

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة محمد الصديق بن يحيى جيجل

Faculté des Sciences de la Nature et de la
Vie
Département : Microbiologie Appliquée
et Sciences Alimentaires



كلية علوم الطبيعة و الحياة
قسم: ميكروبيولوجيا تطبيقية
و علوم التغذية

Mémoire de Master

Filière : Sciences Alimentaires

Option : Agroalimentaire et Contrôle de Qualité

Thème

**Impact de séchage sur la teneur et l'activité antioxydante
des composés phénoliques de l'écorce de la grenade
« *Punica granatum L.* ».**

Membres de Jury

Président : Pr. IDOUI Tayeb

Examinatrice : Dr. BOUCHEFRA Amina

Encadrante : Dr. DJABALI Saliha

Présenté par :

ARBI Asma

BELDI Chaima

KHELALEF Mounira

Année Universitaire 2020-2021

Numéro d'ordre (bibliothèque) :

Remerciements

Nous remercions tout d'abord Allah, le tout puissant de nous avoir accordé santé, courage et foi.

Nous tenons à remercier vivement Dr. DJABALI S., notre promotrice, qui nous a aidés dans notre recherche grâce à ses conseils, directifs et son soutien tout long de l'élaboration de ce modeste travail.

Nous exprimons nos vifs remerciements à l'ensemble des membres de jury, pour avoir mobilisé de leur temps pour examiner et juger ce travail :

**Pr. IDOUI T., en tant que président de jury,
Dr. BOUCHEFRA A., en tant que examinatrice,**

Nous remercions également tous les enseignants qui ont contribués, à notre formation durant notre cursus universitaire et en particulier les enseignants de département « Microbiologie Appliquée & Sciences Alimentaires »

Un grand merci pour tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Dédicaces

Avec l'aide de Dieu le Tout puissant est enfin achevé ce travail ; le quel je dédie à toutes les personnes qui me sont chères

A l'âme de mon cher père

A ma chère maman

A mes chers frères, mes chères sœurs, mon cher beau-frère, mes chères belles-sœurs, mes chers neveux : Mohammed, Youcef et Ayoub et ma chère nièce Maria

A mes oncles, mes tantes, mes cousines et mes cousins et à toute la famille

A mes amies intimes Nissa, Assia, Badiiaa, Rima et Asma

A moi-même

A toute la promo Agro-alimentaire & Contrôle de Qualité 2021.

Asma

Dédicaces

A mes chers parents,

Sans qui je ne serai pas où j'en suis aujourd'hui

A ma très chère mère boukarit saida,

La lanterne qui éclaire mon chemin et m'illumine de douceur et d'amour,

A mon modèle et fierté, mon père abd selam

**En signe d'amour, de reconnaissance et de gratitude pour tous les soutiens et les sacrifices
dont il a fait preuve à mon égard,**

A mes chers frères et soeurs,

Aucun mot ne pourra décrire vos dévouements et vos sacrifices,

A mon oncle maternel koko, et sa femme amina

A toutes mes tantes, hafida, fouza et assia

**Que ce travail soit pour nous une joie partagée, pour votre soutien,
Vos encouragements et Vos prières,**

A mon fiancé

**qui a cru en moi et qui me donne l'envie d'aller en avant, Je vous remercie, votre soutien et vos
encouragements me donnent la force de continuer.**

A l'âme de mes chers Grand- Père et Grand-Mère

Chaima

Dédicaces

A ceux qui m'ont tout donné sans rien en retour

A ceux qui m'ont encouragé et soutenu dans les moments les plus difficiles

Et ceux à qui je dois tant

A mes chers parents pour leur amour, soutien et patience.

Je les remercie d'autant que je ne remercie personne

J'espère qu'un jour mon bon Dieu me donne l'occasion de les honorer et rendre ce qu'ils méritent.

A mon mari et mes enfants

A mes chers frères, mes chères sœurs

A toute ma famille et ma belle famille

A ceux qui m'ont soutenu de loin et de près

Mounira

Sommaire

Liste des abréviations

Liste des figures

Liste des tableaux

Introduction.....	1
Chapitre 01. Le grenadier « <i>Punica granatum L</i> »	
1. Historique.....	2
2. Taxonomie.....	2
3. Etude botanique.....	3
3.1. Ecorce du fruit de grenade.....	4
3.1.1. Modélisation d'extraction de composés phénoliques d'écorce de grenade.....	4
3.1.2. Valorisation de l'écorce de grenade.....	5
4. Origine et répartition géographique du grenadier.....	6
4.1. Origine.....	6
4.2. Répartition géographique du grenadier.....	6
5. Production de grenade.....	7
6. Variétés de grenade.....	7
6.1. Variétés nationale.....	10
7. Compositions nutritionnelles et phytochimiques du <i>Punica granatum. L</i>	10
7.1. Composition nutritionnelle.....	10
7.2. Composition phytochimique.....	11
7.2.1. Composés phénoliques sélectionnés dans l'écorce de grenade.....	12
8. Activités biologiques de l'écorce de grenade.....	13
8.1. Activité antioxydante.....	13
8.2. Activité antidiabétique.....	14
8.3. Activité antimicrobienne.....	14
8.4. Action anti-ulcère.....	15
8.5. Action anticancéreuse.....	15

Chapitre 02. Composés phénoliques et activité antioxydante d'écorce de grenade

1. introduction	17
2. Composés phénoliques.....	17
2.1. Définition des composés phénoliques	18
2.2. Composés phénoliques d'écorce de grenade	18
2.2.1. Acides phénoliques	18
2.2.2. Flavonoïdes	19
2.2.3. Tanins.....	20
3. Potentiel antioxydant de l'écorce de grenade et l'extrais de l'écorce de grenade.....	22
4. Niveaux fonctionnels et toxicologiques de l'écorce de grenade et l'extrait de l'écorce de grenade.....	23

Chapitre 03. Séchaged'écorce de grenade

1. Définition de séchage	24
2. Avantages et inconvénients du séchage	24
2.1. Avantages du séchage	24
2.2. Inconvénients du séchage	24
3. Techniques de séchage de l'écorce de la grenade	24
3.1. Séchage à l'air libre	25
3.2. Séchage au soleil	25
3.3. Séchage au four et lyophilisation.....	25

Chapitre 04: Etudes antérieures traitant l'impact du séchage sur la teneur et l'activité antioxydante des composés phénoliques de l'écorce de la grenade « *punica granatum L* »

1. Effet du séchage sur la teneur en polyphénols totaux.....	27
2. Effet du séchage sur la teneur en flavonoïdes.....	29
3. Effet du séchage sur la teneur en tanins hydrolysables.....	30
4. Effet du séchage sur l'activité antioxydante	31
Conclusion	34
Références bibliographiques	35

ADN: Acide Désoxyribo Nucléique

ARN: Acide Ribo Nucléique

ATP: Adenosine Tri Phosphate

BCE: Before the Common Era

CE: Common Era

CMI: Concentration Minimale Inhibitrice

CPK: La Créatine Pyruvate Kinase

EAG : Equivalent Acide Galique

EAT : Equivalent Acide Tannique

EC : Equivalent Catéchine

ET : ellagitanins

H₂O₂: peroxide d'hydrogène . Solution aqueuse:l'eau oxygénée

HDL: High Density Lipoprotein

HPLC: High Performance Liquid Chromatography

LDL: Low Density Lipoprotein

ppm: Partie par million.

USA: United States of America

UV: Ultra Violet

Vit : vitamine

Figure 01	Image d'un grenadier.....	3
Figure 02	Image des feuilles de grenadier.....	3
Figure 03	Image d'une fleur de grenadier (a), un calice (b).....	3
Figure 04	Ecorce de fruit de grenade (<i>Malicorium</i>).....	4
Figure 05	Valorisation d'écorce de grenade	5
Figure 06	Carte de dispersion des grenades sauvages montrant l'origine de la grenade...	6
Figure 07	Centres d'origines et de diversité des plantes cultivées selon le chercheur Vavilov.....	6
Figure 08	Structures chimiques de composés sélectionnés dans l'écorce de grenade.....	12
Figure 09	Structures de base des acides phénoliques (acides hydroxyl-benzoïque et cinnamique).....	18
Figure 10	Structure de base des flavonoïdes.....	20
Figure 11	Structure de l'acide tannique.....	21
Figure 12	Structures chimiques des principaux composés phénoliques identifiés dans l'écorce de grenade : acide gallique (a), acide caféique (b), acide chlorogénique (c), acide ellagique (d), apigénine (e), quercétine (f), pélargonidine (g), cyanidine (h), punicaline (i), punicalagine (j), granatine A (k) et granatine B (l).....	22
Figure 13	Processus de séchage au four et par lyophilisation	27

Tableau 01	Taxonomie du genre <i>Punica granatum</i> L.....	2
Tableau 02	Variétés décrits dans la littérature et leurs caractéristiques.....	8
Tableau 03	Composition nutritionnelle de grenade.....	10
Tableau 04	Composition phytochimique sélectionnée de différentes parties de grenadier...	11
Tableau 05	Composés phénoliques présents dans l'écorce de grenade.....	18
Tableau 06	Teneur des polyphénols totaux avant et après séchage.....	29
Tableau 07	Teneur des flavonoïdes après séchage.....	30
Tableau 08	Teneur des tannins hydrolysables avant et après séchage.....	31
Tableau 09	Activité antioxydante avant et après séchage.....	33

Introduction

Les fruits du Grenadier (*Punica granatum* L) ainsi que ses graines, son écorce et ses fleurs sont utilisés depuis des milliers d'années pour leurs propriétés médicinales et thérapeutiques dont plusieurs régions où cet arbre est originaire (bassin méditerranéen, Moyen-Orient, sud de l'Asie et Amérique latine) (**Afaq F et al., 2005**).

Utilisé, de façon empirique, dans les médecines traditionnelles, pour soigner les maladies gastro-intestinales et les affections parasitaires. Il a été abandonné ensuite en raison de la toxicité de certains de ses principes actifs, le grenadier fait l'objet, depuis une dizaine d'années, d'un regain d'intérêt, tant sur un plan médical et pharmacologique que sur un plan cosmétologique (**Wald, 2009**).

La transformation de la grenade génère de grandes quantités de sous-produits non utilisés, alors que l'écorce représente près de 40% du fruit entier et que c'est le site d'accumulation d'innombrables molécules bioactives (**Calin et al., 2005**). En effet, dans une étude récente, il a été démontré que l'extrait méthanolique de l'écorce de grenade améliore la stabilité oxydative de l'huile de tournesol, son efficacité étant comparable à celle des antioxydants synthétiques classiques (**Shahid, 2008**).

L'écorce de grenade possède en effet de fortes capacités antioxydantes et anti-ulcéreuses liées à la présence de polyphénols, de tanins ellagiques et de tannins hydrolysables. L'utilisation des techniques de séchage a permis de constater des effets bénéfiques ainsi que des effets délétères sur les qualités des aliments.

L'objectif principal de ce travail est de présenter l'impact de séchage sur la teneur et l'activité antioxydante des composés phénoliques de l'écorce de la grenade *Punica Granatum* L.

Ce modeste travail a été partagé en quatre chapitres :

- Un premier chapitre s'est consacré essentiellement aux concepts et données théoriques sur la plante, une brève description du grenadier, son utilisation et sa composition chimique seront abordées.
- Un deuxième chapitre englobe les données bibliographiques relatives aux composés phénoliques.
- Ensuite un troisième chapitre traite l'intérêt considérable qui existe actuellement sur le séchage et ses méthodes.
- Enfin, le quatrième chapitre sera consacré aux études antérieures traitant l'impact de séchage sur la teneur et l'activité antioxydante des composés phénoliques de l'écorce de la grenade.

CHAPITRE 01.

Le grenadier

Punica granatum L

1. Historique

Le grenadier est originaire de Perse et de la zone méditerranéenne (**Jahromi et Doostkam, 2019**). Il a été introduit de la région méditerranéenne dans le reste de l'Asie, de l'Afrique du nord, de l'Europe et dans la péninsule indienne où elle a été signalée pour la première fois en Indonésie au 15^{ème} siècle (**Da Silva et al., 2013**).

Les grenades comestibles ont été cultivées en Perse (Afghanistan, Iran et Turquie) entre 3000 et 4000 BCE, et étaient également présentes à Ariha (Palestine). En 2000 BCE, les Phéniciens avaient établi des colonies de la mer méditerranée en Afrique du nord, apportant des grenades à la Tunisie et à l'Égypte. À peu près au même moment, les grenades se naturalisent dans l'ouest de la Turquie et de la Grèce (**Stover et Mercure, 2007 ; Da Silva et al., 2013; Kushwaha et al., 2020**).

La grenade a continué à être dispersée dans le monde entier, atteignant la Chine vers 100 BCE. En 800 CE, le fruit était répandu dans tout l'Empire romain, y compris en Espagne. Dans le même temps, il était connu pour être largement cultivé dans le centre et le sud de l'Inde. Au début des années 1400, la grenade avait fait son chemin vers l'Indonésie. Dans les années 1500 et 1600, les Espagnols ont introduit cette espèce en Amérique centrale, au Mexique et en Amérique du Sud. (**Stover et Mercure, 2007**).

2. Taxonomie

Le nom scientifique actuel de grenade, *Punica granatum*, est dérivé du nom *Pomum* (pomme) *granatus* (graine), ou pomme ensemencée (pomme épépinée) (**Da Silva et al., 2013 ; Zeynalova et No vruzov, 2017 ; Chen et al., 2019**).

Tableau 01 : Taxonomie du genre *Punica granatum L.* (**Da Silva et al., 2013 ; Zeynalova et No vruzov, 2017**).

Classe	<i>Magnoliopsida</i>
Sous-classe	<i>Rosidées</i>
Ordre	<i>Myrtales</i>
Famille	<i>Lythracées</i>
Genre	<i>Punica</i>
Espèce	<i>Punica granatum L.</i>

3. Etude botanique

Les grenadiers sont principalement des arbres d'environ 5-10 m de hauteur. La tige est lisse avec une écorce gris foncé, souvent quadrangulaire si jeunes, branches parfois épineuses (figure 1). Les feuilles sont opposées ou sub opposées, souvent serrées sur de courtes pousses latérales, pétioles courts, simples, entières, longues de 2 à 8cm, oblongues sur Obovale, vert brillant, glabres et glandulaires (figure 2) (Rana *et al.*, 2010). Les fleurs sont terminales ou axillaires. La capacité de contrôler la rosette ou la compression de la tige, la présence d'entre-nœuds plus courts et de feuilles étroitement disposées avec un méristème subapical inactif permettrait de développer de nouveaux cultivars ornementaux avec de nouvelles formes de croissance, ou même des variétés de fruits avec une forme plus compacte pour faciliter la cueillette des fruits (Da Silva *et al.*, 2013).

Le fruit de grenadier est non climactérique avec un faible taux de respiration et est généralement récolté à pleine maturité (Fawole *et Opara*, 2013). Il a une forme hexagonale arrondie, avec un diamètre de 5 à 12 cm et un poids varié de 200g à 1000 grammes. La peau épaisse entoure environ 600 arilles (membranes fines non comestibles), qui encapsulent les graines (Zarfeshany *et al.*, 2014).



Figure 01. Image d'un grenadier
(Kahramanoğlu, 2016).



Figure 02. Image des feuilles de grenadier
(Kahramanoğlu, 2016).



Figure 03. Image d'une fleur de grenadier (a), un calice (b) (Kahramanoğlu, 2016).

3.1. Ecorce du fruit de grenade

L'écorce du fruit du grenadier (Figure 04) est également appelée *Malicorium*. Il s'agit de la partie dure du fruit. Elle est généralement utilisée séchée, sous la forme de morceaux brunâtres ou vert rougeâtre à l'extérieur, un peu verruqueux, brillants, jaunâtres sur la face intérieure concave, portant souvent l'empreinte des graines qui y étaient appliquées. La saveur de l'écorce de grenade est amère et astringente (Wald, 2009).

Les écorces de grenade sont caractérisées par un réseau intérieur de membranes comprenant près de 26 à 30 % du poids total du fruit et sont caractérisées par des quantités substantielles de composés phénoliques, notamment des flavonoïdes (anthocyanines, catéchines et autres flavonoïdes complexes) et des tanins hydrolysables (punicaline, pédonculagine, punicalagine, acide gallique et ellagique) (Ismail *et al.*, 2012).

Le potentiel thérapeutique d'écorce de grenade a été largement reconnu par différentes cultures. Dans la culture égyptienne, plusieurs affections courantes telles que l'inflammation, la diarrhée, les vers intestinaux, la toux et l'infertilité ont été traitées en exploitant l'extrait d'écorce de grenade. Le potentiel antioxydant exceptionnel et les fortes propriétés médicinales de l'écorce de grenade ont conduit la communauté scientifique internationale à lancer des recherches intensives au cours de la dernière décennie pour approfondir son rôle dans la santé humaine (Lansky *et Newman*, 2007)



Figure 04. Écorce de fruit de grenade (*Malicorium*) (Kahramanoğlu, 2016).

3.1.1. Modélisation d'extraction de composés phénoliques d'écorce de grenade

L'extraction à l'échelle industrielle des composés phénoliques de la peau de grenade est réalisée à l'aide des solvants tels que le méthanol, l'éthanol, l'acétone, le chloroforme et l'acétate d'éthyle. Les solvants polaires ont une plus grande capacité d'extraction antioxydante par rapport aux solvants non polaires. Les composés phénoliques extraits de la peau séchée de grenade avec de l'acétate d'éthyle, de l'acétone, du méthanol et de l'eau démontrent une activité antioxydante plus élevée que les extraits méthanoliques. (Ismail *et al.*, 2012).

3.1.2. Valorisation de l'écorce de grenade

Le schéma de la bio-raffinerie d'écorces de grenade est présenté sur la figure 05. L'écorce de grenade peut être utilisée directement dans les matières premières animales et les cosmétiques. Des produits à valeur ajoutée peuvent être obtenus à partir d'écorces de grenade par des modifications physico-chimiques ou par des opérations unitaires. La fermentation de l'écorce de grenade séchée et en poudre produit des enzymes, des protéines unicellulaires, du biogaz/méthane, etc. Des processus unitaires tels que l'extraction par solvant suivi d'une méthode de séparation appropriée peuvent être utilisés pour produire des produits chimiques à haute valeur ajoutée tels que des composés médicinaux, des composés bioactifs, des pigments et des fibres alimentaires. Des extraits d'écorce de grenade avec des sels métalliques peuvent être utilisés pour la synthèse de nanoparticules. L'écorce de grenade avec des modifications physiques/chimiques est un adsorbant efficace des métaux lourds et des colorants (**Pathak et al., 2017**).

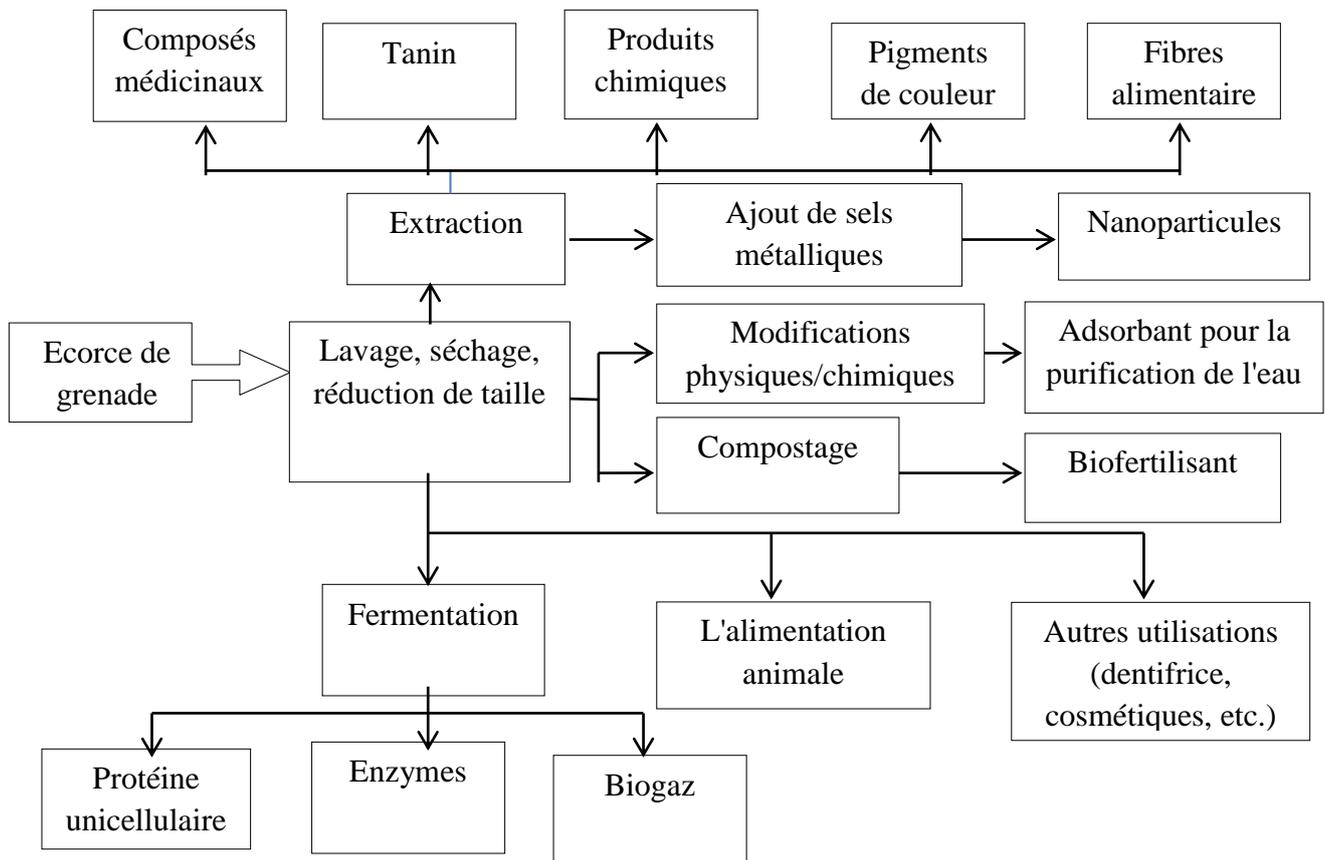


Figure 05. Valorisation de l'écorce de grenade (**Pathak et al., 2017**).

4. Origine et répartition géographique du grenadier

4.1. Origine

D'après **Zeynalova et No vruzov (2017)**, le pays natal de la grenade sauvage est la région couvrant les territoires du Caucase, de l'Iran et de l'Inde du Nord, et originaire du Moyen-Orient, de l'Iran du Nord, y compris l'Azerbaïdjan, dans l'ensemble de l'Asie du Sud-Ouest (Figure 06).



Figure 06. Carte de dispersion des grenades sauvages montrant l'origine de la grenade (**Zeynalova et No vruzov, 2017**).

4.2. Répartition géographique du grenadier

Le grenadier est fortement représenté au Moyen-Orient (zone IV, Figure 07), sa terre d'origine. Ainsi, on le trouve fréquemment en Afghanistan, Turquie, Transcaucasie, et en Inde (zones I, II, IIa et III, Figure 07). Il est aussi beaucoup cultivé dans le bassin méditerranéen : Espagne, Italie, Grèce, Algérie, Tunisie et Maroc (zone V, Figure 07). On le rencontre déjà plus rarement dans le midi de la France, au Portugal, en Bulgarie et en Crimée. De même en Amérique (zones VII, VIII, VIIIa et VIIIb, Figure 07), la culture du grenadier reste très sporadique. Il est présent en Californie, dans l'Utah, en Alabama, Louisiane et Floride (**Wald, 2009 ; Hmid, 2013**).

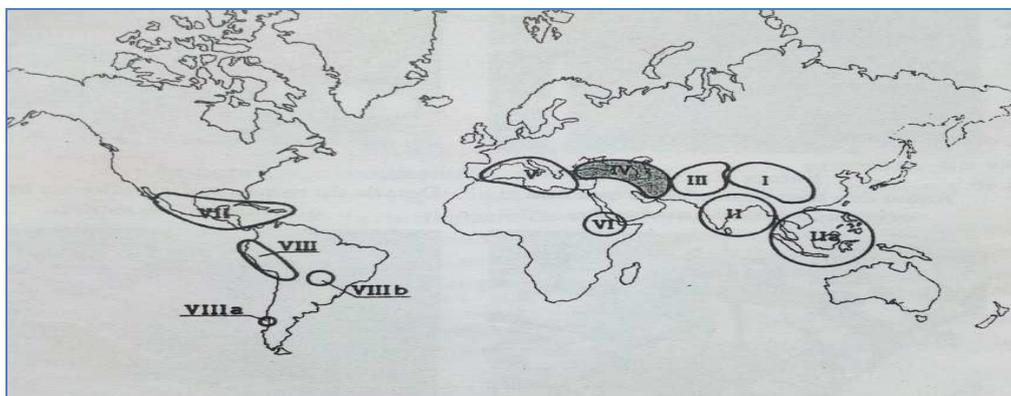


Figure 07. Centres d'origines et de diversité des plantes cultivées selon le chercheur Vavilov (**Hmid, 2013**).

5. Production de grenade

Aucune information fiable n'est disponible sur la production totale de grenade dans le monde. Elle était estimée à environ 3 millions de tonnes en 2014 et 3,8 millions de tonnes en 2017. Les principaux pays producteurs de grenade seraient: l'Inde, l'Iran, la Turquie, la Chine, les États-Unis d'Amérique, Palestine, l'Égypte, l'Espagne, l'Afghanistan, la Tunisie, l'Azerbaïdjan, le Maroc, l'Argentine, le Brésil, le Chili, le Pérou, l'Afrique du Sud, l'Australie et l'Italie. (**Holland et al., 2018 ; Kahramanoğlu, 2019**).

6. Variétés de grenade

IL existe plus de 1000 variétés de *Punica granatum* (**Lansky et Newman, 2007**). Les critères utilisés pour distinguer les variétés de grenadier sont : la taille du fruit, la couleur de l'écorce, la couleur des graines, la dureté des pépins, la teneur en jus, l'acidité, l'astringence et la période de maturation (Tableau 02) (**Stover et Mercure, 2007**).

Le cultivar « *Wonderful* » est le plus commercialisé aux Etats Unis. Découvert en Floride en 1896, il est largement cultivé en Californie. Caractérisé par une couleur rouge intense de l'écorce et des graines (**Holland et al., 2018 ; Kahramanoğlu, 2019 ; Beaulieu et al., 2020**).

Gordo de Jativa, d'origine espagnole, elle arrive à maturité en fin septembre. Son rendement est moyen. Ses fruits ont un calibre moyen à gros (325 g) avec une couleur jaune orange de l'épiderme. Elle se caractérise par une peau très fine et des graines tendres, roses et sucrées (**Stover et Mercure, 2007; Boussalah, 2010**).

En Inde *Bedana* et *Kandhari* sont très appréciés. Le fruit de « *Bedana* » moyen à grand avec une écorce marron. Des graines grenat ou rose claire, sucrée, et des pépins tendres. « *Kandhari* » donne un fruit large avec une couleur rouge foncée, des grains d'un rose intense ou rouge sang, un peu acidulé avec de pépins durs (**Kushwaha et al., 2020**).

Zhéri est une variété qui fleurit en fin avril et arrive à maturité entre fin septembre et mi-octobre. Cette variété est constituée de deux clones: *Zhéri* précoce et *Zhéri* tardif qui ont un décalage de maturité d'environ deux semaines. Les baies de couleur jaune-orange et calibre moyen de 300 à 350g. Les graines sont tendres et de couleur rose pour *Zhéri* précoce et blanche pour *Zhéri* d'automne. Elles sont juteuses et très sucrées (**Boussalah, 2010**).

Djeibi, cette variété fleurit début mai et mûrit à partir de la mi-octobre. Le calibre des baies est moyen à gros (350 g) avec un épiderme de couleur jaunâtre. Les graines sont demi-tendres, rose-claires et très sucrées (Boussalah, 2010).

Il existe peu d'information concernant les variétés cultivées en dehors de l'Europe et des Etats Unis. Telles que « *Ahmar* », « *Aswad* » et « *Holwa* » cultivées en Irak, « *Loufani* » et « *Ras el Baghl* » de Palestine (Stover et Mercure, 2007).

Tableau 02. Variétés décrits dans la littérature et leurs caractéristiques (Stover et Mercure, 2007 ; Boussalah, 2010).

Variétés	Poids du fruit	Caractéristiques	Origine
<i>Agridulce de Ojós</i>	524	Graines rouges, pépins durs, amers/sucrées, acidité moyenne	Espagne
<i>Alandi (Vadki)</i>	/	Graines avec un rose intense, pépins très durs, aigres/sucrées	Inde
<i>Asinar</i>	505	Fruit grand, graines rouges, pépins tendre, sucrées/aigres	Turquie
<i>Bedana</i>	/	Fruit moyen à grand, marron, graines rose-blanches, pépins tendre, sucrées	Inde
<i>Borde de Albaterra</i>	370	Graines rouges intense avec pépins durs, aigres, acidité élevée	Espagne
<i>Dholka</i>	/	Grand fruit, écorce rouge-jaune, graines blanche avec pépins durs, sucrées	Inde
<i>Djeibi</i>	350	Ecorce jaunâtre, graines rose claires, pépins demi-tendres, très sucrées	Maroc
<i>Early Foothill</i>	/	Graines rouges intense, pépins moyen/très durs, sucrées/aigres	USA, 2-4 semaines plus tôt que « Wonderful »

<i>Early Wonderful</i>	/	Graines rouges intense, pépins moyen/très durs, sucrées/aigres	USA, 2-4 semaines plus tôt que «Wonderful »
<i>Fellahyemez</i>	/	Graines roses et grandes, sucrées, pépins tendres	Turquie
<i>Golden Globe</i>	Poids très élevé	Fruit Vert doré avec rougeur rose, graines roses à rouges, pépins dur et petits, sucrées	USA
<i>Gordo de Jativa</i>	325	Fruit jaune orange, graines roses, pépins tendres, sucrées	Espagne
<i>Hicaznar</i>	/	Ecorce rouge sombre, graines rouges, sucrées/aigres	Turquie
<i>Kandhari (also called Arakta)</i>	/	Fruit grand rouge intense, graines roses foncées à rouges sang pépins moyens / durs, sucrées/aigres	Inde
<i>Katirbasi</i>	517	Fruit grand, grande graines rouges, sucrées/aigres	Turquie
<i>Mollar de Elche 15</i>	272	graines rouges foncées, sucrées, pépins tendres	Espagne
<i>Mollar de Orihuela</i>	414	graines roses rouges, sucrées, pépins tendres	Espagne
<i>Sefri</i>	500	Ecorce jaune, graines rose-claires, pépins demi-tendres, juteuses et très sucrées	Maroc
<i>Wonderful</i>	/	Graines rouges foncées, pépins moyennement dur (ou moyennement tender), sucrées/aigres	USA
<i>Zhéri</i>	300 à 350	Fruit moyen, couleur jaune orange, graines roses à blanches, pépins tendres, sucrées	Maroc

6.1. Variétés Algériennes

Bien que le grenadier soit peu exigeant, les plantations ne sont pas très importantes en Algérie. Il existe de nombreuses variétés de grenades, de qualités très différentes. Plusieurs sortes de grenadier sont signalées dans des petits jardins en Kabylie, on ne connaît que leur appellation locale (*Lahlou, Elmouze, ..*). Quatorze variétés sont actuellement autorisées à la production et à la commercialisation par l'Etat qui est : *Espagne rouge, Corda travita, Moller huesso, Mellisse, Papers shell, Gajin Sefri, Zemdautomne, Sulfani, Spanish duoy, Selection station, Chelfi, Doux de kolea, Messaad (Bendjabeur, 2012).*

7. Compositions nutritionnelles et phytochimiques du *Punica granatum. L*

7.1. Composition nutritionnelle

Les nutriments essentiels sont les protéines, les graisses, les glucides, les vitamines et les minéraux. La grenade est riche en vitamines C, K, B6, B5, E, thiamine (vit B1) et riboflavine (vit B2) en quantités infimes. La grenade contient une très grande quantité de minéraux tels que le potassium et le cuivre, alors qu'elle contient une faible quantité de sodium et de fer (Tableau 03). La grenade contient également des oligo-éléments tels que le magnésium, le phosphore, et le zinc (Jaiswal, 2020).

Tableau 03. Composition nutritionnelle de grenade (Venkitasamy *et al.*, 2019).

Constituent	Valeur pour 100g de portion comestible (g)	Constituent minérales	Valeur pour 100g de portion comestible (mg)	Constituent (vitamines)	Valeur pour 100g de portion comestible (mg)
Eau	80.97	Calcium	3	Vitamine C	6.1
Protéines	0.95	Magnésium	3	Vitamine B1	0.03
Lipides	0.3	Phosphore	8	Vitamine B2	0.03
Carbohydate	17.17	Potassium	259	Vitamine B3	0.3
Fibre	0.6	Sodium	3	Vitamine B5	0.596
sucre	16.57	Zinc	0.12	Vitamine B6	0.105
		Cuivre	0.07	Vitamine E	0.6
		fer	0.3	Vitamine K	0.0046

7.2. Composition phytochimique

Les composés non nutritifs sont considérés comme des composés phytochimiques bénéfiques pour la santé humaine qui existent dans différentes parties du fruit de la grenade (Tableau 06). Les polyphénols sont le principal groupe de composés phytochimiques de la grenade. Ils sont classés en flavonoïdes (flavonols, flavanols et anthocyanes), en tanins condensés (proanthocyanidines) et en tanins hydrolysables (ellagitanins et gallotannins) (Zarfeshany *et al.*, 2014 ; Asadi-Gharneh *et al.*, 2017 ; Jaiswal, 2020).

Ellagitanins (surtout punicalagines) et petite quantité de procyanidines (prodelphinidines et gallocatéchine) sont présents dans l'écorce de grenade. Les anthocyanes sont trouvés dans la peau. Les dérivés de la delphinidine ne sont pas observés, alors que les dérivés de la cyanidine et de la pélargonidine se trouvent dans le jus de grenade (Jaiswal, 2020).

La peau est une riche source de composés phytochimiques tels que les ellagitanins (ET), y compris la punicalagine, l'acide gallique, l'acide ellagique et les flavonoïdes, tandis que les graines sont une source importante de lipides totaux qui représentent 12 à 20 % du poids total des graines. L'huile de graines de grenade contient des acides gras polyinsaturés tels que l'acide linoléique, linoléique, oléique, stéarique et palmitique. L'huile de pépins de grenade se compose de 60 % d'acide punique, d'un acide linoléique conjugué cis-9, trans-11 et cis-13. De plus, l'œstrone, connue comme une hormone sexuelle, serait présente dans les graines de grenade (Jaiswal, 2020).

Tableau 04. Composition phytochimiques sélectionnées de différentes parties de grenadier (Jaiswal, 2020).

Partie de la plante	Constituants	Nom des composés
Jus	Catéchine et procyanidines Anthocyanes et anthocyanidines	(-)Catéchine ; Procyanidine B1 ; Procyanidine B2 ; Cyanidine ; Cyanidine-3-glucoside ; Delphinidine ; Pélargonidine 3-glucoside
	Acides organiques	Acide caféique ; L'acide chlorogénique ; Acide o-coumarique ; Acide p-coumarique ; Acide férulique ; Acide gallique
Ecorce de la tige	Ellagitanins et gallotannins	Punicaline ; Punicalagine
	Dérivés de l'acide ellagique	L'acide ellagique
	Alcaloïdes	Pelletierine ; Sédridine

Ecorce de fruit	Ellagitanins et gallotannins	Punicalagine
	Flavonols	Kaempférol ; Lutéoline ; Quercétine
Graines	Acides gras et triglycérides Stérols et terpénoïdes	Acide eicosénoïque ; L'acide linoléique ; Acide linoléique ; L'acide oléique ; L'acide palmitique Acide bétulinique ; Estrone ; Estradiol ; Stigmastérol ; Acide ursolique

7.2.1. Composés phénoliques sélectionnés dans l'écorce de grenade

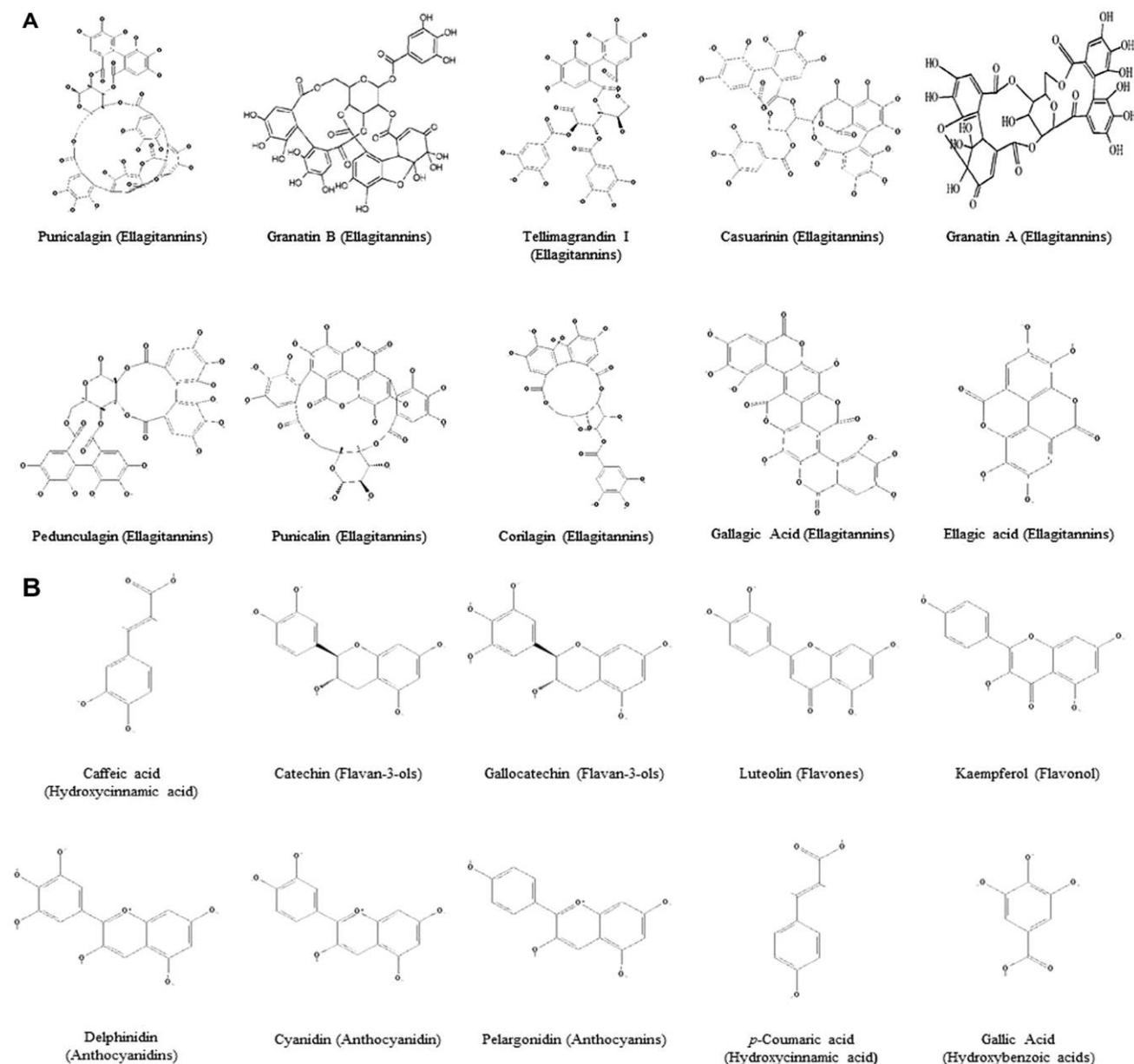


Figure 08. Structures chimiques de composés sélectionnés dans l'écorce de grenade (Akhtar *et al.*, 2015).

8. Activités biologiques d'écorce de la grenade

La grenade a été longtemps approuvée comme aliment et médicament et comme régime dans la convalescence après diarrhée. La partie officinale, l'écorce du fruit est astringente, digestive, cardiotonique, agent stomachique et elle est fortement efficace dans la diarrhée et la dysenterie chronique, la dyspepsie, la colite (inflammation de l'intestin), les hémorroïdes et les désordres utérins (**Bendjabeur, 2012**).

L'écorce de grenade est riche en polyphénols comprenant les ellagitanins, les gallotanins l'acides ellagique, l'acides gallagique, la catéchine, les anthocyanines, l'acide férulique, et la quercétine. Ces polyphénols montrent diverses activités biologiques, telles que l'élimination des radicaux libres, l'inhibition de l'oxydation et de la croissance microbienne, et la diminution du risque des maladies cardio- et cérébrovasculaires et quelques cancers (**Ismail et al., 2012**). Beaucoup de chercheurs ont prouvé que les préparations contenant l'extrait de la peau de grenade peuvent être utilisées pour empêcher et/ou traiter l'athérosclérose, la diarrhée, l'ulcère gastrique, la maladie vénérienne, et les maladies relatives à l'œstrogène (**Reddy et al., 2007**).

8.1. Activité antioxydante

Les études chez les rats et les souris confirment les propriétés antioxydantes de l'extrait des sous-produits de la grenade préparés à partir de fruits entiers, moins le jus, montrant une réduction de 19% du stress oxydatif dans les macrophages péritonéaux de souris, soit une baisse de 42% de la teneur cellulaire en peroxydes lipidiques, et une augmentation de 53% des niveaux du glutathion réduit (**Rosenblat et al., 2006**).

Une étude séparée chez les rats avec des dommages au foie a démontré que le prétraitement avec l'extrait de l'écorce de grenade a amélioré ou maintenu l'activité de piégeage des radicaux libres des enzymes hépatiques : la catalase, la superoxyde dismutase, et la peroxydase, et a abouti à 54% de réduction des valeurs de la peroxydation lipidique par rapport aux témoins (**Chidambara et al., 2002**).

Autres études ont démontré que l'extrait de l'écorce de grenade diminue la peroxydation lipidique dans les tissus hépatiques, cardiaques, et rénaux (**Parmar et Kar, 2008**) et a un effet facilitant les capacités de piégeage de l'anion superoxyde et du peroxyde d'hydrogène.

Abdel Moneim (2012), a examiné l'extrait méthanolique de l'écorce de *Punica granatum* pour son activité antioxydante sur le cerveau des rats mâles adultes albinos Wistar en mesurant les paramètres antioxydants (le glutathion réduit, la catalase, la superoxyde dismutase, la glutathion

réductase, la glutathion-S-transférase, et la glutathion peroxydase), le peroxyde d'hydrogène (H₂O₂), l'oxyde nitrique (NO) et la peroxydation lipidique dans l'homogénat de cerveau (MDA). Le traitement avec l'écorce de grenade a eu comme conséquence l'augmentation marquée de la plupart des paramètres antioxydants avec la réduction des oxydants : H₂O₂ (-15.6%, $p < 0.005$), NO (-23.6%) et MDA (-10.9%).

8.2. Activité antidiabétique

Une étude visant à évaluer le rôle de l'extrait de la poudre d'écorce de *Punica granatum* dans sa dose thérapeutique humaine sur le nombre des cellules bêta, la glycémie et les taux plasmatiques d'insuline chez des rats normaux et des rats diabétiques alloxanes pendant 4 semaines de traitement. Le traitement a révélé que l'extrait aqueux de grenade a diminué significativement le niveau de glucose du sang et augmenté le niveau d'insuline dans les rats normaux et les rats diabétiques traités. Le pancréas a montré une augmentation du nombre des cellules bêta dans les rats normaux et les rats diabétiques traités (**Khalil, 2004**).

Dans une autre étude (**Labib, 2009**) qui a été réalisée pour évaluer l'effet de la poudre d'écorce de grenade et son extrait sur le métabolisme des lipides chez les rats males hypercholestérolémiques la poudre de l'écorce de grenade a été ajoutée à un régime hypercholestérolémique par 5, 10 ou 15% comme fibre diététique tandis que l'extrait de l'écorce de grenade a été ajouté à un régime hypercholestérolémique par 1, 2 ou 3%.

Les résultats ont montré que les rats hypercholestérolémiques ont subi des changements très importants dans tous les paramètres lipidiques testés en comparaison avec le groupe témoin négatif (rats normaux). Tous les rats hypercholestérolémiques administrés avec différentes doses de la poudre de l'écorce de grenade (5, 10 et 15%) ont montré une diminution significative de la consommation alimentaire et du taux de gain de poids corporel en comparaison avec le groupe témoin positif (rats hypercholestérolémiques) (**Labib, 2009**).

8.3. Activité antimicrobienne

Selon **Machado et al. (2003)**, les ellagitanins isolés de la grenade ont montré une activité antibactérienne contre *Staphylococcus aureus* méthicilline-résistant et sensible, avec une concentration minimale inhibitrice (CMI) de 62.5 µg/ml.

Les fractions de l'acide ellagique, de l'acide gallagique, des punicallines, et des punicalagines extraits à partir de la grenade ont révélé une activité antimicrobienne contre *Escherichia coli*,

Pseudomonas aeruginosa, *Staphylococcus aureus* méthicilline-résistant, et d'autres bactéries nocives (Reddy *et al.*, 2007).

Bendjabeur (2012), ont évalué l'effet de l'extrait méthanolique du fruit entier de grenade sur *S. aureus* et la production ultérieure de l'entérotoxine. Ils ont suggéré que les extraits de grenade ont pu être considérés comme une thérapeutique antibactérienne potentielle avec la capacité additionnelle d'inhiber la production d'entérotoxine. Ils ont ajouté que les propriétés antibiotiques de l'extrait sont d'un intérêt extrême à la suite de la menace croissante des souches bactériennes développant une résistance aux antibiotiques conventionnels.

Endo *et al.* (2010) ont suggéré que la punicalagine isolé des peaux de grenade possède une forte activité contre *candida albicans* et *candida parapsilosis* de même la combinaison du punicalagine et du fluconazole a montré une action synergique très efficace.

Al-Zoreky (2009), a montré que l'extrait méthanolique 80% des peaux de grenade était un inhibiteur efficace contre *Listeria monocytogenes*, *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli* et *Yersinia enterocolitica*.

8.4. Action anti-ulcère

L'extrait de la peau de grenade possède une activité inhibitrice des ulcères de l'estomac induits par l'aspirine et l'éthanol, grâce à ses propriétés antioxydantes. Pour des doses de 250 et 500 mg/kg d'extrait de grenade à 70 %, le pourcentage d'inhibition s'élève, respectivement, à 22,37 et 74,21 pour les ulcères induits par l'aspirine et à 21,95 et 63,41 pour ceux induits par l'éthanol. Chez les animaux traités, les taux *in vivo* d'antioxydants telles que le superoxyde dismutase, la catalase et la glutathion peroxydase ont été augmentés pour atteindre des valeurs proches de la normale. Le taux de peroxydation lipidique des tissus est diminué chez les animaux traités par rapport au groupe témoin. De plus, alors que l'estomac des animaux témoins montre une érosion sévère de la muqueuse gastrique, des œdèmes sous-muqueux et une infiltration par les neutrophiles, celui des animaux traités à l'extrait de peau de grenade ne montre aucun de ces symptômes (Ajaikumar *et al.*, 2005).

8.5. Action anticancéreuse

Les cellules cancéreuses ont la capacité de redevenir des cellules saines par un processus appelé différenciation. Les flavonoïdes peuvent induire cette différenciation avec une toxicité plus faible que les rétinoïdes, ce qui les rend intéressant pour le traitement de la leucémie, mais aussi des cancers du sein ou de la prostate. Ainsi, les fractions riches en polyphénols de grenade ont une activité antiproliférative, anti-invasive, anti-eicosanoïde, anti-angiogène et proapoptose sur des

cellules cancéreuses de sein et de prostate. Une étude réalisée sur des promyélocytes humains de leucémie montre que des extraits riches en flavonoïdes, obtenus l'un à partir de jus de grenade fermenté et l'autre à partir de péricarpe de grenade, sont fortement promoteurs de différenciation, alors que l'extrait de jus de grenade frais a un effet plutôt faible. Les extraits de grenade ont aussi une action inhibitrice de la prolifération des cellules cancéreuses, les extraits de jus fermenté et de peau de grenade étant plus efficaces (**Kawaii et Lansky, 2004**).

**Chapitre 02. Composés
phénoliques et Activité
antioxydante d'écorce
de grenade**

1. introduction

Tous les êtres vivants ont un métabolisme primaire qui fournit les molécules de base (acides nucléiques, lipides, protéines, acides aminés et glucides). Les plantes produisent, en plus, un grand nombre de composés qui ne sont pas issus directement lors de la photosynthèse, mais résultent de réactions chimiques ultérieures. Ces composés sont appelés les métabolites secondaires. Ils comportent les composés phénoliques et les composés azotés formés essentiellement des alcaloïdes et des glycosides. Ces métabolites jouent souvent un rôle de défense de la plante qui les fabrique (Saadaoui *et al.*, 2007).

En plus de leurs activités antioxydantes et antimicrobiennes, les polyphénols possèdent plusieurs autres effets bénéfiques pour la santé humaine (Luna-Guevara *et al.*, 2018).

Face aux limites thérapeutiques des médicaments chimiques, le développement de la recherche sur les plantes médicinales a été orienté vers l'obtention de phytomédicaments. Ce développement constitue une étape indispensable pour l'essor de tout un secteur lié aux besoins non seulement de la thérapie, mais aussi de l'industrie agroalimentaire, de la cosmétique et de la parfumerie (Saadaoui *et al.*, 2007).

2. Composés phénoliques

2.1. Définition des composés phénoliques

L'appellation « polyphénols » ou « composés phénoliques » regroupe un vaste ensemble de plus de 8000 molécules, divisées en une dizaine de classes chimiques, qui présentent toutes un point commun : 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). Les représentants les plus nombreux (plus de 5 000 molécules isolées) et les plus connus en sont les « flavonoïdes » (Hennebelle *et al.*, 2004 ; Luna-Guevara *et al.*, 2018; Vuolo *et al.*, 2019).

Les composés phénoliques sont un groupe diversifié de composés organiques. Ces molécules sont présentes dans la plupart des tissus végétaux, par exemple les feuilles, les racines et les parties comestibles de la plante telles que les fruits. De plus, les composés phénoliques peuvent être trouvés dans la nature conjugués à des fragments de sucre et à des acides organiques (Aviles-Gaxiola *et al.*, 2020).

2.2. Composés phénoliques d'écorce de grenade

Les écorces de grenade contiennent des quantités considérables de phénols dont des flavonoïdes (anthocyanes, catéchines et autres flavonoïdes complexés) et des tanins hydrolysables (punicaline, pédonculagine, punicalagine, acide gallique et ellagique) qui représentent 92% de leur activités antioxydantes (Tableau 5) (Abid *et al.*, 2017 ; Hamedi *et al.*, 2018 ; Vladić *et al.*, 2020).

Tableau 05. Composés phénoliques présents dans l'écorce de grenade (Singh *et al.*, 2018 ; Smaouia *et al.*, 2019)

Familles des composés phénoliques	Principaux composés identifiés
Acides phénoliques	acides chlorogénique, caféique, syringique, sinapique, pcoumarique, férulique, vanillique, ellagique, gallique et cinnamique
Flavonoïdes	catéchine, épicatechine, quercétine, anthocyanes, procyanidines, flavonols et flavones
Tanins	granatine A, granatine B, punicaline, punicalagine, corilagine, gallagylidilactone, pédonculagine et tellimagrandine

2.2.1. Acides phénoliques

Chimiquement, les acides phénoliques peuvent être définis comme des substances possédant un cycle aromatique lié à un ou plusieurs substituants hydrogénés, y compris leurs dérivés fonctionnels (Viuda-Martos *et al.*, 2010 ; Smaouia *et al.*, 2019).

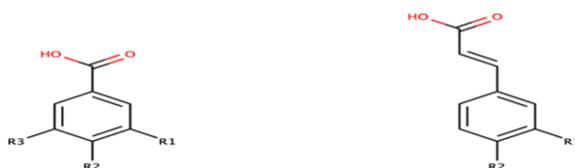


Figure 09. Structures de base des acides phénoliques (acides hydroxyl-benzoïque et cinnamique) (Luna-Guevara *et al.*, 2018).

Les acides phénoliques comprennent les acides chlorogénique, caféique, syringique, sinapique, p-coumarique, férulique, vanillique, ellagique, gallique et cinnamique qui ont été identifiés dans l'écorce de grenade. Les profils phénoliques et leurs concentrations varient parmi les cultivars de grenade cultivés dans différentes conditions géographiques (**Elfalleh et al., 2011**).

Mansour et al., (2013) ont quantifié cinq composés phénoliques (3 acides hydroxybenzoïques : acides vanillique, gallique et ellagique) et 2 acides hydroxycinnamiques (acides caféique et p-coumarique). Les écorces de grenade étudiées étaient riches en acide gallique avec une concentration moyenne d'environ $124,14 \pm 16,52$ mg/100 g. L'acide vanillique et la quercétine n'étaient présents qu'en petites quantités égales à $1,0 \pm 0,7$ et $1,9 \pm 0,5$ mg/100g. Selon **Elfalleh et al., 2011**, quatre composés phénoliques (2 acides hydroxybenzoïques (acides gallique et ellagique) et 2 acides hydroxycinnamiques (acides caféique et p-coumarique) ont été identifiés et quantifiés dans l'écorce de grenade.

Les acides gallique, ellagique, caféique et p-coumarique ont été identifiés et quantifiés à partir de l'extraits de l'écorce de grenade six écotypes de grenade tunisiens avec concentrations moyennes de 123,79, 35,89, 20,56 et 4,48 mg/100 g, respectivement (**Elfalleh et al., 2011**). Acide vanillique (65,87 à 108,36 g/g), acide caféique (3,88–75,19 g/g), acide syringique (15,17–88,24 µg/g), acide p-coumarique (0,12–14,87 µg/g), acide férulique (0,15–8,84 µg/g) et acide sinapique (2,13–3,58 µg/g) étaient les principaux acides phénoliques signalés dans l'écorce de grenade des cultivars du Pakistan avec une quantité maximale signalée dans les méthodes d'extraction par solvant et fluide supercritique assistée par enzyme (**Mushtaq et al., 2015**). La teneur en acide ellagique et en acide gallique était respectivement de 201,3 et 8,91 mg/g dans la peau d'un cultivar de grenade chinois (**Ma et al., 2015**). L'acide ellagique comprenait plus de 50 % des composés phénoliques totaux dans la peau des cultivars de grenade (**Fawole et al., 2012**).

2.2.2 Flavonoïdes

Les flavonoïdes sont des composés de bas poids moléculaire constitués de 15 atomes de carbone, disposés en configuration C6-C3-C6. Essentiellement, le structure constituée de 2 cycles aromatiques reliés par un pont à 3 carbones, généralement sous la forme d'un cycle hétérocyclique (**Chira et al., 2008 ; Luna-Guevara et al., 2018 ; Smaouia et al., 2019**).

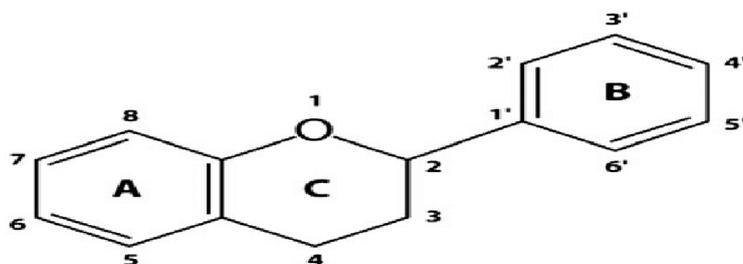


Figure 10. Structure de base des flavonoïdes (Luna-Guevara *et al.*, 2018).

L'écorce de grenade est une source potentielle de flavonoïdes tels que la catéchine, l'épicatéchine, la quercétine, les anthocyanes et les procyanidines. La composition des flavonoïdes change avec les stades de développement du fruit et la concentration de flavonols et de flavones dans L'écorce de grenade varie selon les différents cultivars de grenade (Zhao *et al.*, 2014). La catéchine et l'épicatéchine étaient les composés identifiés dans les écorces de sept cultivars de grenade sud-africains (Fawole *et al.*, 2012). Dans 21 variétés de grenade iraniennes, la valeur moyenne de la teneur en quercétine était de 1,9 mg/100 g de poids sec (Mansour *et al.*, 2013).

Le niveau de catéchine et d'épicatéchine dans l'écorce de grenade sud-africaine après la récolte était respectivement de 570,76 et 61,30 mg/kg (Mphahlele *et al.*, 2017). La rutine a été identifiée comme le flavonoïde le plus prédominant dans l'écorce de grenade frais (3446,24 mg/kg) mais son niveau a diminué de 65% (1191,39 mg/kg) dans la peau lors d'un stockage au froid prolongé (stocké pendant 4 mois en emballant les fruits dans un sac polyliner) en raison de sa forte instabilité (Mphahlele *et al.*, 2017). Des flavonoïdes tels que la catéchine (110,7–125,6 mg/100 g FW), l'épicatéchine (110,7–125,6 mg/100 g FW) et la quercétine (92,1–99,2 mg/100 g FW) ont été signalés dans les écorces de grenade de six cultivars géorgiens (Pande et Akoh., 2009).

Les flavonoïdes (principalement les anthocyanes) contribuent à la couleur du fruit de la grenade. L'écorce de grenade contient près d'environ 30% des anthocyanes totales présentes dans les fruits de la grenade. La composition en anthocyanes du L'écorce de grenade varie selon les cultivars, les stades de développement des fruits et le temps de coloration (Zhao *et al.*, 2013). Teneur et composition en anthocyanes variait significativement chez les cultivars ayant des couleurs de peau différentes.

2.1.3. Tanins

Les tanins sont des polyphénols végétaux de haut poids moléculaire divisés en trois groupes chimiquement et biologiquement distincts : les tanins condensés ou proanthocyanidines, les tanins

hydrolysables et les gallotannins. L'écorce de grenade est riche en tanins hydrolysables. (Seeram et al., 2005 ; Vuolo et al., 2019).

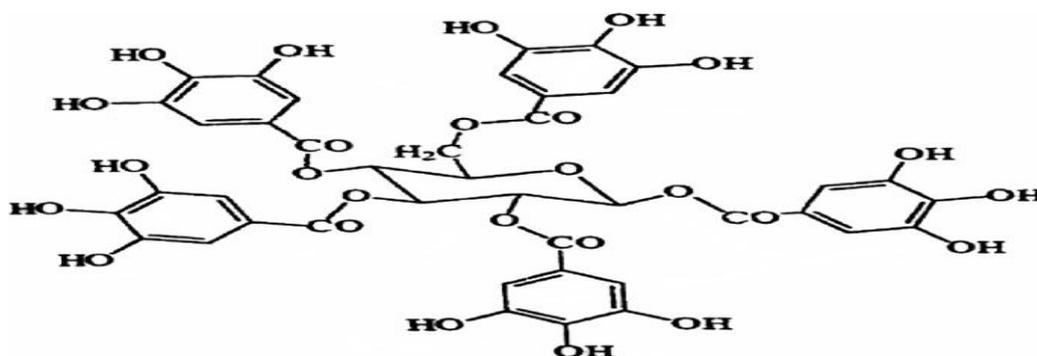


Figure 11. Structure de l'acide tannique (Luna-Guevara et al., 2018).

L'écorce de grenade est une riche source d'ellagitanins et de dérivés d'acide ellagique comme punicalagine (hexahydroxydiphénol (HHDP)-gallagyl-hexoside), punicaline (gallagyl-hexoside), acide ellagique hexoside et acide ellagique pentoside. Les tanins isolés de L'écorce de grenade étaient la granatine A, la granatine B, la punicaline, la punicalagine, la corilagine, la gallagyl-dilactone, la pédonculagine et tellimagrandine (Satomi, et al., 1993).

Abid et al. (2017) a révélé que les ellagitanins avec la punicalagine et les dérivés de la punicalagine étaient les principaux composés tanniques présents dans les extraits de L'écorce de grenade. Ils ont détecté du galloyl-HHDP-hexoside, de la granatine A, de la granatine B, de la pédonculagine I, de la pédonculagine II, de l'acide bis-HHDP-gluconique (lagerstannine A), du dérivé de castalagine et du dérivé de galloyl-bis-HHDP-hexoside (casuarinine) dans des extraits de L'écorce de grenade. Le profil HPLC en phase inverse de L'écorce de grenade a montré la présence d'ellagitanins hydrolysables tels que les isomères HHDP-gallagyl-hexose (α -et β -punicalagine), la pédonculagine, l'acide ellagique-hexoside, l'acide ellagique-pentoside, l'acide ellagique-désoxyhexoside et l'acide ellagique (Pagliarulo et al., 2016). Tanins hydrolysables (ellagitanins et gallotannins) sont l'un des composés phénoliques prédominants dans L'écorce de grenade.

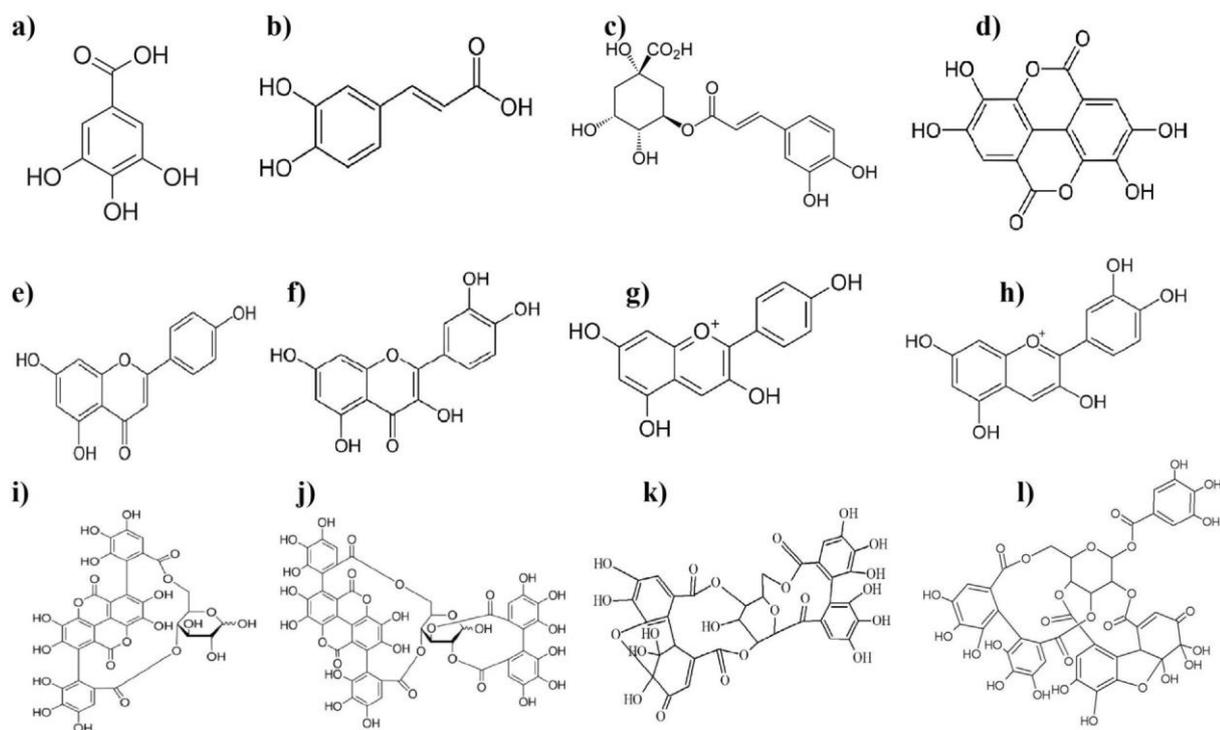


Figure 12. Structures chimiques des principaux composés phénoliques identifiés dans l'écorce de grenade : acide gallique (a), acide caféique (b), acide chlorogénique (c), acide ellagique (d), apigénine (e), quercétine (f), pélargonidine (g), cyanidine (h), punicaline (i), punicalagine (j), granatine A (k) et granatine B (l).

3. Potentiel antioxydant de l'écorce de grenade et l'extrait de l'écorce de grenade

Les composés phénoliques des végétaux et leurs dérivés ont été largement étudiés pour leur capacité antioxydante, qui dépend de leurs propriétés de piégeage et/ou de chélation des métaux de transition. L'activité antioxydante est susceptible de jouer un rôle central et de contribuer aux effets bénéfiques sur la santé attribués aux polyphénols. Ainsi, la présence d'ingrédients naturels tels que les polyphénols dans les produits alimentaires peuvent améliorer l'acceptabilité des consommateurs en raison de leurs avantages mais, d'un point de vue technologique, peut aussi augmenter la stabilité à l'oxydation des aliments. Par conséquent, l'utilisation de l'extrait de l'écorce de grenade comme ingrédient alimentaire riche en antioxydants semble être à la fois bénéfique et prometteuse (Rummun *et al.*, 2013).

Les propriétés antioxydantes de l'écorce de grenade ont été attribuées aux acides phénoliques, aux tanins et aux flavonoïdes. L'extrait de l'écorce de grenade est une très bonne source d'antioxydants naturels (anthocyanes, catéchine, quercétine, gallotannins, ellagitanins, acide ellagique, férulique et gallique) ayant des activités antioxydantes prometteuses (Doostan *et al.*,

2017), Les ellagitanins (punicalagine et ses dérivés) sont les polyphénols les plus abondants dans l'écorce de grenade responsables de la peau puissante activité antioxydante **Pande et Akoh (2009)**, À cet égard, l'ajout de l'extraits de l'écorce de grenade à la glace ont considérablement augmenté le niveau phénolique total et la capacité antioxydant sans influencer négativement le contenu de *Lactobacillus casei* Shirota, un probiotique bénéfique utilisé dans la fabrication de divers produits laitiers (**Sagdic et al., 2012**) le traitement avec l'extraits de l'écorce de grenade a augmenté la stabilité du poisson caprin conservé contre l'oxydation des lipides (**Paari et al., 2012**).

Ajout de l'extraits de l'écorce de grenade aux confitures (**Ventura et al., 2013**), jus et les vins (**Wasila et al., 2013**) ont augmenté leur concentration phénolique, flavonoïdes et thiols avec une amélioration significative des caractéristiques de piégeage des radicaux libres et de stabilité du produit.

4. Niveaux fonctionnels et toxicologiques de l'écorce de grenade et l'extrait de l'écorce de grenade

Comme tout autre extrait végétal, L'extraits de l'écorce de grenade peut en principe générer une toxicité si les niveaux de consommation ou d'exposition dépassent les seuils limites. Étant donné que l'utilisation de l'écorce de grenade et de ses extraits dans les produits alimentaires à des fins nutraceutiques et fonctionnelles est en augmentation, la question de la toxicologie/sécurité mérite la plus haute considération. Des doses ou concentrations létales de l'extraits de l'écorce de grenade et de certains constituants fractionnés ont été étudiées *in vitro* et *in vivo* au cours des dernières années. L'étude de **Vidal et al., (2003)** ont démontré qu'un extrait hydroalcoolique de grenade (fruit entier) (administré I.P. à souris *OF-1*) présentait un bon profil d'innocuité, avec une DL50 aiguë valeur de 731,1 mg/kg p.c., Niveaux supérieurs d'extraits de grenade, L'extraits de l'écorce de grenade et les composés fractionnés (> 2000 mg/kg p.c.) ont été évalués pour suspicion de toxicité chez les animaux de laboratoire. (**Joseph et al., 2013**).

Les polysaccharides de galactomannane de l'écorce de grenade (connus pour présenter des propriétés cytotoxiques contre les cellules cancéreuses) administrés à des souris BALB/c n'ont induit aucun effet toxique mesurable jusqu'à 2000 mg/kg de poids corporel. (**Joseph et al., 2013**). Des résultats similaires ont également été rapportés pour l'acide ellagique et les extraits de grenade (**Bhandary et al., 2013**). L'administration orale d'extraits éthanoliques de grenade à des rats femelles à une concentration de 2000 g/kg p.c. n'a présenté aucune toxicité chez les animaux testés (**Das et Sarma, 2014**).

Chapitre 03. Séchage
De l'écorce de
grenade

1. Définition de séchage

Le séchage est un procédé ancien utilisé pour conserver et prolonger durée de conservation de divers produits alimentaires. Le principal le but du séchage des produits alimentaires est d'éliminer l'eau dans le solide à un niveau auquel la détérioration et la détérioration microbiennes résultant de réactions chimiques est considérablement réduit. Cela permet de stocker le produit pendant des périodes plus longues puisque l'activité des micro-organismes et les enzymes sont inhibées par le séchage (Mphahlele *et al.*, 2016).

2. Avantages et inconvénients du séchage

2.1. Avantages du séchage

Les principaux avantages du procédé de séchage sont :

- La simplicité de la méthode avec un bon rendement ;
- L'universalité du procédé ;
- Une longue durée de conservation des aliments déshydratés qui peut être de plusieurs mois ;
- La désactivation des enzymes responsables de la dégradation des aliments ;
- L'inhibition de la croissance des micro-organismes grâce à la réduction de l'activité d'eau ;
- Sa capacité à être utilisé à des fins commerciales permettant de limiter les pertes de récoltes ;
- La diminution des coûts financiers et environnementaux liés au transport des marchandises en raison de la réduction massique (Fournier, 2003).

2.2. Inconvénients du séchage

Comme tous les traitements thermiques, le séchage peut entraîner, en particulier, des pertes d'arômes, de vitamines et de pigments, des réactions de brunissement, des durcissements superficiels, des modifications irréversibles de la texture et donc de la capacité à la réhydratation, des pertes de constituants volatils et la modification de la répartition de l'humidité dans le produit. En général, le séchage a globalement moins d'inconvénients que d'autres procédés de conservation (appertisation, congélation ou traitement aseptique) (Fournier, 2003).

3. Techniques de séchage de l'écorce de la grenade

L'écorce de la grenade est riche en humidité et ne peut pas être stockée pour une utilisation ultérieure sans l'application d'une méthode de conservation. Par conséquent, il est nécessaire de choisir la bonne technique de traitement qui ne compromet pas l'intégrité du produit. Le processus de séchage est une technique de déshydratation et constitue une étape essentielle pour réduire la teneur

en eau à des fins de conservation, ce qui augmente la durée de conservation et influe directement sur les changements physiques et chimiques des produits (**Onwude et Hashin, 2016**).

Les techniques de séchage sont souvent classées suivant le mode de transmission de la chaleur. On distingue alors :

3.1. Séchage à l'air libre

Cette méthode est la plus ancienne. Elle est basée sur un transfert de l'eau de la matrice voulue séchée vers l'air ambiant. En effet, une faible humidité relative de l'air correspond à une température élevée, ce qui lui confère une plus grande capacité d'entraînement de l'humidité. Ainsi, l'augmentation de la température de l'air ambiant est sans effet sur sa teneur en vapeur d'eau, mais les variations de température dans une matrice hydratée aura une incidence sur le contenu en vapeur d'eau de cette dernière (**Hossain et al., 2003**).

3.2. Séchage au soleil

Le séchage au soleil a été effectué sous la lumière directe du soleil. Les températures extérieures moyennes et maximales étaient de 26,8 et 32,8 C, respectivement, et la vitesse de l'air était de 1,4 m/s.

L'échantillonnage a été effectué à partir de chaque expérience au moment où les échantillons ont atteint 0,02 RM, et les échantillons ont été entreposés à 20 C dans des tubes de faucon jusqu'aux analyses (**Fatih Mehmet Yilmaz et al., 2015**).

3.3. Séchage au four et lyophilisation

Une centaine de grammes de fractions de peau de grenade ont été utilisés en trois exemplaires pour les procédés de séchage; le procédé de séchage au four a impliqué les échantillons de peau disposés dans des plateaux en aluminium jetables, avec un espacement d'environ 1 cm entre les pièces et séché dans un équipement de déshydratation de la circulation d'air (Pardal Technology for Agroindustry) à une température de 60 ° C (1°) jusqu'à ce que les pelures obtiennent une activité hydrique de 0,3 et une humidité inférieure à 3 % (séchage de 12 h). Pour le procédé de lyophilisation ou de lyophilisation, les écorces de grenade ont été traitées dans un séchoir Alpha 1-LD 4 plus Christ à -50 °C et 0,040 mbar sur une période de 24 h, en tenant compte des mêmes paramètres d'activité et d'humidité dans le procédé de séchage au four (**Marchi et al., 2015**).

Après le traitement, les pelures séchées ont été mouluées dans une usine de Wiley (Marconi), normalisées à une granulométrie de 60 mailles et entreposées dans des emballages laminés sous vide pour geler à -20 °C jusqu'au moment du traitement et de l'analyse. La figure 13 montrent

respectivement le processus de séchage au four et le processus de lyophilisation à sec (Marchi *et al.*, 2015).

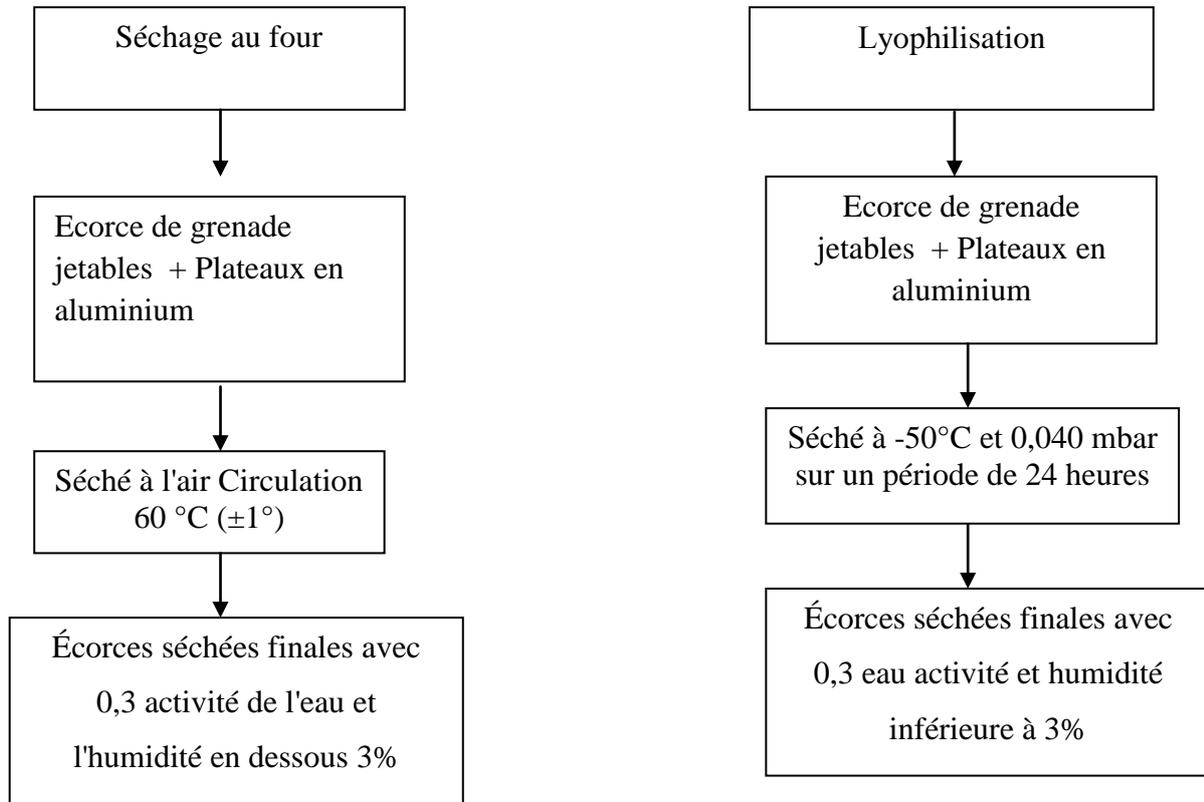


Figure 13. Processus de séchage au four et par lyophilisation (Marchi *et al.*, 2015).

**Chapitre 04: Etudes
antérieures traitant l'impact
du séchage sur la teneur et
l'activité antioxydante des
composés phénoliques de
l'écorce de la grenade
« *punica granatum* »**

1. Effet du séchage sur la teneur en polyphénols totaux

L'extraction est l'une des étapes les plus importantes pour la purification et la pré-concentration de composés spécifiques et elle joue un rôle crucial dans l'isolement et l'analyse qualitative des composés phytochimiques (**Arvaniti et al., 2019**). Plusieurs paramètres peuvent influencer l'extraction des composés phénoliques dont leur structure chimique, la présence d'interférents, la taille des particules formant l'échantillon et le solvant d'extraction (**Naczki et Shahidi, 2004**). Différents solvants organiques tels que l'éthanol (**Malviya et al., 2014 ; Pal et al., 2018**), le méthanol (**Malviya et al., 2014 ; Mphahlele et al., 2016**) et leurs combinaisons avec l'eau (**Malviya et al., 2014 ; Jalal et al., 2018**) ont été largement utilisés pour récupérer les différents composés phénoliques de l'écorce.

Les composés phénoliques peuvent être dosés soit dans leur totalité soit individuellement après extraction du matériel végétal. Les méthodes les plus couramment utilisées pour la détermination de la teneur en polyphénols totaux dans les extraits de l'écorce de grenade sont au moyen d'essais colorimétriques dont la méthode de Folin-Ciocalteu (**Singleton et Rossi, 1965**).

Cette méthode est basée sur une réaction d'oxydo-réduction, où le réactif de Folin-Ciocalteu est réduit, lors de l'oxydation des phénols en un mélange d'oxydes bleus de tungstène et de molybdène. La coloration produite, dont l'absorption maximum à 750 nm, est proportionnelle à la quantité de polyphénols présente dans les extraits végétaux (**Boizot et Charpentier, 2006**). L'acide gallique (AG) ou l'acide tannique (AT) sont utilisés comme standards et la teneur phénolique est exprimée en mg équivalents acide gallique (EAG) ou acide tannique (EAT) pour 100 g d'échantillon frais ou sec (**Arvaniti et al., 2019**).

Diverses études ont estimé la teneur en polyphénols dans les extraits méthanoliques des écorces de grenade dans le tableau 06.

Tableau 06. Teneur des polyphénols totaux avant et après séchage

	Température	Teneur des polyphénols mg EAG/g	Références
L'écorce fraîche	/	107,8	Galaz et al. (2017)
		101,9	
séchage au four	40c°	1900*10 ³	Mphahlele et al. (2016)
	50c°	1800*10 ³	
	60c°	1950*10 ³	
	70c°	diminutions significatives	(Calín-Sánchez et al., 2013)
	90c°	diminutions significatives	(Al-Rawahi et al., 2013)
lyophilisation	/	comparables à celles des écorces fraîches	Al-Rawahiet et al. (2013)

D'après **Galaz et al. (2017)**, la teneur totale en polyphénols d'écorce de grenade frais était de $107,8 \pm 13,0$ mg EAG/g. Ce résultat est cohérent avec ceux de **Fisher et al. (2011)**, qui ont signalé des teneurs en polyphénols dans l'écorce de grenade (101,9 mg EAG/g) et le mésocarpe (198,2 mg EAG/g). Cependant, une autre étude a rapporté que les teneurs en polyphénols d'écorce de grenade étaient légèrement plus élevées et a démontré que cela dépendait des variétés de grenade (**Hasnaoui et al., 2014**).

Ces différences peuvent être aussi attribuées au fait que les phénols sont un groupe hétérogène de mélanges complets de substances organiques dont la qualité et la quantité varient en fonction des stades de croissance, des conditions écologiques, des conditions d'extraction, des solutions d'extraction utilisées et d'autres facteurs en fonction desquels les composés phénoliques sont extraits (**Jalal et al., 2018**).

Dans une étude menée par **Mphahlele et al. (2016)**, la concentration phénolique totale évaluée par la méthode de Folin-Ciocalteu et exprimée en milligramme équivalent acide gallique par kilogramme de matière sèche (mg EAG/kg MS), étaient de 1900, 1800, 1950 mg EAG/Kg MS

après le séchage au four à 40, 50 et 60 °C, respectivement. Dans cette étude, la concentration totale des composés phénoliques n'a pas vraiment affecté. Ces résultats pourraient s'expliquer en partie par une inactivation thermique des enzymes hydrolytiques et oxydantes qui pourraient empêcher la perte de polyphénols.

D'autre part, **Galaz et al. (2017)**, ont rapporté que les températures élevées de séchage, diminuent la teneur en polyphénols en raison d'une possible dégradation thermique des antioxydants. Aussi **Asami et al. (2003)** ont signalé que le séchage à l'air chaud favorisait l'oxydation des composés phénoliques par rapport à la lyophilisation.

Plus précisément, dans l'écorce de grenade, le séchage à l'air à 90°C (**Al-Rawahi et al., 2013**) et à 70°C (**Calín-Sánchez et al., 2013**) a conduit à des diminutions significatives de la teneur en polyphénols. Cependant, le séchage par convection nécessite un temps de traitement long qui pourrait entraîner une dégradation thermique supplémentaire et des oxydations aériennes des polyphénols qui ne se produiraient pas dans le traitement par séchoir à tambour de la peau de grenade en raison des temps de traitement très courts. Ce dernier a également été démontré et proposé par **Henríquez et al. (2013)** dans le séchage en tambour de pelure de pomme.

Selon **Al-Rawahiet et al. (2013)**, les écorces lyophilisées ont montré des teneurs en composés phénoliques comparables à celles des écorces fraîches. La lyophilisation est souvent considérée comme la technique la plus efficace pour préserver le composé sensible à la température (**Al-Rawahiet et al., 2013**). Donc, elle serait la meilleure méthode de séchage pour conserver les phénols totaux de grenade que le processus de séchage au four (**Mphahlele et al., 2016**).

2. Effet du séchage sur la teneur en flavonoïdes

L'estimation de la teneur en flavonoïdes totaux est couramment réalisée par une méthode spectrophotométrique qui est la méthode du trichlorure d'aluminium. En effet, les flavonoïdes possèdent un groupement OH libre susceptible de donner en présence de chlorure d'aluminium un complexe jaunâtre par chélation de l'ion Al^{+3} ; l'intensité de la coloration jaune est proportionnelle à la quantité de flavonoïdes présents dans l'extrait. L'absorbance est mesurée à 430 nm et la teneur en flavonoïdes est déterminée par référence à une courbe d'étalonnage réalisée avec la quercétine ou la catéchine (standards). Les résultats sont par la suite exprimés en mg équivalent quercétine (EQ) ou catéchine (EC) /100g MS (**Djeridane et al., 2006**).

Diverses études ont estimé la teneur en flavonoïdes dans les extraits méthanoliques des écorces de grenade **Mphahlele et al. (2016)**.

Tableau 07. Teneur des flavonoïdes après séchage

	Température	teneur des flavonoïdes mg EAG/kg	Références
Séchage à	40 °C	200	Mphahlele et al. (2016)
	50 °C	195	
	60 °C	190	
Lyophilisation	/	300	Mphahlele et al.(2016)

Diverses études ont estimé la teneur en flavonoïdes dans les extraits méthanoliques des écorces de grenade. **Mphahlele et al. (2016)**, ont indiqué une teneur en flavonoïdes de 200, 195, 190 mg EC/kg MS après séchage au four à des températures de 40°C, 50°C et 60°C, respectivement et une teneur de 300 mg EC /kg MS a été obtenue après une lyophilisation.

Les flavonoïdes sont sensibles au traitement thermique, l'intensité de la dégradation augmente avec la température de traitement. Les flavonoïdes glycosylés débutent leur dégradation à une température plus élevée que les flavonoïdes aglycones. Le degré d'hydroxylation des flavonoïdes est aussi un autre critère de stabilité (**Chaaban et al., 2016**).

3. Effet du séchage sur la teneur en tanins hydrolysables

Selon **wang et al. (2010)**, les tanins condensés sont rarement présents dans la grenade, alors que les tanins hydrolysables constituent les composés les plus prédominants, principalement dans l'écorce du fruit.

Le dosage de ces derniers est basé sur une réaction avec l'iodate de potassium (KIO₃), le mélange des tanins hydrolysables avec ce réactif provoque la formation des ions d'où la coloration rouge du complexe. L'intensité de la couleur est mesurée à 550 nm. Le résultat est exprimé en mg équivalent acide tannique par gramme de matière sèche (mg EAT/ g de matière sèche) (**Willis et Allen, 1998**).

Diverses études ont estimé la teneur en tanins hydrolysables dans les extraits méthanoliques des écorces de grenade. **Calín-Sánchez et al. (2013)**

Tableau 08. Teneur des tannins hydrolysables avant et après séchage

séchage	température	La teneur mg EAT/g	Références
Séchage au four	100 °C	276,4	Calín-Sánchez et al. (2013)
	110 °C	255,9	
	120 °C	234,2	
	120 °C	diminution significative	Fischer et al. (2011)
État frais	/	305,5	Calín-Sánchez et al. (2013)

Selon **Fischer et al. (2011)**, une diminution significative de la teneur en tannins hydrolysables dans l'écorce de grenade séchés à 120°C a été constatée par rapport à l'écorce de grenade fraîche. Ce résultat concorde avec celui de **Calín-Sánchez et al. (2013)**, qui ont rapporté que la teneur en tannins hydrolysables d'écorce de grenade séché était de $276,4 \pm 9,1$, $255,9 \pm 17,0$ et $234,2 \pm 1,3$ mg de EAT/g à 100, 110 et 120 °C, respectivement. Bien qu'une légère diminution de la teneur en tannins hydrolysables d'écorce de grenade ait été observée, seule la teneur en tannins hydrolysables d'écorce de grenade séché à 120°C était significativement inférieure à celle d'écorce de grenade frais ($234,2 \pm 1,3$ vs $305,5 \pm 17,4$ mg EAT/g, $p < 0,05$). Par conséquent, le séchage à 100 et 110 °C n'a pas causé de pertes significatives de teneur en tannins hydrolysables, tandis que le séchage à 120 °C a diminué la teneur en tannins hydrolysables de la peau de grenade. Ceci semble être la tendance avec les températures de séchage, et les résultats pourraient s'expliquer par une dégradation thermique des tanins hydrolysables.

4. Effet du séchage sur l'activité antioxydante

L'activité antioxydante d'un composé correspond à sa capacité à résister à l'oxydation. Les antioxydants les plus connus sont le β -carotène (provitamine A), l'acide ascorbique (vitamine C), le tocophérol (vitamine E) ainsi que les composés phénoliques. En effet, la plupart des antioxydants de synthèse ou d'origine naturelle possèdent des groupes hydroxy phénoliques dans leurs structures et les propriétés antioxydante sont attribuées en partie à la capacité de ces composés naturels à piéger les radicaux libres tels que les radicaux hydroxyles ($\text{OH}\cdot$) et superoxydes ($\text{O}_2\cdot$) (**Bartosz et al., 2003**).

Plusieurs méthodes sont utilisées pour évaluer, *in vitro* et *in vivo*, l'activité antioxydante par piégeage de radicaux différents, comme les peroxydes ROO• par les méthodes ORAC (Oxygen Radical Absorbance Capacity) et TRAP (Total Radical-Trapping Antioxidant Parameter) (**Ricardo da Silva *et al.*, 1991**); les ions ferriques par la méthode FRAP (Ferric ion Reducing Antioxidant Parameter) (**Benzie et Strain, 1996**); ou les radicaux ABTS• (sel d'ammonium de l'acide 2,2'-azinobis-3-éthylbenzothiazoline-6-sulfonique) (**Re *et al.*, 1999**), ainsi que la méthode utilisant le radical libre DPPH• (diphényl-picrylhydrazyle) (**Sharma-Om *et al.*, 2009**).

Compte tenu de la complexité des processus d'oxydation et la nature diversifiée des antioxydants, avec des composants à la fois hydrophiles et hydrophobes, il n'y a pas une méthode universelle par laquelle l'activité antioxydante peut être mesurée quantitativement d'une façon bien précise. Le plus souvent il faut combiner les réponses de tests différents et complémentaires pour avoir une indication sur la capacité antioxydante de l'échantillon à tester (**Tabart *et al.*, 2009**).

Comme il n'existe pas de mesure absolue de la capacité antioxydante d'un composé, les résultats sont souvent portés par rapport à un antioxydant de référence, comme l'acide ascorbique (vitamine C), les antioxydants synthétiques BHT (butyl-hydroxy-toluène) ou le Trolox® (acide-6-hydroxy-2,5,7,8-tetraméthylchroman-2-carboxylique), dont la structure moléculaire cyclique est similaire à celle de la vitamine E (**Molyneux, 2004**).

Diverses études ont estimé la teneur en antioxydante dans les extraits méthanoliques des écorces de grenade. **Henríquez *et al.* (2013)**

Tableau 09. Activité antioxydante avant et après séchage

	Activité antioxydante en mmol eq trolox/g	Référencés
L'ecorce fraiche	951,8	Henríquez <i>et al.</i> (2013)
Séchage à 100 °C	880,8	
Séchage à 110 °C	928,1	
Séchage à 120 °C	916,1	

D'après **Henríquez *et al.* (2013)**, l'activité antioxydante de l'écorce de grenade fraîche, mesurée par piégeage des radicaux DPPH, était de $951,8 \pm 78,9$ mmol d'équivalents Trolox/g. L'écorces de grenade séchées se sont avérés avoir des activités antioxydantes de $880,8 \pm 114,5$, $928,1 \pm 68,5$ et $916,1 \pm 52,54$ mmol équivalents Trolox /g à 100, 110 et 120 °C, respectivement. Il a été rapporté que des tanins hydrolysables spécifiques dans l'écorce de grenade ont différentes activités antioxydantes (**Fischer *et al.*, 2011**). De plus, l'activité antioxydante dépend d'un effet synergique des polyphénols constitutifs des fruits ; par conséquent, la réduction d'un type particulier de ceux-ci n'entraînera pas nécessairement une diminution de l'activité antioxydante totale. Par ailleurs, il est bien établi que l'activité antioxydant est corrélée positivement avec la structure des polyphénols. Généralement, les polyphénols avec un nombre élevé des groupements hydroxyles présentent l'activité antioxydant la plus élevée (**Heim *et al.*, 2002**) due à leur pouvoir de donner plus d'atomes d'hydrogène pour stabiliser les radicaux libres (**Torres *et al.*, 2007**). Ainsi, l'effet antioxydant n'est pas seulement dose-dépendant mais également structure- dépendant (**Rodriguez-Bernaldo *et al.*, 2009**).

Conclusion

De nos jours, un grand nombre de plantes fruitières possèdent des propriétés biologiques très importantes qui trouvent de nombreuses applications dans divers domaines à savoir en médecine, pharmacie, cosmétologie, agriculture et alimentaire. Ce regain d'intérêt vient d'une part du fait que ces plantes représentent une source inépuisable de substances bioactives, et d'autre part les effets secondaires induits par les médicaments inquiètent les utilisateurs qui se retournent vers des soins moins agressifs pour l'organisme. Elles renferment également de nombreux composés bioactifs tel que les polyphénols, les flavonoïdes... qui caractérisent ce fruit par des propriétés antioxydantes et thérapeutiques remarquables.

L'intérêt considérable qui existe actuellement sur les vertus médicinales et nutritionnelles de la grenade a commencé en l'an 2000; dès lors, plus de 200 références ont été publiées à ce sujet, décrivant les bienfaits de la grenade et de ses produits dérivés sur la santé.

L'écorce de la grenade est considérée comme une source importante de composés phénoliques possédant une bonne activité antioxydante. Cependant, quelques études ont évalué l'impact des procédés de séchage sur la qualité phytochimique et notamment l'activité antioxydante de l'écorce de la grenade.

Concernant la composition phytochimique et particulièrement la teneur en polyphénols totaux en flavonoïdes et en tanins hydrolysables, des résultats contradictoires ont été rapportés, ce qui indique que le séchage peut avoir un effet positif ou négatif sur la teneur de ces composés. Des résultats également opposés ont été signalés dans les différentes études traitant l'impact de ce de séchage sur l'activité antioxydante.

L'ensemble des travaux réalisés nous ont permis de déduire que le type de variété de grenade et la nature du procédé de séchage appliqué peuvent avoir une influence sur la teneur et l'activité antioxydante des composés phénoliques de l'écorce de grenade, et ont montré que l'écorce de grenade lyophilisée représente une bonne source de polyphénols ce qui a conduit à confirmer son pouvoir antioxydant très important.

**Références
bibliographiques**

~~A~~

- Abdel Moneim A.E. (2012).**Antioxidant activities of *Punica granatum* (pomegranate) peel extract on brain of rats. *Journal of medicinal plants research*, 6: 195-199.
- Abid M., Yaich H., Cheikhrouhou S., Khemakhem I., Bouaziz M., Attia H., et Ayadi M.A. (2017).** Antioxidant properties and phenolic profile characterization by LC–MS/MS of selected Tunisian pomegranate peels. *Journal of food science and technology*, 54 : 2890-2901.
- Afaq F., Saleem M., Krueger C. G., Reed J. D., et Mukhtar H. (2005).** Anthocyanin-and hydrolyzable tannin-rich pomegranate fruit extract modulates MAPK and NF-κB pathways and inhibits skin tumorigenesis in CD-1 mice. *International journal of cancer*, 113(3) : 423-433.
- Ajaikumar K.B., Asheef M., Babu B.H., et Padikkala J. (2005).** The inhibition of astric mucosal injury by *Punica granatum L.* (Pomegranate) methanolic extract. *Journal ethnopharmacol*, 96:171-176.
- Akhtar S., Ismail T., Fraternali D., et Sestili P. (2015).** Pomegranate peel and peel extracts: Chemistry and food features. *Food chemistry*, 174: 417–425.
- Al-Rawahi A.S., Rahman M.S., Guizani N., et Essa M.M. (2013).** Chemical composition, water sorption isotherm, and phenolic contents in fresh and dried pomegranate peels. *Drying technology*, 31 : 257-263.
- Al-Zoreky N.S. (2009).** Antimicrobial activity of pomegranate (*Punica granatumL.*) fruit peels. *International journal of food microbiology*, 134: 244-248.
- Arvaniti O.S., Samarasa Y., Gatidoub G., Thomaidisc N.S., et Stasinakisb A.S. (2019).** Review on fresh and dried figs: Chemical analysis and occurrence of phytochemical compounds, antioxidant capacity and health effects. *Food research international*, 119: 244-267.
- Asadi-Gharneh H.A., Mohammadzamani M., et Karimi S. (2017).** Evaluation of Physico-Chemical Properties and Bioactive Compounds of Some Iranian Pomegranate Cultivars. *International journal of fruit science*, 17: 175-187.
- Asami D. K., Hong Y. J., Barrett D. M., et Mitchell A. E. (2003).** Comparison of the total phenolic and ascorbic acid content of freeze-dried and air-dried marionberry, strawberry, and corn

grown using conventional, organic, and sustainable agricultural practices. *Journal of agricultural and food chemistry*, 51(5): 1237-1241.

Aviles-Gaxiola S., Olivo-Vázquez G., Cabanillas-Bojórquez L. A., Gutiérrez-Grijalva E. P., et Heredia J. B. (2020). Plants as Biofactories for Phenolic Compounds. **In:** *Plant phenolics in sustainable agriculture*, 467-500.

-8-

Bartosz G. (2003). Generation of reactive oxygen species in biological systems. *Comment toxicologie*, 9:5-21.

Beaulieu J. C., Lloyd S. W., et Obando-Ulloa J. M. (2020). Not-from-concentrate pilot plant ‘Wonderful’ cultivar pomegranate juice changes: Quality. *Food chemistry*, 318 : 1-10.

Bendjabeur S. (2012). Evaluation du pouvoir antioxydant et antimicrobien des extraits végétaux (cas de la grenade *Punica granatum* L.) en vue de leur utilisation alimentaire. Thèse de magister (Sciences Alimentaires). Ecole Nationale Supérieure Agronomique El-harrach –Alger. 154p.

Benzie I.F.F., et Strain J.J. (1996). The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of & antioxidant power; The FRAP assay. *Analyses biochemic* 239: 70- 76.

Bhandary B. S., Sharmila K. P., Kumari N. S., et Bhat, S. V. (2013). Acute and subacute toxicity study of the ethanol extracts of *Punica granatum* (Linn). Whole fruit and seeds and synthetic ellagic acid in swiss albino mice. *Asian journal of pharmaceutical clinical research*, 6: 192–198.

Boizot N., et Charpentier J.P. (2006). Méthode rapide d’évaluation du contenu en composés phénoliques des organes d’un arbre forestier. *Cahier des Techniques de l’INRA*, 79-82.

Boussalah N. (2010). Propriétés antioxydantes de deux variétés de grenade (*Punica granatum* L.) de la région de Béjaïa. Thèse de magister (Contrôle de Qualité) Université ABDERRAHMANE MIRA – Bejaïa, Laboratoire de Biomathématiques, Biochimie, Biophysique et de Scientométrie L3BS. 115p.

-9-

Calín-Sánchez Á., Figiel A., Hernández F., Melgarejo P., Lech K., et Carbonell-Barrachina Á.A. (2013). Chemical composition, antioxidant capacity, and sensory quality of pomegranate

(*Punica granatum* L.) arils and rind as affected by drying method. *Food and bioprocess technology*, 6: 1644-1654.

Calin S.A., et Carboneli B.A.A. (2005). La grenade cultivées en Espagne Punicalagine anti-oxydante du jus de grenade et de l'extrait de grenade dans les l'aliment fonctionnelle du fruit. Livre. Natural ontioxydant granatum, université Miguel Hernandez (EDS), Murcia Espagne, 77p.

Chen M., Zhang T.K., et Yuan Z.H. (2019). Evolution and classification of pomegranate. *International society for horticultural science : acta horticulturae*, 1: 41- 48.

Chidambara Murthy K.N., Jayaprakasha G.K., et Singh R.P. (2002). Studies on Antioxidant Activity of Pomegranate (*Punica granatum* L) Peel Extract Using in Vivo Models. *Journal of agricultural and food chemistry*, 50 : 4791–4795.

Chira K., Suh J.H., Saucier C., et Teisseèdre P.L. (2008). Les polyphénols du raisin. *Phytothérapie*, 6: 75–82.

-D-

Da Silva J.A.T., Rana T.S., Narzary D., Verma N., Meshram D.T., et Ranade S.A. (2013). Pomegranate biology and biotechnology: A review. *Scientia horticulturae*, 160:85- 107.

Das S., et Sarma P. (2014). A study on the anticonvulsant and antianxiety activity of ethanolic extract of *Punica granatum* Linn. *International journal of pharmacy and pharmaceutical sciences*, 6: 389–392.

Djeridane A., Yousfi M., Nadjemi B., Boutassouna D., Stocker P., et Vidal N. (2006). Antioxidant activity of some Algerian medicinal plants extracts containing phenolic compounds. *Food chemistry*, 97(4): 654-660.

Djerroud D. (2010). Modélisation markovienne du séchage continu par contact avec agitation. Thèse de doctorat Université de Toulouse (Institut National Polytechnique de Toulouse - Toulouse INP (FRANCE). 172p.

Doostan F., Vafafar R., Zakeri-Milani P., Pouri A., Afshar R. A., et Abbasi M. M. (2017). Effects of pomegranate (*Punica granatum* L.) seed and peel methanolic extracts on oxidative stress and lipid profile changes induced by methotrexate in rats. *Advanced pharmaceutical bulletin* 7(2): 269–274.

-E-

Endo E.H., Cortéz D.A.G., Ueda-Nakamura T., Nakamura C.V., et Filho B.P.D. (2010). Potent antifungal activity of extracts and pure compound isolated from pomegranate peels and synergism with fluconazole against *Candida albicans*. *Research in microbiologie*, 161: 534-540.

-F-

Fawole O. A., et Opara U. L. (2013). Developmental changes in maturity indices of pomegranate fruit: A descriptive review. *Scientia horticulturae*, 159 : 152-161.

Fawole O. A., Makunga N. P., et Opara U. L. (2012). Antibacterial, antioxidant and tyrosinase-inhibition activities of pomegranate fruit peel methanolic extract. *BMC Complementary and alternative medicine*, 12(1): 1-11.

Fischer U. A., Carle R., et Kammerer D. R. (2011). Identification and quantification of phenolic compounds from pomegranate (*Punica granatum L.*) peel, mesocarp, aril and differently produced juices by HPLC-DAD–ESI/MSn. *Food chemistry*, 127 : 807–821.

Fournier V. (2003). Conservation des aliments. Université Laval, Canada, 16p.
galactomannan polysaccharide from *Punica granatum* imparts in vitro and in vivo anticancer activity. *Carbohydrate polymers*, 98: 1466–1475.

-G-

Galaz P., Valdenegro M., Ramírez C., Nuñez H., Almonacid S., et Simpson R. (2017). Effect of drum drying temperature on drying kinetic and polyphenol contents in pomegranate peel. *Journal of food engineering*, 208: 19-27.

-H-

Hamedi F., Mohebbi M., Shahidi F., et Azarpazhooh E. (2018). Ultrasound-Assisted Osmotic Treatment of Model Food Impregnated with Pomegranate Peel Phenolic Compounds: Mass Transfer, Texture, and Phenolic Evaluations. *Food and bioprocess technology*, 11:1061–1074.

Hasnaoui N., Wathelet B., et Jiménez-Araujo A. (2014). Valorization of pomegranate peel from 12 cultivars: Dietary fibre composition, antioxidant capacity and functional properties. *Food chemistry*, 160: 196–203.

Heim K.E., Tagliaferro A.R. et Bobilya, D.J. (2002). Flavonoid antioxidants: chemistry, metabolism and structure-activity relationships. *The Journal of nutritional biochemistry*, 13: 572-584.

Hennebelle T., Sahpaz S., et Bailleul F. (2004). Polyphénols végétaux, sources, utilisations et potentiel dans la lutte contre le stress oxydatif. *Phytothérapie*, 2: 3-6.

Henríquez M., Almonacid S., Lutz M., Simpson R., et Valdenegro M. (2013). Comparison of three drying processes to obtain an apple peel food ingredient. *CyTA Journal of food*, 11:127–135.

Hmid I. (2013). Contribution à la valorisation alimentaire de la grenade marocaine (*Punica granatum* L.) : caractérisation physicochimique, biochimique et stabilité de leur jus frais. Thèse de doctorat (Agroalimentaire) Université d'Angers (France) et Université de Béni Mellal (Maroc), ED VENAM. 179p.

Holland D., et Bar-Ya'akov I. (2018). Pomegranate (*Punica Granatum* L.) Breeding. In *Advances in Plant Breeding Strategies: Fruits*. pp. 601-647.

Hossain M.A., Bala B.K., et Satter M.A. (2003). Simulation of natural air drying of maize in cribs. *Simulation modelling practice and theory*, 11(7-8) : 571-583.

-9-

Ismail T., Sestili P., et Akhtar S. (2012). Pomegranate peel and fruit extracts: a review of potential anti-inflammatory and anti-infective effects. *Journal of ethnopharmacology*, 143(2) : 397-405.

-9-

Jahromi S.B., et Doostkam A. (2019). Comparative evaluation of bioactive compounds of various cultivars of pomegranate (*Punica granatum* l) in different world regions. *AIMS agriculture and food*, 4: 41–55.

Jaiswal, A. K. (2020). Nutritional Composition and Antioxidant Properties of Fruits and Vegetables. Academic Press. Pp 549-563.

Jalal H., Pal M. A., Hamdani H., Rovida M., et Khan N.N. (2018). Antioxidant activity of pomegranate peel and seed powder extracts. *Journal of pharmacogn. phytochem*, 7(5) : 992-997.

Joseph M. M., Aravind S. R., George S. K., Varghese S., et Sreelekha T. T. (2013). A galactomannan polysaccharide from *Punica granatum* imparts in vitro and in vivo anticancer activity. *Carbohydrate polymers*, 98(2) :1466-1475.

-K-

Kahramanoğlu I. (2016). Pomegranate Production and Marketing. New York: CRC Press Taylor & Francis Group. 148p.

Kahramanoğlu I. (2019). Trends in pomegranate sector: production, postharvest handling and marketing. *International journal of agriculture, forestry and life sciences*, 3: 239-246.

Kawai S., et Lansky E.P. (2004). Differentiation-promoting activity of pomegranate (*Punicagranatum*) fruit extracts in HL-60 human promyelocyticleukaemia cells. *Journal of medicinal food*, 7:13-18.

Khalil E.A.M. (2004). Antidiabetic effect of an aqueous extract of Pomegranate (*Punica granatum* L.) peels in normal and alloxan diabetic rats. *The egyptian journal of hospital medicine*, 16: 92-99.

Kushwaha S.C., Bera M.B., et Kumar P. (2020). Pomegranate. **In:** Antioxidants in Fruits: Properties and Health Benefits. Pp 295-316 .

-L-

Labib Ahmed Hossin F. (2009). Effect of Pomegranate (*Punica granatum L*) Peels and It's Extract on Obese Hypercholesterolemic Rats. *Pakistan journal of nutrition*, 8: 1251-1257.

Lansky E., et Newman R. (2007). *Punica granatum* (pomegranate) and its potential for prevention and treatment of inflammation and cancer. *Journal of ethnopharmacology*, 109: 177–206.

Lfalleh W., Tlili N., Nasri N., Yahia Y., Hannachi H., Chaira N., et Ferchichi, A. (2011). Antioxidant capacities of phenolic compounds and tocopherols from Tunisian pomegranate (*Punica granatum*) fruits. *Journal of food science*, 76(5): 707–713.

Luna-Guevara M. L., Luna-Guevara J. J., Hernández-Carranza P., Ruíz-Espinosa H., et Ochoa-Velasco C.E. (2018). Phenolic compounds: A good choice against chronic degenerative diseases. **In:** *Studies in natural products chemistry*, 59: 79-108.

-M-

- Ma G. Z., Wang C. M., Li L., Ding N., et Gao X. L. (2015).** Effect of pomegranate peel polyphenols on human prostate cancer PC-3 cells *in vivo*. *Food science and biotechnology*, 24(5): 1887–1892.
- Machado TB., Pinto AV., Pinto MCFR., Leal ICR., Silva MG., Amaral A.C.F., Kuster RM., et Netto-dos Santos K.R. (2003).** In vitro activity of Brazilian medicinal plants, naturally occurring naphtha quinones and their analogues against methicillin-resistant *Staphylococcus aureus*. *International journal of antimicrobial agents*, 21: 279-284.
- Malviya S., Jha A., et Hettiarachchy N. (2014).** Antioxidant and antibacterial potential of pomegranate peel extracts. *Journal of food science and technology*, 51(12) : 4132-4137.
- Mansour E., Ben Khaled A., Lachiheb B., Abid M., Bachar K., et Ferchichi A. (2013).** Phenolic compounds, antioxidant, and antibacterial activities of peel extract from Tunisian pomegranate. *Journal of agricultural science and technology*, 15: 1393–1403.
- Marchi L.B., Monteiro A.R., Mikcha J., Santos A., Chinelatto M., Marques D., et Costa S.C. (2015).** Evaluation of antioxidant and antimicrobial capacity of pomegranate peel extract (*Punica granatum* L.) Under different drying temperatures. *Chemical engineering transactions*, 44 : 121-126.
- Molyneux P. (2004).** The use of stable free radical diphenylpicrylhydrazyl (DPPH) for estimating antioxidant activity. Songklanakarin. *Journal of sciences and technooogy*, 26: 211-219.
- Mphahlele R.R., Fawole O.A., Makunga N.P., et Opara U.L. (2016).** Effect of drying on the bioactive compounds, antioxidant, antibacterial and antityrosinase activities of pomegranate peel. *BMC complementary and alternative medicine*, 16(1): 1-12.
- Mphahlele R. R., Fawole O. A., Makunga N. P., et Opara U. L. (2017).** Functional properties of pomegranate fruit parts: Influence of packaging systems and storage time. *Journal of food measurement and characterization*, 11(4): 2233–2246.
- Mushtaq M., Sultana B., Anwar F., Adnan A., et Rizvi S. S. (2015).** Enzyme-assisted supercritical fluid extraction of phenolic antioxidants from pomegranate peel. *The journal of supercritical fluids*, 104: 122–131.

-N-

Naczki M., et Shahidi F. (2004). Extraction and analysis of phenolic in food. *Journal of chromatography A*, 1054 : 95-111.

-O-

Onwude D. I., Hashim N., Janius R. B., Nawi N. M., et Abdan K. (2016). Modeling the thin-layer drying of fruits and vegetables: A review. *Comprehensive reviews in food science and food safety*, 15(3), 599-618.

-P-

Paari A., Naidu H. K., Kanmani P., Satishkumar R., Yuvarraj N., Pattukumar V., et al. (2012). Evaluation of Irradiation and heat treatment on antioxidant properties of fruit peel extracts and its potential application during preservation of goat fish *Parupeneus indicus*. *Food and bioprocess technology*, 5: 1860–1870.

Pagliarulo C., De Vito V., Picariello G., Colicchio R., Pastore G., Salvatore P., et Volpe, M. G. (2016). Inhibitory effect of pomegranate (*Punica granatum L.*) polyphenol extracts on the bacterial growth and survival of clinical isolates of pathogenic *Staphylococcus aureus* and *Escherichia coli*. *Food chemistry*, 190: 824–831.

Pal J., Raju C. V., Shukla B. N., Verma H. O., Pandey G., Maurya A. K., et Prasad L. (2018). In-vitro antioxidant activity of freeze dried extracts fruit peel waste (*Punica granatum* and *Citrus sinensis*) and its effect in α -linoleic acid model system. *International journal of conservation science*, 6(2) : 892-895.

Pande G., et Akoh C. C. (2009). Antioxidant capacity and lipid characterization of six Georgia-grown pomegranate cultivars. *Journal of agricultural and food chemistry*, 57(20): 9427–9436.

Parmar H.S., et Kar A. (2008). Medicinal values of fruit peels from *Citrus sinensis*, *Punica granatum L.*, and *Musa paradisiaca* with respect to alterations in tissue lipid peroxidation and serum concentration of glucose, insulin, and thyroid hormones. *Journal of medicine food*, 11: 376-381

Pathak P. D., Mandavgane S. A., et Kulkarni B. D. (2017). Valorization of pomegranate peels: A biorefinery approach. *Waste and biomass valorization*, 8: 1127-1137.

-R-

Rana T.S., Narzary D., et Ranade S.A. (2010). Systematics and taxonomic disposition of the genus punica L. *Fruit, vegetable and cereal science and biotechnology*, 4: 19 – 25.

Re R., Pellegrini N., Proteggente A., Pannala A., Yang M., et Rice-Evans C. (1999). Antioxidant capacity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free radical biology & medicine*, 26: 1231-1237.

Reddy M.K., Gupta S.K., Jacob M. R., Khan S.I., et Ferrira D. (2007). Antioxidant, antimalarial and antimicrobial activities of tannin-rich fractions, ellagitannins and phenolic acids from *Punica granatum* L. *Planta medicine*, 73: 461–467.

Ricardo D., Silva J.M., Darmon N., Fernandez Y., et Mitjavila S. (1991). Oxygen free radical scavenger capacity in aqueous models of different procyanidins from grape seeds. *Journal of agricultural, food and chemistry*.39: 1549-1552.

Rodriguez-Bernaldo de Quiros A., Paseiro-Cerrato R., Pastorelli S., Koivikko R., Simoneau C., et Paseiro-Losada P. (2009). Migration of photoinitiators by gas phase into dry foods. *Journal of agricultural and food chemistry*, 57: 10211-10215.

Rosenblat M., Hayek T. et Aviram M. (2006). Anti-oxidative effects of pomegranate juice (PJ) consumption by diabetic patients on serum and on macrophages. *Atherosclerosis*, 187: 363-371.

Rummun N., Somanah J., Ramsaha S., Bahorun T., et Neergheen-Bhujun V. S. (2013). Bioactivity of nonedible parts of *Punica granatum* L.: A potential source of functional ingredients. *International journal of food science*, 2013: 1–12.

-S-

Saadaoui B., Bekir J., Akrouf, J., Ammar S., Mahjoub A., et Mars M. (2007). Etude de la composition et du pouvoir antioxydant des composés phénoliques de quelques espèces végétales de l'aride tunisien. *Revue des régions arides*, 316-321.

Sagdic O., Ozturk I., Cankurt H., et Tornuk F. (2012). Interaction between some phenolic compounds and probiotic bacterium in functional ice cream production. *Food and bioprocess technology*, 5: 2964–2971.

Satomi H., Umemura K., Ueno A., Hatano T., Okuda T., et Noro T. (1993). Carbonic anhydrase inhibitors from the pericarps of *Punica granatum* L. *Biological and pharmaceutical bulletin*, 16(8): 787–790.

Seeram N. P., Adams L. S., Henning S. M., Niu Y., Zhang Y., Nair M. G., et Heber D. (2005). *In vitro* antiproliferative, apoptotic and antioxidant activities of punicalagin, ellagic acid and a total pomegranate tannin extract are enhanced in combination with other polyphenols as found in pomegranate juice. *The Journal of nutritional biochemistry*, 16(6): 360–367.

Shahid I., Saba H., Mubeena A., Muhammad Z-U.H, Jamshed A. (2008). Efficacité de l'extrait de l'écorce de Grenadier dans la stabilisation d'huile de Tournesol sous des conditions accélérées. *Recherche internationale des aliments*, 41 :194-200.

Sharma O.P., et Bhat T.K. (2009). DPPH antioxidant assay revisited. *Food chemistry*, 113: 1202-1205.

Singh B., Singh J. P., Kaur A., et Singh N. (2018). Phenolic compounds as beneficial phytochemicals in pomegranate (*Punica granatum* L.) peel: A review. *Food chemistry*, 261 : 75-86.

Singleton V.L. et Rossi J.A. (1965). Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. *American journal of enology and viticulture*, 16: 144-153.

Smaouia S., Ben Hlimab H., Chakchouk Mtibaaa A., Fouratia M., Sellema I., Elhadefa Kh., Ennouria K., et Melloulia L. (2019). Pomegranate peel as phenolic compounds source: Advanced analytical strategies and practical use in meat products. *Meat Science*, 158: 1-20.

Storey, T. (2007). La grenade, le fruit médicament, Magazine NEXUS. *Santé*, 51 :46-54.

Stover Ed. et Mercure E.W. (2007). The Pomegranate: A New Look at the Fruit of Paradise. *HortScience*, 42: 1088–1092.

-7-

Tabart J., Kevers C., Pincemail J., Defraigne J., et Dommes J. (2009). Comparative antioxidant capacities of phenolic compounds measured by various tests. *Food chemistry*, 113:1226-1233.

Torres de Pinedo A., Penalver P., et Morales J.C. (2007). Synthesis and evaluation of new phenolic-based antioxidants: structure-activity relationship. *Food chemistry*, 103:55–61.

-V-

Venkitasamy C., Zhao L., Zhang R., et Pan Z. (2019). Pomegranate. *In: Integrated processing technologies for food and agricultural by-products*. Academic Press. pp. 181-216.

Ventura J., Alarcón-Aguilar F., Roman-Ramos R., Campos-Sepulveda E., Reyes- Vega M. L., et Daniel Boone-Villa V. (2013). Quality and antioxidant properties of a reduced-sugar pomegranate juice jelly with an aqueous extract of pomegranate peels. *Food chemistry*, 136: 109–115.

Vidal A., Fallarero A., Peña B. R., Medina M. E., Gra B., Rivera F., (2003). Studies on the toxicity of *Punica granatum L.* (Punicaceae) whole fruit extracts. *Journal of ethnopharmacology*, 89: 295–300.

Viuda-Martos M., Fernández-López J., et Pérez-Álvarez J. A. (2010). Pomegranate and its many functional components as related to human health: a review. *Comprehensive reviews in food science and food safety*, 9(6): 635–654.

Vladić J., Janković T., Živković J., Tomić M., Gordana Zdunić G., Šavikin K., et Vidović S. (2020). Comparative Study of Subcritical Water and Microwave-Assisted Extraction Techniques Impact on the Phenolic Compounds and 5-Hydroxymethylfurfural Content in Pomegranate Peel. *Plant foods for human nutrition*, 75: 553–560.

Vuolo M.M., Lima V.S., et Junior M.R.M. (2019). Phenolic compounds: Structure, classification, and antioxidant power. *In: Bioactive compounds* (pp. 33-50). Woodhead Publishing.

-W-

Wald E. (2009). Le grenadier (*Punica granatum L.*) : Plante historique et évolutions thérapeutiques récentes. Thèse de doctorat (Faculté de Pharmacie). Université Henri Poincaré - Nancy 1. 158p.

Wang R., Ding Y., Liu R., Xiang L., et Du L. (2010). Pomegranate: constituents, bioactivities and pharmacokinetics. *Fruit, vegetable and cereal science and biotechnology*, 4: 77-87.

Wasila H., Li X., Liu L., Ahmad I., et Ahmad S. (2013). Peel effects on phenolic composition, antioxidant activity, and making of pomegranate juice and wine. *Journal of food science*, 78: 1166–1172.

Williamson G. (2017). The role of polyphenols in modern nutrition. *Nutrition bulletin*, 42 : 226-235.

Willis R.B., et Allen P.R. (1998). Determination of hydrolyzable tannins after reaction with potassium iodate. *The analyst*, 123: 435-439.

~~-4-~~

Yılmaz F. M., Yüksekaya S., Vardin H., et Karaaslan M. (2015). The effects of drying conditions on moisture transfer and quality of pomegranate fruit leather (pestil). *Journal of the saudi society of sgricultural sciences*, 16(1), 33-40.

~~-3-~~

Zarfeshany A., Asgary1 S., et Shaghayegh H.J. (2014). Potent health effects of pomegranate. *Advanced biomedical research*, 3:1-8.

Zeynalova A.M., et No vruzov E.N. (2017). Origin, taxonomy and systematics of pomegranate. *Proceedings of the institute of botany*, 37: 20-26.

Zhao X., Yuan Z., Fang Y., Yin Y., et Feng L. (2014). Flavonols and Flavones Changes in Pomegranate (*Punica granatum L.*) Fruit Peel during Fruit Development. *Journal of agricultural science and technology*, 16: 1649–1659.

Zhao X., Yuan Z., Fang Y., Yin Y., et Feng L. (2013). Characterization and evaluation of major anthocyanins in pomegranate (*Punica granatum L.*) peel of different cultivars and their development phases. *European food research and technology*, 236(1): 109–117.

Impact de séchage sur la teneur et l'activité antioxydante des composés phénoliques de l'écorce de la grenade « *Punica granatum L.* ».

ARBI Asma

BELDI Chaima

KHELALÉF Mounira

Résumé

Le grenadier figure parmi les arbres qui constituent le couvert végétal, largement distribué surtout dans les régions semi arides. De nombreuses espèces de ce genre comme « *Punica granatum L.* » sont utilisées en médecine traditionnelle parce qu'elles renferment plusieurs molécules ayant des activités thérapeutiques et surtout son écorce qui est riche en polyphénols. Donc il doit être conservé sous forme sèche qui peut être obtenue par plusieurs procédés de séchage à savoir le séchage au four, aux micro-ondes et lyophilisation.

L'influence de ces procédés de séchage sur les attributs de la qualité de ce fruit que ce soit nutritionnelle, phytochimique et notamment sur l'activité antioxydante a été peu étudié.

L'écorce de la grenade s'est avéré être riche en substances bioactives tels que les tanins hydrolysables, les acides phénoliques et à moindre degré les flavonoïdes.

Des résultats contradictoires ont été rapportés au sujet de l'influence du séchage sur la teneur en polyphénols totaux, flavonoïdes, tanins hydrolysables et sur le pouvoir antioxydant.

Mots clés : *Punica granatum L.*, écorce de grenade, composés phénoliques, activité antioxydante, séchage.

Abstract

The pomegranate is one of the trees that constitute the vegetation cover, widely distributed especially in semi-arid regions. Many species of this genus such as "*Punica granatum L.*" are used in traditional medicine because they contain several molecules with therapeutic activities and especially its peel which is rich in polyphenols. So it should be kept in dry form which can be obtained by several drying processes namely oven drying, microwave drying and freeze drying.

The influence of these drying processes on the quality attributes of this fruit, be it nutritional, phytochemical and in particular on the antioxidant activity, has been little studied. The peel of pomegranate has been shown to be rich in bioactive substances such as hydrolysable tannins, phenolic acids and to lesser extent flavonoids.

Conflicting results have been reported on the influence of drying on the content of total polyphenols, flavonoids, hydrolysable tannins and on antioxidant power.

Key words: *Punica granatum L.*, pomegranate peel, phenolic compounds, antioxidant activity, drying.

المخلص

يعتبر الرمان من الأشجار التي تشكل الغطاء النباتي، وينتشر على نطاق واسع خاصة في المناطق شبه القاحلة. العديد من الأنواع من هذا الجنس مثل « *Punica granatum L.* » تستخدم في الطب التقليدي لاحتوائها على العديد من الجزيئات ذات الأنشطة العلاجية وخاصة قشرتها الغنية بالبوليفينول. لذلك يجب حفظها في صورة جافة والتي يمكن الحصول عليها من خلال العديد من عمليات التجفيف مثل التجفيف بالفرن والتجفيف بالميكروويف والتجميد.

تأثير عمليات التجفيف على خصائص جودة هذه الفاكهة، سواء كانت غذائية، كيميائية نباتية، وخاصة على النشاط المضاد للأوكسدة لم تدرس كثيراً.

ثبت أن قشرة الرمان غنية بالمواد النشطة بيولوجياً مثل العفص المتحلل بالماء والأحماض الفينولية وبدرجة أقل الفلافونويد.

وقد تم الإبلاغ عن نتائج متضاربة حول تأثير التجفيف على محتوى البوليفينول الكلي والفلافونويدات والعفص القابل للتحلل المائي والطاقة المضادة للأوكسدة.

الكلمات المفتاحية : *Punica granatum L.*، قشر الرمان، مركبات فينولية، نشاط مضاد للأوكسدة، تجفيف.