

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université A. MIRA – Béjaïa

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie
Département Des Sciences Alimentaires
Spécialité : Science Des Corps Gras



Réf :

Mémoire de Fin de Cycle
En vue de l'obtention du diplôme

MASTER
Thème

**Quantification des composés phénoliques totaux des extraits de l'écorce
de *Citrus x paradisi* par deux méthodes comparatives: Micro-ondes et
bain Marie**

Présenté par : **KHELOUFI Faiza & KICHER Souad**

Soutenu le : **02 septembre 2020**

Devant le jury composé de :

Mme BRAHMI Fatiha	MCA	présidente
Mme BOULKBACHE Lila	Professeur	Promotrice
Mme BRAHMI Nabila	MCB	Examinatrice
Mme BOUDRAA Ghania	Doctorante	Invitée

Année universitaire : 2019 / 2020

Remerciements

Nous remercions tout d'abord Dieu le tout puissant de nous avoir données la santé, la patience, la puissance et la volonté pour réaliser ce mémoire. Nous adressons, notre profonde gratitude et tout notre amour à nos parents, nos sœurs et frères, qui ont su nous faire confiance et nous soutenir en toutes circonstances,

*Nous tenons particulièrement à remercier notre promotrice, **Mme Boulekbache Lila**, Professeur à l'université de Bejaia, département -des sciences alimentaires- pour avoir accepté la charge d'être rapporteuse de ce mémoire, nous la remercions pour sa disponibilité, ses pertinents conseils sa patience et pour les efforts qu'elle a consentie durant la réalisation de ce mémoire. Qu'elle trouve ici l'expression de notre reconnaissance et de notre respect.*

On remercie sincèrement les membres du jury :

Mme Brahmi Fatiha pour nous avoir fait l'honneur de présider le jury. Mme Brahmi Nabila pour nous avoir fait l'honneur d'examiner notre mémoire.

*Nous voudrions remercier **Mme Boudraa Ghania**, nous ne saurons jamais la remercier assez pour son aide, sa disponibilité, son soutien et sa sympathie.*

Ainsi qu'à tous nos proches amis qui nous ont toujours soutenus et encouragés même dans les périodes les plus difficiles

« Merci »

Faiza & Souad

Dédicace

Je dédie ce modeste travail

A mes très chers parents, sans eux je n'est pas pu être ce que je suis, en reconnaissance de leurs efforts, leurs amours et leurs encouragements Durant mon cursus

Que dieu les protèges et les gardes en bonne santé A mon chère frère Amine

A mes sœurs Meriem et Djamila A mon grand père que dieu le protège

A toute ma famille, mes tantes, mes oncles, mes cousins et mes cousines A tous mes amis en particulier sabrina, aida, rafik et aimad

A ma binôme faiza dont j'ai découvert les qualités. Je te remercie d'avoir rendu ce travail agréable

Ainsi que toute la promotion SCG 2020

Et à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce Mémoire.

Souad



Dédicace

C'est avec un très grand honneur que je dédie ce modeste travail aux deux personnes qui se sont sacrifiées pour que je grandisse avec un savoir faire et qui m'ont appris à ne jamais baissé les bras et qui ont fais de moi ce que je suis aujourd'hui sans lesquels je n'y serais jamais parvenue et qui je ne remercierai jamais assez :

Mes très chers parents

Je dédie aussi ce Modeste réalisation à Mes très chères frères :

Kouceila & Badis pour ses soutiens et leur encouragement

Mon mari Nabil, avec qui je continuerai ma vie avec plein de bonheur inchallah.

Merci pour ta disponibilité toujours à mes cotés et tous ce que tu fais pour moi.

A tous les membres de ma famille, petits et grands.

A ma chère binôme souad que j'aime.

Mes amies que j'ai vécu avec elles des beaux moments au cours de mon cursus à l'université.

Faiza



Table des matières

Remerciements

Dédicaces

Liste des abréviations

Liste des tableaux

Liste des figures

Introduction.....1

Synthèse bibliographique

Chapitre I : Les composés phénoliques

I.1. Généralités	3
I.2. Biosynthèse.....	4
I.3. Classe des polyphénols	5
I.3.1. Flavonoïdes	6
I.3.2. Les anthocyanes	9
I.3.3 Les tannins	9
I.3.3.1. Tanins hydrolysables	9
I.3.3.2.Tanins condensés	10
I.3.4 Phénols simples et les acides phénoliques	11
I.3.4.1 Phénols simples.....	11
I.3.4.2 Acide phénolique	11
I.3.5. Coumarines	12
I.3.6. Quinones	12
I.3.7. Stilbènes C6-C2-C6	12
I.3.8. Lignanes.....	13
I.4. Propriétés biologiques des composés phénoliques	13

Chapitre II : Le pomélo

II. Généralités sur le pomélo	15
II.1. Histoire du pomélo	15
II .2. Caractéristique du pomélo	15
II.3. Production du pomélo.....	16
II.4. Taxonomie du <i>Citrus paradisi</i>	17
II.5. Les caractères botaniques	18
II.6. Composition chimique du pomélo.....	18
II.7. Autres composés.....	21

Partie expérimentale

Chapitre I matériel et méthodes

I.1. Préparation du matériel végétal	23
I.1.1. Echantillonnage.....	23
I.1.2. Séchage	23
I. 1.3. Broyage.....	24
I. 1.4. Tamisage.....	24
I.2. Extraction des composés phénoliques	24
I.2.1. Extraction par micro-ondes.....	25
I.2.2 Bain marie.....	25
I.3. Dosage des composés phénoliques	26
I. 3.1. Dosage des polyphénols totaux.....	26
I.3.2. Dosage des flavonoïdes.....	27
I.3.3.Dosage des tannins.....	29
I.3.3.1.Tanins condensés	29
I. 3.3.2.Tanins hydrolysables	29
I.4. Analyse statistique	30

Chapitre II : Résultats et discussion

II. 1. Teneur en composés phénoliques totaux	31
II. 2. Teneur en flavonoides	32
II.3. Teneur en tanins.....	34
Conclusion.....	36

Références bibliographiques

Annexes

Liste des abréviations

Initiales	Signification
ABS	Absorbance
BM	Bain marie
CL	Limonoïdes citriques
COA	CoenzymeA
C4H	Cinnmate 4-hydroxylase
Da	Dalton
EqAG	Equivalent Acide Gallique
EqAT	Equivalent Acide Tannique
EqCAT	Equivalent Catéchine
EqQ	Equivalent quercétine
EXT	Extrais
ha	hectare
MF	Matière fraiche
MO	Micro-onde
MS	Matière Sèche
PAL	phénylalanine ammonia-lyase
PTS	Phénols Totaux Solubles
TCA	Acide Trichloracétique

Liste des tableaux

Tableau I : Structure des squelettes des polyphénols.....	06
Tableau II: Les six premiers pays producteurs du pomélo	17
Tableau III: Caractères botaniques différentiel du pomelo.....	18
Tableau IV: Composition en macronutriment et micronutriment du pomélo (valeur pour 100 g de pulpe).....	22

Liste des figures

Figure 1: Structure chimique du phénol.....	3
Figure 2: Biosynthèse des composés phénoliques le plus largement distribués par la voie du shikimate.....	5
Figure 3: Squelettes de base des flavonoïdes.....	7
Figure 4: Structures chimiques de quelques flavonoïdes.....	7
Figure 5: Structure des anthocyanosides.....	9
Figure 6: Structure chimique des acides gallique (A) et ellagique (B).....	10
Figure 7: Les molécules monomères des tanins condensés.....	11
Figure 8: Exemple d'acide phénolique.....	12
Figure 9: Structure chimique de Stilbène.....	13
Figure 10: Arbre de <i>Citrus paradisi</i>	16
Figure 11: Production mondiale du pomélo (2013-2014).....	16
Figure 12: Structure chimique de la naringinine.....	19
Figure 13: Structure chimique de l'héspéridine.....	19
Figure 14: Structure chimique des limonoïdes.....	20
Figure 15: Structure chimique de la vitamine C.....	21
Figure 16: (A). Photographie du matériel végétal utilisé, (B). Coupe transversale de <i>Citrus x paradisi</i>	23
Figure 17: Photographie des échantillons dans l'étuve.....	24
Figure 18: Photographie du tamiseur.....	24
Figure 19: Protocole d'extraction des composées phénoliques par micro-ondes.....	25
Figure 20: Protocole d'extraction des composées phénoliques par Bain marie.....	26
Figure 21: Dosage des polyphénols totaux solubles.....	27
Figure 22: Mécanisme de réaction du chlorure d'aluminium avec les flavonoïdes.....	28
Figure 23: Protocole de dosage des flavonoïdes.....	28
Figure 24: Protocole de dosage des tanins condensés.....	29
Figure 25: Protocole de dosage des tanins hydrolysables.....	30
Figure 26: Teneur en polyphénol totaux des extraits obtenus par MO et BM.....	31
Figure 27: Courbe d'étalonnage réalisée pour le dosage des polyphénols totaux de l'acide gallique.....	32
Figure 28: Teneur en flavonoïdes pour les deux méthodes d'extraction.....	32
Figure 29: Courbe d'étalonnage réalisée pour le dosage des flavonoïdes de la quercétine.....	33
Figure 30: Teneur en tanins : (A) tanins hydrolysables ; (B) tanins condensés.....	34
Figure 31: Courbe d'étalonnage réalisée pour le dosage des tanins : (A) tanins hydrolysables et (B) tanins condensés.....	35

INTRODUCTION

Introduction

La plupart des espèces végétales qui poussent dans le monde entier possèdent des vertus thérapeutiques, qui agissent directement sur l'organisme (**Khouchlaa et al., 2017**). Les plantes utilisées en médecine traditionnelle ont été étudiées pour leurs activités biologiques et leurs métabolites secondaires utilisés comme principe actifs ou comme modèle chimique pour la synthèse et la semi synthèse des médicaments (**Ventrella et Marinho, 2008**).

Les polyphénols sont des métabolites secondaires que les plantes produisent pour se protéger contre les agressions externes à savoir la résistance aux micro-organismes et aux insectes (**Tsao, 2010**), ils contribuent aussi à la pigmentation ainsi qu'aux caractéristiques organoleptiques (odeur et saveur) des fruits et légumes (**Visioli et al., 2000**). Il a été démontré que les polyphénols alimentaires jouent un rôle important dans la santé humaine car ils présentent diverses propriétés bioactives telles que les activités antimicrobienne, antioxydante, anticancéreuse, anti-inflammatoire, antimutagène et antiallergique (**Balwinder et al., 2020**).

Les agrumes sont les fruits les plus consommés dans le monde entier à cause de leur valeur nutritionnelle et de leurs bienfaits sur la santé (**Starli et Karimi., 2018**). Ils appartiennent à la famille des *Rutaceae* et sont considérés comme l'une des plus grandes espèces végétales des régions tropicales, subtropicales et tempérées. Différentes variétés et hybrides d'agrumes ont été produites suite aux divers croisements génétiques (**Balwinder et al., 2020**). La production mondiale des agrumes se situe autour de 122 million de tonnes en 2010 (**Loillet, 2010**). En Algérie 55,000 hectare (ha) de superficie sont productives en 2011 dont 56% se situent au centre de pays (**Houaoura,2013**).

Le pomélo nommé *Citrus paradisi* est un agrume de la famille des rutacées, c'est un hybride naturel de *Citrus maxima* « le pamplemoussier » et de *Citrus sinensis*, « l'oranger » (**Franchomme et al., 2001**). Il est originaire d'Asie et cultivé principalement en Chine, Thaïlande, Malaisie, Vietnam, Indonésie et dans le sud du Japon. Le pomélo a une valeur nutritionnelle élevée, car il contient de la vitamine C et une variété de substances bioactives tels que les composés phénoliques (**Zaizhi et al., 2016**).

Les déchets agro-industriels sont riches en composés phénoliques, qui sont largement étudiés en raison de leurs propriétés biologiques (**Castro-Vargas et al., 2019; Shahidi et al., 2019**). Actuellement, l'exploitation de ces déchets et l'utilisation d'extraits végétaux riches en antioxydants comme additifs alimentaires et /ou nutraceutiques

Introduction

présentent des intérêt croissants (**Guemghar et al., 2020**). En effet, les déchets d'origine végétale contiennent souvent des substances naturelles qui sont bénéfiques pour la santé comparées aux antioxydants de synthèse (**Yu et al., 2017**). D'autre part, les effets bénéfiques de l'écorce des agrumes contre certaines maladies dégénératives (les maladies coronariennes) en tant qu'agents anti-inflammatoire et anti- carcinogène ont également été rapportés (**Tripoli et al., 2007**).

Les composés extraits de ces déchets pourraient ajouter de la valeur à l'industrie de transformation des agrumes lorsque qu'ils sont extraits de manière efficace, et en appliquant des technologies d'extraction innovantes. De ce fait, le choix de la méthode d'extraction est important pour conserver leurs propriétés biologiques. D'autre part, la préparation des échantillons ainsi que le traitement des composés bioactifs à partir de matières végétales a été examinée par de nombreux chercheurs (**Chumnanpaisont et al., 2014; Fernández-Agulló et al., 2014; Oudjedi et al., 2019**).

L'objectif de ce travail est la quantification des composés phénoliques contenus dans la poudre de l'écorce de pomélo après leur extraction par deux méthodes différentes, micro-ondes et bain marie, pour leur éventuelle utilisation dans l'industrie des corps gras.

Pour présenter ce modeste travail nous avons structuré le document comme suit: (1) Une introduction générale, (2) Une partie bibliographique subdivisée en deux chapitres, et (3) une partie pratique répartie classiquement en deux chapitres dont le premier est relatif aux matériels et méthodes, et le deuxième chapitre dans lequel sont illustrés les résultats des dosages des composés phénoliques après leur extraction par les deux méthodes citées ci-dessus. Dans ce chapitre sont aussi discutés les résultats après leur comparaison avec ceux trouvés dans la documentation disponibles sur les banques de données qui nous sont accessibles. (4) et comme tout travail pratique une conclusion est donnée à la fin du document.

SYNTHÈSE
BIBLIOGRAPHIQUE

CHAPITRE I
LES COMPOSÉS
PHÉNOLIQUES

Chapitre I : Les composés phénoliques

I. 1. Généralités

Les polyphénols, dénommés aussi composés phénoliques, sont des molécules spécifiques du règne végétale (**Mompon et al ., 1996**), qui sont parmi les groupes chimiques de métabolites secondaires des plantes (**Macheix et al ., 2005**). Ils constituent le groupe de métabolites le plus large et le plus répandu du règne végétal et font partie intégrante de l'alimentation humaine et animale (**Martin et Andriantsitohaina., 2002**).

Cette appellation générique désigne un vaste ensemble de substances aux structures variées qu'il est difficile de définir facilement (**Mompon et al ., 1996**). Il regroupe plus de 8000 molécules divisées en une dizaine de classes chimiques, qui présentent toutes un point commun qui est la présence dans leur structure d'au moins un cycle aromatique à 6 carbones, lui-même porteur d'un nombre variable de fonctions hydroxyles (OH) (**Hennebelle et al., 2004**). (**Figure 1**).

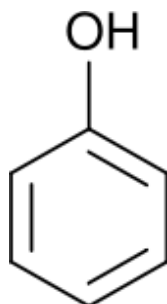


Figure 1: Structure chimique du phénol
(**Sobiesiak, 2017**)

Les polyphénols se répartissent dans différentes familles, selon leurs caractéristiques structurales: anthocyanes, coumarines, lignanes, flavonoïdes, tanins, quinones, acides phénols, xanthones et autres phloroglucinols ; ces espèces sont des monomères, des polymères ou des complexes dont la masse moléculaire peut atteindre 9000 Da. Les polyphénols sont présents de façon ubiquitaire au sein des végétaux: les racines, les tiges, les fleurs, et les feuilles (**Middleton et al., 2000**). Parmi les végétaux qui les contiennent avec abondance: les fruits, les légumes, le thé, le cacao, l'asclépiade (déconseillé sans un contrôle médical stricte), églantier et son fruit (cynorrhodons), souchet et carambole... (**Paul keirn, 2010 ; Manach et al., 2004**). Il est important de

savoir que les fruits et les légumes contribuent environ de moitié à notre apport en polyphénols (**Middleton et al., 2000**). En effet, les fruits comme les raisins, la pomme, la poire, les cerises et les baies contiennent jusqu'à 200 à 300 mg de polyphénols pour 100 g de poids frais. Les produits fabriqués à partir de ces fruits contiennent également des polyphénols en quantités importantes. (**Srivastava et Mishra, 2015**).

Les composés phénoliques sont importants pour la physiologie végétale, contribuant à la résistance aux micro-organismes et aux insectes. Il est à noter que les fruits et les légumes sont riches en antioxydants, qui leur permettent de préserver leur intégrité en raison de leur exposition continue aux stress environnementaux, y compris les rayons ultraviolets et les températures relativement élevées (**Visioli et al., 2000**).

I.2. Biosynthèse

Les voies de biosynthèses des composés phénoliques sont maintenant connues dans leurs grandes lignes. La voie de l'acide Shikimique est à l'origine de la formation de la phénylalanine et de la tyrosine et la désamination de ces acides amines conduit aux acides hydroxycinnamiques, dont les esters CoA sont à leur tour à l'origine de la plupart des classes de composés phénoliques **Figure N°2 (Dixon et al., 1995)**.

En outre, de nombreux produits allelochimiques, dans les plantes supérieures sont influencées par divers produits chimiques tels que certains herbicides et régulateurs de croissance (**Dixon et al., 1995**).

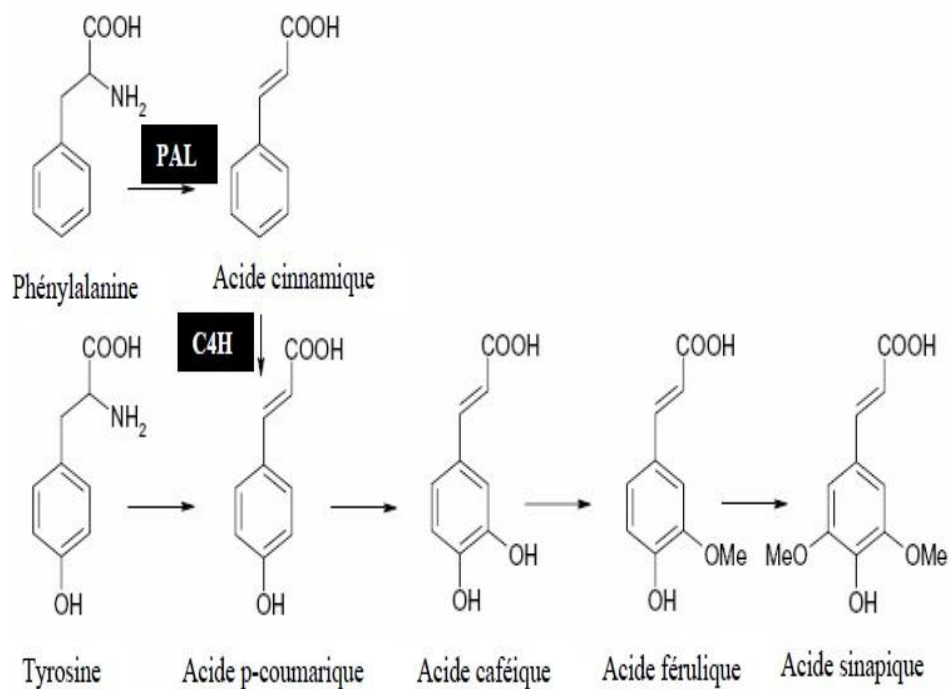


Figure 2: Biosynthèse des composés phénoliques le plus largement distribués par la voie du shikimate

(Crozier *et al.*, 2006)


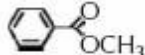
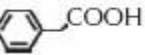

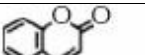
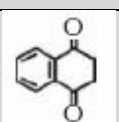
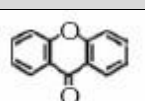
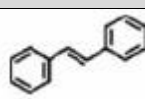
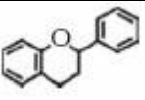
PAL : phénylalanine ammonia-lyase; C4H : cinnamate 4-hydroxylase.

I.3. Classe des polyphénols

Les polyphénols forment un très vaste ensemble de substances chimiques, ils peuvent être classés selon le nombre et l'arrangement de leurs atomes de carbones (**Tableau1**). Ces molécules sont généralement trouvés conjuguées aux sucres et aux acides organiques.

Tableau 1: Structure des squelettes des polyphénols

(Crozier et al., 2006)

Nombre de Carbones	Squelette	Classification	Exemple	Structure de base
7	C ₆ -C ₁	Acide phénols	Acide gallique	
8	C ₆ -C ₂	acétophénonnes	Gallactophénone	
8	C ₆ -C ₂	Acide phénylacétique	Acide <i>p</i> -hydroxyphénylacétique	
9	C ₆ -C ₃	Acide hydroxycyanamique	Acide <i>p</i> -Coumarique	
9	C ₆ -C ₃	Coumarines	Esculitine	
10	C ₆ -C ₄	Naphthoquinones	Juglone	
13	C ₆ -C ₁ -C ₆	Xanthones	Mangiferine	
14	C ₆ -C ₂ -C ₆	Stilbènes	Resveratrol	
15	C ₆ -C ₃ -C ₆	Flavonoïdes	Naringénine	

I.3.1.Flavonoïdes

Les flavonoïdes sont des composés polyphénoliques, presque toujours hydrosolubles et très répandus dans le règne végétal. Ils sont responsables de la coloration des fleurs, des fruits, et parfois des feuilles. Le plus souvent, ils sont sous forme d'hétérosides ou de flavonosides (Bouhadjera, 2005). Les flavonoïdes sont des composés possédant un squelette de base à quinze atomes de carbone, constitués de deux noyaux aromatiques et d'un hétérocycle central de type pyrane, formant une structure C₆-C₃-C₆ (Achat, 2013). (Figure 3).

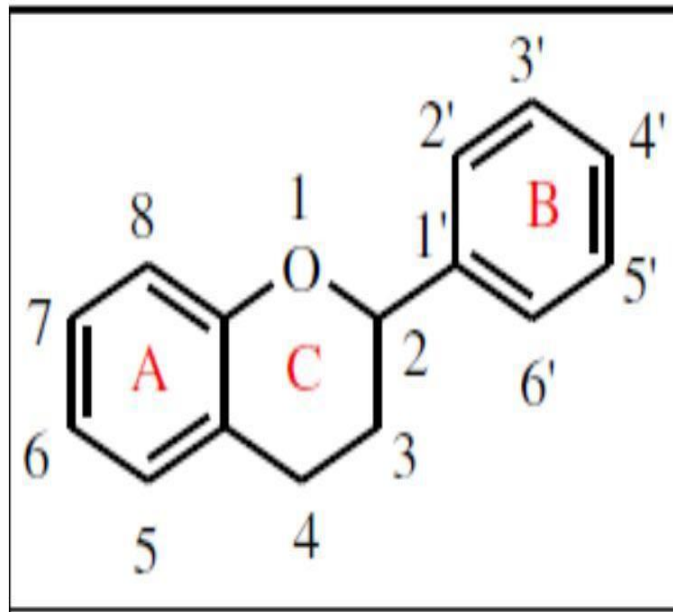
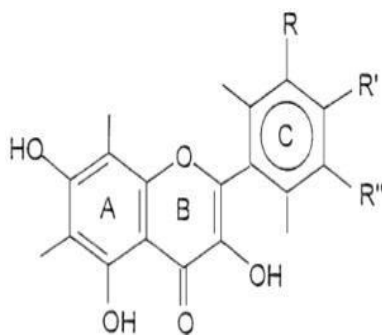


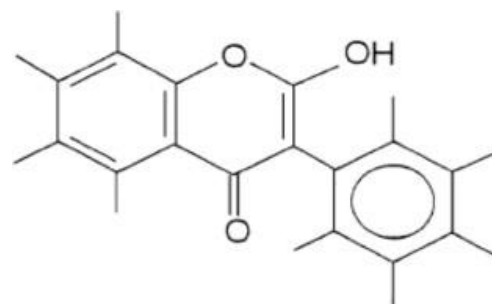
Figure 3: Squelettes de base des flavonoïdes

(Achat, 2013)

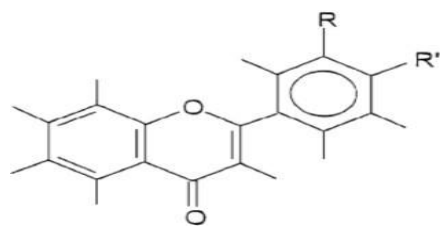
La nature chimique des flavonoïdes dépend de leur classe structurale, de degré d'hydroxylation et de méthylation, de degré de polymérisation, des substitutions et des conjugaisons sur le cycle C c'est-à-dire la présence: de double liaison C2-C3, du groupe 3- O et la fonction 4-oxo (Yao *et al.*, 2004 ; Tsimogiannins et Oreopoulou, 2006). En basant sur leur squelette, les flavonoïdes peuvent être divisés en différentes classes: anthocyanidines; flavonoles; isoflavonoles; flavones; isoflavones; flavanes; isoflavanes; flavanols; isoflavanols; flavanones; isoflavanones; auronnes (Edenharder et Grünhage, 2003) (Figure 4).



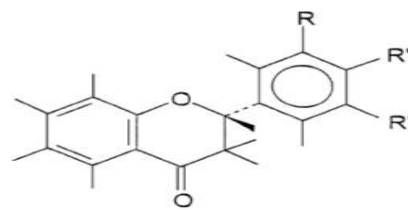
Flavonoles



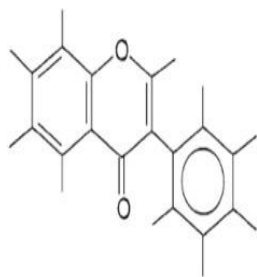
isoflavonoles



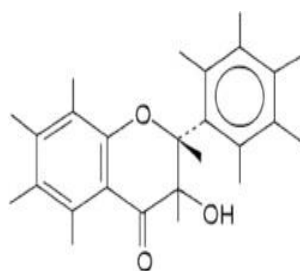
flavones



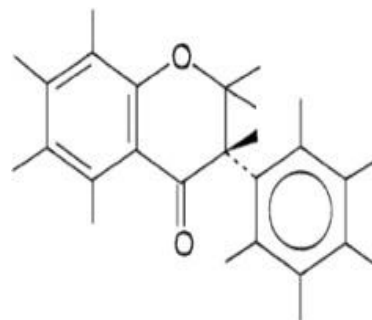
Flavanones



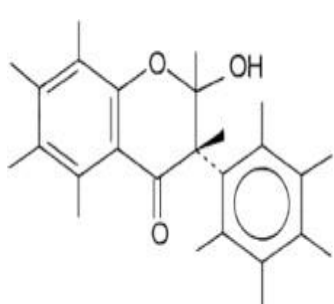
Isoflavones



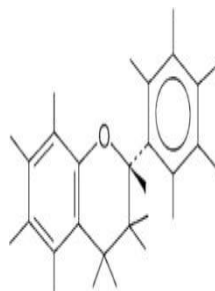
flavanols



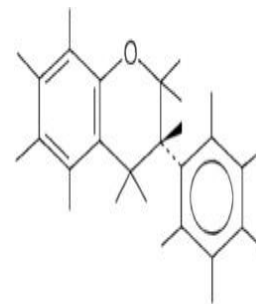
isoflavanones



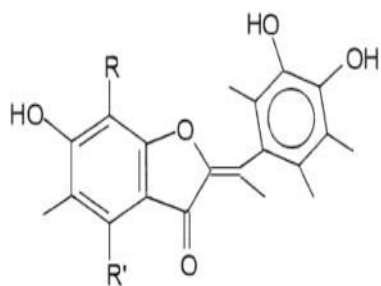
isoflavano



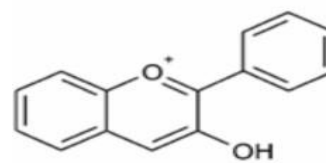
Flavanes



isoflavanes



Aurones



Anthocyanidines

Figure 4: Structures des squelettes de base des flavonoïdes

(Havsteen, 2002)

I.3.2. Les anthocyanes

Les anthocyanes (également appelés anthocyanosides ou anthocyanines) sont issus de l'hydrolyse des anthocyanidines (flavonoïdes proches des flavones) qui sont responsables de la coloration vive, allant du rouge au violet en passant par le bleu, des fruits et des pigments floraux (**Garnero, 2000**). Les anthocyanes constituent un groupe de pigments solubles dans l'eau. Ils sont dissous dans les vacuoles des cellules épidermiques des fleurs et des tissus (**Mazza et al., 1993**). (**Figure 5**).

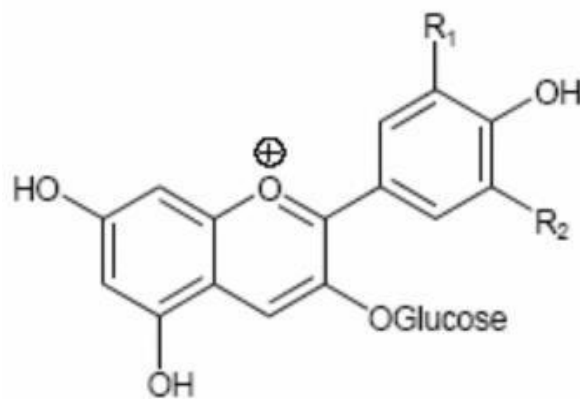


Figure 5: Structure des anthocyanosides.

(**Bahoum, 1997**)

I.3.3. Les tannins

Les tanins sont des polyphénols polaires de haut poids moléculaire (> 3000 Da) d'origine végétale existant dans presque toutes les parties de la plante: écorce, bois, feuilles, fruits et racines. Il est difficile de les séparer dans un extrait végétal parce que de nombreux isomères avec une base moléculaire très semblable coexistent. Ils sont divisés en 2 groupes :

- Tanins hydrolysables (qui donnent après hydrolyse soit de l'acide gallique, soit de l'acide éllagique);
- Tanins condensés ou catéchiques (constitués de la condensation des dérivés flavane).

Des tanins peuvent également être constitués par condensation d'unités quinone

(**Berthod et al., 1999**).

I.3.3.1 Tanins hydrolysables

Ce sont des esters de glucose et d'acide gallique. Ils sont caractérisés par le fait

qu'ils peuvent être dégradés par l'hydrolyse chimique, ils libèrent alors une partie non phénolique (souvent du glucose) et une partie phénolique qui peut être soit de l'acide gallique, soit un dimère de ce même acide qui est l'acide élлагique (Cowan, 1999). (Figure 6).

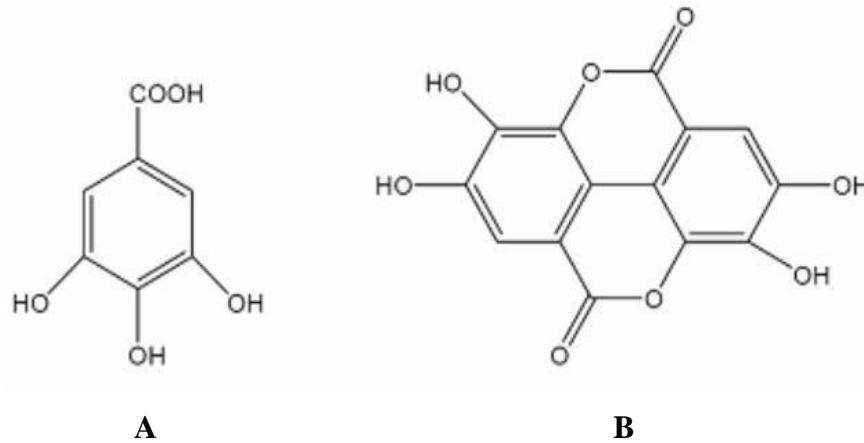


Figure 6: Structure chimique des acides gallique (A) et élлагique (B)

(Cowan, 1999)

I.3.3.2. Tanins condensés

Les oligomères hétérogènes dont la structure est liée aux flavan-3-ols et flavan-3,4-diols, sont nommés les proanthocyanidines ou les tanins condensés. Ils ont plusieurs propriétés communes avec les tanins hydrolysables, telles que la précipitation des protéines en solution aqueuse et l'astringence caractéristique au niveau de la langue. Habituellement, les tanins condensés sont présents dans les tissus épidermiques des plantes, dans les feuilles, l'écorce et le phloème, et en règle générale, ils sont absents dans le bois d'aubier et du cœur. Cependant, il y a plusieurs exceptions, comme c'est le cas des genres *Acacia* et *Schinopsis* dont le bois de cœur sert comme source commerciale de tanins condensés (Figure N°9) (Diouf, 2003).

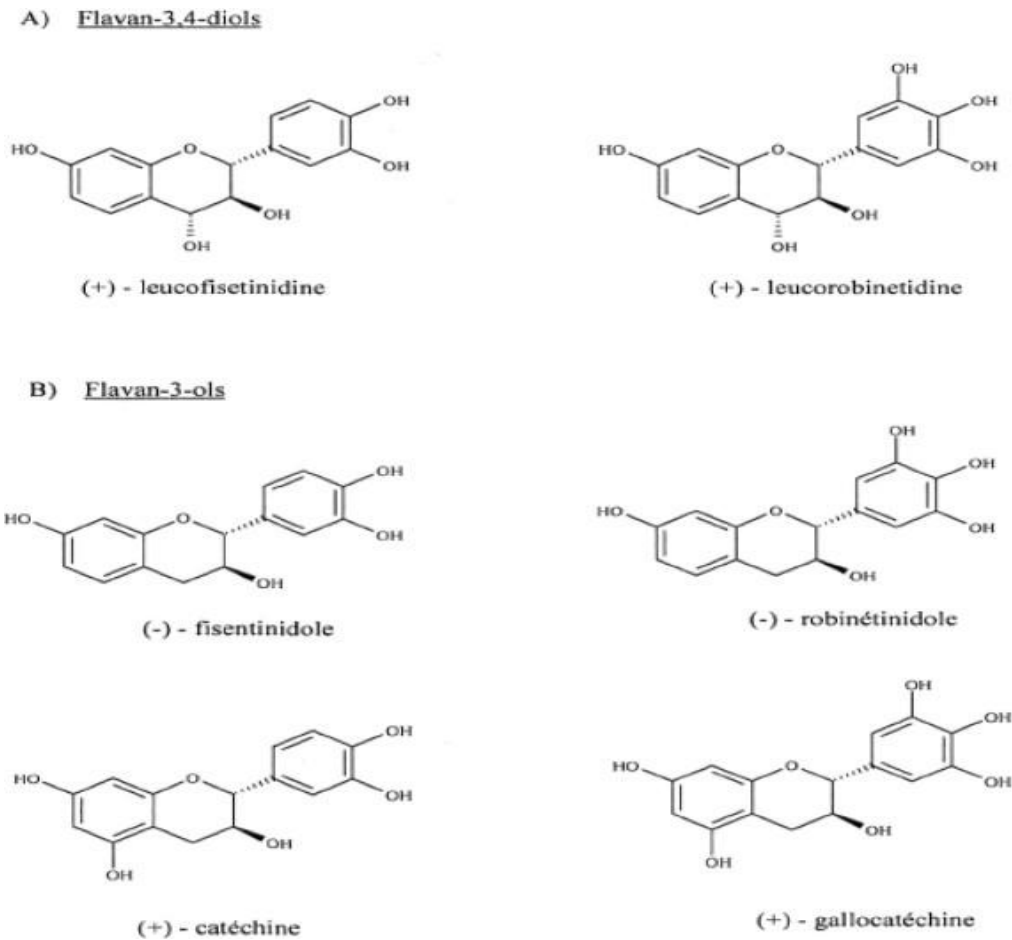


Figure 7: Les molécules monomères des tanins condensés

(Diouf, 2003)

I. 3.4 Phénols simples et les acides phénoliques

I. 3.4.1 Phénols simples

Tels que le catéchol, guaiacol, phloroglucinol... sont plutôt rares dans la nature à l'exception de l'hydroquinone qui existe dans plusieurs familles (Ericaceae, Rosaceae...). Les deux phénols hydroxylés, le catéchol avec deux groupes OH et le pyrogallol avec trois, ont été rapportés pour leur toxicité *vis-à-vis* des microorganismes (Cowan, 1999).

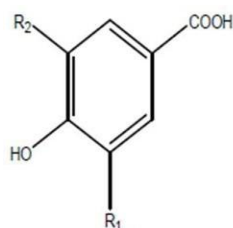
I. 3.4.2 Acide phénolique

Ils appartiennent à deux groupes, les acides hydroxybenzoïques et les acides hydroxycinnamiques.

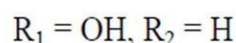
- **Les acides hydroxybenzoïques:** Ils sont les dérivés de l'acide benzoïque et ont une formule de base de type C6-C1 (Kebbab, 2014), dont les plus répandus sont

l'acide salicylique et l'acide gallique (Nkhill, 2009). (Figure 4).

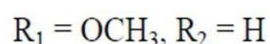
- **Les acides hydroxycinnamiques:** Ils représentent une classe très importante dont la structure de base (C6-C3) dérivée de celle de l'acide cinnamique. Les molécules de base de la série hydroxycinnamique sont l'acide caféique et l'acide férulique (Figure 8) (Kebbab, 2014).



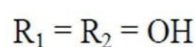
Acide *p*-hydroxybenzoïque



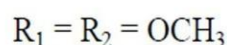
Acide protocatéchi



Acide vanillique



Acide gallique



Acide syringique

Figure 8: Exemple d'acide phénolique

(Kebbab, 2014)

I.3.5. Coumarines

Les coumarines qui sont aussi des dérivés de C6-C3, appartiennent au groupe des composés connus par des benzo- α -pyrone (O'Kennedy et Thornes, 1997), elles sont toutes substituées en 7 par un hydroxyle. Elles se trouvent dans la nature soit à l'état libre ou bien combiné avec des sucres. Elles sont responsables de l'odeur caractéristique du foin (Cowan, 1999).

I.3.6. Quinones

Les quinones sont des noyaux aromatiques avec deux substitutions cétones. Ces composés, étant colorés, sont responsables de la réaction de brunissement dans les fruits et les végétaux coupés ou lésés. En plus de fournir une source de radicaux libres stables, les quinones sont connus pour se complexer de manière irréversible avec les nucléophiles des acides aminés dans les protéines (Arif et al., 2009).

I.3.7. Stilbènes C6-C2-C6

Les stilbènes sont des composés phénoliques contenant au minimum deux noyaux aromatiques reliés par une double liaison formant un système conjugué. Ils sont de type C6- C2-C6 (Figure 9). Ces molécules existent sous leur forme aglycone comme le resvératrol (isomères *trans* et *cis*), qui est le principal stilbène de la vigne, ou encore

sous leur forme glycosylée (picéïdes), ou méthylée (ptérostilbènes). Le resvératrol peut également former des oligomères, tels que les viniférines (**Khater, 2011**).

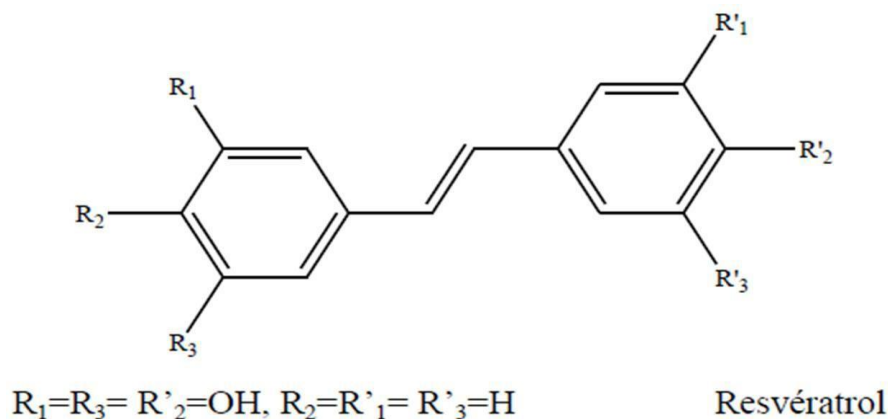


Figure 9: Structure chimique de Stilbène

(**Khater, 2011**)

I.3.8.Lignanes

Les lignanes sont formés par la dimérisation oxydative de deux unités de phénylpropane. La source alimentaire la plus riche est la graine de lin, d'autres céréales (le blé), des fruits (les poires et les prunes) et certains légumes (l'ail, les asperges et les carottes). Les lignanes sont métabolisés par la flore colique libérant de l'entérodiol et de l'entérolactone; ils sont ainsi considérés comme des phytoestrogènes (**Thompson et al., 1991; Adlercreutz et al., 1997**).

I.4. Propriétés biologiques des composés phénoliques

Les composés phénoliques peuvent intervenir dans certains aspects de la physiologie de la plante (lignification, régulation de la croissance, interactions moléculaires avec certains microorganismes symbiotiques ou parasites...), dans les interactions des plantes avec leur environnement biologique et physique (relations avec les bactéries, les champignons, les insectes, résistance aux UV), soit directement dans la nature, soit lors de la conservation après récolte de certains végétaux, dans les critères de qualité (couleur, astringence, amertume, qualités nutritionnelles...) qui orientent les choix de l'homme dans sa consommation des organes végétaux (fruits, légumes, tubercules...), et des produits qui en dérivent par la transformation, dans les variations

de certaines caractéristiques des végétaux lors des traitements technologiques (préparation des jus de fruits, des boissons fermentées...), pendant lesquels apparaissent fréquemment des brunissements enzymatiques qui modifient la qualité du produit fini (**Fleuriet *et al.*, 2005**).

De nombreux travaux démontrent que les polyphénols possèdent des propriétés anti-inflammatoires, et qu'ils sont capables de moduler le fonctionnement du système immunitaire (**Middleton *et al.*, 2000**). Ainsi que des propriétés antioxydants qui participent à la prévention de diverses pathologies impliquant le stress oxydant et le vieillissement cellulaire (**Macheix *et al.*, 2005**). Les plantes ont une capacité intrinsèque à synthétiser des métabolites secondaires dont certains sont des composés aromatiques de types phénols. Ces composés jouent un rôle de protection des plantes contre les invasions microbiennes, et présentent d'autres mécanismes d'action de lutte contre les champignons, bactéries et virus. Ces propriétés antifongiques et antivirales trouvent de nombreuses applications en médecine humaine (**Macheix *et al.*, 2005**).

CHAPITRE II

LE POMÉLO

Chapitre II : Le pomélo

II. Généralités sur le pomélo

II.1. Histoire du pomélo

D'un point de vue purement historique, il est très compliqué de connaître l'origine exacte du pomelo, les différents auteurs ayant indifféremment utilisé les termes de grapefruit et de pamplemousse. Après que le pamplemousse fut amené dans la Barbade par le capitaine Philip Shaddock, en 1649, il semblerait qu'une nouvelle espèce apparut spontanément vers 1750 et se répandit dans les Caraïbes, qui fut appelée "petit shaddock" de par sa taille plus modeste. **(Blaisot cécile., 2016)**

Ce nouveau fruit fut découvert en 1805, lors de la bataille de Trafalgar, lorsque le comte Odet Philippe, chirurgien des armées napoléoniennes, fut fait prisonnier des anglais et conduit dans une île des Bahamas. Passionné de botanique, il recueillit un sac de graines qu'il sema une fois libéré et installé en tant que médecin à Charleston, en Caroline du Sud. Les résultats furent décevants, mais il réitéra l'expérience lorsqu'il s'installa dans la baie de Tampa, en Floride, où le climat fut beaucoup plus adapté à la prolifération de pomelos. C'est ainsi que commença la culture des pomelos, qui couvrent aujourd'hui la Floride. Des cultivars plus résistants au froid permirent ensuite la culture de pomelos au Texas. **(Blaisot cécile., 2016)** .

II .2. Caractéristique du pomélo

Citrus paradisi est un arbre fruitier de la famille des rutacées pouvant mesurer jusqu'à 12 mètres de hauteurs. Il apparait comme un hybride naturel de *Citrus maxima*, le pamplemoussier, et le *Citrus sinensis*, l'oranger. Il possède des feuilles luisantes et persistantes, et des fleurs blanches pouvant être isolées ou en grappe **(Franchomme et al, 2001)**. Son écorce est mince à moyennement épaisse, sa chair tendre et juteuse a jus incolore et comprend plusieurs graines **(Chevaliers ; Chauvet, 1980)** .Ces fruits restent cachés par les feuilles jusqu'à la cueillette qui se déroule du mois de novembre à au mois de mars, leur maturation est conditionnée par une atmosphère chaude ensoleillée et suffisamment humide **(Perrine, 2012)**.



Figure 10: Arbre de *Citrus paradisi*
(Blaisot Cécile, 2016).

II.3. Production du pomélo

- Production mondiale durant 2013-2014

Le pomélo est commercialisé depuis la fin du XIX^e siècle. Il se trouve partout et il est largement consommé frais ou sous forme de jus (Dans la Bulle de Manou, 2013).

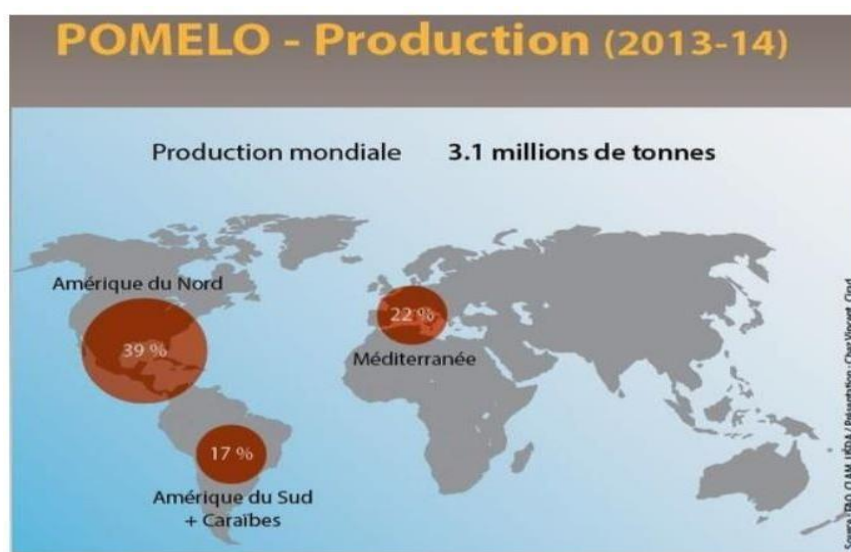


Figure 11: Production mondiale du pomélo (2013-2014)

(FAO, 2015)

- **Pays producteurs durant 2013-2014**

Les états unis est le pays le plus producteurs de pomelo, dans le tableau ci-dessous sont énumérés les cinq autres pays.

**Tableau 2: Les six premiers pays producteurs du pomélo
(FAO, professionnels, 2015)**

Pays	Tonnes
États-Unis	789000
Mexique	425400
Afrique du sud	413300
Israël	22400
Turquie	210000
Soudan	198000

II.4. Taxonomie du *Citrus paradisi*

La classification botanique de pomelo est la suivante (Franchomme et *al*, 2001) :

- Règne : Plantae
- Sous-règne : Tracheobionta
- Division : Magnoliophyta
- Classe : Magnoliopsida
- Sous-classe : Rosidae
- Ordre : Sapindales
- Famille : Rutaceae
- Sous-famille : Aurantioidées
- Genre : Citrus
- Espèce : Citrus paradisi

II.5. Les caractères botaniques

Les caractères botaniques différentiels du pomelo à savoir les caractères principales (pépin, pubescence, quartiers et les poils) **et secondaires** (feuilles, fruits, glandes, écorce, pulpe et pépins) sont définis par Chevalier. (1950).

**Tableau 3: Caractères botaniques différentiel du pomelo
(Chevalier, 1950)**

Caractères principales	
Pépin	Polyembryonné
Pubescence	généralement limité à la nervure de pétiole
Quartiers	toujours fermés
Poils	intimement serrés, pratiquement non séparables
Caractères secondaires	
Feuille	à pétiole moyennement ailé
Fruits	poussant en véritables grappes
Glandes	Une partie des glandes est à surface Concave
Ecorce	moyenne à très mince, assez dense
Fruit	Fruit principalement subsphérique ou aplati
Pulpe	Pulpe fine, bien parfumée, très juteuse, à amertume très marquée, chez certaines variétés
Pépin	Pépin à testa blanc ou crème, lisse

II.6. Composition chimique du pomélo

Le fruit du pomélo est connu par sa richesse en citroflavonoïdes, limonoïdes et en vitamine C.

➤ Citro-flavonoïdes

Sont des polyphénols de la famille des flavonoïdes que l'on trouve spécifiquement dans l'écorce des agrumes (orange, citron, pamplemousse, mandarine, orange amère). Ce sont des pigments neutralisant les radicaux libres. Ils sont antioxydants et améliorent l'absorption de la vitamine C. Les citro-flavonoïdes ont des propriétés anti-inflammatoires et anti tumorales (**Edeas, 2007**). Certains citro-flavonoïdes sont des

composés amers qui contribuent à l'amertume des agrumes et de leur jus (Zhang J, 2007).

La naringinine est le principale citro-flavonoïde qui représente environ 7,2 g/100 g du fruit a maturité. Le fruit immature contient une concentration beaucoup plus élevée de naringinine que de fruit mûr. Elle est retrouvée dans le mésocarpe à un taux de 490 à 4100 mg/100 g et dans les pépins à un taux de 1070 à 2240 mg/100 g (Zhang, 2007). (Figure12).

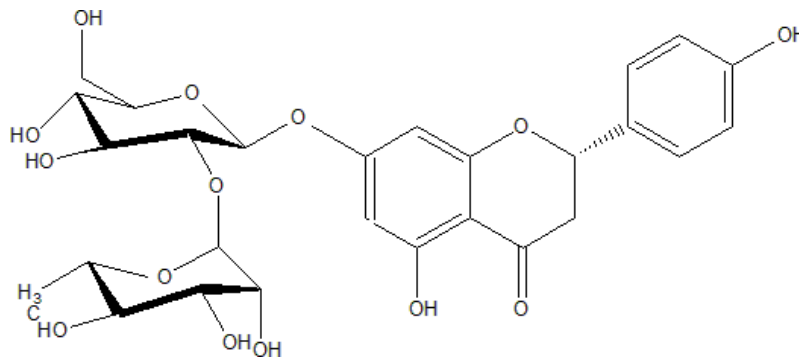


Figure 12: structure chimique de la naringinine

(Priya et al., 2019)

L'hespéridine, autre citro-flavonoïde constitué du groupement rutinosyl (partie osidique) et de l'hespéretine (partie aglycone) est essentiellement présente dans le mésocarpe du pomelo à des concentrations moindre par rapport à la naringinine (0-20 mg/100g). On la retrouve également dans l'épicarpe du pomelo à une concentration de 29,5 mg/100 g (Zhang, 2007 ; Baron et al., 2016).(Figure13).

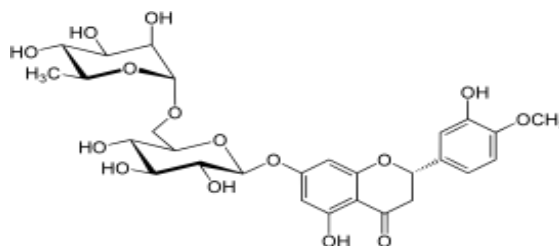


Figure 13: Structure chimique de l'hespéridine

(Belwinder et al., (2020)

➤ Limonoïdes

Sont des composés hautement oxygénés avec une structure prototypique. Leur occurrence dans le règne végétal est principalement confinée aux familles de plantes

comme les Meliaceae et les Rutaceae. Les limonoïdes sont une grande variété d'effets thérapeutiques (Dzoyem et al, 2015). (Figure14).

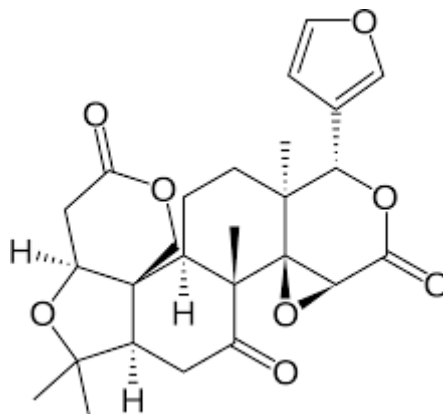


Figure 14: Structure chimique des limonoïdes

(Blaisot,2016)

Limonoïdes citriques (CL)

Sont un groupe de métabolites, de la classe des terpenoïdes, hautement oxygénés présents principalement dans les graines, les fruits et les tissus des agrumes tels que le citron, les limes, les oranges, les pomelos, les pamplemousses, les bergamotes et les mandarines. Représentés par la limonine, les aglycones et les glycosides des CL ont montré de nombreuses activités pharmacologiques, notamment anticancéreuses, antimicrobiennes, anti-oxydantes, antidiabétiques et insecticides, entre autres (Guldanie et al, 2016).

➤ Vitamine C

La vitamine C ou acide L-ascorbique de formule brute $C_6H_8O_6$ est l'un des principaux antioxydants hydrosolubles présents dans les fluides intra- et extracellulaires (compartiments hydrophiles) (Vertuani et al, 2004).

C'est une vitamine hydrosoluble sensible à la chaleur, aux ultraviolets et à l'oxygène. Elle provient essentiellement de l'alimentation (fruits et légumes frais) car elle n'est pas synthétisée par l'organisme humain. Les besoins de l'organisme en vitamine C sont augmentés pendant la croissance, la grossesse, allaitement et chez les malades atteints du diabète (Fain, 2004).

La vitamine C est un antioxydant puissant, elle participe dans des réactions, avec la vitamine E et l'enzyme glutathion peroxydase, à la neutralisation des radicaux libres

(Cheick, 2006). Elle rentre dans les réactions de régénération de la vitamine (Bossokpi, 2002). (Figure15).

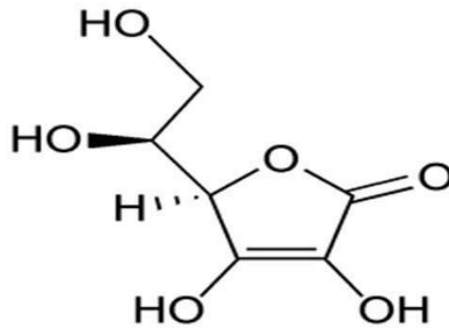


Figure 1: Structure chimique de la vitamine C

(Vertuani *et al.* 2004)

II.7. Autres composés

Le fruit du pomélo a une composition très riches et très variée en différents nutriments qui lui confèrent sa valeur tant nutritionnelle que pharmacologique. Dans le tableau ci-dessous sont illustrés tous les macronutriments et micronutriments contenus dans sa pulpe.

Tableau 4: Compositions en macronutriments et micronutriments du pomélo
(valeur pour 100 g de pulpe)

(Nicole et François, 2013) (Tonelli et Gallouin, 2013)

Composants	Quantités
Eau	90 g
Protide	0,6 g
Lipide	0,15 g
Glucide	7 à 9 g
Fibre	1,5 g
Energie	37 à 42 kcal ou 154 à 175 kj
Caroténoïdes totaux	0,2 mg
Vitamine E	0,3 mg
Vitamine B1	0,05 mg
Vitamine B2	0,025 mg
Vitamine B3	0,025 mg
Vitamine B6	0,04 mg
Vitamine C	40 à 50 mg
Sodium	1,5 mg
Potassium	180 mg
Magnésium	10 mg
Calcium	18 mg
Manganèse	40 mg
Fer	0,3 mg
Cuivre	0,05mg
Zinc	0,10mg
Phosphore	18 mg
Bore	0,15mg

PARTIE

EXPÉRIMENTALE

CHAPITRE I

MATERIEL ET

METHODES

Chapitre I matériel et méthodes

I.1.Préparation du matériel végétal

I.1.1.Echantillonnage

Dans le cadre de notre étude, l'échantillon utilisé (**figure 16**) a été acheté frais au marché local, dans la région de Bejaïa (Algérie), au mois de février 2019.

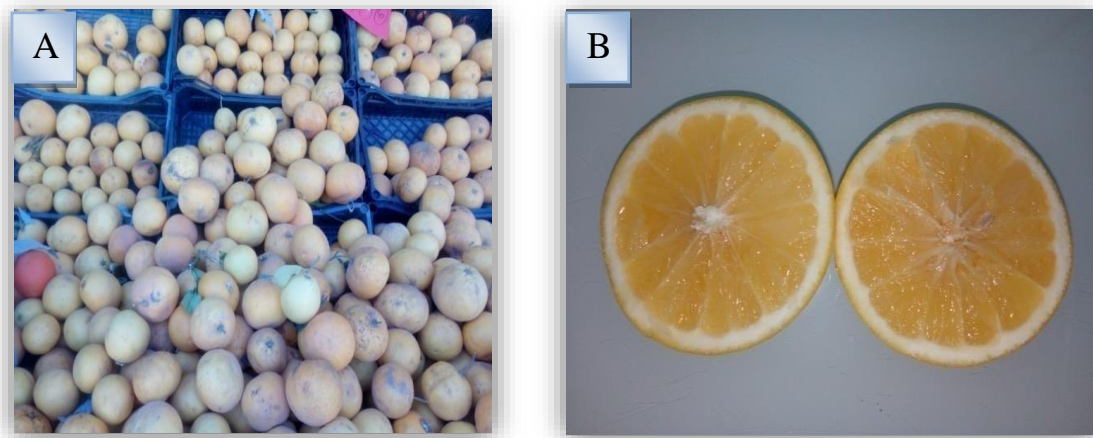


Figure 16: (A). Photographie du matériel végétal utilisé, (B). Coupe transversale de *Citrus x paradisi*

I.1.2.Séchage

Le séchage est un processus dont la chaleur joue un rôle très important dans l'élimination de l'eau des aliments (**Rahman, 2007**). Le séchage à l'étuve est un moyen de déshydratation, qui est plus rapide que le séchage à l'air libre, il réduit le risque de contamination.

➤ Mode opératoire

Une étape primordiale est nécessaire avant de faire le séchage, il s'agit du nettoyage de l'échantillon. Le fruit de pomélo est lavé à l'eau du robinet, nettoyé et essuyé pour le débarrasser de toutes les impuretés, ensuite il est épluché et l'écorce est récupérée. L'échantillon a été séché dans une étuve ventilée à une température de 40°C jusqu'à l'obtention d'un poids stable. (**Figure 17**).



Figure 17: Photographie des échantillons dans l'étuve

I. 1.3. Broyage

Après le séchage, les écorces broyées à l'aide d'un moulin à café électrique afin d'obtenir une poudre fine.

I. 1.4. Tamisage

Les poudres obtenues ont été tamisées à l'aide d'un tamiseur (type **RETSCH**), des particules dont la taille est inférieure à 0,25 mm ont été obtenues, puis conservées dans des bocaux en verre bien fermés impénétrables, étiquetés et stockés à l'abri de la lumière pour les prochaines utilisations.



Figure 14 : Photographie du tamiseur et la poudre

I.2.Extraction des composés phénoliques

Quand une matrice est en contact avec un solvant, les composants solubles migrent vers le solvant ; ainsi, l'extraction est due au transfert de matière du principe

actif de la matrice vers le solvant selon un gradient de concentration (Handa et al ; 2008).

Les méthodes d'extraction par micro-onde et bain marie sont des protocoles qui ont été déjà optimisé.

I.2.1.Extraction par micro-ondes

➤ Principe

Les micro-ondes constituent une méthode efficace de chauffage des matériaux non conductibles. La génération de la chaleur va dépendre des propriétés diélectriques de ces matériaux. Dans la plupart des tissus, l'absorption de l'énergie apportée par les micro-ondes est proportionnelle à leur contenu en eau. Les micro-ondes induisent de la chaleur à l'intérieur des matériaux en excitant les molécules et en les faisant entrer en rotation (Macgrogan., et al 2007).

➤ Mode opératoire

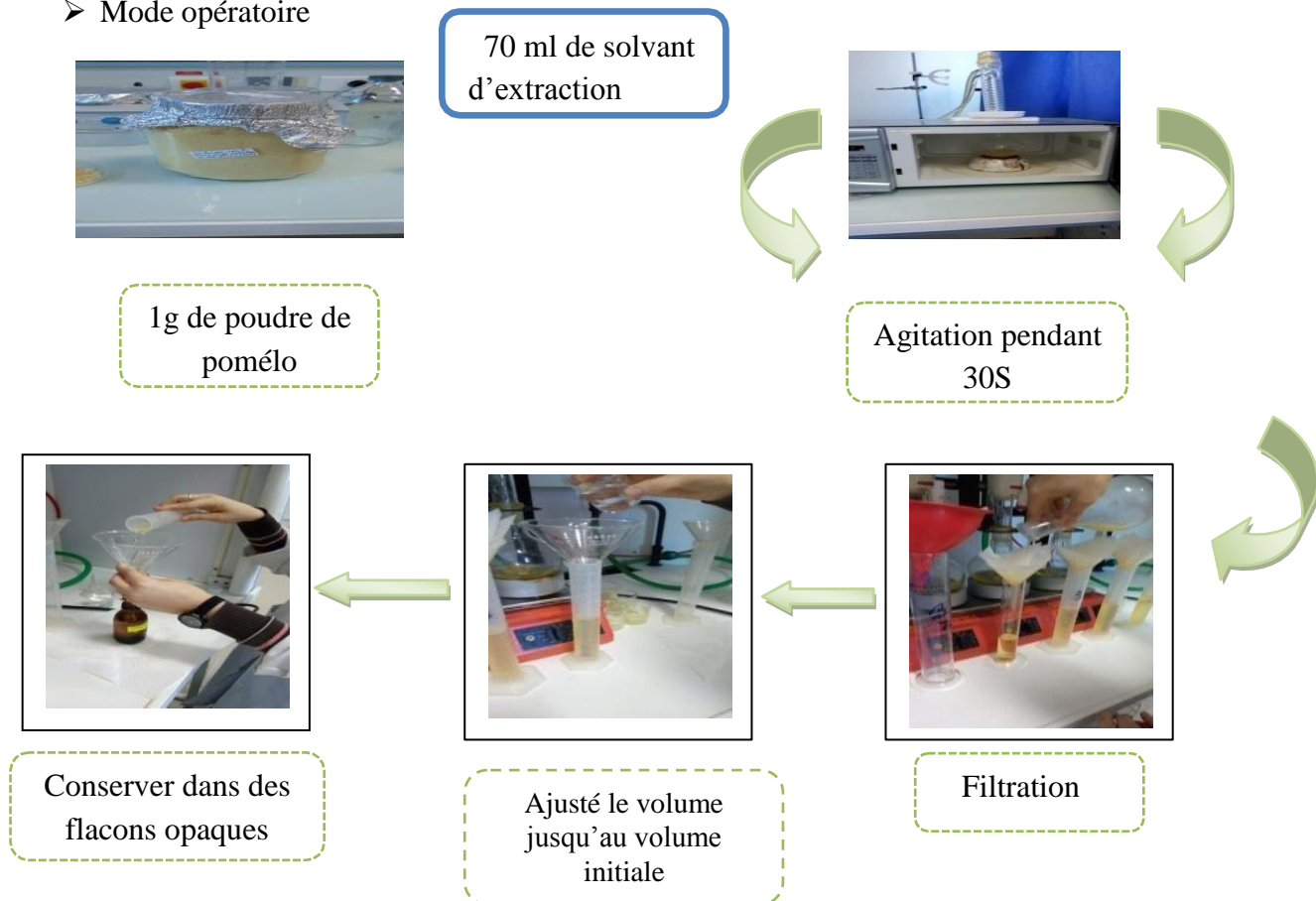


Figure 19: Protocole d'extraction des composés phénoliques par micro-ondes

I.2.2 Bain marie

➤ Principe

La cuve, du bain marie, rempli d'eau qui permet de chauffer de manière douce et régulière les substances contenues dans le récipient qui y est plongé.

➤ Mode opératoire

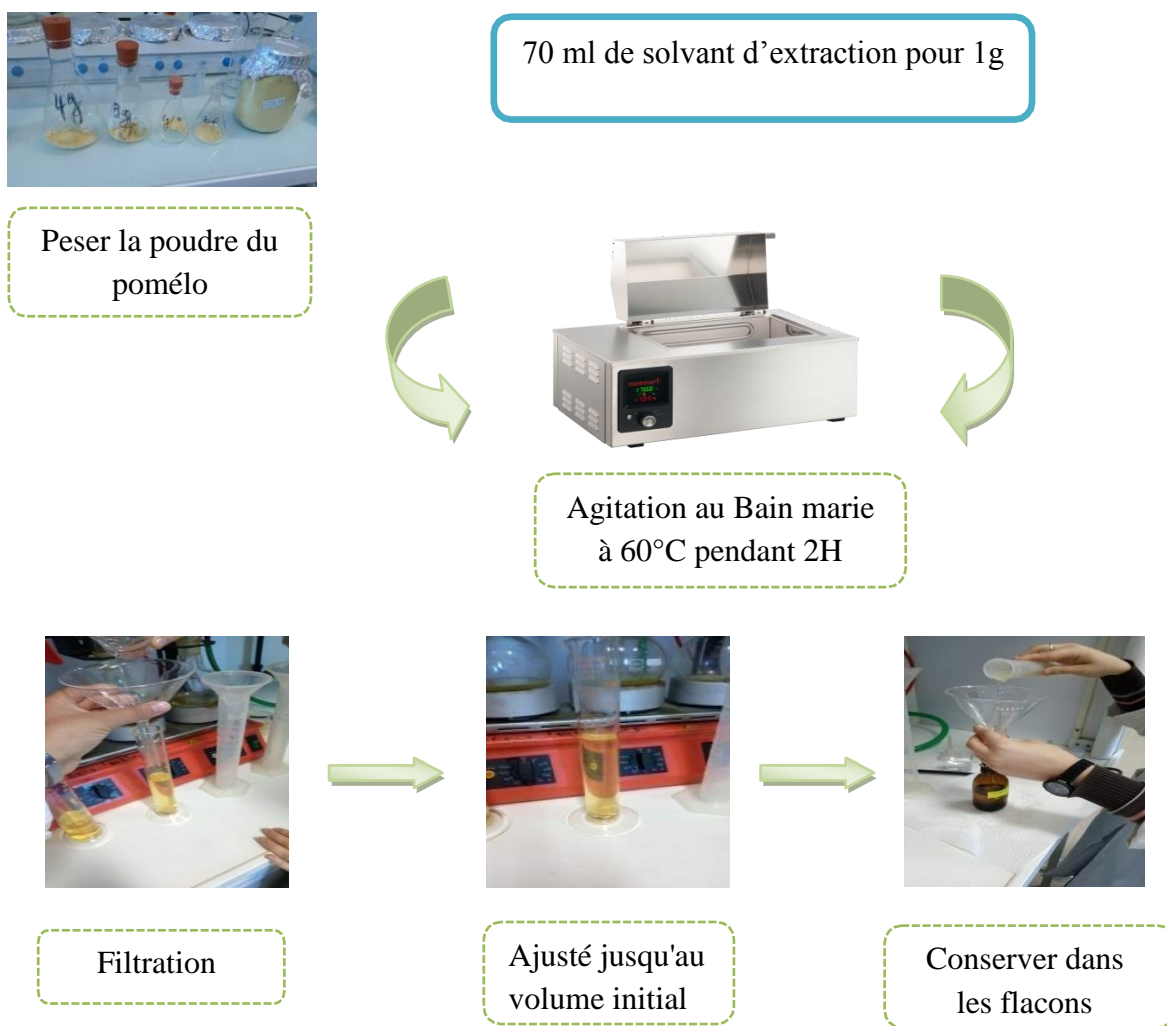


Figure 20: Protocole d'extraction des composés phénoliques par Bain marie

I.3. Dosage des composés phénoliques

Pour quantifier les différentes fractions phénoliques diverses méthodes sont utilisées. Nous avons utilisé la méthode rapportée par **Skerget et al. (2005)** pour déterminer les teneurs en phénols solubles totaux. Pour les flavonoïdes nous avons utilisé la méthode décrite par **Lamaison et Carnet (1990)** citée par **Bahri-Sahloul (2009)**. Pour les tanins hydrolysables et condensés les méthodes utilisées sont celles de **Mole et waterman. (1987)** et **Price et al. (1978)**, respectivement

I. 3.1. Dosage des polyphénols totaux

La teneur en composés phénoliques est estimée selon la méthode de **Skerget et al. (2005)**.

➤ Principe

Le réactif Folin-Ciocalteu's est constitué par un mélange d'acide phosphotungstique ($H_3PW_{12}O_{40}$) et d'acide phosphomolybdique ($H_3PMO_{12}O_{40}$). Il est réduit, lors de l'oxydation des phénols, en un mélange d'oxydes bleus de tungstène (W_8O_{23}) et de molybdène (M_8O_{32}). La coloration bleue est proportionnelle au taux de composés phénoliques présents dans le milieu et donne un maximum d'absorption à 760 nm (**Ribéreau-Gayon et al., 1982**).

➤ Mode opératoire

Le protocole de dosage des polyphénols totaux contenant dans la poudre du pomélo se résume dans la figure ci-dessous :

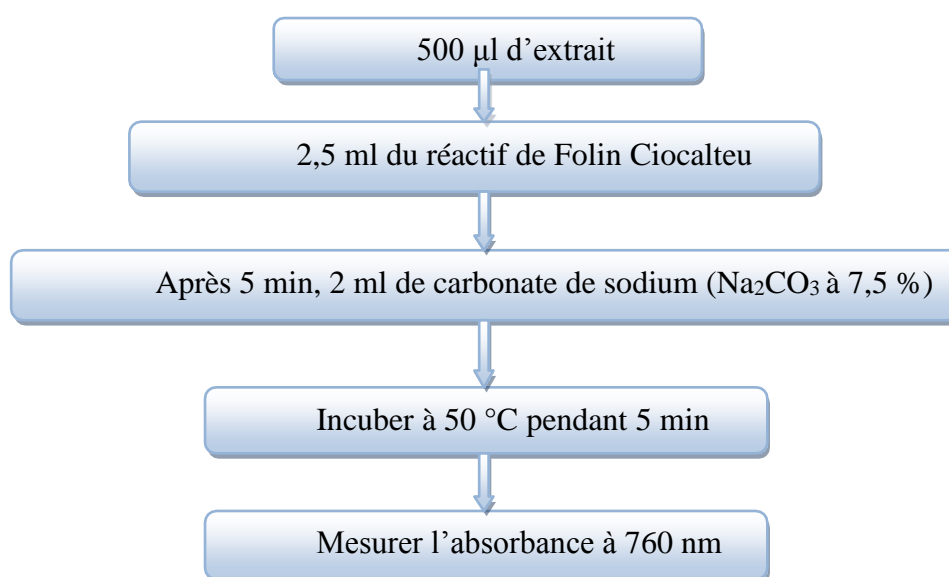


Figure 21: Dosage des polyphénols totaux solubles

(Skerget et al. (2005))

Les concentrations en composés phénoliques sont déterminées par référence à une courbe d'étalonnage obtenue avec de l'acide gallique utilisé comme standard. Les résultats sont exprimés en mg équivalent d'acide gallique (EqAG) par g de matière sèche (mg EqAG/g MS).

I.3.2. Dosage des flavonoïdes

Le contenu en flavonoïdes des différents extraits est estimé par la méthode de **Lamaison et carnet (1990)** cité par **Bahri-Sahloul (2009)**.

➤ Principe

Les flavonoïdes possèdent un groupement hydroxyle (OH) libre, en position 5 qui est susceptible de donner avec le groupement CO en position 4, un complexe coloré avec le chlorure d'aluminium (**fig.22**). Les flavonoïdes forment des complexes jaunâtres par chélation des métaux (fer et aluminium) (**Boulekbache, 2005**). Ceci traduit le fait que le métal (Al) perd deux électrons pour s'unir à deux atomes d'oxygène de la molécule phénolique agissant comme donneur d'électrons (**Ribéreau-Gayon, 1968**). Les teneurs en flavonoïdes sont exprimés en mg équivalent d'acide quercétine (EqQ) par g de matière sèche (mg EqQ/g MS).

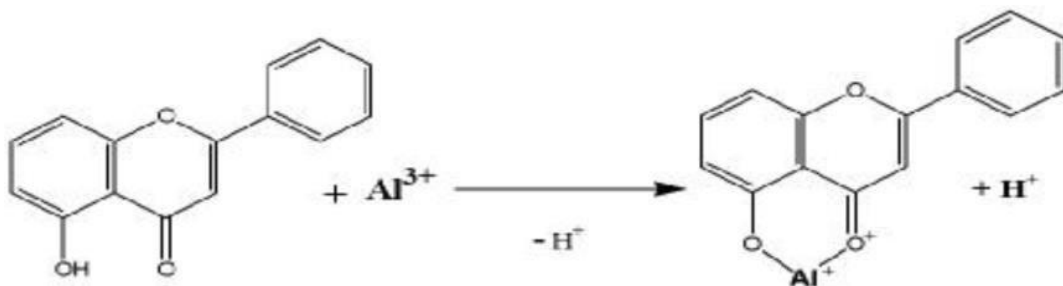


Figure 22: Mécanisme de réaction du chlorure d'aluminium avec les flavonoïdes
(Ribereau-Gayon, 1968)

➤ Mode opératoire

Le schéma ci- dessous résume le protocole de dosage des flavonoïdes contenant dans la poudre du pomélo :

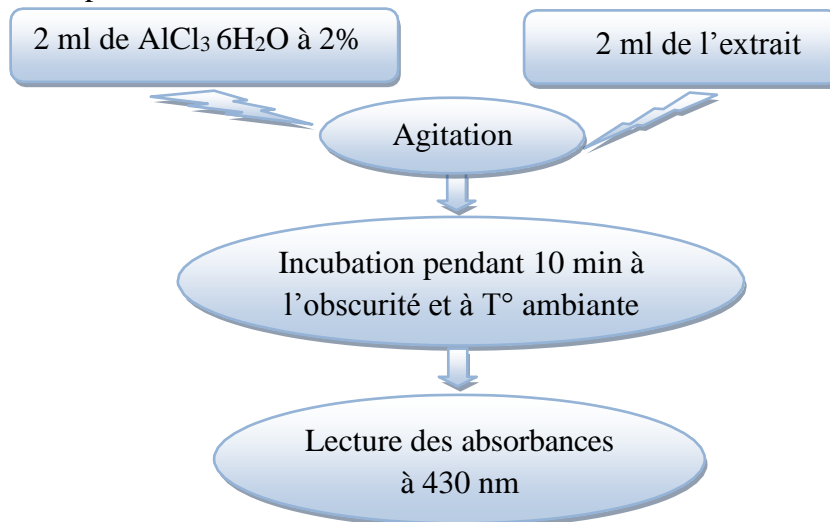


Figure 23: Protocole de dosage des flavonoïdes
(Lamaison et carnet. 1990)

I.3.3. Dosage des tannins

I.3.3.1. Tanins condensés

➤ Principe

Les tanins condensés sont déterminés par la méthode à la vanilline en milieu acide (**Price et al, 1978**). Cette méthode est basée sur la capacité de la vanilline à réagir avec les tanins condensés, en présence d'un acide pour produire un complexe coloré mesuré à 500 nm. La réactivité de la vanilline avec les tanins n'implique que la première unité du polymère. La quantité de tannins est estimée la méthode décrite par **Julkunen-Titto (1985)**.

➤ Mode opératoire

Le protocole de dosage des tanins condensés contenant dans la poudre du pomélo se résume dans le schéma ci-dessous :

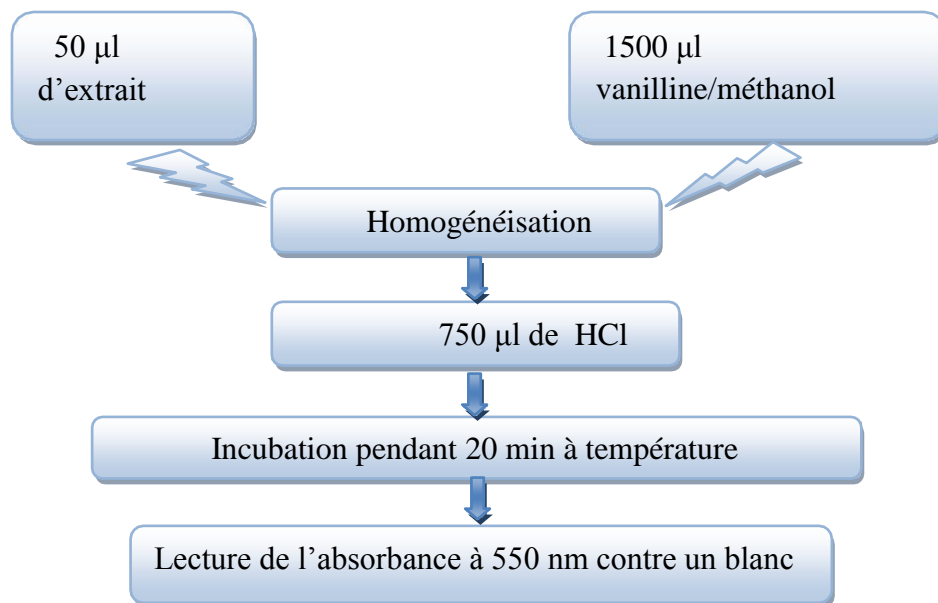


Figure 24: Protocole de dosage des tannins condensés

(Price et al, 1978)

Une courbe d'étalonnage est réalisée en parallèle dans les mêmes conditions opératoires en utilisant la catéchine comme contrôle positif. Les résultats sont exprimés en mg équivalent catéchine (EqC) par g de matière sèche (mg EqC/g MS).

I. 3.3.2. Tanins hydrolysables

➤ Principe

Les tanins hydrolysables réagissent avec le chlorure ferrique et donnent une coloration bleue mesurée par spectrophotométrie (**Mamadou, 2002**).

➤ Mode opératoire

Le protocole de dosage des tanins hydrolysables contenant dans la poudre du pomélo comprend les étapes qui se résument dans le schéma ci-dessous :

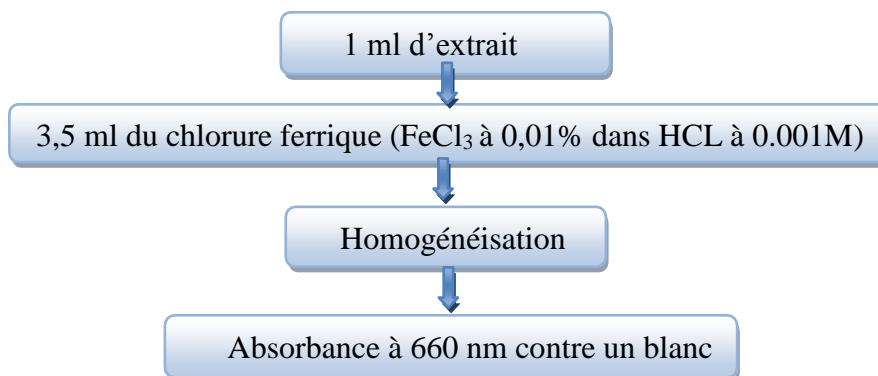


Figure 25: Protocole de dosage des tannins hydrolysables

(Mamadou, 2002)

La teneur en tannins hydrolysables est déterminée par référence à une courbe d'étalonnage obtenue avec de l'acide tannique. Les résultats sont exprimés en mg équivalent d'acide tannique/g de matière sèche (mg Eq AT/g MS).

I.4. Analyse statistique

Toutes les déterminations sont menées en triples. Les résultats sont exprimés par la moyenne ± écart type avec l'Excel de Microsoft Office 2007. (Les résultats sont mentionnés ci-dessous).

Les résultats sont traités par l'analyse de la variance suivie d'une comparaison multiple des moyennes grâce au logiciel STATISTICA version 5,5.

✚ Polyphénols :

Moy MO	Moy BM	Et MO	ET BM
23,0784199	22,146233	0,06740809	0,53930968

✚ Flavonoïdes :

Moy MO	Moy BM	Et MO	ET BM
0,71121795	0,74397436	0,034696664	0,005096456

✚ Tanins hydrolysable :

Moy MO	Moy BM	Et MO	ET BM
3,61451943	4,65235174	0,06198546	0,6290837

✚ Tanins condensés :

Moy MO	Moy BM	Et MO	ET BM
1,91865606	3,28028294	0,10720032	0,10720032

CHAPITRE II

RÉSULTATS ET

DISCUSSION

Chapitre II : Résultats et discussion

II. 1. Teneur en composés phénoliques totaux

Le taux de polyphénols totaux des deux extraits optimisés par micro-ondes (MO) et bain marie (BM) est illustré dans la figure 26. L'analyse statistique révèle des différences significatives ($p < 0,05$) entre les extraits obtenus par les deux méthodes.

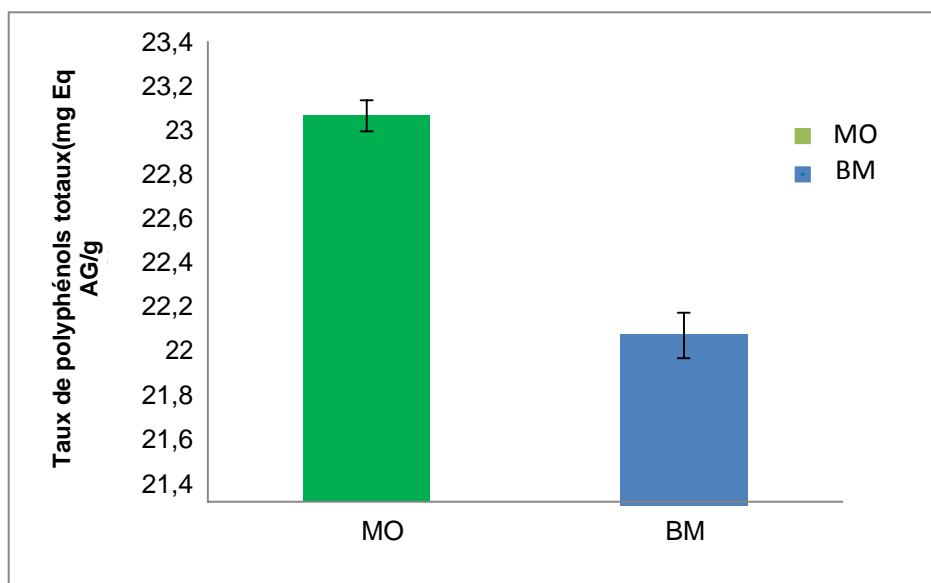


Figure 26: Teneur en polyphénol totaux des extraits obtenus par Micro-onde et Bain marie.

Le dosage des polyphénols totaux, nous donne une estimation globale de la teneur en différents classes de composés phénoliques contenu dans les extraits analysés.

Nous avons obtenu une valeur de 22,146 mg EAG/g MS pour l'extrait issu du bain marie et 23,078 mg/g MS dans l'extrait obtenu par micro-ondes. En effet, l'extraction aux microondes a donné un meilleur rendement en polyphénols totaux. Plusieurs recherches ont été entreprises sur la composition phénolique de *Citrus x paradisi*, néanmoins nos résultats restent incomparables à ceux obtenus par ces travaux antérieurs, car les conditions dans lesquelles sont opérées les différentes analyses sont distinctes. A cet effet, un travail de synthèse très récent (article review) a été entrepris par **Singh et ses collaborateurs (2020)**, ce groupe de chercheurs a énuméré 3 travaux sur la composition phénolique de l'écorce de *Citrus x paradisi*: (1) **Gorinstein et al. (2001)** ont rapporté un taux de 155 mg équivalent acide chlorogénique /100 g de matière fraîche avec une extraction au bain marie. (2) **Ghasemi et al. (2009)** ont

rapporté 222,2 mg EAG/g extrait avec une extraction par percolation et enfin (3)

Guimaraes et al. (2010) ont rapporté 55,88 mg EAG /g Ext par une extraction conventionnelle avec le méthanol. D'autre part, Garcia-castello et al. (2015) ont obtenu un taux de 80,0 mg EAG/g MS par extraction aux ultrasons.

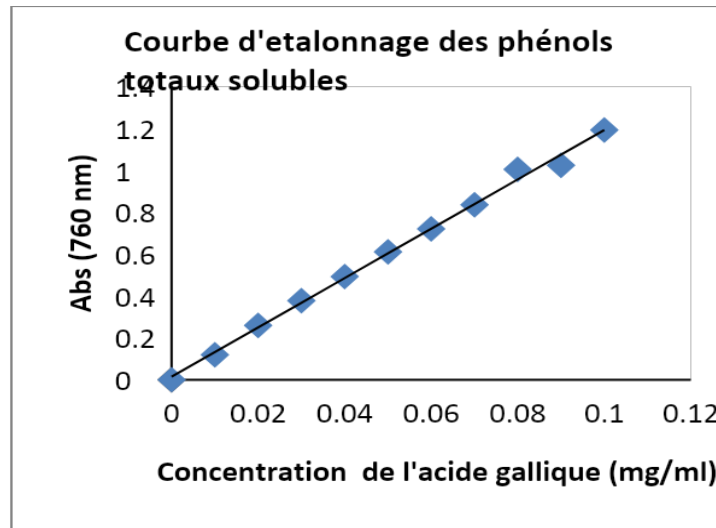


Figure 27: Courbe d'étalonnage réalisée pour le dosage des polyphénols totaux de l'acide gallique

II. 2. Teneur en flavonoïdes

Les résultats de l'analyse des flavonoïdes pour les deux méthodes d'extraction sont présentés dans la figure numéro 28. L'analyse statistique révèle des différences significatives ($p < 0,05$) entre les valeurs obtenues.

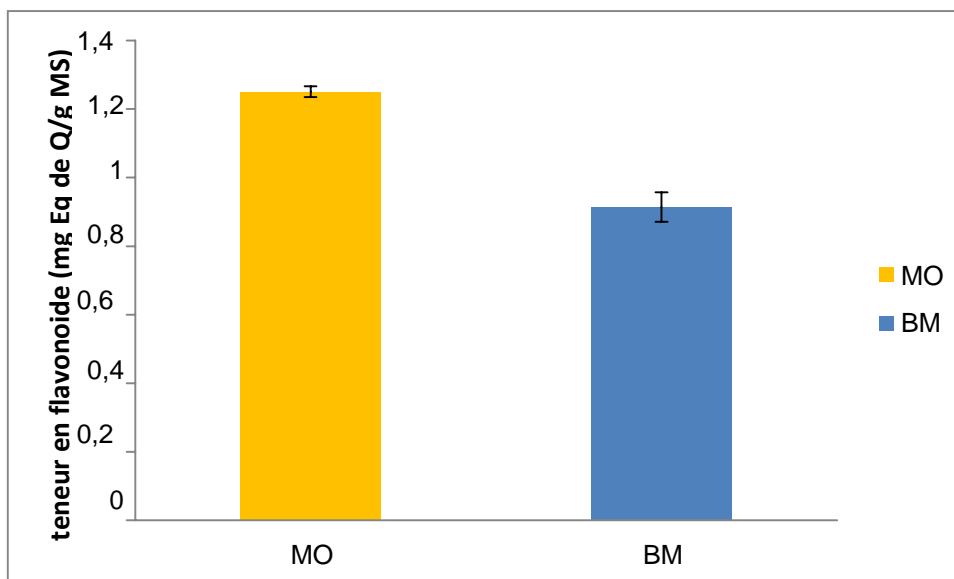


Figure 28: Teneur en flavonoïdes pour les deux méthodes d'extraction

Nous avons obtenu une valeur de 1,250 mg EQ/g MS dans l'extrait micro-onde et 0,915 mg EQ/g MS dans l'extrait issu du bain marie. La raison principale pour la quelle nous avons évalué cette classe de polyphénols, réside dans le fait que les flavonoïdes constituent la classe polyphenolique la plus importante, avec plus de 5000 composés déjà décrits (Gomez-caravaca et al., 2006), et que le genre *Citrus* est très riche en ces composés (Garcia-castello et al., 2015).

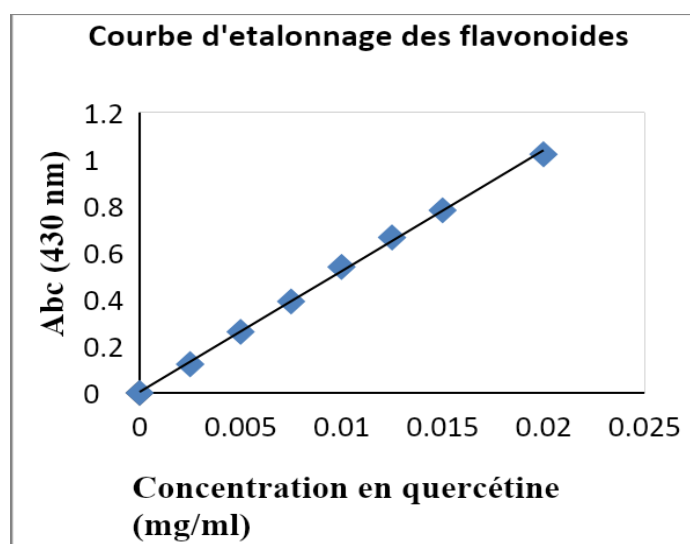


Figure 29: Courbe d'étalonnage réalisée pour le dosage des flavonoïdes de la quercétine

Les teneurs obtenus dans la présente étude restent faibles comparées à celle rapportées dans la littérature, en effet, Garcia-castello et al. (2015) ont rapporté des teneurs en naringine (le flavonoïde le plus abondant dans l'écorce de l'échantillon) allant de 18 à 28 mg/g MS pour l'extraction conventionnelle et 24 à 36 mg/g MS pour l'extraction aux ultra sons, en utilisant l'éthanol comme solvant. Comme pour les composés phénoliques totaux, Singh et ses collaborateurs (2020) ont rapporté les résultats de la teneur en flavonoïdes de l'écorce de *Citrus x paradisi* de deux groupes de chercheurs: (1) Ghasemi et al. (2009) ont rapporté 23,2 mg EQ/g extrait avec une extraction par percolation et enfin (2) Guimaraes et al. (2010) ont rapporté 2,2 mg EQ /g Ext par une extraction conventionnelle avec le méthanol.

La comparaison du contenu phénolique avec les données de la littérature est difficile tant divers facteurs peuvent intervenir et modifier significativement les teneurs en ces métabolites secondaires: Les conditions de séchage (Couto et al., 2012), d'extraction (en Terme de méthode, temps, température, granulométrie, solvant, nombre

d'étapes d'extraction), l'expression des résultats, l'état et la provenance géographique (Luthria, 2008; Kahouli, 2010; Rodriguez-Rojo *et al.*, 2012), le stade de maturité de la plante et les différentes maladies qui peuvent l'affecter (Park et Cha, 2003), la durée de conservation (Ozgüven et Tansi, 1998) ainsi que la saison de collecte et le cultivar ne peuvent pas être exclus (Luis et Johnson., 2005; Osinska., 2012; Zaouali *et al.*, 2013).

II.3. Teneur en tanins

Les résultats du dosage des tanins hydrolysables sont présentés dans la figure 30.A et ceux des tanins condensés dans la Figure 30. B. L'analyse statistique révèle des différences significatives ($p < 0,05$) entre les valeurs obtenues par les deux méthodes d'extraction.

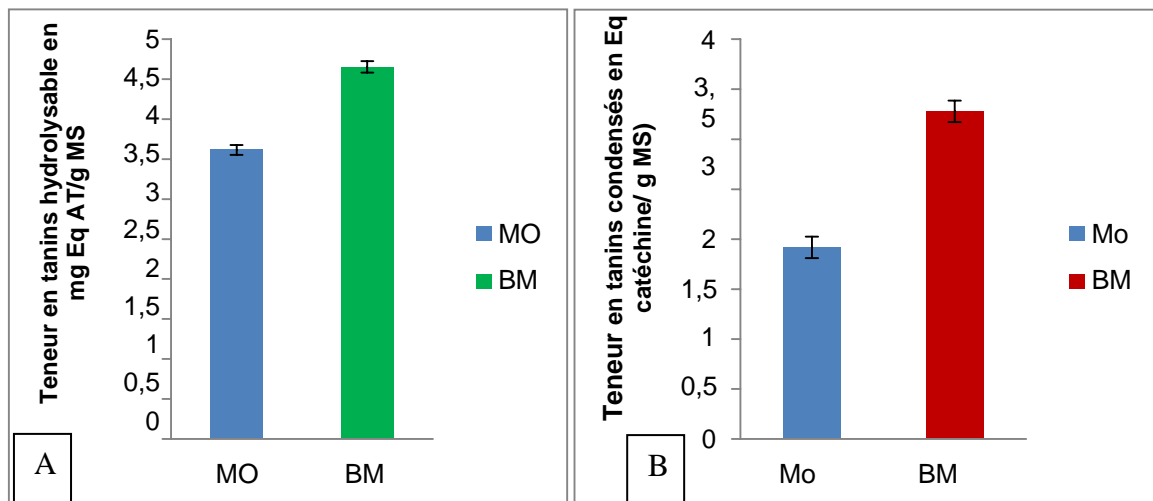


Figure 30: Teneur en tanins : (A) tanins hydrolysables ; (B) tanins condensés

La teneur en tanins hydrolysables et tanins condensés dans les extraits obtenus par le bain marie et microondes est faible, elle est de 4,652 mg Eq AT/g MS, 3,615 mg Eq AT/g MS et 3,250 mg EqC /g MS, 1,919 mg EqC /g MS, respectivement.

A notre connaissance, les travaux rapportés sur les tanins contenus dans l'écorce de l'espèce étudiée sont rares. En effet, Ezeabara *et al.* (2014) ont évalué la quantité de tannins condensés de l'extrait aqueux de l'écorce de *Citrus x paradisi* par la méthode de Folin-Denis, ils ont rapporté une teneur de $0,58 \pm 0,03$ % exprimé en équivalent acide tannique. Cette teneur est largement inférieure à celle obtenue dans la présente étude pour les deux extraits. Concernant les tanins hydrolysables, Azhari. (2017) a détecté leur présence dans l'extrait acétonique et méthanolique, par contre ce n'était pas le cas de Alrasheid *et ses collaborateurs* (2019) qui ont souligné leur absence dans l'extrait éthanolique de cet échantillon.

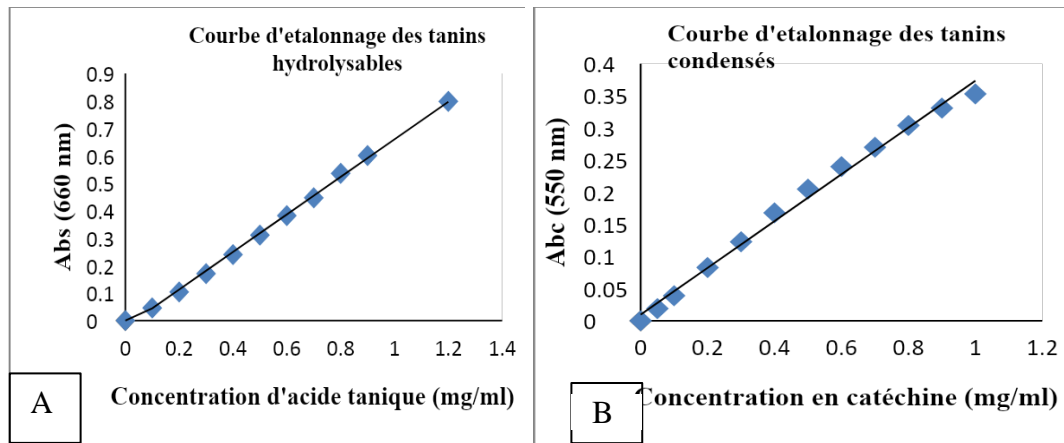


Figure 31: Courbe d'étalonnage réalisée pour le dosage des tanins : (A) tanins hydrolysables et (B) tanins condensés

CONCLUSION

Conclusion

Les agrumes occupent aujourd'hui une place importante dans les préparations pharmaceutiques d'origine naturelles. Le pomelo, *Citrus paradisi* est riche en différents métabolites secondaires, parmi eux, les polyphénols, les flavonoïdes et les tanins hydrolysables et condensés. Ces substances sont d'une composition chimique complexe et caractérisée par des propriétés biologiques importantes, ce qui leur confère leur utilisation dans plusieurs domaines: industrie pharmaceutique, cosmétique, alimentaire...

L'objectif de ce travail était d'extraire et quantifier les composés phénoliques contenus dans la poudre de l'écorce de pomélo par les deux méthodes d'extraction: micro-ondes et bain marie.

Les résultats obtenus ont révélé la teneur en polyphénols totaux qui varient de 22,146 mg Eq AG /g MS, pour l'extrait issu du bain marie, à 23,78 mg Eq AG /g MS pour l'extrait micro-ondes. Concernant les flavonoïdes, la teneur varie de 0,915 à 1,250 mg Eq Q/g MS pour les extraits issus du bain marie et micro-ondes, respectivement; quant à la composition en tanins hydrolysable et condensés, la teneur varie de 3,615 à 4,652 mg Eq AT/g MS et de 1,919 à 3, 250 mg Eq C /g MS pour les extraits micro-ondes et bain marie, respectivement.

Au terme de ce modeste travail, on peut conclure que la méthode microondes est efficace pour l'extraction des composés phénoliques totaux et des flavonoïdes et le bain marie est efficace pour l'extraction des tanins. L'écorce de *Citrus paradisi* est une bonne source de composés phénoliques, elle peut être exploitée dans l'industrie agroalimentaire pour la formulation de produits fonctionnels et/ou comme agent conservateur des corps gras, comme les margarines et les mayonnaises, que nous avons prévu de réaliser, aussi c'était prévu de réaliser l'activité antioxydant de nos extraits des composées phénoliques par la technique de piégeage du radicale libre DPPH qu'on avait déjà entamer mais malheureusement les conditions sanitaires liées au COVID-19 ne l'ont pas permis.

RÉFÉRENCES

BIBLIOGRAPHIQUES

Références bibliographiques

-A-

Achat, S .Polyphénols de l'alimentation : extraction, pouvoir antioxydant et interactions avec des ions métalliques. Thèse de Doctorat. Université de Béjaia, Université d'Avignon et des pays Vaucluse (2013).

Adlercreutz, H., Mazur, W. Phyto-oestrogens and Western diseases. Annales Medicales, (1997) vol. 29 pp. 95-120.

Arif, T., Bhosale, J.D., Kumar, N., Mandal, T. K., Bendre, R. S., Lavekar, S., Dabur, R. Natural products-antifungal agents derived from plants. Journal of Asian Natural Product Research, (2009), vol. 11, pp. 626 - 638.

Alrasheid, AA., Mohamed, AA., Mohieldin, EG., Eldein; KI., Yassin, LF., Widdatallh, MO., Alnour, MI., Eltilib, SH., Ahmed,SA., Saad Mohamed Hussein Ayoub, SMH. Phytochemical investigation and assessment of antimicrobial, anti-inflammatory and antioxidant activities of Sudanese Citrus paradisi peel extract. (2019) Vol. 11(1), pp. 1-8,

Azhari A. Mohammed Nour. Phytochemical Screening and Antibacterial Activity of Cultivated Medicinal Plants Citrus paradisi .Chemistry Research Journal, (2017), 2(2):73-77

-B-

Bahorun, T. (1997). Substances naturelles actives : La flore mauricienne, une source d'approvisionnement potentielle. Food. Agric. Res. Council, Réduit, Mauritius, 83-94.

Bahri-sahloul, R., Ammar, S., Fredj, R. B., Saguem S., Trotin, F., Skhiri, F. Polyphénol contents and antioxidant activities of extracts from flowers of two crataegus Azarolus L. varieties. Pakistan journal of biological sciences. (2009) 12:660-668.

Baron J, Gomez G. Hétérosides. (2016)
<https://tice.acmontpellier.fr/ABCDORGA/Famille4/HETEROSIDES.htm>

Balwinder, S., Jatinder, P,S., Amritpal, K., Narpinder, S. Phenolic composition, antioxidant potential and health benefits of citrus peel, Journal Pre-proofs(2020) 6-10p.

Benhammou, N., Atik Bekkara, F., Kadifkova, P. Antiradical capacity of the phenolic compounds of Pistacia lentiscus L. and Pistacia atlantica Desf, Advances in Food Sciences.(2007) 29(3), 155-161.

Références bibliographiques

Berthodc A., Billardello, B., Geoffray, S. Polyphenols in countercurrent chromatography. An example of large scale separation1 analysis. *Analisis.* (1999) 27, 750-757.

Blaisot, C. Le marché des extraits de pépins de pamplemousse. Comparatif des produits existants et conseil à l'office. Thèse de doctorat. Université de rouen UFR de médecine et de pharmacie.(2016) P31.

Bouhadjera, K. Contribution à l'étude chimique et biologique de deux plantes médicinales sahariennes oudneya africana r.br. Et aristida pungens l. Thèse De Doctorat. Université Abou Bekr Belkaid.(2005).

Boulekbache, L. Profil GC-MS des polyphénols d'une plante médicinale : Eucalyptus globulus. Thèse de Magister. Université de Bejaïa.(2005) 71p.

Bossokpi, Igor Passi Lysette . Etude des activités biologiques de Fagara zanthoxyloides Lam (Rutaceae).Thèse de doctorat en pharmacie. Université de Bamako (2002) p 9.

Blaisot, C. Le marché des extraits de pépins de pamplemousse. Comparatif des produits existants et conseil à l'office. Thèse de doctorat. Université de rouen UFR de médecine et de pharmacie. (2016) P61.

-C-

Castro-Vargas, H.I., Ballesteros Vivas, D., Ortega Barbosa, J., Morantes Medina, S.J., Aristizabal Gutierrez, F., Parada-Alfonso, F. Bioactive Phenolic Compounds from the Agroindustrial Waste of Colombian Mango Cultivars 'Sugar Mango' and 'Tommy Atkins'-An Alternative for Their Use and Valorization. *Antioxidants (Basel)*, (2019) 8 (2).

Chauvet, Pamplemousse ou pomelo : un cas exemplaire de conflit entre usage et norme, *Journal d'agriculture traditionnelle et de botanique appliquée* (1980) 27(1): 55- 81.

Chevalier Aug, 1950. Tome XXX, *Botanique Appliqué et d'agriculture Tropicale*, (1950) 327-328, pp : 62, 64, 70, 72, 73.

Cheick, T. Etude de la phytochimie et des activites biologiques de quelques plantes utilisees dans le traitement traditionnel de la dysmenorrhée au mali. Thèse de doctorat en pharmacie. Universite de Bamako (2006) : 72p

Références bibliographiques

Chinelo A. Ezeabara¹, C. U. Okeke¹, Chinyere V. Iiodibia¹and Bibian O. Aziagba¹. Determination of Tannin Content in Various Parts of Six Citrus Species. Journal of Scientific Research & Reports (2014) 3(10): 1384-1392.

Couto, R.O. Conceicao, E.C. Chaul, L.T. Oliveira, E.M.S. Martins, F.S. Bara, M.T.F. Rezende, K.R. Alves, S.F. Paula, J.R. Spray-dried rosemary extracts: Physicochemical and antioxidant properties. Food Chemistry.(2012) 131, 99–105.

Cowan, M.M. Plant Products as Antimicrobial Agents. Clin. Microbiol Re (1999) 12 (4): 564- 582.

Crozier, A., Clifford, M.N., Ashihara, H. Plant Secondary Metabolites: Occurrence, Structure and Role in the Human Diet. Edt Blackwell Publishing Ltd. (2006).

-D-

Dans la Bulle de Manou (2013). Le pomélo (ou fausse pamplemousse)
<http://www.bulledemanou.com/article-le-pomelo-ou-faux-pamplemousse-114106478.html>

Diouf PN. Étude comparative de méthodes de mesure de l'activité antioxydante. Applications aux extractibles de bois. Liens avec la stabilité de la couleur du bois. Thèse doctorat. Université Henri Poincaré. France.(2003).

Dzoyem, J. P., Tsamo, A. T., Melong, R., Mkounga, P., Nkengfack, A. E., McGaw, L. J., & Eloff, J. N. Cytotoxicity, nitric oxide and acetylcholinesterase inhibitory activity of three limonoids isolated from *Trichilia welwitschii* (Meliaceae). Biological research, (2015) 48(1), 57.

-E-

Edeas, M. Citroflavonoides .pharmacognosie. Phytothérapie (2007) 5: 210–211

Edenharder, R., Grünhage, D. Free radical scavenging abilities of flavonoids as mechanism of protection against mutagenicity induced by tert-butyl hydroperoxide or cumene hydroperoxide in *Salmonella typhimurium* TA102. Mutat.(2003) Res, 540: 1– 18.

-F-

FAO . pomélo-exportation mondiale 2013_2014 :fruit trop
<https://www.fruitrop.com/Articles-par-theme/Statistiques/2015/Pomelo-exportations-mondiales-2013-14> (2015).

Références bibliographiques

FAO professionnels. pomélo-exportation mondiale 2013_2014 :fruit trop <https://www.fruitrop.com/Articles-par-theme/Statistiques/2015/Pomelo-exportations-mondiales-2013-14> (2015).

Fain, O. Carences en vitamine C Vitamin C deficiency. La revue de médecine interne 25 (2004) 872–880.

Fleuriet, A ., Jay-Allemand, C., Macheix, JJ. Composés phénoliques des végétaux un exemple des métabolites secondaires d'importance économique. Presses polytechniques et universitaires romandes(2005) pp 121-216.

Franchomme, P., Jollois , R ., Pénoel, D. Monographie essence Citrus **paradisi**, édition Roger Jollois (2001).

-G-

Garcia-Castello, E.M. A.D. Rodriguez-Lopez, L. Mayor, R. Ballesteros, C. Conidi, A. Cassano. Optimization of conventional and ultrasound assisted extraction of flavonoids from grapefruit (Citrus paradise L.) solid wastes. (2015) 1117p.

Garnero, J. les huiles essentielles, leurs obtention, leurs composition, leur analyse et leur normalisation. Editions techniques-encyclopédie de la médecine naturelle. (Paris, France). Phytoth

Ghasemi, K., Ghasemi, Y., Ebrahimzadeh, M.A. Antioxidant activity, phenol and flavonoid contents of 13 Citrus species peels and tissues. Vol.22, No.3, July 2009, pp.277-281.érapie, Aromathérapie, (2000) pp. 2-20.

Gomez, G. Advances in the analysis of phenolics compounds in products derived from bees. J. Pharmaceutical and Biomedical Analysis, (41) (2006) : 1220-1234.

Gorinstein, S., Martin-Belloso, O., Park, YS., Haruenkit, R., Lojek, A., Číž, M., Abraham Caspi, A., Libman, I., Trakhtenberg, S. Comparison of some biochemical characteristics of different citrus fruits. Food Chemistry 74 (2001) 309– 315

Guimarães, R., Barros, L., João,MS., Barreira, J C M., João, M S., Carvalho, AM., Ferreira,ICFR. Targeting excessive free radicals with peels andjuice of citrus

Références bibliographiques

fruits: grapefruit, lemon, lime and orange. *Food Chem Toxicol.* (2010) Jan;48(1):99-106

Guldani, R., Cavalluzzi, MM., Lentini, G., Habtemariam, S. The Chemistry and Pharmacology of Citrus Limonoids .*Molecules* (2016).

-H-

Hennebelle, T., Sahpaz, S., Bailleul, F. (2004). Polyphénols végétaux, sources, utilisations et potentiel dans la lutte contre le stress oxydatif. *Phytothérapie*, 1: 3-6.

Houaourat H, Production des agrumes : comment augmenter le rendement ? (2013).

-J-

Julkunen-Titto, R. Phenolic constituents in the leaves of northern willows : methods for the analysis of certain phenolics. *Journal of Agricultural and Food chemistry*, 33 (1985) : 213-217.

-K-

Kahouli, L Effet antioxydant d'extraits de plantes (*Laurus nobilis* L., *Rosmarinus officinalis*, *Origanum majorana*, *Oléa europea* L.) dans l'huile de canola chauffée . Thèse de Maître des sciences en génie-agroalimentaire. *Université Laval Québec* .(2010).

Kebbab, R. Etudes du pouvoir antioxydant des polyphénols issus des margines d'olives de la variété Chamla: Evaluation de l'activité avant et après déglycosylation. Mémoire de magister. Université Mouloud Mammeri de Tizi –Ouzou.(2014)

Khater, F. Identification et validation fonctionnelle de nouveaux gènes potentiellement impliqués dans la biosynthèse des composés phénoliques. Thèse de Doctorat. Centre International d'Etudes Supérieures en Sciences Agronomiques Sup AGRO, Montpellier. (2011).

Khouchlaa, A., Talbaoui , A., El Yahyaoui El Idrissi , A., Bouyahya, A., S. Ait Lahsen, S., Kahouadji, A., Tijane, M. Détermination des composés phénoliques et évaluation de l'activité litholytique in vitro sur la lithiase urinaire d'extrait de *Zizyphus lotus* L. d'origine marocaine . Lavoisier SAS 2017

-L-

Lamaison, JLC., Carnet, A. Teneurs en principaux flavonoïdes des fleurs de *Crataegus monogyna* Jacq et de *Crataegus laevigata* (Poiret D. C) en fonction de la

Références bibliographiques

vegetation. *Pharm Acta Helv* 65: (1990) 315–320.

Loeillet D. Agrumes et jus d'orange. Les marchés mondiaux, (2010). 421-424.

Luthria, D L. Influence of experimental conditions on the extraction of phenolic compounds from parsley (*Petroselinum crispum*) flakes using a pressurized liquid extractor. *Food Chemistry* .107,(2008) 745–752.

Luis, J C., Johnson, CB. Seasonal variations of rosmarinic and carnosic acids in rosemary extracts. Analysis of their in vitro antiradical activity. *Spanish Journal of Agricultural Research* . 3(1) (2005) 106-112.

-M-

Macgrogan, G., Hostein, I., Chibon, F., Geneste, G., Peterse, MC., Velasco, V., Mascarel, I., Soubeyran, I., Bui, M., Coindre, JM., Parrens, M., Mascarel, A., Belaud-Rotureau, MA., Idrissi, Y., Turmot, M., Merlio, JP., Bonnet, J., Colotte, M., Tuffet, S. Accélération de fixation par le micro-ondes : l'expérience bordelaise , 27 (2007) : 1S88- 1S94

Macheix, JJ., Fleuriet, A., Jay-allemant, C. les composés phénoliques des végétaux : un exemple de métabolites secondaires d'importance économique , 1^{ère} édition , presses polytechniques et universitaires romandes , lausanne bio ed 54-65. (2005).

Manach C, Scalbert A, Morand C, Rémésy C, Jiménez I. (2004). Polyphenols: food sources and bioavailability. *The American Journal of Clinical Nutrition*. 2004 79(5): 727–747.

Martin S. et Andriantsitohaina R. (2002). Cellular mechanism of vasculo-protection induced by polyphenols on the endothelium. *Annales de Cardiologie et d'Angiologie*. **51**: 304-315.

Mazza, G., Miniati, E. Anthocyanins in fruits, vegetables, and grains. Boca Raton CRC press, (1993), pp. 362.

Middleton, EJ., Kandaswami, C., Theoharides, TC. The effects of plant flavonoids on mammalian cells: implications for inflammation, heart disease and cancer. *Pharmacol Rev* 52: (2000) 673-751.

Mompon B., Lemaire B., Mengal P. et Surbel D. (1996). Extraction des polyphénols : du laboratoire à la production industrielle. IN « Polyphénols 96 ». Ed INRA. 31-35.

Références bibliographiques

-N-

Nkhili, EZ. Polyphénols de l'Alimentation : Extraction, Interactions avec les ions du Fer et du Cuivre, Oxydation et Pouvoir antioxydant. Thèse De Doctorat. Université Cadi Ayyad – Marrakech, Université D'Avignon Et Des Pays De Vaucluse- Montpellier (2009).

-O-

O'Kennedy, R., Thornes, R.D. Coumarins: Biology, Applications and Mode of Action. John Wiley & Sons Inc. New York. N.Y. (1997).

Özgiiven, M., Tansi, S. Drug yield and essential oil of *Thymus vulgaris* L as in influenced by ecological and ontogenetical variation. The Turkish journal of agriculture and forestry., 22 , (1998) 537-542.

-P-

Parejo, I., Viladomat, F., Bastida, J., Rosas-Romero, A., Flerlage, N., Burillo, J., Codina, C. Comparison between the radical scavenging activity and antioxidant activity of six distilled and nondistilled Mediterranean herbs and aromatic plants. J Agric Food Chem; 50: (2002) 6882–90.

Paul Keirn. (2010). Polyphénols: définition, actions, liste des plantes actives.

<http://www.naturespaul-keirn.com/article-polyphenols-definition-actions-liste-des-plantes-actives-50222976.html>

Park, HJ. Cha, HC. Flavonoids from leaves and exocarps of the grape Kyoho. Korean journal of biological society. 7 ,(2003) 327-330.

Perrine, R. Les extraits de pépin de pamplemousse : propriétés et usages, confrontation avec la littérature scientifiques, thèse pour le diplôme d'état de docteur en pharmacie (2012).

Price, M.L., Van scoyoc, S., Butler, L.G. A critical evaluation of the vanillin reaction as an assay for tannin in sorghum grain, J. Agric. Food Chem, 26:(1978) 1214-1218.

Priya, S., Kumar, V., Guleria, P. Naringin: Biosynthesis and Pharmaceutical Applications. Indian J Pharm Sci (2019);81(6):988-999

Références bibliographiques

-R-

Richard A. Dixon, and Nancyl. Paiva. Stress - Induced Phenylpropanoid Metabolism. Vol 7 (1995), 1085. 1097

Riahi, J., Nicoletto, C., Bouzaein, G., Haj Ibrahim, M., Ghezal, I., Sambo, P., Kouki Khalfallah, K. Optimization of Offshoot Outgrowth in Globe Artichoke Using a Combination of Chemical and Mechanical Treatments. *Agronomy*, 9 (2), (2019) 104.

Ribéreau-Gayon, J., Peynaud, E., Sudraud, P., Ribéreau-Gayon, P. Composés phénoliques. In «Traité d'oenologie, sciences et technique du vin ».Ed. Dunod,(1982) pp. 477-499.

Ribéreau-Gayon P. Les composés phénoliques des végétaux. Ed.Dunod, Paris, (1968) pp.173 - 201.

Rodriguez-Rojo, S., Visentin, A., Maestri, D., Cocero, M.J. Assisted extraction of rosemary antioxidants with green solvents .*Journal of Food Engineering*.(2012) 109, 98–103.

-S-

Salle, BL., Laborie, S., Delvin, E., Claris, O . Vitamines liposolubles et allaitement. *j pédiarr Puériculture* 2002 ; 15 : 454-62

Sadaf, Z., Farooq, A., Tahir, M., Bushra, S., Rahman, Q. Variation in antioxidant attributes and individual phenolics of citrus fruit peels in relation to different species and extraction solvents. *J. Chil. Chem. Soc.*, 61, No 2.(2016).

Shahidi, F., Varatharajan, V., Oh, W.Y., Peng, H. Phenolic compounds in agri-food by-products, their bioavailability and health effects. *Journal of Food Bioactives*, 5.(2019).

Sobiesiak Magdalena.(2017). Chemical Structure of Phenols and Its Consequence for Sorption Processes. In book: *Phenolic Compounds - Natural Sources, Importance and Applications*. 2017. Marcos Soto- Hernández, IntechOpen, DOI: 10.5772/66537.

Srivastava T, Mishra S K . Novel function of polyphénols in human healeth. *A reviw.* 9 (3): 116-126, 2015.

Références bibliographiques

-T-

Thompson, L.U., Robb, P Serraino, M., et al. Mammalian lignan production from various foods. *Nutrition and Cancer*, (1991), vol. 16, pp. 43-52.

Tonelli, N., Gallouin, F. Des fruits et des graines comestibles du monde entier, édition Lavoisier,(2014) p556, 560

Tsao, Rong. Chemistry and Biochemistry of Dietary Polyphenols *Nutrients* 2010, 2, 1231-1246

Tsimogiannins, DI., Oreopoulou, V. (2006). The contribution of flavonoid C-ring on DPPH free radical scavenging efficiency. A kinetic approach for the 3', 4'-hydroxy substituted members. *Innovat Food Sci Emerg Tech*, 7: 140-146.

-V-

Ventrella, MC., Marinho, CR. Morphology and histochemistry of glandular trichomes of *Cordia verbenacea* DC. (Boraginaceae) leaves. *Revista Brasil. Bot.*, V.31, n.3,(2008) p.457-467

Vertuani, S., Angusti, A., Manfredini, S. The Antioxidants and Pro-Antioxidants Network: An Overview. Department of Pharmaceutical Science, University of Ferrara, Ferrara, Italy. *Current Pharmaceutical Design*, 2004, 10, 1677-1694

Visioli, F., Borsani, L., Galli, C. Diet and prevention of coronary heart disease: the potential role of Phytochemicals. *Cardiovascular Research*.47 (2000) 419–425.

-Y-

Yao, LH., Jiang, YM., SHI, J., Tomas-Barberan, FA., Datta, N., Singanusong, R., Chen, SS. Flavonoids in Food and their health benefits. *Plant. Food Hum.Nutr*, 59 (2004):113-122.

Yu, H., Yang, G., Sato, M., Yamaguchi, T., Nakano, T., Xi, Y. Antioxidant activities of aqueous extract from *Stevia rebaudiana* .*Food Chemistry*,(2017), 232:379-386

Références bibliographiques

-Z-

Zaizhi, L., yuangang, Z ., Lei, Y. A process to preserve valuable compounds and acquire essential oils from pomelo flavedo using a microwave irradiation treatment. *Food chemistry*.0308-8146.(2016).

Zaouali, Y., Chograni, H., Trimech, R., Boussaid, M. Changes in essential oil composition and phenolic fraction in *Rosmarinus officinalis* L. var. *typicus* Batt. Organs during growth and incidence on the antioxidant activity. *Industrial Crops and Products* .43,(2013) 412– 419.

Zhang, J . Flavonoids in grapefruit and commercial grapefruit juices:Concentration, Distribution, and Potential Health Benefits. *120: (2007) 288-294.*

ANNEXES

Annexe

Préparation des solutions

Solution	Réactif
Folin Ciocalteu 1/10	10 ml de Folin Ciocalteu à +90ml d'eau distillée
HCl (0,001M)	0.085ml d'HCl 36% est ajusté à 1 litre avec l'eau distillée.
Chlorure ferrique FeCl ₃ (0,01M dans HCl 0,01 M)	0,083 ml de HCL concentré dilué dans un 1 L d'eau distillée puis en dissout 1,62 g de FeCl ₃ dans cette solution
Chlorure ferrique (FeCl ₃) à 0,1%	0.1g de FeCl ₃ dans 100 ml d'eau distillée
Vanilline a 4 % (P/V)	4 g de vanilline dans 100 ml de méthanol
Chlorure d'Aluminium (ALCl ₃ 2%, P/V)	2g ALCl ₃ .6H ₂ O dans 100 ml de méthanol
Carbonate de sodium (Na ₂ CO ₃) à 7.5%	7.5 g dans 100 ml de l'eau distillée

Résumé : *Citrus paradisi* « pomélo » appartient à la famille des rutacées, c'est un hybride du *Citrus maxima* et *Citrus sinensis*, contient une valeur nutritionnelle élevée grâce à ses métabolites secondaires, qui permettent la protection contre certaines maladies. La présente étude a été réalisée dont le but de valoriser l'écorce de Pomelo par extraction de ses composés phénoliques, en utilisant deux techniques différentes (Microondes et bain marie), et leur quantification. Les résultats obtenus montrent que la teneur élevée en polyphénols totaux et en flavonoïdes est retrouvée dans l'extrait micro-ondes (23,078 mg Eq AG/ g MS et 1,250 mg Eq Q/g, respectivement) par contre celle des tannins (hydrolysables et condensés) est élevée dans l'extrait issu du bain marie qui est de 4,652 mg Eq AT/g MS et de à 3,250 mg Eq vanilline /g MS, respectivement. Les résultats de la présente étude montrent la richesse des extraits de la poudre de pomélo qui pourraient être exploitée dans l'industrie alimentaire et spécialement dans l'industrie des corps gras.

Mots clés : *Citrus paradisi*, écorce, composées phénoliques, extraction, micro-ondes, bain marie.

Abstract: *Citrus paradisi* « pomelo » belongs to the rutaceae family; it is a hybrid between citrus maxima and *Citrus sinensis*, contains a high nutritional value thanks to its secondary metabolites, which allow protection against certain diseases. The present study was carried out with the aim of enhancing the peel of pomelo by extracting its phenolic compounds, using two different techniques (microwave and water bath), and their quantification. The results obtained show that the high content of total phenolics and flavonoids is found in the microwave extract (23.078 mg Eq AG/g MS and 1.250 mg Eq Q/g, respectively), while that of tannins (hydrolysable and condensed) is high in the extracts from pomelo powder that could be exploited in the food industry and especially in the fat industry.

Kay words: citrus paradisi, bark, phenolic compounds, extraction, microwave, water bath

ملخص

ينتمي ليمون الجنة "بوملو" إلى الفصيلة السذابية، وهو عبارة عن هجين بين الليمون الهندي والبرتقال، ويحتوي على قيمة غذائية عالية بفضل نواتجه الأيضية الثانوية، والتي تسمح بالحماية ضد بعض الأمراض.

أجريت هذه الدراسة بهدف تقييم لحاء البوميلو عن طريق استخلاص مركباته الفينولية باستخدام طريقتين مختلفتين (الميكرويف و حمام مريم) وتقديرها.

أظهرت النتائج التي تم الحصول عليها أن المستوى العالي من البوليفينول الكلي والفلافونويد موجود في مستخلص الميكرويف (MS 23.078 g MS Eq AG 1.250 mg Eq Q/g على التوالي)، في المقابل بالنسبة للتانينات (القابلة للتحلل و المكثفة) فهي عالية في المستخلص الناتج من حمام مريم والذي هو بقيمة 4.652 mg Eq AT/g MS و 3.250 mg Eq فانيلين/g MS على التوالي.

تظهر نتائج الدراسة الحالية ثراء مستخلصات مسحوق البوميلو التي يمكن استغلالها في صناعة المواد الغذائية وخاصة في صناعة الدهون.

لكلمات المفتاحية: ليمون الجنة، اللحاء، المركبات الفينولية، الاستخلاص، الميكرويف، حمام مريم