiques.

A travers l'examen de ces figures, on peut noter que la similitude est plus en moins appréciable en termes de qualité des groupements caractéristiques des pectines, la différence consiste en leurs teneurs.

L'intensité relative entre les groupements esters (COOR) et les ions carboxyliques (COO-) dans les spectres manifeste une variabilité avec les conditions opératoires ce qui explique la variation du DE, elle est plus importante dans le cas du spectre des pectines extraites des différentes parties de fruits.

L'intensité des pics de la région (600-1250) connait un grand écart surtout dans le cas des pectines extraites à différentes puissances de chauffage micro-ondes et des pectines issues de différents modes de chauffage.

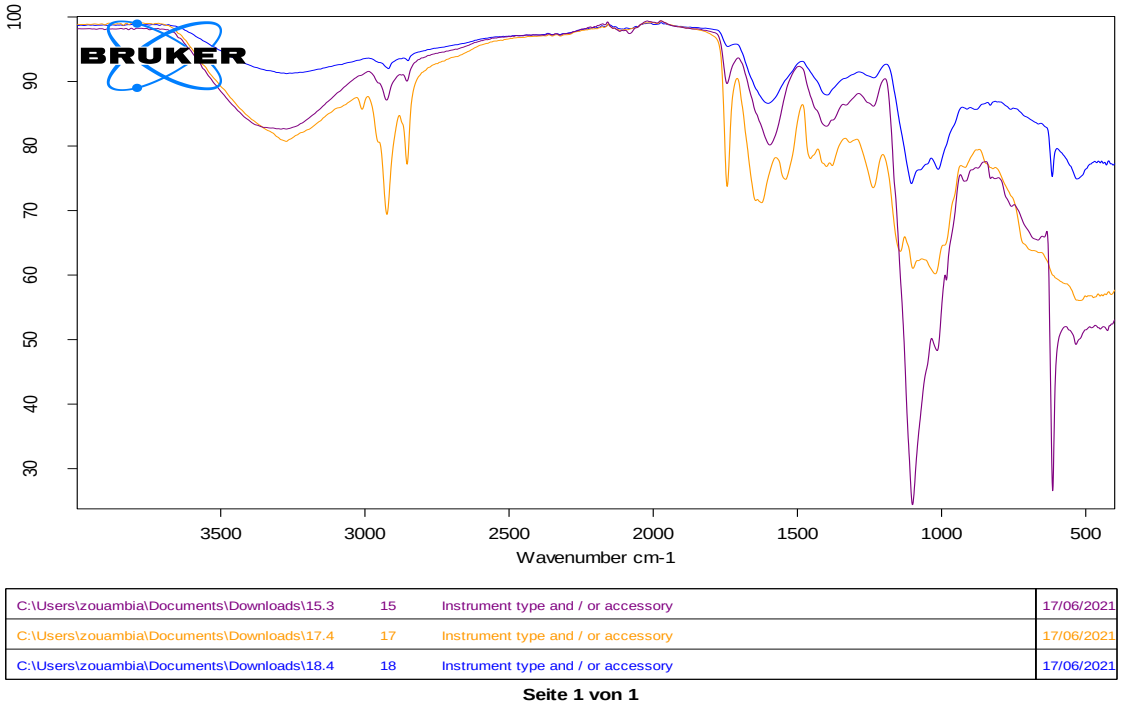
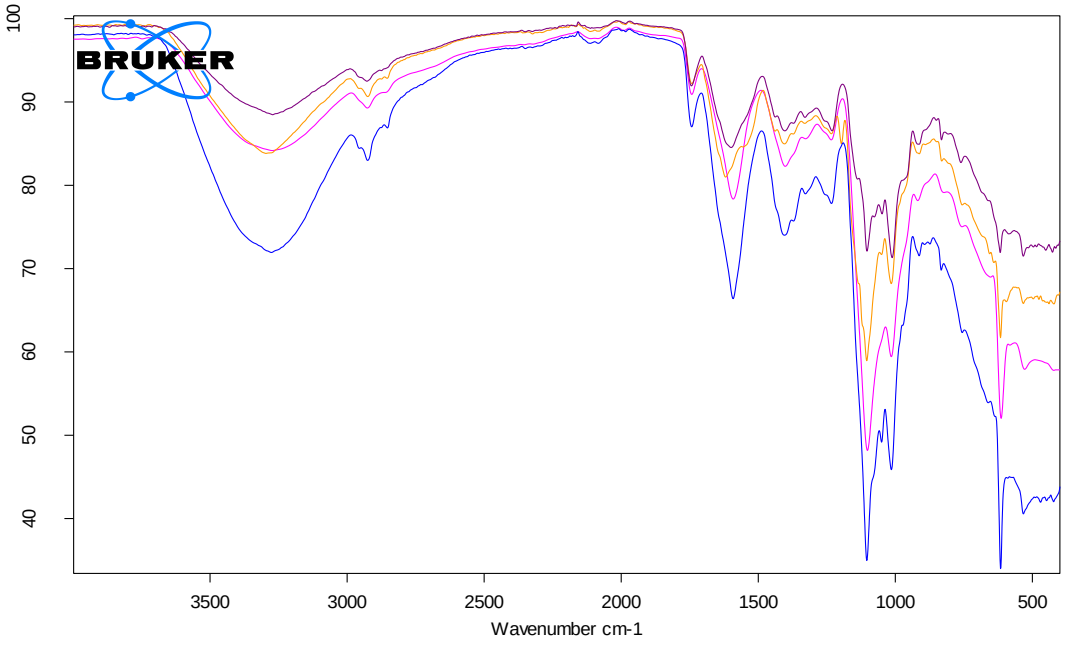



**Figure IV.12 :** spectres I.R des pectines extraites par M.O des différentes parties du fruit de *C.maxima* ( écorces, graines, pulpe).



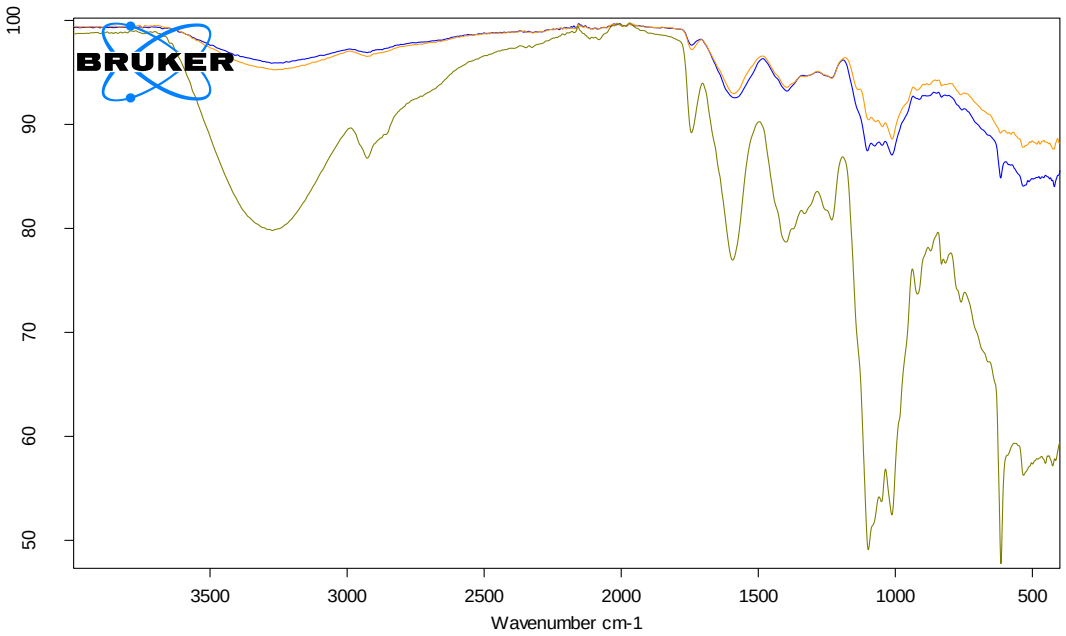

**Figure IV.13 :** spectres I.R des pectines extraites par M.O des différentes parties du fruit de *C. pepo* ( écorces, pulpe).




| | | | |
|---|---|---|---|
| C:\Users\zouambia\Documents\Downloads\5.12 | 5 | Instrument type and / or accessory | 21/06/2021 |
| C:\Users\zouambia\Documents\Downloads\1 (1).25 | 1 | Instrument type and / or accessory | 21/06/2021 |
| C:\Users\zouambia\Documents\Downloads\2.27 | 2 | Instrument type and / or accessory | 17/06/2021 |
| C:\Users\zouambia\Documents\Downloads\11.8 | 11 | Instrument type and / or accessory | 17/06/2021 |

**Seite 1 von 1**

**Figure IV.14 :** spectres I.R des pectines extraites par différents modes de chauffage à partir de la pulpe de *C.pepo* ( IM, IM, BM, MO).




| | | | |
|---|---|---|---|
| C:\Users\zouambia\Documents\Downloads\10.7 | 10 | Instrument type and / or accessory | 17/06/2021 |
| C:\Users\zouambia\Documents\Downloads\19.2 | 19 | Instrument type and / or accessory | 17/06/2021 |
| C:\Users\zouambia\Documents\Downloads\12.8 | 12 | Instrument type and / or accessory | 17/06/2021 |

**Seite 1 von 1**

**Figure IV.15:** spectres I.R des pectines extraites par M.O à différentes puissances du fruit de *C.pepo*.( 1000 W , 440W , 270 W).

# Conclusion Générale

**Conclusion Générale :**

Par le biais de cette étude qui consiste en l'extraction des substances pectiques résidantes dans les différentes parties de deux variétés de *courge* ( pulpe , écorces et graines ) par l'eau à chaud en utilisant trois méthodes de chauffage : chauffage classique (bain marie) chauffage par induction électromagnétique et le chauffage par micro-onde, notre premier objectif s'est inscrit dans l'ambition de mettre en évidence l'amélioration du potentiel extractif de l'hydrolyse des pectines par l'eau à chaud classique qui reste depuis le temps limité par l'inconvénient de la nécessité de :

- ✓ une haute température
- ✓ une longue durée pour isoler la pectine.

La seconde préoccupation résidait dans la contribution à dévoiler une corrélation entre les caractéristiques physico-chimiques des pectines avec les conditions opératoires surtout celle du mode de chauffage utilisé.

D'après les témoignages bibliographiques exposés dans notre synthèse bibliographique, il paraît que l'espèce *Cucurbita.pepo et cucurbita maxima sont* une source riche des pectines à faible coût, ces pectines revêtent des multiples usages qui connaissent sans cesse un essor constant de la production et de l'utilisation.

Au terme de notre étude nous avons constaté que :

- Les résultats concernant la pulpe *du Cucurbita.maxima* ont révélé une richesse en eau par rapport à la pulpe de *Cucurbita.pepo* avec un contenu en eau estimé de (95%) et (89%) respectivement. En revanche les réserves en eau des écorces sont aussi très voisines pour les deux variétés étudiées. L'eau représente plus de la moitié de la masse des graines du Cucurbita.maxima. Cette teneur est bien plus supérieure à celle contenue dans les graines du Cucurbita.pepo qui n'excède pas le 1/3 de la masse des graines.
- L'eau dans les différentes parties des deux fruits étudiés n'est pas uniforme ou la pulpe est la partie de fruit qui contient la plus grande quantité de l'eau que celle dans les écorces et les graines pour les deux variétés étudiées..
- Le rendement de pectine extraite par l'eau à chaud à partir des différentes parties de *cucurbita maxima* (pulpes, écorces et graines) varie de 0.6% à 8.7%

en utilisant les trois modes de chauffage : bain marie, induction magnétique et micro-onde. Ce dernier améliore considérablement le rendement.

- L'accessibilité à la libération des pectines dépend de la méthode d'extraction et de la nature du tissu végétal, en effet une plus importante quantité de pectine s'est facilement libérée de la pulpe par la méthode de micro-onde avec un rendement avoisinant 8.7% obtenu après 15minutes d'extraction en utilisant un rapport masse végétale/eau égal à 1/10 et une puissance 270W.
- Contrairement à la présence de l'eau dans la matrice végétale, le prolongement du temps peut être corrélé positivement avec la croissance du rendement s'il n'est pas contre balancé par la dégradation thermique des pectines extraites.
- En changeant la variété et la partie de la plante, la pectine extraite est de propriétés physico-chimiques différentes.
- Un chauffage plus doux peut garantir un poids équivalent élevé. Il peut atteindre 75 kDa par induction magnétique par contre il est abaissé par micro-ondes jusqu'à 50kDa. Par ce dernier mode la diminution du temps favorise l'augmentation du poids équivalent.
- Parmi les trois caractéristiques physico-chimiques déterminées, le poids équivalent est le plus affecté surtout par la variation de la puissance et du type de chauffage utilisé, mais modérément par la variation du temps d'extraction. Par contre, le DE ne peut être clairement différent que dans le cas des pectines faiblement méthylées extraites des graines.

Pour achever ce qui a été décidé comme objectif de cette étude on propose quelques perspectives :

- ✓ Optimisation des conditions opératoires de l'extraction des pectines en utilisant l'hydrolyse par l'eau à chaud assisté par le chauffage par induction magnétique et par micro-onde.
- ✓ Elargir la caractérisation physico-chimique sur d'autres propriétés des pectines
- ✓ Expertiser l'effet conjugué sur les propriétés des pectines que peut engendrer la variation des conditions opératoires de l'extraction par hydrolyse par l'eau à chaud utilisant ces deux méthodes de chauffage.

# Références Bibliographie

**Aamir Hussain Dar**, **SA Sofi**, **Shafiyarafiq (2017).**Pumpkin the functional and therapeuticingredient: A review . International Journal of Food Science and Nutrition Volume 2 :6 Page No. 165-170.

**Abid, H., Hussain, A., Ali, S., Ali, J. (2009)**. Technique for optimum extraction of pectin from sour orange peels and its chemical evaluation. J. Chem. Soc. Pak. 31, 459 - 461.

**Agyare, C.; Spiegler, V.; Asase, A.; Scholz, M.; Hempel, G.; Hensel**, A. An ethnopharmacological survey of medicinal plants traditionally used for cancer treatment in the Ashanti region, Ghana. J. Ethnopharmacol. 2018, 212, 137–152. [CrossRef] [PubMed]

**Alonso-Castro, A.J.; Dominguez, F.; Zapata-Morales, J.R.; Carranza-Alvarez, C(2015),.** Plants used in the traditionalmedicine of Mesoamerica (Mexico and Central America) and the Caribbean for the treatment of obesity. J.Ethnopharmacol. 175, 335–345.

**Andres, T.C. 2010.** Origin of the giant pumpkin. The New York Botanical Garden.http://www.nybg.org/plant-talk/2010/10/garden-programming/origin-of-the-giant-pumpkin/.

**Anshu Sharma, Anju K Dhiman, SurekhaAttri and Rajni Kant Thakur.(2018)**.Comparative evaluation of physico-chemicalattributes of different portions of C. moschata and C. maxima species of pumpkin.International Journal of Chemical Studies; 6(2): 3209-3213.

**Asowata-Ayodele, A.M.; Afolayan, A.J.; Otunola, G.A. (2016).**Ethnobotanical survey of culinaryherbs and spicesused in the traditionalmedicinal system of NkonkobeMunicipality, Eastern Cape, South Africa. South Afr. J.Bot, 104, 69–.

**Balcha, A.(2014)**. Medicinal plants used in traditionalmedicine by Oromo people, Ghimbi District, SouthwestEthiopia. J. Ethnobiol. Ethnomed. 2014, 10, 1–15.

**Bayar, N., Friji, M., & Kammoun, R. (2018)**. Optimization of enzymatic extraction of pectin from Opuntia ficus indica cladodes after mucilage removal. Food chemistry, 241, 127-134.

**Ben aicha Y & Boukhouidem F.(2018)**<< Extraction de quelques substances macromoléculaire présentes dans l'écorce du cucurbita.moschata>.Master. Université Médéa.

**Benalia M. (2016)**. Etude de la fraction lipidique de quelques graines de Cucurbitacées. Thèse de l'université de Kasdi Merbah Ouergla.

**Benjamin Petera (2016)**. Extraction et caractérisations (structurale et physico-chimique) de polysaccharides hydrosolubles issus de cladoces de Cereus triangularis. Alimentation et Nutrition. Université Blaise Pascal - Clermont-Ferrand II, 2016. Français. NNT : 2016CLF22758.

**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.

**Botinea U M. (2010)**. Botanique systématique et appliquée des plantes à fleurs. Ed Tec & Doc, Lavoisier, p722-733.

**Boukhorchef Hamid, Zaoui Hamza (2018)**. «Contribution à la valorisation des biomolécules extraites à partir des graines de citrouille».Master. Université Médéa.

**Broderick, C.E. (1982)**. Morpho-physiological factors affecting plant productivity in bush and vine forms of winter squash (Cucurbita maxima Duch.). Ph.D. Dissertation. University of New Hampshire, Durham.

**Bruneton J. (2009)**. Pharmacognosie, photochimie plantes médicinales4eme édition Technique & Documentation/Lavoisier, Paris. ISBN : 978-2-7430-1188-8.

**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.

**Capel, F., Nicolai, T., Durand, D., Boulenguer, P., Langendorff, V. (2006)**. Calcium and acid.

**Carlos J. Marquez-CardozoBirina L. Caballero-GutierrezHector J. Ciro-Velazquez (2021)**. Effect of pretreatment and temperature on the drying kinetics andphysicochemical and techno-functional characteristics of pumpkin(Cucurbita maxima.

**Chait J. (2009)**. Pros and cons of organic Halloween pumpkins. http://blisstree.com/live/pros-and-cons-of-organic-Halloween-pumpkins

**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].

**Chandel V, Vaidya D, Kaushal M, Gupta A and Verma AK; (2016)** .Standardization of eco-friendly technique for extraction of pectinfromapplepomace. Indian Journal of Natural ProductsandResources7(1): 69-73.

**Charity U. Ogunka-Nnoka and Mary F. Atinlikou. (2016)**. Extraction and Characterization of Pectinfromsomeselected non-citrus agricultural foodwastes, Journal of Chemical and Pharmaceutical Research 8(5):283-290.

**Chen J., Liu W., Liu C-M., et al. (2015)**. « Pectin Modifications: A Review ». Critical Reviews in Food Science and Nutrition 55 (12): 1684-1698.

**Chen, X., Qi, Y., Zhu, C., & Wang, Q. (2019)**. Effect of ultrasound on the properties andantioxidant activity of hawthorn pectin. International journal of biological macromolecules, 131, 273-281.

**Chigwe CB, SakaVW.(1994).**Collection and Characterization of Malawi PumpkinGermplasm. Zim. J. Agric. Res. 32(2):139-149.

**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.

**Courtois, J. (2009)**. Oligosaccharides from l and plants and algae: production and applications in therapeutics and biotechnology. Curr. Opin. Microbiol. 12, 261 – 273.

**Darvill A.G., Mc Neil M., Albersheim P. (1978)**. « Structure of plant cell wall. 8. A new pectic polysaccharides », Plant physiol,62, 418-422.

**Deimel T. (2007).** Important facts about award-winning styrian pumpkin seed oil and Your health. Retrieved from: www.deimel.biz/_biz/info/pumpkinoil.htm.

**Denna, D.W. and H.M. Munger. 1963**. Morphology of the bush and vine habits and the allelism of the bush genes in Cucurbita maxima and C. pepo squash. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci. 82: 370-377.

**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.

**D. Mohnen. (2008), Pectin structure and biosynthesis, Curr. Opin. Plant Biol. 11 266–277.**

**D. Saha, S. Bhattacharya (2010)**, Hydrocolloids as thickening and gellingagents in food: a critical review, J. Food Sci. Technol. 47, 587–597.

**Dutta D, Chaudhuri UR, Chakraborty, R. (2006)**. Effect of thermal treatment on the β-carotene content, colour and textural properties of pumpkin. Journal of Food Science and Technology,; 43(6):607-611.

**Elhadi, I.M.; Koko, S.W.; Dahab, M.M.; El Imam, J.M.; El Mageed, M.A.E. (2013)**. Antigiardial activity of some Cucurbita species and Lagenaria siceraria. J. For. Prod. Ind, 2, 43–47.

**El-Nawawi, S.A., Shehata, F.R. (1987)**. Extraction of pectin from egyptian orange peel.Factors affecting the extraction. Biol. Wastes. 20, 281 - 290.

**FAO. (2016)**. Organisation des nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO).

**Fedha MS, Mwasaru MA, Njoroge CK, Ojijo NO, Ouma GO. (2010)**.Effect of drying on selectedproximate composition of fresh and processed fruits and seeds of twopumpkinspecies. Agriculture and Biology Journal of NorthAmerica.; 1(6):1299-1302.

**Feng, H., Tang, J. et Cavalieri, R. P. (2002)**. "Dielectric properties of dehydrated apples as affected by moisture and temperature." Transactions of the Asae 45(1): 129-135.

**Ferriol, M., B. Picó, & F. Nuez (2004)**. Morphological and molecular diversity of a collection of Cucurbita maxima landraces. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 129(1): 60-69.

**Filbrandt et Katelyn R. (2012)**. Effect of Pumpkin Seed Oil Cake on the Textural and Sensory Properties of White Wheat Bread. MS Food & Nutritional Sciences .American Psychological Association, 6ème Edition.

**Fishman, M.L., Chau, H.K., Hoagland, P., Ayyad, K. (2000)**. Characterization of pectin, flashextracted from orange albedo by microwave heating, under pression. Carbohydr. Res. 323,126 - 138.).

**Fishman, M. L ; Pepper, L ; Damert, W. C ;Baford, R. A (1986)** Chemistry and function of pectin, (Fishman M. L and JEN JJ eds.), ACS series 310,Washington

**Fruhwirth G.O. et Hermetter A. (2007)**. Seeds and oil of the styrian Oil pumpkin: components and biological activities. European Journal of Lipid Science and Technology, 109:1128-1140.

**Geetha, S.(2014)**. Antimicrobial activity of selected vegetable peels against water borne pathogens. Int. J. Adv. Pharm. Biol. Chem. 3, 937–940.

**Golovchenko V.V., Ovodova R.G., Shashkov A.S., Ovodov Y.S. (2002).** « Structural studies of the pectic polysaccharide fromduckweedLemnaminor L. », Phytochemistry, 60, 89-97.

**Hatam N.A., Whiting D.A., Yousif N.J. (1989)**. Cucurbitacin glycosides from Citrullus .colocynthis. Phytochemistry, 28: 1268-1271.

https://xibaaru.sn/secrets-de-femmes/8-raisons-de-consommer-graines-decitrouille/

https://fr.wikipedia.org/wiki/Cucurbitaceae.

**Jaradat, N.A.; Shawahna, R.;Eid, A.M.; Al-Ramahi, R.; Asma, M.K.; Zaid, A.N. (2016)**. Herbalremedies use bybreast cancer patients in the West Bank of Palestine. J. Ethnopharmacol., 178, 1–8.

**Jayani Sandrani Maddakandage Dona.(2019)**. isolation ad caracterization of pectin from pumpkin (cucurbitt maxima) waste and its food application.

**Kabbashi, A.S.; Koko, W.S.; Mohammed, S.E.A.; Musa, N.; Elbadri, E.; Dahab, M.M.; Mohammed, A.K. (2014)**. In vitro a moebicidal, antimicrobial and antioxidant activities of the plants Adansonia digitata and Cucurbit maxima. Adv. Med. Plant Res. 2, 50–57.

**KosÏtÏaÂlovaÂ Z, Aguedo M, HromaÂdkovaÂ Z.;( 2016)**.Microwave-assisted extraction of pectinfromunutilizedpumpkin biomass. Chem Eng ProcessProcess Intensif. Elsevier; 102: 9±15.

**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.

**Kujawska, M.; Pieroni, A. (2015)**. Plants used as food and medicine by polish migrants in Misiones, Argentina. Ecol. Food Nutr. 54, 255–279. [CrossRef]

**Lekbir Adel. (2008)**. « extraction et appréciation des pectines à partir des écorces d'oranges et de dattes» , Magister .Université El Hadj Lakhder – BATNA.

**Liu, L.S., Fishman, M.L., Kost, J., Hicks, K.B. (2003).** Pectin - basedsystems for colonspecific drugdelivery via oral route. Biomaterials. 24, 3333 - 3343.

**Liu, Y., Shi, J., Langrish. T.A.G. (2006)**. Water-based extraction of pectin from flavedo and albedo of orange peels. Chemical Engineering. 120, 203 - 209.

**Lomova, E.I. & Terekhina N.V. 2003-2009**. AgroAtlas: Interactive Agricultural Ecological Atlas of Russia and Neighboring Countries. Accessed: 10 January 2014.http://www.agroatlas.ru/en/content/cultural/Cucurbita_maxima_K/

**Lopes Da Silva J. A. & Rao M.A. (2006)**. Pectins: structure, functionality, and uses. In food polysaccharides and their applications, Second Edition. Taylor & Francis Group, LLC, pp 353-411.

**Loy, J.B. and C.E. Broderick. (1990)**. Growth, assimilate partitioning, and productivity of bush and vine cultivars of Cucurbita maxima. In: Bates, D.M., R.W. Robinson and C.Jeffrey (eds.), Biology and Utilization of the Cucurbitaceae. Cornell University Press, Ithaca and London, pp. 436-447.

**Lu, A. & C. Jeffrey (2011)**. Flora of China, Vol. 19. 1. Cucurbitaceae: 35. Cucurbita. Web.http://www.efloras.org/florataxon.aspx?flora_id=2&taxon_id=200022619

**Mahomoodally, M.F.; Mootoosamy, A.; Wambugu, S.(2016)**. Traditional therapies used to manage diabetes and related complications in Mauritius: A comparative ethnoreligious study. Evid.-Based Complement. Altern. Med., 1–25. [CrossRef] [PubMed].

**Mahoney, K.(2002-2014)**. Latdic. http://www.latin-dictionary.net/search/latin/maxima.

**Maran, P.J., Sivakumar, V., Thirugnanasambandham, K., Sridhar, R. (2014).** Microwave assisted extraction of pectinfromwasteCitrulluslanatus fruit rinds. Carbohydrate Polymers.101, 786 - 791.

**Masmoudi, M., Besbes, S., Chaabouni, M., Robert, C., Paquot, M., Blecker, C., Attia, H.(2008)**. Optimization of pectin extraction from lemon by-product with acidified date juice using response surface methodology. Carbohydr. Polym.74, 185 - 192.

**M. C. Achilonu, I. C. Nwafor, D. O. Umesiobi and M. M. Sedibe(2018).** Biochemicalproximates of pumpkin (Cucurbitaeaespp.) and theirbeneficialeffects on the generalwell-being of poultryspecies. Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition 102 : 5–16.

**Mc Neil M., Darvill A.G., Fry S.C., Albersheim P(1984), « Structure and function of the primary cell walls of the primary cell walls of plants », Annu.Rev.Biochem., 53,625-664.**

**Menendez-Baceta, G.; Aceituno-Mata, L.; Molina, M.; Reyes-García, V.; Tardío, J.; Pardo-De-Santayana, M.** (**2014 ).**Medicinal plants traditionally used in the northwest of the Basque Country (Biscay and Alava), Iberian Peninsula. J. Ethnopharmacol. 152, 113–134.[CrossRef].

**Meragiaw, M.; Asfaw, Z.; Argaw, M. (2016).** The Status of EthnobotanicalKnowledge of medicinal plants and theImpacts of resettlement in delanta, northwesternwello, northe rnethiopia.evid.-basedcomplement. hindawipublishing corporation Evidence-BasedComplementary and Alternative Medicine Volume 2016, Article http://dx.doi.org/10.1155/2016/5060247.

**Mesbahi, G., Jamalian, J., Farahnaky, A., (2005)**. A comparative study on functional properties of beet and citrus pectins in food systems. Food Hydrocolloids. 19, 731 - 738.

**Michel B., (2002).** Conservation par les sucres : confitures, gelées, fruits sur sucre. In : Technologies de transformation des fruits. Technique et documentation- Lavoisier (Ed). Paris, pp 421-425.

**Michigan Flora Online. A.A. Reznicek, E.G. Voss, & B.S. Walters February(2011)**. University of Michigan. Web. January 9, 2014. http://michiganflora.net/species.aspx?id=883.

**Missouri Botanical Gardens (n.d.)**. Plant finder: Cucurbita maxima. http://www.missouribotanicalgarden.org/PlantFinder/PlantFinderDetails.aspx?kempercode=e453.

**Motti, R.; Motti, P(2017 )** . An ethnobotanical survey of useful plants in the agro Nocerino Sarnese (Campania, southern Italy). Hum. Ecol. 45, 865–878. [CrossRef].

**Munarin, F., Guerreiro, S.G., Grellier, M.A., Tanzi, M.C., Barbosa, M.A., Petrini, P.,Granja, P.L. (2011).** Pectin - Based Injectable Biomaterials for Bone Tissue Engineering. Biomacromolecules. 12, 568 - 577.

**Muruganantham, N.; Solomon, S.; Senthamilselvi, M.M(2016)**. Anti-cancer activity of Cucumis sativus (cucumber) flowers against human liver cancer. Int. J. Pharm. Clin. Res. 8, 39–41.

**Nayak, D.; Ashe, S.; Rauta, P.R.; Nayak, B.(2017).** Assessment of antioxidant, antimicrobial and anti-osteosarcoma potential of four traditionally used Indian medicinal plants. J. Appl. Biomed. 15, 119–132. [CrossRef].

**Nee, M. 1990**. The domestication of Cucurbita (Cucurbitaceae). Econ. Bot. 44: 58-68.

**O'Neill M., Albersheim P., Darvill A. (1990).** The pectic polysaccharides of primary cell walls, Methods in plant biochemistry, academic press London. 415-441.

**Pagan, J., Ibarz, A. (1999).** Extraction and rheological properties of pectin from fresh peach pomace. J. Food Eng. 39, 193 - 201.

**Paquot M., Aguedo M., Combo A. M. M. (2007)** . «Analyse structurale des carraghénanes par hydrolyse enzymatique», (2007), Thèse de Doctorat. Université de Bretagne Occidentale. France.

**Paulsen B.S., Barsett H. (2005)**, « Bioactive pectic polysaccharides », AdvancesPolymers Sciences 186, 69-101.,

**Peter, E.L.; Rumisha, S.F.; Mashoto, K.O.; Malebo, H.M.(2014)**. Ethno-medicinal knowledge and plants traditionally used to treat anemia in Tanzania: A cross sectional survey. J. Ethnopharmacol., 154, 767–773. [CrossRef].

**Plants For A Future, 1996-2012. Accessed: 09 January (2014)**.http://pfaf.org/user/Plant.aspx?LatinName=Cucurbita+maxima.

**Polèse J.M. (2006)**.la cultures des courges. Edition .Artémis, pp : 10-76.

**Preethi Ramachandran, anjuK.Dhiman and SurekhaAttri . (2017).** ''Extraction of Pectinfrom Ripe Pumpkin (Cucurbita moschataDuchex.Poir) usingeco-freindly technique'' Indian journal of ecology 44:685-689.

**Preethi Ramachandran, 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.

**P. Srivastata, R. Malviya. (2011).** Source of pectin, extraction, and its applications in Pharmaceutical industry- an overview, 10–18.

**Rakotovao Andrianirina Michel.(1994-1999)**. «Contribution à la valorisation des courges et des pommes en marmelade».Diplome d'ingénieur agronomé.

**Ralet, M-C, Bonnin, E., Thibault, J-F. (2002).** « Pectin in biopolumersVol 8, PolysaccharidesII », Steinbüchel A (Ed), Wiley-VCH VerlagGmbh, Weinheim, Chap.12,345-380.

**Ramzan, S.; Soelberg, J.; Jäger, A.K.; Cantarero-Arévalo, L.**. Traditional medicine among people of Pakistani descent in the capital region of Copenhagen. J. Ethnopharmacol., 196, 267–280. [CrossRef] [PubMed]

**Ravishankar, K.; Kiranmayi, G.V.N.; Appa Reddy, G.V.; Sowjanya, V.V.L.; Baba Sainadh, V.; Lakshmi, V.G.; Prasad, T. (2012)**. Preliminary phytochemical screening and In-vitro antibacterial activity of Cucurbita maxima seed extract. Int. J. Res. Pharm. Chem. 2, 86–91.

**Rehman Salariya .(2005)**. Effect of storage conditions on nutritional quality of UHT processed buffalo milk Journal- Chemical Society of Pakistan 27(1):73-76.

**Ricardo Aarón Chávez Montes.(2006).** « Caractérisation de mutants et transformants d'a -L-arabinofuranosidase chez Arabidopsisthaliana », Thèse Doctorat, Université Toulouse III - Paul Sabatier, France.

**Ridley B.L., O'Neill M., Mohnen D. (2001).** « Pectins: structure, biosynthesis and oligogalacturonide-relatedsignaling », Phytochemistry, , 57, 929-967,

**Riess J., (2012)**.intensification de la brique «fermentation alcoolique »des substrat betteraviers et autre substrats pour la productiond'éthanol. Thèse de doctorat, Université de Toulouse. France ,177pages.

**Rigat, M.; Vallès, J.; Dambrosio, U.; Gras, A.; Iglésias, J.; Garnatje, T(2015)**. Plants withtopical uses in the Ripollès district (Pyrenees, Catalonia, IberianPeninsula): Ethnobotanicalsurvey and pharmacological validation in the literature. J. Ethnopharmacol., 164, 162–179.

**Robinson R.W. and D.S. Decker-Walters.( 1996)**. Cucurbits. CAB International, New York.

**Rodriguez-Carjaval M.A., Du Penhoat C.H., Mazeau K., DocoT., Perez S. (2003).** « The threedimensional structure of mega-oligosaccharide rhamnogalacturonan II monomer : a combined molecular modeling and NMR investigation », Carbohydrate research, 338, 651-671.,

**Rolin,C., Nielsen, B.U. & Glahn, R-E. (1998).** Pectin. Dans : Dumitriu, S.Polysaccharides: Structural Diversity and Functional Versatility (pp.377-431). New York : Marcel Dekker

**Rosa Martha Perez Gutierrez.(2016).**Review of Cucurbitapepo (Pumpkin) itsPhytochemistry andPharmacology.6(1): 012-021.

**Saidi A.(2011)**. La biomasse lignocellulosique et la bioénergie. Bioénergie etenvironnement, no21, pages 4-5.

**Sakai, T., Sakamoto, T., Hallaert, J., Vandamme, E.J. (1993).** Pectin, pectinase and protopectinase: production, properties and applications. Adv. Appl. Microbiol. 39, 213 -294.

**Sanjur, O.I., D.R. Piperno, T.C. Andres and L. Wessel-Beaver. (2002)**. Phylogenetic relationships among domesticated and wild species of Cucurhita (C'ucurbitaceae) inferred from a mitochondrial gene: implications for crop evolution and areas of origin. Proc. Natl. Acad. Sci. USA. 99: 535-540.

**Schols H.A., Bakx E.J., Schipper D., Voragen A.G.J.(1995).**« A xylogalacturonansubunit present in the modifie dhairyregions of apple pectin », Carbohydr. Res., 279, 265-279.

**Sebaoui Ouiza.(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». Doctorat. UniversitéMouloud Mammeri de Tizi Ouzou.

**Serguschenko, I., Kolenchenko, E., Khotimchenko, M. (2007)**. Low esterified pectin accelerates removal of lead ions in rats. Nutrition Research. 27 (10), 633 – 639.

**Shuryo N, (2003)**. Pectins and their Manipulation - Book review - Food ResearchtInternational, 36 (6) : 643.

**Singthonga, J., Cuib, S-W., Ningsanonda, S., Goff, H-D. , (2004) .**« Structural characterization, degree of esterification and some gelling properties of Krueo Ma Noy (Cissampelospareira) pectin », Carbohydrate Polymers, 58, 391-400.

**Sjoberg, A.M. (1987).** The effects of' γ irradiation on the structure of apple pectin. Food Hydrocolloids. 4, 271 - 276.

**Smith BD .(1997).** The initial domestication of Cucurbitapepo in the Americas 10,000 yearsago. Sci 276: 932-934.

**S Ranganne.** (**1995).** Handbook of analysis and quality control for fruits and vegetables products, 92nd Edition, McGraw Hill publishing Ltd., New Delhi, 33-43.

**Steen Hojgaard Christensen,** « Pectins in Food hydrocolloids Vol.III », Martin Glicksman, Chap 09,205-229.

**Sumathraa, M., Govindaraja, D., Jeyarajb, M., Al Arfajc, A., Munusamyc, M.A., SelvarajSuresh K.S., Rajana. M. (2017)**. Sustainable pectin fascinating hydroxyapatite

nanocomposite scaffolds to enhance tissue regeneration Sustainable Chemistry and Pharmacy 5, 46 - 53.

**Talmadge KW, Keegstra K, Bauer WD, Albersheim P. (1973)**. « Structure of plant cell walls. Macromolecular components of the walls of suspension-culture dsycamorecells with a detail edanalysis of the pectic polysaccharides », Plant Physiol., 51(1), 158-173.

**Thakur B.R., Singh R.K. & Handa A.K.(1997).** Chemistry and uses of pectin: a review.Crit. Rev. Food Sci. Nutr., 37(1), 47-73.

**Thibault, J-F. (1980)**. « Les polymères végétaux : polymères pariétaux et alimentaires non azotés », ed. gauthier-Villars, Bordas, Paris, 232-251.

**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.

**Thibault, J.F., Saulnier, L., Axelos, M.A.V., Renard, C.M.G.C. (1991)**. Difficultés expérimentales de l'étude des macromolécules pectiques. Bull. Soc. bot. Fr., 138, Actual. bot. 138, 319 - 337.

**Thibault, J., Renard, C., Axelos, M., Roger, P., & Crepeau, M. (1993).** Studies of the Length of Homogalacturonic Regions in Pectins by Acid-Hydrolysis.

Carbohydrate Research, 238, 271-286.

**Thomas J.R., Darvill A.G., Albersheim P.(1989).** « Rhamnogalacturonan I, a pectic polysaccharide thatis a component of monocotcellwalls », Carbohydrate research, , 185, 279-306.

**Tilly G. (2010)**. « Pectines ». Techniques de l'ingénieur 1-11.

**Torkova AA, Lisitskaya KV, FilimonovIS,Glazunova OA, Kachalova GS, Golubev VN,.(2018)**. Physicochemical and functionalpropertiesof Cucurbita maxima pumpkinpectin andcommercial citrus and applepectins: Acomparative evaluation. PLoS ONE 13(9).

**Tropicos.org.Missouri** Botanical Garden. 09 Jan 2014 http://www.tropicos.org/Name/50172465.

**Turakhozhaev, M.T., Khodzhaev, M.A. (1993)**. Plant pectin substances methods of isolating pectin substances Chemistry of Natural Compounds. 29, 558 – 565.

**Vanier P. (2007).** La citrouille au fil du temps, usages culinaires, conservation, jardinage, biologique. Ecologie et environment.

**Vijayakumar, S.; Morvin Yabesh, J.E.; Prabhu, S.; Manikandan, R.; Muralidharan, B. (2015)**. Quantitativeethnomedicinal study of plants used in the Nelliyampathy hills of Kerala, India. J. Ethnopharmacol., 161, 238–254. [CrossRef] [PubMed].

**Vincken J.P., Schols H.A., Oomen R.J.F.J., Mc Cann M., Uluskov P., Voragen A.G.J. & Visser R.G.F. (2003)**. If homogalaturonan were a side chain of rhamnogalacturonan I .implications for cell wall architecture. Plant Physiol., 132 (4), 1781-1789.

**V.O. Aina , Mustapha M. Barau, O.A. Mamman, Amina Zakari, HauwaHaruna, M.S. Hauwa Umar and Yagana Baba Abba.(2012)**. Extraction and Characterization of PectinfromPeels of Lemon (Citrus limon). British Journal of Pharmacology and Toxicology 3(6): 259-262, 2012.

**VolleF.**,Lesbiocarburants
http://www.iutsd.univparis13.friutsd/images/Developpement_durable/FVOLLEBiocarburants le11/ 04/2017.

**Voragen, A.G.J., Pilnik, W., Thibeault, J.-F., Axelos, M.A.V. & Renard, C.M.G.C. (1995)**. Pectins. Dans : A.M. Stephen, Food Polysaccharides and their Applications (pp.287-339). New York : Marcel Dekker, Inc.

**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.

**Walter R. H. (1991).** « The chemistry and technology of pectin »,AcademicPress, San Diego,276 p.

**Wang, S., Chen, F., Wu, J., Wang , Z., Liao , X., Hu , X. (2007)**. Optimization of pectin Extraction assisted by microwavefromapplepomaceusingresponse surface methodology, Journal of Food Engineering. 78, 693 – 700.

**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.

**Wichtl M. et Anton R. (2003)**. Plantes thérapeutiques. EMI/Tec & Doc, Paris, pp: 163–165.

**Wicker L., Ackerley J.L. & Hunter J.L., (2003).** Modification of pectin bypectinmethylesterase and the role in stability of juice beverages. Food Hydrocolloids, 17 (6) : 809–814.

**Whitaker, T.W. (1981)**. Archaeological cucurbits. Econ. Bot. 35(4): 460-466.

www.tresorsdechefs.com.

**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.

**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.

**Yoo SH, Lee BH, Lee H, Lee S, Bae IY, Lee HG, Fishman ML, Chau HK, Savary BJ, Hotchkiss AT Jr J Food Sci. (2012).** Structural characteristics of pumpkin pectin extracted by microwave heating; 77(11):C1169-73.

**York W.S., O'Neill M., Gluska J., Darvill A.G. (2000).** « Structural characterization of pectic polysaccharide rhamnogalacturonan: evidence for the backbone location of acericacid-containingoligoglycosylsidechain», Carbohydr. Res., 326, 277-294.

**Younis Y.M.H.,Ghirmay S.,et Al-Shihry S.S. (2000)** . African Cucurbita pepo L. properties of seed and variability in fatty acid composition of seed oil. Phytochemistry, pp : 71–75.

**Zam, W., Bashour, G., Abdelwahed, W., Khayata. W. (2013)**. Formulationand in-vitro release of pomegranate peels' polyphénols microbeads. International Journal of Pharmaceutical Sciences and Research. 4 (9), 3536 - 3540.

**Zandleven J, Sorensen SO, Harholt J, Beldman G, Schols HA, Scheller HV, Voragen AJ, .(2007).** « Xylogalacturonanexists in cell walls fromvarious t.issues of Arabidopsisthaliana », Phytochemistry., 68(8), 1219-1226.