

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

*Université Mouloud Mammeri de Tizi Ouzou
Faculté des Sciences Biologiques et des Sciences Agronomiques
Département des Sciences Agronomiques*



Mémoire de Fin de Cycle

En Vue de l'Obtention du Diplôme de Master

Filière: Sciences Alimentaires

Option: Agro-Alimentaire et Contrôle de Qualité

Thème

*Contribution à l'étude des propriétés physico-chimiques,
antioxydantes et fonctionnelles des farines du fruit de chêne
(Quercus rotundifolia) et de la châtaigne Castanea sativa)*

Présenté par:

M^{elle} Chebini Dyhia

M^{elle} Driche Chabha

Devant le jury:

Président: M^r AMROUCHE T. (MCA)

Examineur: M^r BENGANA M. (MCB)

Promotrice: M^{me} ARKOUB L. (MCB)

Année Universitaire: 2018/2019

Remerciements

Tout d'abord, nous remercions le bon Dieu tout puissant de nous avoir donné la force, le courage et la volonté pour réaliser ce travail.

Au terme de ce travail, nous voudrions exprimer nos sincères remerciements en premier lieu à notre promotrice M^{me} Arkoub L. Docteur à l'UMMTO de nous avoir offert l'opportunité de travailler avec elle, pour ses judicieux conseils, son esprit critique et sa rigueur scientifique. Nous la remercions d'avantage pour sa patience, sa gentillesse, qui ont contribué à alimenter notre réflexion.

Nos vifs remerciements s'adressent également aux membres du jury qui ont accepté d'évaluer notre travail, votre participation est un grand honneur pour nous: M^r Amrouche T. Docteur à l'UMMTO, pour nous avoir fait l'honneur de présider le jury de ce mémoire. M^r Bengana M. Docteur à l'UMMTO d'avoir accepté d'examiner ce travail.

Nous remercions également M^r AMIR, M^r METNA, M^r YEFSAH, M^r HOUALI pour l'aide qu'ils nous ont apporté afin de réaliser ce travail.

Nous tenons à remercier vivement les ingénieures de laboratoire de la faculté des Sciences Biologiques et des Sciences Agronomiques de l'UMMTO pour leurs aides et leurs conseils; sans oublier l'ingénieur du laboratoire de chimie de l'UMMTO pour son aide.

Nos remerciements vont enfin à toutes les personnes qui ont contribué, de près ou de loin, à la réalisation de ce travail.

Dédicaces

Je profite de cette honorable occasion pour dédier ce mémoire:

A la mémoire de mon très cher frère DRICHE Mebarek qui me manque et que je n'oublierai jamais; j'aurais aimé que tu sois présent toujours à mes côtés. Que Dieu accueille ton âme dans son vaste paradis Inchallah.

A ceux qui ont éclairé ma vie, ma mère et mon père qui me sont les plus chers au monde et aux quels je ne saurais jamais exprimer ma gratitude et ma connaissance en quelques lignes. Que Dieu vous protège en parfaite santé et vous donne une longue vie.

A mes très chers frères et sœurs: Idir, Lyazid, Dehbia et Hakima.

A mon très cher adorable âme, et à sa famille.

A ma très chère tante Malika et ma très chère grand mère.

A mon petit oncle Yedir et mes tantes qui n'ont pas cessé de m'encourager.

A tous les membres de ma famille.

A ma meilleure amie Chabha.

A ma très chère amie et ma binôme Dyhia, merci pour les bons moments que nous avons passé ensemble et pour ton soutien.

A toute la promotion Agro-Alimentaire et Contrôle de Qualité (2018/2019).

A tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin pour la réalisation de ce travail.

Chabha

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail:

A la mémoire de mon très cher oncle chebini farhat te reste toujours dans n'autres mémoire. Que Dieu accueille ton âme dans son vaste paradis.

A la source de la tendresse et de l'amour; à celle qui m'a offert une enfance très heureuse et celle qui a su être toujours à mes côtés dans la joie et la peine, ma mère, que Dieu te garde pour nous.

A mon cher père, qui a été toujours mon appui moral, et qui n'a jamais arrêté de m'encourager et de m'aider dans ma vie et surtout dans mes études, Que Dieu te garde pour nous. Merci d'être tout simplement mes parents, c'est à vous que je dois cette réussite et je suis fier de vous l'offrir.

A mon cher frère le bijou de la famille Walid je te souhaite un avenir plein de joie de bonheur et de réussite.

A mes magnifiques sœurs Walida, Fadhila, Lamia et Titem. Je vous dédie ce travail avec tous mes vœux de bonheur, santé et de réussite.

A mon âme Aghilas que Dieu illumine ton chemin.

A ma chère tante Ouarda et son mari et ses filles Laëtitia, Mélissa, Céline et surtout ma princesse Nélia; merci pour votre soutien .

A mes oncles Idir, Houas, Hamid, Kherdine et leurs familles.

A mes grands-mères, que Dieu les garde en bonne santé.

A ma chère tante Nora et son mari vous êtes formidables.

A mes chères copines Fatma, Cylia, Siham et Massilva.

A ma chère amie et ma binôme Chabha pour sa patience sa gentillesse et sa générosité tout le long de nos études, ainsi à toute sa famille.

A toute la promotion Agro-Alimentaire et Contrôle de Qualité (2018/2019).

Dyhia

Liste des abréviations

ABTS: Acide 2, 2-Azobis –ethylBenzo Thiazoline-6-Sulphonide

AFNOR: Association Française de Normalisation.

ANOVA: Analyse de la variance (Analysis Of Variance)

DCPIP: 2,6 Dichlorophenol-Indophénol

DPPH: 2, 2-Diphényl-1-Picrylhydrazyl

HPLC: Chromatographie Liquide à Haute Performance

INRA: Institut National de la Recherche Agronomique

INRF: Institut National de Recherche Forestière

Liste des figures

Figure	Titre	Page
1	Photographie d'arbre du chêne (<i>Quercus ilex</i> L. subsp. <i>rotundifolia</i> Lam.)	4
2	Distribution du <i>Quercus ilex</i> L. dans son aire géographique méditerranéenne	4
3	La répartition du chêne (<i>Quercus ilex</i> L. subsp. <i>rotundifolia</i> Lam.) en Algérie	5
4	Photographie des fruits et feuilles du <i>Quercus ilex</i> L. subsp. <i>rotundifolia</i> Lam.	8
5	Photographie de la coupe longitudinale du gland de chêne	9
6	Photographie d'arbre du châtaignier (<i>Castanea Sativa</i> Mill.)	16
7	Distribution du <i>Castanea Sativa</i> Mill. dans son aire géographique méditerranéenne	17
8	Photographie des feuilles, fleurs et fruits du châtaignier	19
9	Morphologie du fruit de châtaignier	20
10	Photographies de deux variétés du chêne	23
11	Photographie des différentes étapes de préparation de la farine du chêne	24
12	Teneurs en polyphénols et flavonoïdes des farines de gland	42
13	Teneurs en flavonols et tannins condensés des farines de gland	44
14	Teneurs en vitamine C et caroténoïdes des farines de gland	46
15	Teneur en lycopène des farines de gland	46
16	Pouvoir réducteur en fonction de la concentration des farines de gland	48
17	Activité antioxydante totale en fonction de la concentration des farines de gland	50
18	Activité antiradicalaire en fonction de la concentration des farines de gland	51
19	Activité antiradicalaire en fonction de la concentration des farines de gland	53
20	Les propriétés fonctionnelles des farines de gland	55

Liste des tableaux

Tableau	Titre	Page
I	Composition chimique de gland de chêne	10
II	Composition chimique de la châtaigne	21
III	Origine et dates de récolte des différents échantillons	24
IV	Caractéristiques physiques des variétés de chêne étudiées	37
V	Paramètres physico-chimiques des variétés de chêne étudiées	37
VI	Les pouvoir réducteurs et les CR _{0,5} des différentes farines de gland	49
VII	L'activité antioxydante totale et les CR _{0,5} des différentes farines de gland	50
VIII	L'activité antiradicalaire (DPPH) et les IC ₅₀ des différentes farines de gland	52
IX	L'activité antiradicalaire (ABTS) et les IC ₅₀ des différentes farines de gland	54
X	Morphologie microscopique des farines <i>Quercus rotundifolia</i> (LNI) avant et après extraction	57
XI	Morphologie microscopique des farines de <i>Quercus rotundifolia</i> (BZG) avant et après extraction	58
XII	Morphologie microscopique des farines de <i>Castanea sativa</i> avant et après extraction	59

Liste des abréviations

Liste des annexes

Liste des figures

Liste des tableaux

Introduction 1

Synthèse bibliographique

Gland de chêne & Châtaigne

I. Gland de chêne	3
I.1. Origine et historique.....	3
I.2. Généralités.....	4
I.3. Répartition géographique	4
I.3.1. Répartition dans le monde.....	4
I.3.2. Répartition en Algérie.....	5
I.4. Classification botanique.....	6
I.5. Variétés et sous-espèces.....	6
I.6. Description botanique	7
I.7. Structure du gland de chêne.....	9
I.8. Composition chimique de gland de chêne.....	9
I.9. Utilisation de gland de chêne	12
1.9.1. En alimentation humaine.....	12
I.9.2. En alimentation animale.....	12
I.9.3. Autres usages.....	12
I.10. Conservation des glands.....	13

I.10.1. Conservation des glands entiers.....	13
I.10.2. Conservation de la farine du gland.....	13
I.11. Propriétés antioxydants de gland <i>Quercus ilex</i> L subsp. <i>rotundifolia</i> Lam.....	14
II. La châtaigne (<i>Castanea Sativa</i> Mill.).....	15
II.1.Historique et origine.....	15
II.2. Généralités.	16
II.3. Répartition géographique.....	16
II.3.1. Répartition dans le monde.....	16
II.3.2. Répartition en Algérie.....	17
II.4. Classification botanique.....	18
II.5. Description botanique.....	18
II.6. Composition chimique de la châtaigne.....	20
II.7.Conservation de la châtaigne.	22
II.8.Utilisations de châtaignier.....	22
II.9. Utilisation de la châtaigne.....	22
II.10. Propriétés antioxydants de la châtaigne (<i>Castanea sativa</i> Mill.).....	22

Partie expérimentale

III. Matériel et méthodes

III.1. Matériel biologique.....	23
III.2. Méthodes d'Analyses.....	25
III.2.1. Caractéristiques morphologiques du chêne.....	25
III.2.2. Analyses physico-chimiques.....	26
III.2.2.1. Le pH	26

III.2.2.2. La teneur en eau.....	26
III.2.2.3. L'acidité titrable.....	26
III.2.2.4. La teneur en sucres.....	27
III.2.2.5. La teneur en cendres.....	28
III.2.2.6. Le degré Brix.....	29
III.2.2.7. Le degré de brunissement non enzymatique (BNE).....	29
III.2.2.8. L'indice de couleur.....	29
III.2.3. Extraction et dosage des antioxydants.....	30
III.2.3.1. Extraction des composés phénoliques.....	30
III.2.3.2. Dosage des composés phénoliques.....	30
III.2.3.3. Dosage des flavonoïdes.....	30
III.2.3.4. Dosage des flavonols.....	30
III.2.3.5. Dosage des tannins condensés (proanthocyanidine).....	31
III.2.3.6. Extraction et dosage de la vitamine C.....	31
III.2.3.7. Extraction et dosage des caroténoïdes et du lysogène.....	32
III.2.4. Evaluation du pouvoir antioxydant.....	32
III.2.4.1. Le pouvoir réducteur.....	32
III.2.4.2. L'activité antioxydante totale.....	33
III.2.4.3. Inhibition du radical DPPH°.....	33
III.2.4.4. Inhibition du radical ABTS°.....	33
III.2.5. Evaluation des propriétés fonctionnelles de la farine de gland.....	34
III.2.5.1. Capacité d'absorption d'eau (CAE).....	34
III.2.5.2. Capacité d'absorption en huile de l'échantillon (CAH).....	34

III.2.5.3. Activité émulsifiante (AE) et stabilité des émulsions (SE).....	35
III.2.6. Observation de la microstructure de la farine du chêne au microscopie électronique à balayage (MEB).....	36
III.2.7. Analyse statistique.....	36
<i>IV. Résultats et discussion</i>	
IV.1. Caractéristiques physiques.....	37
IV.2. Paramètres physico-chimiques	37
IV.2.1. Le pH.....	37
IV.2.2. La teneur en eau.....	38
IV.2.3. L'acidité.....	38
IV.2.4. Les cendres.....	39
IV.2.5. La teneur en sucres.....	39
IV.2.5.1. Les sucres totaux.....	39
IV.2.5.2. Les sucres réducteurs.....	40
IV.2.6. Le degré Brix.....	40
IV.2.7. L'indice de Couleur.....	41
IV.2.8. Le degré de brunissement non enzymatique (BNE).....	41
IV.3. Les antioxydants.....	42
IV.3.1. Les polyphénols totaux.....	42
IV.3.2. Les flavonoïdes.....	43
IV.3.3. Les Flavonols.....	43
IV.3.4. Les Tannins condensés.....	45

IV.3.5. La vitamine C.....	45
IV.3.6. Les caroténoïdes.....	46
IV.3.7. Le lycopène.....	47
IV.4. Evaluation du pouvoir antioxydant.....	47
IV.4.1. Le pouvoir réducteur.....	47
IV.4.2. Activité antioxydante totale (phosphomolybdate).....	49
IV.4.3. L'inhibition du radical DPPH°.....	51
IV.4.4. L'inhibition du radical ABTS ^{°+}	52
IV.5. Les propriétés fonctionnelles.....	54
IV.5.1. La capacité d'absorption de l'eau (CAE) et d'huile (CAH).....	54
IV.5.2. L'activité émulsifiante (AE) et la stabilité des émulsions (SE).....	56
IV.6. Effet du solvant d'extraction sur la microstructure des poudres de chêne après observation au MEB.....	56
Conclusion	60

Références bibliographiques

Annexes

Résumé

Introduction

Depuis des décennies, les antioxydants naturels ont fait l'objet d'une attention croissante en raison de sa fonctionnalité et surtout sa contribution à la santé humaine. Une tendance a été formée pour l'intérêt des antioxydants naturels dans diverses industries, y compris industrie alimentaire, cosmétique et pharmaceutique (Araújo *et al.*, 2015; Kusumawati et Indrayanto, 2013; Marino *et al.*, 2015).

Les antioxydants alimentaires protègent le corps humain contre les effets néfastes des radicaux libres (Nilsson *et al.*, 2004; Turkmène *et al.*, 2005), qui sont responsables des maladies dégénératives (Atoui *et al.*, 2005; Turkmène *et al.*, 2005). Les Fruits et légumes sont de bonnes sources d'antioxydants naturels tels que les vitamines, les caroténoïdes et les composés phénoliques (Minussi *et al.*, 2003; Zhang et Hamauzu, 2004). Actuellement, le potentiel de *Quercus rotundifolia* en tant que ressource d'antioxydants alimentaires est sous-estimé, comparativement à d'autres plantes, comme le noyer (*Juglans regia* L.) (Amaral *et al.*, 2005; Liao *et al.*, 2016) et les noisettes (*Corylus avellana* L.) (Amaral, 2006; Li et Parry, 2011).

Plusieurs études ont démontré l'action antioxydante de certains composants du chêne (Chiou, 1989; Lee *et al.*, 1992) tels que les tocophérols, les composés phénoliques, les acides phénoliques, les flavonoïdes et les tannins qui sont considérés comme les principaux agents bioactifs présents dans les glands (Cantos *et al.*, 2003; Lopes et Bernardo Gil, 2005; Rakić *et al.*, 2006; Tejerina *et al.*, 2011; Vinhaa *et al.*, 2016; Parsaei *et al.*, 2018). Ces composants ont été associés à des fonctions biologiques telles que les activités anti-tumorales, anti-allergiques, anti-plaquettaires, anti-ischémiques et anti-inflammatoires (Ostertag *et al.*, 2011; Heleno *et al.*, 2015; Anlasa *et al.*, 2019).

Les fruits de la châtaigne *Castanea sativa* ont une longue histoire des effets signalés sur la santé liés à leur composition nutritionnelle (excellente source d'énergie en raison de sa forte teneur en amidon et absence de gluten) (Maria docarmo *et al.*, 2009; Kocaa *et al.*, 2018). En outre, il a été démontré que les châtaignes sont une source importante d'antioxydants contenant des composés phénoliques, des flavonoïdes et des tannins (Yilidiz *et al.*, 2017). Ces composés bioactifs grâce à leurs hautes propriétés de neutraliser des radicaux libres, sont associés aux effets protecteurs contre les maladies coronariennes, les maladies neuro-dégénératives et certains type de cancers (Amilcar *et al.*, 2011). Dans ce travail nous avons essayé de donner un aperçu sur les propriétés physico-

chimiques et antioxydantes des farines issues de deux variétés de chêne originaires de la wilaya de Tizi-Ouzou, Algérie.

Ainsi, les objectifs principaux de la présente étude sont:

- D'étudier les propriétés physico-chimiques (pH, humidité, acidité, cendres, sucres totaux, sucres réducteurs, Brix, indice de couleur et BNE) des poudres de deux variétés chêne locales *Quercus rotundifolia* et *Castanea sativa*;
- De déterminer leurs teneurs en substances bioactives (polyphénols totaux, flavonoïdes, flavonols, tannins condensés, vitamine C, caroténoïdes et lycopène);
- D'évaluer leurs propriétés antioxydantes: le pouvoir réducteur, l'activité antioxydante totale et les activités antiradicalaires (DPPH et ABTS);
- De déterminer leurs propriétés fonctionnelles (CAE, CAH, AE et SE);
- De déterminer l'effet du solvant d'extraction sur les microstructures des poudres de chêne après observation sous le microscope électronique à balayage (MEB).

*Synthèse
bibliographique*

Gland de chêne & Châtaigne

I. Le gland de chêne (*Quercus ilex*L. subsp. *rotundifolia*Lam.)

I.1. Origine et historique

L'apparition des Fagaceae date du Paléogène, au minimum il y a 53 millions d'années, d'où la persistance dans cette famille de traits archaïques (fleurs de type 2 ou 3, fécondation du tube pollinique par le côté ou la base, bois à perforations scalariformes)(Crepet *et al.*2004). Les chênes sont probablement d'origine asiatique (Zhou, 1992) et leurs premières traces fossiles remontent à l'oligocène il y a 35 millions d'années. Des restes fossiles de feuilles ressemblant fortement aux espèces actuelles indiquent que de nouvelles espèces sont apparues à l'occasion de changements climatiques entre -34 et -23 millions d'années, la diversification infra générique étant déjà établie à l'oligocène(Manoset *al.*,2001).

L'histoire du chêne au Quaternaire est encore mal connue en raison des avancées et reculs des populations, imposées par les trois dernières glaciations. Confinés dans trois zones refuges (péninsule Ibérique, le sud de l'Italie et les Balkans) au cours de la dernière période glaciaire, les chênes européens ont très rapidement, en moins de 8 000 ans, colonisé le nord de l'Europe grâce notamment à des dispersions rares mais à longue distance : ils atteignent ainsi, 6000 av. J.C., les limites nord de leur aire actuelle comme le sud de la Scandinavie, ce qui correspond à une progression de 380 m par an (Antoine,2002).

Le chêne est originaire du sud de l'Europe et du bassin méditerranéen mais cultivé plus au nord depuis le XXI^{ème} siècle (Russell, 2012). La forêt de chêne « *Quercus* » en Algérie s'est implantée surtout du centre vers l'est, grâce aux conditions climatiques très favorables: altitude, pluviométrie. Les peuplements purs prédominant avec une forte densité dans la région d'Akfadou. Depuis indépendance, beaucoup de peuplements sont en nette régression à cause:

- Des feux de forêt, favorisés par un sous bois très abondant.
- De l'action de l'homme sur la récolte de liège et l'utilisation du bois pour le chauffage.
- D'absence de régénération.

I.2. Généralités

Le Chêne (*Quercus ilex* subsp. *rotundifolia* Lam.) est une espèce sempervirente de la famille des Fagacées. Il est considéré comme l'une des espèces les plus caractéristiques de la région méditerranéenne (Schwarz, 1940; Quezel, 1976; Ogaya et Penuelas, 2007). C'est une variété forestière qui possède ses caractéristiques morphologiques propres et ne peut être confondue avec les autres chênes (Figure 1).



Figure 1: Photographie d'arbre du chêne (*Quercus ilex* L. subsp. *rotundifolia* Lam.).

I.3. Répartition géographique

I.3.1. Répartition dans le monde

En Espagne et Portugal, les forêts de chêne sont traitées en vue de la production de gland pour l'alimentation des troupeaux de porcs (Boudy, 1950). Le chêne constitue avec ses 2.000.000 ha, un des arbres forestiers les plus importants de la région méditerranéenne (Peyemihoff, 1941 In Dahmani, 1997).



Quercus ilex L. subsp. *rotundifolia* Lam.



Figure 2: Distribution du *Quercus ilex* L. dans son aire géographique méditerranéenne (Berrichi, 2011).

1.3.2. Répartition en Algérie

Le chêne occupe une très grande partie de la surface forestière Algérienne; il couvre des superficies étendues notamment dans l'Atlas saharien que l'atlas Tellien où il forme de belles forêts en Kabylie et sur les monts de Tlemcen (Figure 3) (Benia, 2010). En Algérie, sa superficie potentielle représente 354.000 ha (B.N.E.F, 1984); Belaroussi, 1991). Aussi, l'estimation de la place du chêne dans la forêt Algérienne, peut paraître en de ça de réalité devant cette difficulté à distinguer entre forêt mixte et pré-forêt (Berberoet *al.*, 1992). Du point de vue biogéographique, le chêne s'étend à toute l'Algérie du nord allant du littoral l'Atlas saharien et de la frontière Marocaine à la frontière Tunisienne. Il est assez bien représenté sur le versant sud du massif du Djurdjura (900 m à 1400m) dans le sous secteur de la petite Kabylie.

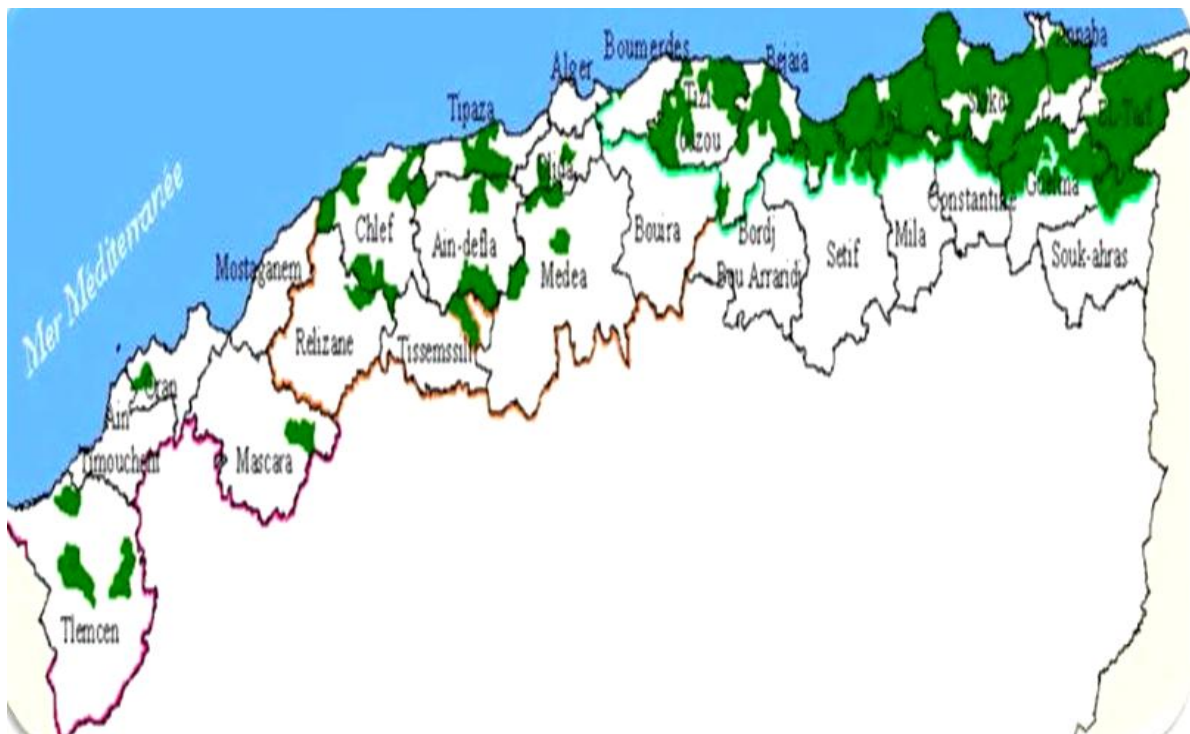


Figure 3: La répartition du chêne (*Quercus ilex* L. subsp. *rotundifolia* Lam.) en Algérie (INRF, 2010).

I.4. Classification botanique

Le chêne (*Quercus ilex* L. subsp. *rotundifolia* Lam.) est une espèce d'arbres à feuillage persistant de la famille des Fagacées, présent sous forme de bois clairs et garrigues. Il est parfois appelé chêne faux houx allusion au fait que ses feuilles ressemblent à celles du houx (*Ilex aquifolium* L.). Selon Cronquist (1981), le chêne a été classé selon la systématique suivante :

Règne:	<i>Plantae</i>
Sous règne:	<i>Trachenobionta</i>
Division:	Magnoliophyta
Classe:	Magnoliopsida
Sous classe:	<i>Hamamelidae</i>
Ordre:	<i>Fagales</i>
Famille:	<i>Fagaceae</i>
Genre:	<i>Quercus</i>
Espèce:	<i>Quercus ilex</i> L.

I.5. Variétés et sous-espèces

Quercus ilex subsp. *rotundifolia* Lam. donne lieu à un polymorphisme important. Les variétés qu'on a pu distinguer sont très nombreuses; il existe environ une cinquantaine et leur classification est basée sur la forme de la feuille, du pétiole, des rameaux, de la cupule et de la saveur du gland (Camus, 1936). De nos jours une distinction tend à prévaloir, entre *Quercus ilex* et une espèce voisine; *Quercus rotundifolia*. Elle est basée essentiellement sur la forme des feuilles; longues et abondamment nervurées pour *Quercus ilex*, rondes et pauvrement nervurées pour *Quercus rotundifolia*, et une autre différence réside essentiellement dans le nombre de nervures 6 à 7 chez *Quercus rotundifolia* et 8 à 9 et plus chez *Quercus ilex* (Barbero et Loizel, 1980). Les anciennes appellations *Quercus rotundifolia* Lam. et *Quercus ballota* Desf. sont désormais considérées comme une sous-espèce nommée *Quercus ilex* subsp. *ballota* et composée de plusieurs variétés:

- La variété *planifolia*: les feuilles de taille 4 cm, planes, rondes, entières ou presque, vert sombre dessus et dessous, glabres sauf quelques poils stellaires dessous; écorce lisse.

- La variété *ballota*: les feuilles ovales-elliptiques, 1,5 fois plus longues que larges.
- La variété *parviflora*: les feuilles lancéolées, entières, de 2-3 × 0,7 cm, à pubescence blanc-jaune.
- La variété *grandifolia*: les feuilles de taille 6 × 4 cm;
- La variété *macrocarpa*: très gros glands allongés, comestibles; Espagne du Sud. Cette sous-espèce est communément appelée "Chêne vert à glands doux". Elle est cultivée dans le bassin méditerranéen, en particulier en Algérie et présente les mêmes exigences climatiques que le chêne vert "standard" et ses fruits, au goût comparable aux châtaignes, sont d'autant plus doux que le climat est chaud (Barbero et Loizel, 1980).

I.6. Description botanique

- **La taille:** le chêne est un arbre dont la taille est généralement de 8 m à 10 m mais il peut atteindre 20 m à 22 m de hauteur et 2 à 3 m de tour dans certaines régions (Amatet *al.*, 1989).
- **L'houpplier:** il est constitué d'un couvert épais et des ramifications serrées et denses. Il est de forme arrondie ou ovale lorsque l'arbre est isolé et de forme élancée ou même en chandelle en peuplement serré (Amatet *al.*, 2008).
- **Le tronc:** il est court, souvent tortueux à écorce écaillée (écailles petites et plus ou moins carrées), finement fissurée, peu épaisse et de couleur noirâtre.
- **Le rameaux:** la ramification est forte et abondante; les branches principales sont brunâtres robustes et à écorce lisse. Les rameaux âgés sont superficiellement crevassés. Les jeunes ramures de l'année sont couvertes d'un tomenteux dense, court et persistant. (Rameau *et al.*, 2008).
- **L'Ecorce:** elle est peu épaisse, grise et assez lisse au jeune âge. Elle se crevasse par la suite et forme de petites écailles polygonales gris brunâtres ou noirâtres.
- **L'enracinement:** les racines sont profondément pivotantes avec nombreuses racines latérales, traçantes et drageonantes jusqu'à un âge avancé (Rameau *et al.*, 1989).

• **Les fleurs:** le chêne est une espèce monoïque (chaque individu porte à la fois des organes mâles et femelles mais sur des fleurs séparées) (Rameau *et al.*, 2008) et vraisemblablement dotée d'un système d'auto-incompatibilité (Yacine et Lumaret, 1988; Michaud *et al.*, 1992 in Salmon, 2004). Les chatons des fleurs mâles sont allongés et pubescents, très abondants et parfois recouvrent entièrement l'arbre d'une couleur jaune à reflets roux. Les fleurs femelles sont verdâtres, minuscules, plus discrètes, situées à l'extrémité des rameaux et groupées par 2 ou 3. La floraison a lieu entre Avril et Mai et la dispersion du pollen est anémophile. La structure particulière des fleurs mâles (chatons) facilite la libération des grains de pollen par le vent (Rameau *et al.*, 1989).

• **Les feuilles:** elles sont simples, alternées, pétiolées et persistantes, pendant 3 à 4 ans. Le limbe est coriace, de taille et de forme variables, les feuilles sont de couleurs pâle, poilues sur les deux faces, puis vert foncé, glabres ou à poils plus ou moins épars, luisantes sur la face supérieure vert grisâtre et tomenteuses sur la face inférieure (Figure 4). La durée de vie des feuilles du chêne est de deux années (parfois même trois années) et leur répartition est aléatoire sur les rameaux selon l'âge de l'arbre. Ainsi, on distingue les chênes verts à feuilles oblongues et les chênes à feuilles arrondies (Amat *et al.*, 2008).

• **Le fruit (glands):** elles sont verdâtres puis brunâtres (Figure 4), de forme très variable: ovoïdes subcylindriques, globuleux; leur longueur varie de 1 à 3 Cm et leur diamètre de 1 à 1,5 Cm, ils sont entourés à la base par involucre en cupule à écailles toutes appliquées et identiques (Rameau *et al.*, 1989). Ils sont amers dans le Nord, doux et comestibles dans les régions Sud dont les arbres sont appelés généralement chênes *balloutes*. La fructification de l'espèce est annuelle (Octobre - Novembre - Décembre), elle débute vers l'âge de 12 ans, mais elle n'est suffisante et soutenue qu'à partir de 15 à 20 ans en conditions pionnières. Elle ne devient abondante qu'entre 50 et 100 ans (Boudy, 1952).



Figure 4: Photographie des fruits et feuilles du *Quercus ilex* L. subsp. *rotundifolia* Lam. (Bremness, 2012).

I.7. Structure du gland de chêne

Le gland est un fruit sec ou akène. Il est constitué d'une graine enveloppée par un péricarpe assez coriace de couleur brune (Figure 5). Le péricarpe est formé de trois couches: vers l'extérieur par un épiderme externe ou épicarpe; vers l'intérieur par l'endocarpe; au centre par le mésocarpe. Le hile constitue la partie basale du gland; c'est la zone la plus perméable du péricarpe. Le micropyle représente la partie distale.

La graine est protégée par un tégument assez mince et nervuré. Elle comprend deux cotylédons qui cache du côté du micropyle un embryon composé d'une radicule, d'une tigelle et d'une gemmule (Medjmadj, 2014).

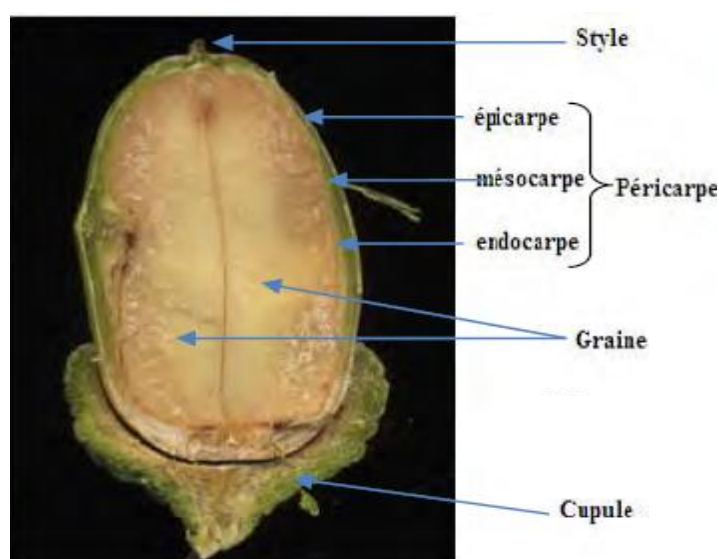


Figure 5: Photographie de la coupe longitudinale du gland de chêne (Medjmadj, 2014).

I.8. Composition chimique du gland de chêne

Le gland de chêne est une source d'énergie, elle est de 4283 Kcal par 100g de matière sèche (Tableau I). Il a un index glycémique et insulinémique bas, ce qui le rend intéressant comme protection contre l'augmentation du glucose sanguin après les repas. Il est ainsi riche en acides gras essentiel (oléique: 66.8%) (Belarbi, 1990), il est énergétique vu sa richesse en amidon (Afraitane, 1990). Du côté pharmacologique, l'écorce astringente et tonique est employée contre les diarrhées, angines, affections chroniques de la rate et cirrhose du foie et autrefois comme contre poison.

Le gland de chêne constitue une source nutritionnelle très importante, c'est un aliment énergétique vu sa richesse en amidon (Afraitane, 1990), il est pauvre en vitamine B₁, B₂, qui sont relativement 2,1 mg/kg et 0,8 mg/kg (Foudhil, 1990).

Tableau I: Composition chimique de gland de chêne (Arabet *al.*, 2009).

Constituant	Unité de mesure	Valeurs tirées de la bibliographie
Matièresèche	%	76,04
Matière organique	%MS	97,68
Matière minérale	%MS	2,32
Matière grasse	%MS	7,62
Matière azotée totale	%MS	
Cellulose brute	%MS	22,84
Protéines	%MS	6,75
Lipides	%MS	7-14.4
Cendres	%MS	1,81
Phosphore	%MS	0,22
Calcium	%MS	0,1
Composés phénoliques	%MS	0,75
Amidon	%MS	65,43
Energie	Kcal/kg MS	4283
Acide gras		66,8
Acide oléique		13,5
Acide linoléique		18,4-23
Acide stéarique	% de MG	—
Acide linolénique	% de MG	—
Acide palmétoléique	% de MG	
Vitamines		
Vitamine B₁		0,002
VitamineB₂		0,112
VitamineB₃	mg/100g	0,118
VitamineB₅		0,715
VitamineB₆		0,528
VitamineB₉		0,528
Vitamine C		15-50

La teneur en matière grasse du gland de chêne rapportée dans la littérature est très variable. Il semble que les glands sont plus riches en lipide (Foudhil, 1990; Belarbi, 1990) et cette particularité est susceptible d'influencer favorablement leur efficacité énergétique mais peut s'avérer néfaste à leur conservation (Boudroua, 1995). La teneur de gland de chêne en lipide varie de 7 à 14,4% (Tableau I).

L'analyse des acides gras par CPG (chromatographie à phase gazeuse) a montré que les lipides du gland de chêne contiennent 83,3% d'AGS dont 65,5% d'AGMI et 17,85% d'AGPI, cette composition apporte les acides gras essentiels ω_3 et ω_6 qui sont indispensables à la vie avec un rapport AGPI/AGS est de 1,07 (Benguettaf, 2012). Les tannins sont des composés phénoliques qui présentent de fortes activités antimicrobiennes et antifongiques, ce qui explique leur rôle particulier au niveau de péricarpe du fruit (Larbier, Leclercq, 1992) et ils sont également des facteurs antinutritionnels. Les effets antinutritionnels des tannins semblent dépendre de leurs degrés de polymérisation (Kaysi et Melcion, 1992). Les substances antinutritionnelles sont des substances qui par différents mécanismes entraînent des effets déprimants de la nutrition. Cette réaction consécutive, soit à la décomposition ou l'inactivation de certains nutriments, soit la diminution de la quantité ingérée, soit à la réduction de l'utilisation digestive (Petrovie, 2004).

Les tannins peuvent être classés en deux groupes: les tannins condensés et les tannins hydrolysables, ces deux types coexistent souvent dans un même fruit ou tissu (Cheftel, 1980; Scalbert et Haslam, 1989). La teneur en tannins dans l'espèce *Quercus ilex* varie de 0,70 à 8,90% (MS) (Ait Saada, 1997; Boudroua, 1995; Kekor et Kaukios, 1985). Ils existent en quantité importante à côté des glucides, notamment dans les fruits verts au cours de la maturation, ils dispersent en même temps que les sucres s'accumulent (Leraillez, 1952). Les teneurs en tannins permettent d'affirmer que les espèces Algériennes de gland de chêne vert et de chêne liège sont utilisables en alimentation animale sans risque potentiel d'intoxication (Ait Saada, 1997).

Les matières minérales de la farine de gland sont constituées par divers sels, potassium, sodium, phosphore, calcium, et contiennent des traces de magnésium. Cependant, elle possède une faible teneur en phosphore qui est de 0,08 - 0,13% (Kekor *et al.*, 1985).

La protéine du gland apporte une quantité importante en Argénine, Acide aspartique, Acide glutamique et Phénylalanine. Cependant, elle est pauvre en acides aminés essentiels notamment en Lysine comparativement à la protéine de l'œuf (6,5 % de lysine) (Piccolo *et al.*, 1983).

I.9.Utilisation de gland de chêne

En Algérie, comme dans certains pays méditerranéens, le gland de chêne est utilisé en alimentation humaine et animale et même dans certaines transformations biotechnologiques (Francoiset Philippe, 1999).

1.9.1. En alimentation humaine

Seul le gland doux de variété *ballota* est utilisé en alimentation humaine jusqu'à la deuxième guerre mondiale, les pénuries de blé l'orge ont poussé les populations d'Algérie et de Maroc à utiliser la farine de gland pour la préparation de couscous, de galettes et de bouillies (Mezali, 1985). Actuellement le gland doux comestible est utilisé en alimentation humaine et fait l'objet de commerce non négligeable dans certaines régions d'Algérie(Kheddam, 2005).

I.9.2. En alimentation animale

Les populations riveraines des chênaies utilisent les glands séchés ou bouillies pour l'engraissement des ovins. L'intérêt de leur utilisation réside dans leurs richesses en amidon. Toutefois les apports en protéines et en vitamines des glands demeurent faibles (Kheddam, 2005). Il y a quelques variétés de chêne liège qui donnent des glands doux plus appréciés par le bétail, surtout dans les subéraies Marocaine et Algérienne (Natividade, 1955). Le gland de chêne constitue une grande source nutritionnelle pour beaucoup d'animaux, dans ce sens plusieurs travaux sur les aptitudes nutritionnelles des régimes à base de gland de chêne d'infrastructure exigées par la culture; il s'agit des plaines et ou périmètres de Habra, Mina, Chlef, Mitidja, Bounamoussa, Safsaf(Zegai et Medouni, 2013).

I.9.3.Autres usages

L'hydrolysate de l'amidon du gland est utilisé comme un substrat pour la croissance de *Candida utilis* qui les convertisse en éthanol, acétone en butanol pour fermentation alcoolique (Kekos, Koukios, 1985).

- La richesse du gland en carbonhydrates constitue un matériel cru intéressant pour la biotechnologie.
- La farine du gland est utilisée pour la gastralgie. Le gland torréfié est utilisé comme une infusion de « café » de gland pour les diarrhées et parasite digestive.

I.10.Conservation des glands

Les bonnes fructifications du chêne interviennent tous les 2 à 10 ans. Il est donc nécessaire de mettre au point des bonnes techniques de conservation afin de d'assurer un approvisionnement régulier et une utilisation permanente.

I.10.1. Conservation des glands entiers

Dans le but de leur utilisation dans le domaine alimentaire, plusieurs techniques ont été élaborées:

➤ séchages des glands à l'ombre durant quelques jours: les glands sont étalés sur un lit de feuilles sèches et recouverts des feuilles mortes et de paille ce procédé rudimentaire permet la conservation des glands à l'aire (Boleslawet *al.*,1994).

➤ Conservation des glands dans l'eau salée (4% de NaCl) en milieux gazeux (éther-sulfurique, vapeurs d'alcools, sulfure de carbone) ou en silos (Boleslawet *al.*,1994).

➤ Conservation dans des sachets en polyéthylène épais à atmosphère modifiée. Cette méthode a été mise au point par Marcelin et Leteinturier (1974) à une température comprise entre -1 et +4, dans une solution de méthylthéophanate pendant 16 h.

➤ Traitement des glands par la chaleur à 41°C, pendant trois heures puis conservation à -1°C qui est une technique proposée par Muller et Masembert (INRA, 1984).

Ces différents procédés de conservation assurent aux glands la préservation de leurs qualités organoleptiques et nutritionnelles en bloquant la germination et en réduisant le niveau d'infection de ces derniers.

I.10.2. Conservation de la farine du gland

La farine du gland est riche en amidon (60,5%). Ce type de produit constitue un milieu favorable à la prolifération microbienne. Ainsi certains micro-organismes utilisent les composés organiques carbonés comme source de carbone et d'énergie pour leur développement. La préparation de la farine du gland en vue sa conservation se fait par:

- Le séchage par la chaleur.
- La déshydratation à la chaleur selon le procédé courant.
- Le séchage à faible température courant par un courant d'air chauffé ou par évaporation partielle sous vide (Multon, 1982).

I.11. Propriétés antioxydantes des glands *Quercus ilex* subsp. *rotundifolia* Lam.

Le rôle des antioxydants piègeurs de radicaux libres a attiré beaucoup d'attention non seulement des scientifiques mais aussi la grande partie de la population à large consommation (sociétés oxydantes) les antioxydants naturels contenus dans les fruits, légumes, épices et suppléments alimentaires (Rakic *et al.*, 2005).

Les glands étaient généralement reconnus pour leur grande importance pour l'économie rurale en tant que composants de l'alimentation animale; Cependant, leur valeur nutritionnelle et leur contenu phytochimique élevé ont suscité l'intérêt de nombreux chercheurs à la recherche d'aliments sous-évalués à intégrer dans l'alimentation humaine.

En outre, une augmentation de leur consommation peut avoir un impact positif aux niveaux social et économique. La majorité des rapports décrivant l'activité biologique des glands mettent l'accent sur leur forte activité antioxydante, qui pourrait être liée à d'autres fonctions biologiques, telles que les propriétés antimutagène, anticancérogène, anti-inflammatoires et anti-vieillessement et à la réduction des risques ou des symptômes des maladies cardiovasculaires, du diabète et d'infections microbiennes. L'activité antioxydante est principalement attribuée à la présence de grandes quantités de composés phénoliques dans les extraits de gland (Ana *et al.*, 2016).

En fait, les tocophérols et les composés phénoliques, tels que les acides phénoliques, les flavonoïdes et les tanins (qui ont été rapportés comme forts antioxydants naturels) sont considérés comme le principal agent bioactif dans les glands. (Vinha *et al.*, 2016).

Les glands de toutes les espèces doivent être testés et ajustés pour leur activité antioxydante. Les auteurs ont caractérisé les composés phénoliques individuels dans les fruits de *Quercus* ont montré que ces composés phénoliques peuvent être responsables de nombreux avantages pour la santé, et sont très utiles dans l'industrie alimentaire car ils peuvent être utilisés comme complément alimentaire ou comme conservateur au lieu des antioxydants synthétiques (Molina *et al.*, 2018).

II. La châtaigne (*Castanea Sativa* Mill.)

II.1. Historique et origine

Dans le contexte des programmes de développement rural, l'introduction du châtaignier (*Castanea Sativa* Mill.) dans les clairières forestières peut jouer un rôle important dans le développement économique et social du pays, notamment les régions favorables à son adaptation.

En Algérie, le châtaignier avait été introduit vers le début du 20^{ème} siècle aux alentours des maisons forestières, vides forestiers et milieux ruraux dans le cadre des programmes dénommés « amélioration forestière ». Dans la wilaya de Tizi-Ouzou, nous le retrouvons à Sidi Ali Bounab, les maisons forestières des Aït Ghobri et d'Akfadou, Larbaa Nath Irathène (terrains privés) et comme arbres d'alignement. A l'Est du pays, dans la région de Collo (Skikda), les châtaigneraies, d'une cinquantaine d'années d'âge, forment de très beaux bouquets épars dans les parcelles privées. Il est aussi présent au parc national de Chréa, El Kalla, Edough (près d'Annaba), à Jijel, monts des Babors et à Tlemcen (Dekoumi, 1978). Son existence dans ce milieu favorable remonte à la même période que celles de la maison forestière de Tala Kitane (Akfadou) et de l'arboretum de Meurdja (mont de Blida). D'après les archives forestières, les châtaigneraies de Tizi-Ouzou sont issues de la provenance des Cévennes, en France. Dans son aire d'origine, le châtaignier constitue une activité complémentaire à d'autres productions fruitières et assure un rôle prépondérant pour l'équilibre des systèmes d'exploitation dans les zones défavorisées puisqu'elle représente 20% à 60% de leurs revenus. A une densité de 80 arbres/ha, le rendement moyen d'une châtaigneraie est de l'ordre d'une tonne (INRA, 1987).

En Algérie, la majorité des châtaigneraies existantes tendent vers la sénescence, cas des plantations de 1890 (Tala-Kitane, Sidi Ali Bounab, Chréa). La production moyenne estimée de 1980-1983 à Tala Kitane et Sidi Ali Bounab était respectivement de 340 et 500kg/ans/ha (INRF, 1984), soit un peu moins de la moitié que celle du pays d'origine. Cette faible production ne serait pas liée aux facteurs du milieu; les châtaigneraies se localisent dans un milieu favorable (Dekoumi, 1978; Arnaud et Bouchet, 1995).

II.2. Généralités

Le châtaignier européen appartient à la famille des Fagacées. L'espèce *Castaneasativa* est une espèce à affinité supra méditerranéennes (Rameau *et al.*, 1989). Il se retrouve abondamment en France suite à son introduction importante par l'homme (châtaigneraie à fruits, piquets de vigne ...) depuis l'époque romaine (Bourgeois, 1992); il y vit désormais à l'état subspontané.



Figure 6: Photographie d'arbre du châtaignier(*CastaneaSativa* Mill.).

II.3. Réparation géographique

II.3.1. Réparation dans le monde

L'aire d'origine du châtaignier se situe sur les reliefs arrosés du Nord de la Méditerranée: au sud des Balkans (notamment en Grèce), en Italie, en Corse, dans le sud-est de la France, mais aussi au nord-ouest de la péninsule Ibérique (Nord de l'Espagne), au Sud de la mer Noire en Turquie, puis vers l'Est dans le Caucase, en Géorgie, Arménie, Azerbaïdjan, etc. Son aire de distribution a été fortement étendue par l'Homme en Europe méridionale et surtout en Europe occidentale, vers le Nord jusqu'à Écosse, et aussi localement en Afrique du Nord. Il est assez abondant en Belgique (notamment en Flandre et dans le Hainaut), aux Pays-Bas en dehors des régions de polders, et dans les îles Britanniques jusqu'en Écosse et en Irlande. Il a été introduit en Grande-Bretagne par les Romains. Il est plus disséminé en Allemagne où il se trouve surtout à l'Ouest. Il se fait rare sous climat à influence trop continentale en Europe centrale et orientale. Il est aussi bien présent dans le sud-est de l'Europe, où il est approximativement limité au Nord par les Carpates et évite les plaines trop sèches (il est fréquent en Autriche, Slovaquie, ex-Yougoslavie, Albanie, Roumanie, etc). En Afrique du Nord (Algérie, Maroc, Tunisie) il se trouve dans les zones les plus arrosées Patriket *al.* (2004).

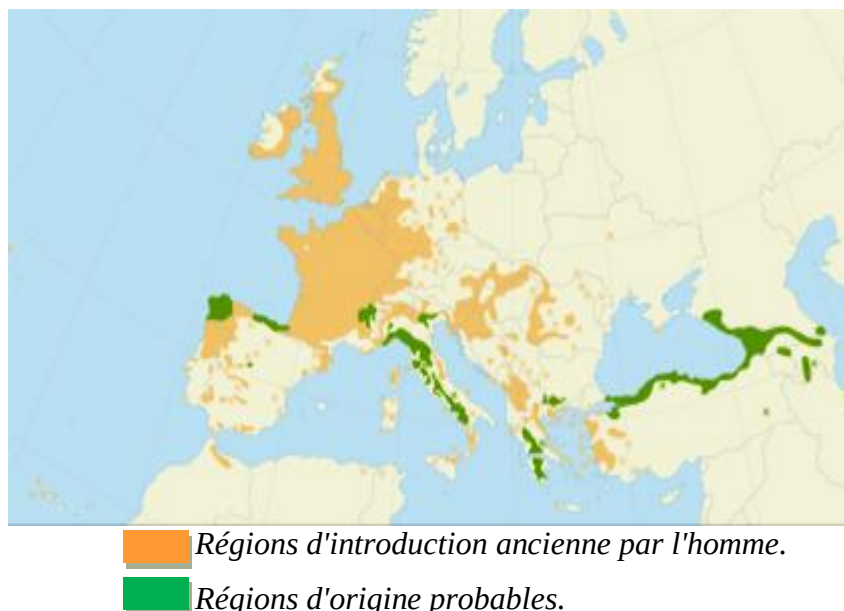


Figure 7: Distribution du *Castanea sativa* Mill. dans son aire géographique méditerranéenne (Conedera et al., 2016).

II.3.2. Répartition en Algérie

Le châtaignier présente trois espèces très voisines: les *Castanea sativa*, *Castanea japonica*, *Castanea americana* (Chrèa, Kabylie, ...) (DGF, INRF). Le châtaignier, existe à l'état spontané dans le massif de l'Edough (Annaba), il n'est cependant pas cultivé dans une vaste région du littoral qui convient admirablement à cet arbre précieux. Avant la colonisation, il existait quelques châtaigniers, notamment dans les environs d'Alger, dans les ravins de Bouzaréa; en Kabylie et sur les bords de l'Oued-Djebel, dans le massif du Goufi au-dessus de Collo. Vers l'an 1869, une plantation de châtaigniers fut faite au-dessus de Blida, sur un contrefort du petit Atlas, à une altitude de 1000 m, dans les schistes du Crétacé inférieur. De 1894 à 1896, les services des forêts ont planté des châtaigniers (dont les graines provenaient de Corse) dans le massif forestier du Goufi. Suite à la mise en place d'une pépinière, 8745 plants ont été mis en terre en 1895 dans les territoires dépendant des forêts de Beni-Toufout, de l'Oued-Guelbi, l'Arbel-Goufi et Ouichaoux; 4000 plants ont été distribués à la commune mixte de Collo et 3000 à Attia. Au-dessus de Tlemcen, dans la forêt d'Hafir, des plantations ont été réalisées; à El Milia environ 300 châtaigniers ont été plantés et 3000 plants ont été distribués aux 'autochtones'. Le service botanique a introduit les principales variétés qui pouvaient être utilement propagées: grosse noire précoce, dorée de Lyon, de Luc, combale, del Serino, Nnouzillard, avant-châtaigne, paragon: originaire

d'Amérique, numbo: originaire de Pensylvanie, Du Japon, tamba et mammouth du Japon (Chouakiet *al.*, 2006).

II.4. Classification botanique

Selon Cronquist (1981), la châtaigne a été classée selon la systématique suivante:

Règne:	<i>Plantae</i>
Division:	Magnoliophyta
Classe:	Magnoliopsida
Ordre:	<i>Fagales</i>
Famille:	<i>Fagaceae</i>
Genre:	<i>Castanea</i>
Espèce:	<i>Castaneasative</i> MILL.
Synonymes	<i>Castaneavesca</i> Gaertn. <i>Castaneavulgaris</i> Lam.

II.5.Description botanique

L'appellationbotanique du châtaignier, « *castanea* », provient de Castanis, une ville antique située en Turquie. Originare d'Asie Mineure, cette espèce fruitière a été introduite dans les Cévennes par les Romains.

- **Le tronc** rectiligne du châtaignier comprend une écorce fissurée en longueur et d'un coloris brun foncé et il atteint généralement 25 à 30 m de hauteur (Brosseet *al.*,1977).

- **Les feuilles**caduques sont alternes, longues d'une vingtaine de centimètres, pétiolées, coriaces et à grosses dents pointues. En automne, ce feuillage passe par un joli jaune, qui vire rapidement au marron. Comme chez le chêne et le hêtre, deux arbres de la même famille, les feuilles de châtaignier restent sur l'arbre une partie de l'hiver. Ce végétal ne fleurit qu'au bout d'une vingtaine d'années, donnant en été des fleurs mâles en chatons jaunes, dressés de 10-15 centimètres et des fleurs femelles petites, à la base de chatons. Ses fruits sont formés d'une bogue aux très nombreuses épines souples et qui renferme deux à trois châtaignes (Echevie,1964).

• **Les fleurs** du châtaignier sont monoïques diclines: on trouve sur le même individu des fleurs mâles et femelles séparées. Les mâles sont regroupées en chatons alors que les fleurs femelles (groupées par 1 à 5) sont à la base de certains chatons (figure 1). Néanmoins elles sont autostériles(Garnier *et al.*,1960).



Figure 8: Photographie des feuilles, fleurs et fruits du châtaignier(Delaveauet *al.*,1985).

• **Les fruits**, appelés châtaignes est le fruit du châtaignier, sont regroupés par 1 à 9 (le plus souvent par 3) dans une bogue hérissée de piquants. La pleine fructification n'apparaît que vers une quinzaine d'années. Le cycle végétatif annuel de *Castaneasativa* se compose de trois phases: débourrement (25 Mars–15 Mai), floraison (15 Juin–15 Juillet), maturité des fruits (1^{er}Octobre–15 Novembre). Le châtaignier est monocyclique, c'est-à-dire qu'il ne fait qu'une seule pousse dans l'année.Le terme désigne aussi la graine contenue dans ce fruit est comestible. Les châtaignes non cloisonnées sont appelées des marrons, à ne pas confondre avec le marron d'Inde, qui est la graine toxique du marronnier d'Inde ou marronnier commun (*Aesculushippocastanum*)(Christian, 2017) .

La châtaigne fut longtemps la base de l'alimentation humaine dans des régions entières. Le châtaignier est appelé « l'arbre à pain » mais aussi « l'arbre à saucisses » car les châtaignes servaient aussi à l'alimentation des porcs. C'est un akène, un fruit cloisonné ne s'ouvrant pas à maturité. Sa graine comporte deux cotylédons solides et recouverts d'une pellicule brun clair. Lorsque les pénétrations du tan sont complètes, le fruit est cloisonné et donc divisé en deux ou plusieurs graines (Pratella, 1994). L'enveloppe extérieure et brillante du fruit (péricarpe) adhère à la graine, mais n'est pas soudée à elle. Une bogue

épineuse (cupule) protège les fruits du châtaignier (Figure 9). Le hile relie les châtaignes à la bogue. A maturité, la bogue s'ouvre et le fruit est libéré au niveau du hile.

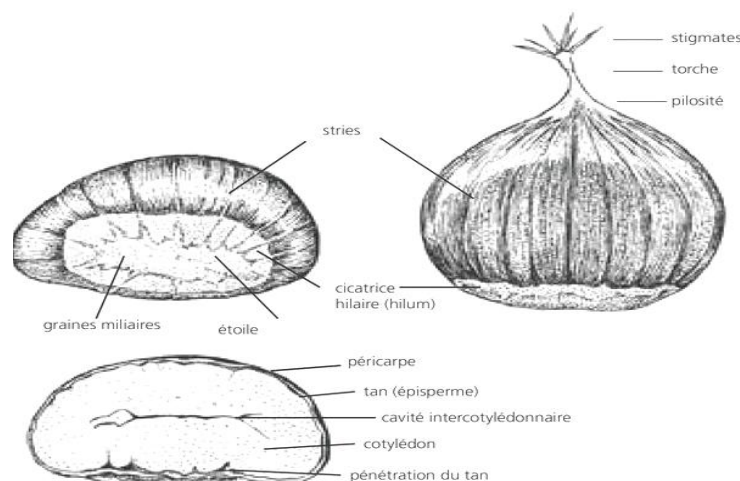


Figure 9: Morphologie du fruit de châtaignier (Conedraet *al.*, 2004).

II.6. Composition chimique de la châtaigne

Les châtaignes ont une valeur nutritive égale à celle d'autres aliments de base. Elles contiennent autant d'amidon et de protéines que les pommes de terre et le blé, un taux de sucre même supérieur (Künschet *al.*, 1998). Leur bonne valeur énergétique est aussi à souligner: 160–200 kcal (665–830 KJ) pour 100 g de châtaignes fraîches et épluchées. Les châtaignes ne contiennent pas de gluten et agissent de façon basique: elles neutralisent le surplus d'acidité présent dans l'estomac, créé par les habitudes alimentaires actuelles.

La châtaigne est par conséquent un aliment bien toléré également par les personnes atteintes de coeliaquie (intolérance au gluten) (Bänziger et Buri, 2003). Elles ont un taux relativement faible en eau, un taux élevé de glucides (sucre et amidon), de protéines (recelant en partie des acides aminés en première nécessité) et d'acides gras (dont des acides essentiels comme l'acide linoléique et linoléinique), ainsi qu'un faible taux de matières grasses et une teneur idéale en potassium (Desmaison et Adrian, 1986; Künschet *al.*, 1998; Bounouset *al.*, 2000) (Tableau II). La composition chimique des fruits frais peut évoluer en fonction de la région de production et des méthodes de traitement utilisées (Fadanelliet *al.*, 1995; Conederaet *al.*, 2002; Bassi *et al.*, 2002).

Tableau II: Composition chimique de la châtaigne(Desmaison et Adrian, 1986; Mccarthy et Meredith,1988; Senteret *al.*,1994; Bounouset *al.*, 2000; Conederaet *al.*,2002).

Constituant	Unité de Mesure	Valeurs tirées de la bibliographie
Matièresèche	%	37-50
Amidon	g/100g	23-27
Teneur ensucres		
Saccharose		3,5-5,5
Glucose	g/100g	0,04-0,10
Fructose		0,10-0,20
Fibres alimentaires	g/100g	8,2-8,4
Protéines	g/100g	2,5-5,7
Matière grasse	g/100g	1,0-2,2
Acide gras	g/100g	900-1495
Acide palmitique	mg/100g	100-225
Acide stéarique	mg/100g	5,0-21
Acide oléique	mg/100g	170-476
Acide linoléique	mg/100g	550-718
Acide linoléinique	mg/100g	78-92
Vitamines	mg/100g	
A		12
B1		0,1-0,2
B2		0,2-0,3
C		6,0-23
Niacine PP		1,1
Sels minéraux	mg/100g	
Potassium		395-707
Phosphore		70
Magnésium		31-65
Soufre		48
Calcium		18-35
Chlore		10
Soufre		48
Sodium		9
Fer		1
Manganése		0,7
Cuivre		0,6

II.7. Conservation de la châtaigne

Le stockage industriel des châtaignes se fait le plus souvent dans des chambres réfrigérées. Le refroidissement industriel a lieu en général dans des chambres bien aérées, avec des températures évoluant entre 0 et 2° C et une humidité de l'air comprise entre 90 et 95% (Giacalone et Bounous, 1993). Environ tous les 7 jours, les fruits sont remués et contrôlés à la lueur des critères phytosanitaires.

II.8. Utilisation du châtaignier

En dehors de demain thérapeutique le châtaignier à une large application, de nombreuses parties de cet arbre bois les feuilles, les fleurs, les fruits et les racines sont utilisées dans le domaine pharmaceutique (phytothérapie, gemmothérapie, et homéopathie et en cosmétique.

II.9. Utilisation de la châtaigne

La consommation de la châtaigne a beaucoup évalué soit: fraîche: crue, cuit dans la cendre, grillée; séchée, bouillie, blanchie ou réduit en farine pouvant entrer dans la fabrication des pâtisseries, galette, pain et aussi des crêpes; consommée sous forme purée, crème, marrons glacés.

II.10. Propriétés antioxydantes de la châtaigne (*Castanea sativa* Mill.)

Les châtaignes sont devenues des composants importants de l'alimentation humaine en raison de leurs qualités nutritionnelles et de leurs bienfaits pour la santé. C'est une bonne source d'antioxydants tels que l'acide L-ascorbique, la vitamine E, les caroténoïdes et les composés phénoliques tels que les acides gallique et ellagique; ces composés sont considérés comme des antioxydants naturels efficaces (Jelena *et al.*, 2009). Le stress oxydatif étant une cause fréquente de maladies dégénératives chroniques, la consommation d'antioxydants alimentaires tels que ceux présents dans les châtaignes peut prévenir l'endommagement de biomolécules telles que les protéines et l'ADN des radicaux libres. L'un des composants bioactifs importants présents dans la châtaigne est la proportion élevée de tannins, en particulier dans la coque interne. Les tannins sont connus pour leur goût amer astringent qui réduit l'appétence des châtaignes (Ahmed *et al.*, 2017).

Partie
pratique

Matériel *et* *Méthodes*



Notre expérimentation a été réalisée au niveau du Laboratoire de Technologie Alimentaire du Département d'Agronomie de l'Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou et le Laboratoire Commun d'Analyses Physico-chimiques et Microbiologiques de la Faculté des Sciences Biologiques et Agronomiques de l'Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou.

III.1. Matériel biologique

La présente étude est portée sur deux variétés de chêne *Quercus rotundifolia* et *Castanea sativa* (Figure 10) qui ont été récoltés dans la wilaya de Tizi-Ouzou. Les échantillons sélectionnés sont mûrs, frais et ne présentent aucune blessure ou d'infection. Chaque échantillon présente des spécificités qui le distinguent de l'autre leur choix repose sur le fait qu'ils sont largement consommés en Algérie. L'origine, la date de prélèvement sont indiqués dans le Tableau III.

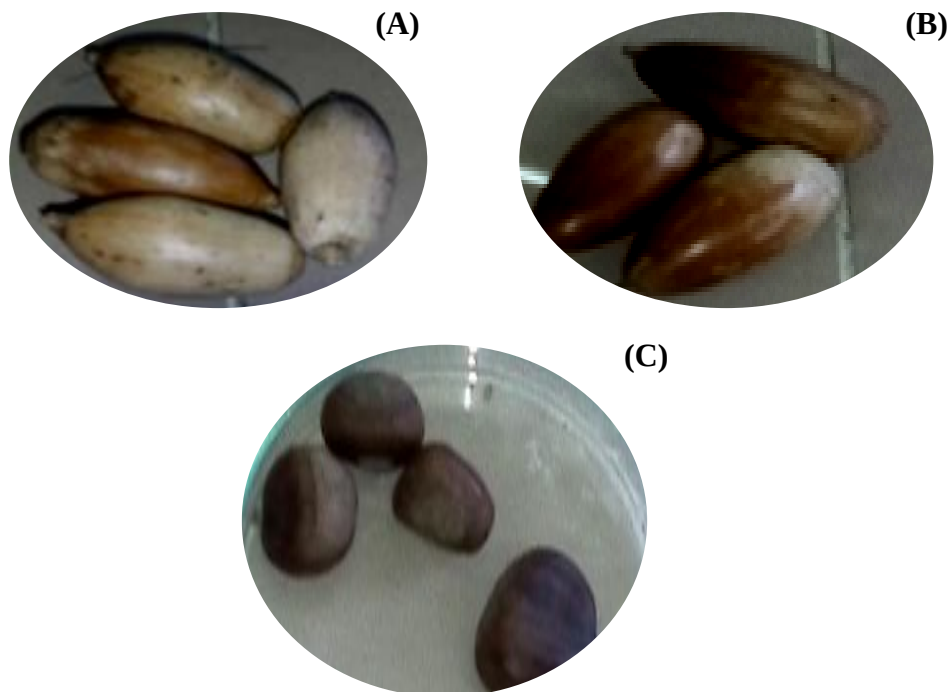


Figure 10: Photographies de deux variétés du chêne.

(A): *Quercus rotundifolia* (LNI); (B): *Quercus rotundifolia* (BZG);
(C): *Castanea sativa* (LNI). **LNI:** Larbaa Nath Irathène; **BZG:** Bouzeguène.

Tableau III: Origine et dates de récolte des différents échantillons.

Echantillons	Dates de récolte	Origine
<i>Quercus rotundifolia</i>	Novembre 2018	LarbaaNathIrathène (LNI)
<i>Quercus rotundifolia</i>	Novembre 2018	Bouzeguène (BZG)
<i>Castaneasativa</i>	Janvier 2019	LarbaaNathIrathène (LNI)

Environ 1 kgde chaque variété a été rincé par l'eau du robinet puis avec l'eau distillée, ensuite essuyés à l'aide d'un papier absorbant. Les échantillons du chênesont décortiqués puis séchés dans une étuve portée à une température de 40°C. Après séchage, les échantillons sont broyés à l'aide d'un broyeur suivie d'un tamisage afin de récupérer la farine du chêne conservée dans des flacons en verre (Figure 11).



1/Chêne décortiqué



2/ Séchage (40°C / 5 jours)



3/Broyage

4/ Farines du chêne (après tamisage)

Figure 11: Photographie des différentes étapes de préparation de la farine du chêne.

(A): *Quercus rotundifolia* (LNI); (B): *Quercus rotundifolia* (BZG); (C): *Castaneasativa* (LNI). LNI: LarbaaNathIrathène; BZG: Bouzeguène.

L'objectif principal de la présente étude est la détermination des caractéristiques morphologiques, des propriétés physico-chimiques (pH, humidité, degré de Brix, acidité, teneur en cendres, teneur en sucres réducteurs et totaux; indice de couleur et degré de brunissement non enzymatique (BNE)) de deux variétés de gland *Quercus rotundifolia* et *Castanea sativa*. En outre, une évaluation de la teneur en antioxydants (polyphénols, flavonoïdes, tannins condensés, vitamine C, caroténoïdes et lycopène) et du pouvoir antioxydant (pouvoir réducteur, pouvoir anti-radicalaire (DPPH, ABTS) et l'activité antioxydante totale) ont été réalisés.

En plus, une évaluation des propriétés fonctionnelles des différentes farines de gland (capacité d'absorption d'eau (CAE), capacité d'absorption huile (CAH), activité émulsifiante (AE) et stabilité des émulsions (SE)) a été effectuée.

Afin de compléter ce travail, une analyse au microscope électronique à balayage (MEB) a été effectuée sur les différentes farines avant et après extraction.

III.2. Méthodes d'Analyses

III.2.1. Caractéristiques morphologiques du chêne

Les caractéristiques physiques ont été évaluées sur quelques pièces choisies au hasard sur lesquelles ont été déterminés:

- ❖ La couleur appréciée visuellement;
- ❖ La consistance déterminée au toucher;
- ❖ Les dimensions des fruits déterminées par un pied à coulisse (longueur et largeur);
- ❖ Le poids, au moyen d'une balance analytique de précision de $\pm 0,001$ g. Le poids moyen (en gramme) du fruit est obtenu selon la formule suivante:

$$P_m = P_t / n$$

D'où:

P_m: Poids moyen d'un fruit (g);

P_t: Poids total de l'échantillon (g);

n: Taille de l'échantillon.

III.2.2. Analyses physico-chimiques

III.2.2.1. Le pH

Le pH des différents échantillons est déterminé à l'aide d'un pH mètre selon la méthode AFNOR (1982). Une prise d'essai de 3 g est ajustée avec de l'eau distillée à un volume de 25 mL, l'ensemble a subi une agitation pendant 30 min suivi d'une filtration. Le filtrat récupéré permet de mesurer les valeurs du pH à l'aide d'un pH mètre.

III.2.2.2. La teneur en eau

Afin de déterminer la teneur en eau des différents échantillons, 5 g du fruit subi une dessiccation dans une étuve portée à $103^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ pendant 4 heures (Doymaz *et al.*, 2004). La teneur en eau est calculée selon la formule suivante:

$$\text{H (\%)} = [(M_1 - M_2) / P] \cdot 100$$

H (%): Humidité en pourcentage;

M₁: Masse de la capsule + masse de la matière fraîche (g);

M₂: Masse de la capsule + masse de la matière sèche (g);

P: Masse de la prise d'essai (g).

III.2.2.3. L'acidité titrable

L'acidité titrable est déterminée par la méthode AFNOR, 1974. Elle consiste à peser environ 5 g d'échantillon et les placer dans une fiole conique avec 25 mL d'eau distillée chaude, récemment bouillie, refroidie, puis bien mélanger jusqu'à l'obtention d'un liquide homogène. Après avoir chauffer le contenu au bain marie pendant 30 min, refroidir, transvaser le contenu dans une fiole conique jaugée de 250 mL et ajuster le volume avec l'eau distillée récemment bouillie, puis filtrer.

Afin de déterminer l'acidité, prélever 25 mL du filtrat et les verser dans un bécher, ajouter deux à trois gouttes de la phénolphthaléine tout en agitant et verser à l'aide d'une burette la solution d'hydroxyde de sodium à N/9 jusqu'à l'obtention d'une couleur rose persistante et noter le volume de la soude versée. L'acidité est déterminée par la formule suivante:

$$\text{Acidité titrable (\%)} = (250 \cdot V_1 \cdot 100) / (V_0 \cdot M \cdot 10)$$

Soit:

M: Masse du produit prélevé (g);

V₀: Volume de la prise d'essai (mL);

V₁: Volume de la solution d'hydroxyde de sodium utilisé (0,1N) (mL).

III.2.2.4. La teneur en sucres

La teneur en sucres des différents échantillons a été déterminée selon la méthode (AFNOR, 1982). 10 g de l'échantillon sont introduits dans un bêcher de 100 mL, 2,5 mL d'acétate de zinc (30%) sont additionnés, le volume est ajusté à 2/3 du volume du bêcher avec de l'eau distillée. Le mélange est agité à plusieurs reprises et laissé reposer pendant 15 min, puis ajusté avec de l'eau distillée jusqu'à 100 mL suivi d'une homogénéisation. La solution est filtrée et le filtrat obtenu est récupéré.

III.2.2.4.1. Dosage des sucres réducteurs

Pour le dosage des sucres réducteurs, prélever 5 mL de la solution de Fehling I et de solution de Fehling II puis ajuster le volume jusqu'à 100 mL avec de l'eau. Après un chauffage jusqu'à ébullition, titrer la solution de Fehling avec le filtrat obtenu précédemment jusqu'à ce que la couleur bleu disparaisse, puis ajouter quelques gouttes de bleu de méthylène et continuer le titrage jusqu'à apparition d'une couleur rouge brique. Noter le volume de filtrat dépensé pour le titrage et calculé le taux de sucres réducteurs selon la formule suivante:

$$\text{Sucres réducteurs} = [240 / V (V_1 - 0,05)] \cdot 10 / 100$$

Soit:

V: Volume de la solution mère (mL);

V₁: Volume du filtrat dépensé (mL).

III.2.2.4.2. Dosage des sucres totaux

Pour effectuer le dosage des sucres totaux, ajouter à 50 mL du filtrat 5 mL d'HCl pur et porter au bain marie à 70°C pendant 5 min. En présence de la phénolphthaléine à 1%, neutraliser avec de la soude à 10 N et on procède de la même manière que le dosage des sucres réducteurs. Les sucres totaux sont déterminés par la formule suivante:

$$\text{Sucres totaux} = [500 / V (V_2 - 0,05)]. 10 / 100$$

Soit:

V: Volume de la solution mère (mL);

V₂: Volume du filtrat dépensé (mL).

III.2.2.5. La teneur en cendres

La teneur en cendre est déterminée par la méthode AFNOR (1970), qui consiste en la destruction de la matière organique par la technique de minéralisation par voie sèche ou calcination qui consiste à brûler l'échantillon dans un four à moufle et de recueillir le résidu minéral gris blanchâtre.

Afin de déterminer la teneur en cendre, peser un creuset en porcelaine vide, puis avec 5 g d'échantillon. Ensuite, le creuset est placé dans un four à moufle réglé à 550°C pendant cinq heures, jusqu'à la destruction totale de la matière organique et l'obtention d'un résidu gris blanchâtre (la matière minérale). La teneur en cendre est calculée par l'équation suivante :

$$\text{Matière organique (\%)} = (M_1 - M_2).100/P$$

Soit

M₀: Matière organique en (%)

M₁: Masse des capsules + la masse de la prise d'essai ;

M₂: Masse des capsules + cendres ;

P: La masse de la prise d'essai.

La teneur en cendres (Cd) est calculée comme suit:

$$Cd=100-M0\%$$

III.2.2.6. Le degré Brix

Le degré Brix ou le résidu sec soluble (déterminé par réfractométrie) est la concentration en saccharose d'une solution aqueuse ayant le même indice de réfraction que le produit analysé, dans des conditions déterminées de préparation et de température. Cette concentration est déterminée par la méthode d'AFNOR (1970) et exprimée en pourcentage de masse. Elle consiste à mélanger 1 g d'échantillon avec 10 mL d'eau distillée et bien mélanger. Puis, prendre une goutte du mélange et la placer sur la surface du prisme du réfractomètre. Ensuite, abattre le deuxième prisme sur le premier, ce qui permet d'obtenir une couche uniforme de liquide. Cette dernière est interprétée en dirigeant le réfractomètre vers une source lumineuse, où deux zones apparaissent: une est claire et l'autre est sombre, la limite entre les deux zones indique la grandeur de la réfraction.

III.2.2.7. Le degré de brunissement non enzymatique (BNE)

L'estimation du degré de brunissement non-enzymatique est déterminée selon la méthode de Davoodi *et al.* (2007). 50 mL d'alcool absolu (60%) sont ajoutés à 2,5 g d'échantillons. Après 12 h, la solution est filtrée avec du papier Whatman N°4 et son absorbance (DO) est mesurée à 420 nm en utilisant l'alcool (60%) comme blanc. L'indice de brunissement est exprimé comme la valeur de l'absorbance à 420 nm.

III.2.2.8. L'indice de couleur

La couleur a été déterminée selon la méthode de Bath et Singh (1999). 5g de la farine de glands sont diluées dans 20mL d'eau distillée suivie d'une agitation et faire la lecture à 420 nm utilisant l'eau distillée comme un blanc. L'indice de couleur est exprimé comme la valeur de l'absorbance à 420 nm.

III.2.3. Extraction et dosage des antioxydants

III.2.3.1. Extraction des composés phénoliques

Les composés phénoliques sont extraits après macération de 6 g d'échantillon dans 150 mL de méthanol à 80% pendant 40 min à température ambiante. Ce mélange est filtré sur papier Whatman et le filtrat récupéré constitue l'extrait méthanolique qui sera gardé au froid jusqu'au moment d'analyse.

III.2.3.2. Dosage des composés phénoliques

Le dosage des composés phénoliques a été effectué suivant la méthode décrite par Nickavaret *al.* (2008) modifiée; brièvement, 0,2 mL sont mélangés à 1 mL du réactif Folin-Ciocalteu (dilué au 1/10) et incubé à température ambiante. Après 10 min, 0,8 mL de solution de carbonate de sodium (Na_2CO_3) (75 g/L) sont ajoutés. La solution finale est bien mélangée et gardée à l'obscurité pendant 2 heures à température ambiante.

L'absorbance est lue à 765 nm et la teneur en composés phénoliques est exprimée en milligramme Equivalent Acide Gallique par 100 g de Matière sèche (mg EAG/100 g MS) on se référant à la courbe d'étalonnage obtenue avec l'acide gallique (Annexe II).

III.2.3.3. Dosage des flavonoïdes

La teneur en flavonoïdes est déterminée par colorimétrie selon la méthode décrite par Kim *et al.* (2003). Dans un tube à essai de 10 mL sont introduits successivement 250 μL de filtrat et 1 mL d'eau distillée. Au temps initial (0 min) sont ajoutés 75 μL d'une solution de NaNO_2 (5%), après 5 min, 75 μL d' AlCl_3 (10 %) sont ajoutés. Après 6 min, 500 μL de NaOH (1N) et 2,5 mL d'eau distillée sont ajoutés successivement au mélange.

L'absorbance est mesurée à 510 nm et les résultats sont exprimés en mg Equivalent Catéchine/ g de matière sèche (mg EC/g MS) en se référant à la courbe d'étalonnage (Annexe II).

III.2.3.4. Dosage des flavonols

La teneur en flavonols est déterminée selon la méthode de Djerdane *et al.* (2006). A 500 μL d'extrait sont ajoutés 500 μL d'eau distillée, 500 μL de chlorure d'aluminium (2%) et 500 μL d'acétate de sodium (50g/L). Après 30 min d'incubation, l'absorbance est mesurée à 440 nm. Les concentrations en flavonols ont été exprimées en milligramme

Equivalent Quercétine par 100g de matière sèche (mg mg EQ/100g MS) et déterminées en se référant à la courbe d'étalonnage de la Quercétine (Annexe II).

III.2.3.5. Dosage des tannins condensés (proanthocyanidine)

La teneur en proanthocyanidines des extraits est déterminée selon la méthode décrite par Vermerris et Nicholson (2006). Un volume de 2 mL de sulfate de fer est ajouté à 200 μ L d'extrait. Les tubes sont incubés à 95°C pendant 15 min. L'absorbance est mesurée à 530 nm.

Les résultats obtenus sont exprimés en mg Equivalent Cyanidinepar 100 g de matière sèche (mg EC/100g), sont calculés selon la formule:

$$C \text{ (mg EC/100 g)} = \text{Abs. MM. FD. } 1000 / \epsilon. L$$

D'où:

Abs: Absorbance à 530 nm;

MM: Masse molaire de la cyanidine (287,24 g/mol);

FD: Facteur de dilution;

L: Trajet optique;

ϵ : Coefficient d'extinction molaire de la cyanidine ($\epsilon=34\,700 \text{ L. mol}^{-1}\text{cm}^{-1}$).

III.2.3.6. Extraction et dosage de la vitamine C

La teneur en vitamine C des échantillons de gland a été déterminée par la méthode spectrophotométrique de Mauet *al.* (2005). Cinq grammes d'échantillon sont mélangés avec 20 mL d'acide oxalique (1%). Après agitation pendant 20 min, le mélange a été filtré et centrifugé à 4500 t/min pendant 15 min. Trois millilitres du filtrat sont additionnés avec 1 mL de 2,6-dichloroindophénol (0,003 %), et l'absorbance a été mesurée à une longueur d'onde de 515 nm.

Les concentrations en acide ascorbique ont été exprimées en milligramme d'Acide Ascorbique par 100g de matière sèche (mg EAA/100 g MS) et déterminées en se référant à la courbe d'étalonnage de l'acide ascorbique (Annexe II).

III.2.3.7.Extraction et dosage des caroténoïdes et du lysogène

La teneur en caroténoïdes est déterminée selon la méthode de Sass-Kisset *al.* (2005). Vingt millilitres du mélange hexane/acétone/éthanol (2/1/1) sont ajoutés à 2 g de broyat du chêne. Après agitation pendant 30 minutes, la phase supérieure est récupérée et 10 mL d'hexane sont ajoutées pour une deuxième extraction. Le mélange des deux phases est utilisé pour le dosage des caroténoïdes par mesure de l'absorbance à 450 nm.

Les résultats sont exprimés en μg équivalent de β -carotène par 100g de matière sèche (μg E β C/100g MS) en se référant à une courbe d'étalonnage (Annexe II).

La teneur en lycopène a été estimée par la mesure de l'absorbance à 472 nm, les concentrations sont calculées en se référant à la courbe d'étalonnage obtenue avec le lycopène (Annexe II). Les résultats sont exprimés en milligramme Equivalent Lycopène/100 g de Matière Sèche (mg EL/100 g MS).

III.2.4. Evaluation du pouvoir antioxydant

III.2.4.1. Le pouvoir réducteur

Le pouvoir réducteur est estimé par la méthode de Yildirim *et al.* (2001). Un millilitre d'extrait est ajouté à 2,5 mL du tampon phosphate (0,2 M, pH 6,6) et 2,5 mL de ferricyanure de potassium (1%). Le mélange est incubé à 50°C pendant 20 min; 2,5 mL d'acide trichloracétique (10%) sont additionnés au mélange avant d'être centrifugé à 3000g pendant 10 min. 2,5 mL de surnageant sont mélangés dans un tube à essai, avec 2,5 mL d'eau distillée et 0,5 mL de chlorure ferrique (0,1%). L'absorbance est mesurée à 700 nm. Le pouvoir réducteur est déterminé en se référant à la courbe d'étalonnage (Annexe II) et exprimé en milligramme Equivalent Acide ascorbique par 100 g de Matière Sèche (mg EAA/100 g MS).

III.2.4.2.L'activité antioxydante totale

L'estimation de l'activité antioxydante avec le réactif de phosphomolybdate a été réalisée en utilisant la méthode de Prieto *et al.* (1999). Elle consiste à ajouter 1 mL du réactif dephosphomolybdate (0,6 M d'acide sulfurique, 28 mM de phosphate de sodium et 4 mM de Molybdate d'ammonium) à 100 μ L d'extrait. Après 90 min d'incubation dans le bain mari à 95°C, l'absorbance est mesurée à 595 nm. L'activité anti-oxydante totale est exprimée en milligramme Equivalent Acide Ascorbique par 100 g de Matière Sèche (mg EAA/100 g MS) (Annexe II).

III.2.4.3.Inhibition du radical DPPH°

L'activité antiradicalaire des extraits est déterminée par une méthode basée sur la réduction du radical diphenylpicryl-hydrazyl (DPPH°), par le don d'atomes d'hydrogènes ou d'électrons (Molyneux, 2004). Le protocole utilisé dans cette méthode est celui de Milardović *et al.* (2006). Il consiste à mélanger 2,9 mL de la solution DPPH° (6×10^{-5}) avec 100 μ L de chaque extrait; la mesure de la réaction de réduction de la solution du DPPH° a été faite à 515 nm après 30 min d'incubation. Les résultats sont exprimés par la moyenne de trois mesures. Les valeurs IC₅₀ ont été déterminées pour chaque extrait, et définies comme étant la concentration du substrat qui cause l'inhibition de 50% du radical DPPH°. Le pourcentage de neutralisation du radical de DPPH° est calculé selon la formule ci-dessous et les pourcentages d'inhibition sont exprimés en milligramme Equivalent Trolox par 100 g de Matière Sèche (mg ET/100 g MS).

$$\text{Activité antiradicalaire (\%)} = [(Abs_{\text{Contrôle}} - Abs_{\text{Echantillon}}) / Abs_{\text{Contrôle}}]$$

Où

Abs_{Contrôle}: Absorbance du contrôle à 515 nm;

Abs_{Echantillon}: Absorbance de l'échantillon à 515 nm.

III.2.4.4.Inhibition du radical ABTS°

Le pourcentage d'inhibition du radical ABTS a été évalué par la méthode de Reet *et al.* (1998), qui consiste à additionner 2 mL de la solution d'ABTS ($Abs_{734nm} = 0,700 \pm 0,020$) à 20 μ L de l'extrait. La lecture de l'absorbance est mesurée, à partir de la première

minute pendant 6 minutes, à 734 nm. Le pouvoir anti-radicalaire de l'extrait est exprimé en milligramme Equivalent Trolox par 100 g de Matière Sèche (mg ET/100 g MS).

$$\text{Activité antiradicalaire (\%)} = [(\text{Abs}_{\text{Contrôle}} - \text{Abs}_{\text{Echantillon}}) / \text{Abs}_{\text{Contrôle}}]$$

Où

Abs_{Contrôle}: Absorbance du contrôle à 515 nm;

Abs_{Echantillon}: Absorbance de l'échantillon à 515 nm.

III.2.5. Evaluation des propriétés fonctionnelles de la farine de gland

III.2.5.1. Capacité d'absorption d'eau (CAE)

La CAE est estimée d'après la méthode de Diomandeet *al.* (2017). Une quantité de 1g de farine de gland est pesée et introduite dans un tube à centrifugeuse. Les tubes contenant la poudre ont été pesés et les masses sont notées (me). Ensuite, une quantité de 10 mL d'eau distillée a été ajoutée dans chaque tube et le tout a été agité pendant 30 minutes. Enfin, la centrifugation a été faite pendant 35 minutes à 4000 tpm grâce à une centrifugeuse. Le surnageant de chaque tube est versé et les nouvelles masses sont notées (me'). La capacité d'absorption d'eau de l'échantillon est déterminée selon la formule suivante:

$$\text{CAE} = (\text{me}' - \text{me}) \times 100 / \text{PE}$$

Avec:

me: Masse du tube contenant la farine avant centrifugation;

me': Nouvelle masse du tube contenant la poudre après centrifugation;

PE: Prise d'essai (g).

III.2.5.2. Capacité d'absorption en huile de l'échantillon (CAH)

D'après Diomandeet *al.* (2017), une quantité de 0,5 g de farine de gland est pesée et introduite dans un tube à centrifugeuse. Les tubes ont été pesés et les masses notées (me). Ensuite, une quantité de 6 mL d'huile de tournesol a été ajoutée dans chaque tube et le tout

a été agité pendant 30 minutes. Enfin, la centrifugation a été faite pendant 35 minutes à 4000 tpm. Le surnageant de chaque tube est versé. Les tubes sont séchés à l'étuve (à 50°C) et les nouvelles masses sont notées (me'). La capacité d'absorption en huile de l'échantillon est déterminée selon la formule décrite:

$$CAH = (me' - me) \times 100 / PE$$

Avec

me: Masse du tube contenant la farine avant centrifugation;

me': Nouvelle masse du tube contenant la poudre après centrifugation et étuvage;

PE: Prise d'essai (g).

III.2.5.3. Activité émulsifiante (AE) et stabilité des émulsions (SE)

Une quantité de 1g de farine de gland est pesée et introduite dans un tube à centrifugeuse. Les tubes contenant la poudre sont pesés et les masses sont notées. Ensuite, ont été ajoutés successivement dans chaque tube, 3 mL d'huile et 3 mL d'eau distillée. Pendant 30 minutes, les différents tubes ont été agités. Enfin, la centrifugation a été faite pendant 35 minutes à 4000 tpm. Les tubes ont été retirés et les hauteurs (hauteur totale et hauteur d'eau) ont été mesurées et notées. L'activité émulsifiante est calculée selon la formule suivante:

$$AE = (He/Ht) \times 100$$

Avec

He: Hauteur de l'eau;

Ht: Hauteur totale.

Pour la détermination de la stabilité des émulsions, les tubes ont été placés dans un bain-marie bouillant à 100°C pendant 30 minutes. Au terme de cette période, les tubes sont retirés et les nouvelles hauteurs de l'eau ont été notées (He') (Diomandeet *al.*, 2017).

La stabilité est calculée selon la formule suivante:

$$SE = (He'/He) \times 100$$

Avec

He: Hauteur l'eau;

He': Nouvelle hauteur de l'eau.

III.2.6. Observation de la microstructure de la farine du chêne à microscopie électronique à balayage (MEB)

Quelques microgrammes d'échantillon sont déposés sur une bande adhésive double face découpée à la dimension du porte échantillon et fixée sur celui-ci. Puis, la surface de l'échantillon est métallisée par dépôt d'une couche d'or dont l'épaisseur dépend du temps d'exposition et de l'intensité du courant de l'enceinte de dépôt.

La surface de l'échantillon est balayée par un faisceau d'électrons finement focalisé qui provoque l'émission d'électrons secondaires rétrodiffusés (Rayons X). Ces interactions électrons/matière constituent des signaux qui sont détectés et envoyés sur un écran cathodique sous forme d'un signal modulé en intensité pour former une image de l'échantillon. Le grandissement est déterminé par le rapport de la largeur de balayage de l'écran à la largeur de balayage de la sonde sur l'échantillon. Cette technique permet de visualiser un échantillon et nous renseigne sur la dimension et la forme cristalline de ce dernier.

Afin de déterminer la microstructure des extraits avant et après extraction et de vérifier leurs morphologies, nous avons analysé ces échantillons par MEB aux grossissements 500, 1000, 2500 et 5000 X.

III.2.7. Analyse statistique

Les moyennes et les écotypes sont calculés à partir de trois essais avec Microsoft Office 2007. L'analyse de la variance, ANOVA (STATISTICA 5.5) est utilisée afin de mettre en évidence des différences significatives entre les variétés du chêne étudiées à la probabilité $p < 0,05$.

Résultats
et
Discussion

IV.1. Caractéristiques physiques

Les résultats de la mesure des caractéristiques physiques du chêne *Quercus rotundifolia* et *Castanea sativa* sont récapitulés dans le Tableau IV.

Tableau IV: Caractéristiques physiques des variétés étudiées.

Paramètres /variétés	<i>Quercus rotundifolia</i> (LNI)	<i>Quercus rotundifolia</i> (BZG)	<i>Castanea sativa</i>
Couleur	Marron claire	Marron	Marron foncé
Consistance	Dure	Dure	Dure
Poids du fruit entier (g)	4,57 ± 0,28	5,03 ± 0,78	3,05 ± 1,14
Longueur (Cm)	3,58 ± 0,37	3,87 ± 0,37	2,40 ± 0,14
Largeur (Cm)	2,97 ± 0,69	2,68 ± 0,29	2,35 ± 0,07

LNI: Larbaa Nath Irathène; **BZG:** Bouzequène.

IV.2. Paramètres physico-chimiques

Les paramètres physico-chimiques des trois échantillons analysés sont résumés dans le Tableau V.

Tableau V: Paramètres physico-chimiques des variétés de chêne étudiées.

Paramètres /variétés	<i>Quercus rotundifolia</i> (LNI)	<i>Quercus rotundifolia</i> (BZG)	<i>Castanea sativa</i>
pH	5,68 ± 0,001 ^a	5,77 ± 0,01 ^c	5,72 ± 0,01 ^b
Humidité (%)	51,52 ± 0,36 ^a	54,45 ± 3,78 ^a	63,00 ± 0,003 ^b
Acidité (%)	0,36 ± 0,02 ^a	0,35 ± 0,03 ^a	0,54 ± 0,03 ^b
Cendre (%)	2,63 ± 0,01 ^c	2,51 ± 0,07 ^b	2,20 ± 0,00 ^a
Sucres totaux (%)	30,79 ± 0,95 ^b	35,54 ± 1,42 ^c	25,35 ± 1,08 ^a
Sucres réducteurs (%)	3,44 ± 0,005 ^c	2,78 ± 0,009 ^a	2,91 ± 0,27 ^b
Brix (%)	5,00 ± 0,41 ^a	7,00 ± 0,41 ^b	7,00 ± 0,41 ^b
Indice de couleur (Abs à 420 nm)	0,986 ± 0,008 ^b	0,985 ± 0,003 ^b	0,184 ± 0,008 ^a
BNE (Abs à 420 nm)	0,507 ± 0,005 ^b	0,456 ± 0,009 ^a	0,527 ± 0,026 ^c

Des lettres différentes dans la même ligne indiquent une différence significative ($p < 0,05$).

Les résultats sont classés par ordre décroissant; $a < b < c$. **LNI:** Larbaa Nath Irathène; **BZG:** Bouzequène.

IV.2.1. Le pH

Le pH est un paramètre déterminant l'aptitude des aliments à être conservés. Il constitue l'un des principaux obstacles que la flore microbienne doit franchir pour assurer sa prolifération. Ainsi, un pH de l'ordre de 3 à 6 est très favorable au développement des levures et moisissures (Amellal *et al.*, 2007). Le pH des différents échantillons analysés présentent des différences significatives à $p < 0,05$ (Tableau V). Les résultats obtenus montrent que les trois poudres de chêne analysées sont peu acides avec des valeurs de pH

qui oscillent entre $5,68 \pm 0,001$ et $5,77 \pm 0,001$. Ces résultats sont en accord à ceux rapportés par Mitra Parsaei *et al.* (2018) qui ont montré que le pH de gland de chêne est de l'ordre de $5,77 \pm 0,001$. En outre, la poudre de la châtaigne (*Castanea sativa*) présente le pH le plus faible avec une valeur de 5,68 qui est proche à la valeur rapportée par Kocaa *et al.* (2018) ($5,59 \pm 0,02$). En revanche, les valeurs notées pour les deux variétés analysées sont inférieures à celle rapportée par Menasra *et al.* (2018) qui est de $6,05 \pm 0,01$ et ceci peut s'expliquer particulièrement par des différences variétales.

IV.2.2. La teneur en eau

L'eau est une source de dégradation des antioxydants (Ribereau-Gayon, 1968). Après la récolte, en présence d'eau contenue dans les fruits, une activité enzymatique peut rapidement entraîner des changements irréversibles des antioxydants, telle que l'oxydation qui conduit à leur polymérisation ou leur décomposition. La préservation de la composition chimique de la cellule est réalisée en éliminant l'eau des fruits par un séchage rapide (Tomas-Babera et Espin, 2001).

Le test d'humidité permet de connaître la teneur en eau des deux variétés étudiées. Les résultats obtenus montrent des différences significatives ($p < 0,05$) entre les teneurs en eau des différents échantillons, dont la châtaigne (*Castanea sativa*) présente le taux d'humidité le plus élevé avec une valeur de $63,00 \pm 0,003$ %, suivie de gland *Quercus rotundifolia* avec des teneurs qui varient entre $51,52 \pm 0,36$ % et $54,45 \pm 3,78$ % (Tableau V). Ces valeurs sont approximatives à celle rapportées par Belghith *et al.* (2015) qui est de $50,99 \pm 0,07$ %.

Le taux d'humidité enregistré pour la châtaigne est proche à ceux apportés par Corredoira *et al.* (2004) et Glushkova *et al.* (2010) qui est de l'ordre de 63,00 % et 60%, respectivement. La teneur en humidité de gland dépend des caractéristiques du fruit et des conditions écologiques telles que le type de sol, précipitations estivales, altitudes et emplacements des vergers (Mert *et al.*, 2017).

IV.2.3. L'acidité

L'acidité indique la maturité du fruit (celle-ci diminue au cours de la maturation) et le rapport sucres/acidité détermine le caractère doux, équilibré ou aigre du fruit (Amellal-

Chibane, 2008). Les valeurs de l'acidité titrable (Tableau V) sont significativement différentes ($p < 0,05$). La poudre de la châtaigne (*Castanea sativa*) présente la teneur la plus élevée ($0,54 \pm 0,03$ %), qui est proche à celle rapportée par Kocaa *et al.* (2018) ($0,62 \pm 0,01$ %), suivie de celle de *Quercus rotundifolia* avec des valeurs de $0,36 \pm 0,02$ % et $0,35 \pm 0,03$ % pour les glands récoltés dans la région de Larbaa Nath Irathène et de Bouzeguène, respectivement. En outre, les valeurs enregistrées pour les variétés étudiées sont supérieures à celle apportée par Menasra *et al.* (2015) qui est de l'ordre de $0,15 \pm 0,015$ %. Cette différence peut s'expliquer par la variation de la composition en acides organiques qui peut être affectées par divers facteurs comme la variété, les conditions de croissances, la maturité, la saison, l'origine géographique, la fertilisation, le type de sol, les conditions de stockages, le taux d'exposition au soleil et la période de récolte (Al-farsi *et al.*, 2005; Ahmed *et al.*, 1995; Youssef *et al.*, 1992).

IV.2.4. Les cendres

La teneur en cendres est la quantité totale de sels minéraux présents dans l'aliment. Le Tableau V a montré que le taux de cendre varie de façon significative ($p < 0,05$) entre les échantillons analysés. Les poudres de glands *Quercus rotundifolia* de LNI et BZG présentent des taux respectifs de $2,63 \pm 0,01$ % et $2,51 \pm 0,07$ % en accord avec celui rapporté par Silleva *et al.* (2016) avec une valeur de l'ordre de $2,04 \pm 2,00$ %.

Le taux de cendres le plus faible est noté dans la poudre de *Castanea sativa* avec une valeur de $2,20 \pm 0,00$ %, qui est approximative à celle enregistrée par Idrees *et al.* (2017) ($2,50 \pm 0,06$ %). D'après ces résultats, on suggère que les poudres étudiées présentent une forte proportion du taux de cendres. Selon Wei *et al.* (2001) le taux de cendres est influencé par plusieurs facteurs tels que: la variété, le stade de maturité et les conditions de la mouture.

IV.2.5. La teneur en sucres

IV.2.5.1. Les sucres totaux

Les teneurs en sucres totaux des échantillons analysés sont présentées dans le Tableau V. Les résultats obtenus présentent des différences significatives ($p < 0,05$). Selon le taux de sucre, les trois poudres sont classées comme suit: *Castanea sativa* < *Quercus rotundifolia* (LNI) < *Quercus rotundifolia* (BZG) avec des teneurs de $25,35 \pm 1,08$ %, $30,79 \pm 0,95$ % et $35,54 \pm 1,42$ %, respectivement. Ceci mène à dire que les poudres de

chêne étudiées sont riches en sucres. La teneur en sucres totaux enregistrée dans la châtaigne (*Castanea sativa*) est approximative à celles obtenues par Mert *et al.* (2017) et Vaazquez *et al.* (2008) avec des taux respectifs de 22,38 % et 33,82 %. De même, les taux de sucres noté dans les échantillons de *Quercus rotundifolia* concordent avec celui rapporté par Paula *et al.* (2009) avec une valeur de $33,50 \pm 1,17$ %.

IV.2.5.2. Les sucres réducteurs

La teneur en sucres réducteurs des différents échantillons présentent des différences significatives ($p < 0,05$). Le Tableau V montre que le taux de sucres réducteurs est de l'ordre de $2,78 \pm 0,009$ %, $2,91 \pm 0,27$ % et $3,44 \pm 0,005$ % pour les poudres de *Quercus rotundifolia* (BZG), *Castanea sativa* et *Quercus rotundifolia* (LNI), respectivement. Ces résultats sont proches à celui apporté par Molavi *et al.* (2015), qui est de $3,28 \pm 0,03$ %. Le taux de sucres réducteurs de la poudre de châtaigne est inférieur à celui rapporté par Paula *et al.* (2009) avec un taux de $3,42 \pm 0,04$ %. Cette différence peut s'expliquer par l'effet de la température et/ou de la durée de séchage favorisant ainsi le phénomène de brunissement non enzymatique.

IV.2.6. Le degré Brix

L'indice de réfraction est défini comme étant le rapport entre le déplacement du parcours d'un faisceau lumineux dans une solution et celui dans l'eau pure. Plus la solution est concentrée en sucre plus la réfraction de la lumière est importante et par conséquent les valeurs de l'indice de réfraction et du Brix sont élevées (Florentin *et al.* 2004; Boily *et al.* 2006).

Les résultats obtenus pour les taux de solides solubles totaux (Brix) varient significativement ($p < 0,05$) (Tableau V). Les poudres de *Quercus rotundifolia* (BZG) et *Castanea sativa* présentent les teneurs les plus élevées de $7,00 \pm 0,41$ %, comparativement à *Quercus rotundifolia* (LNI) qui a montré le taux le plus faible de $5,00 \pm 0,41$ %. Aucun résultat n'a été rapporté sur le degré de Brix de la poudre de *Quercus rotundifolia*. Cependant, l'étude réalisée par Anna *et al.* (2019) sur la châtaigne a montré que le taux de Brix est de l'ordre de $8,4 \pm 0,8$ % avoisinant le résultat obtenu dans la présente étude pour la même espèce.

IV.2.7. L'indice de Couleur

L'intensité de la couleur est liée à la présence de pigments, tels que les caroténoïdes et les flavonoïdes (Khalil *et al.*, 2013).

Les résultats de l'indice de couleur obtenus présentent des différences significatives ($p < 0,05$) (Tableau V). L'indice de couleur le plus faible est enregistré dans la poudre châtaigne (*Castanea sativa*) avec une valeur de $0,184 \pm 0,008\%$ suivie de *Quercus rotundifolia* (LNI) et *Quercus rotundifolia* (BZG) avec des valeurs de $0,986 \pm 0,008\%$ et $0,986 \pm 0,003\%$, respectivement. La couleur des poudres de chêne diffèrent selon la composition chimique en particulier en flavonoïdes et caroténoïdes, les conditions de séchage et aussi par leur origine botanique (Paula, 2011).

Selon Ming *et al.* (2002) et Sakakibara *et al.* (2003), la notion de couleur est liée à la perception et à l'interprétation subjective de clarté et de jaune de la farine du gland est largement inférieure à celui de la farine boulangère mais son indice de brun est relativement supérieur, ce qui exprime la grande différence de couleur entre les deux échantillons (la farine du gland est brune alors que la farine boulangère est claire et blanche).

IV.2.8. Le degré de brunissement non enzymatique (BNE)

Les résultats de l'indice de brunissement non enzymatique sont présentés dans le Tableau V. Le degré de BNE des différents poudres de gland ont présenté des différences significatives ($p < 0,05$), ils varient de 0,456 à 0,527. La poudre de châtaigne (*Castanea sativa*) présente l'indice de BNE le plus élevé ($0,527 \pm 0,026$) suivi par les poudres de *Quercus rotundifolia* (LNI et BZN) avec des indices de $0,507 \pm 0,005$ et $0,456 \pm 0,009$, respectivement.

Le brunissement noté dans les poudres de chêne est probablement dû à des réactions enzymatiques et essentiellement au brunissement non enzymatique (réaction de Maillard) qui a eu lieu pendant le séchage. Toutefois, le BNE est favorisé par les traitements thermiques et il peut encore se produire à un pH faible de l'ordre de 4,0 (Besbes *et al.*, 2009). Un résultat similaire a été trouvé par Arkoub-Djermoune *et al.* (2015), ces auteurs ont rapporté que l'indice de BNE d'aubergines augmente après la

cuisson avec des pourcentages de 48,89 %, 66,18 % et 76,76 % dans l'aubergine grillée, frite et cuite au four, respectivement.

IV.3. Les antioxydants

IV.3.1. Les polyphénols totaux

Les teneurs en composés phénoliques des poudres de chêne analysées présentent des différences significatives ($p < 0,05$). La Figure 12 montre que la poudre de la châtaigne (*Castanea sativa*) est la plus riche en polyphénols avec un taux de $1949,80 \pm 1,46$ mg EAG/100 g MS suivie par les poudres de *Quercus rotundifolia* (LNI et BZN) avec des teneurs de $1729,36 \pm 4,39$ mg EAG/100 g MS et $1606,13 \pm 1,46$ mg d'EAG/100 g, respectivement.

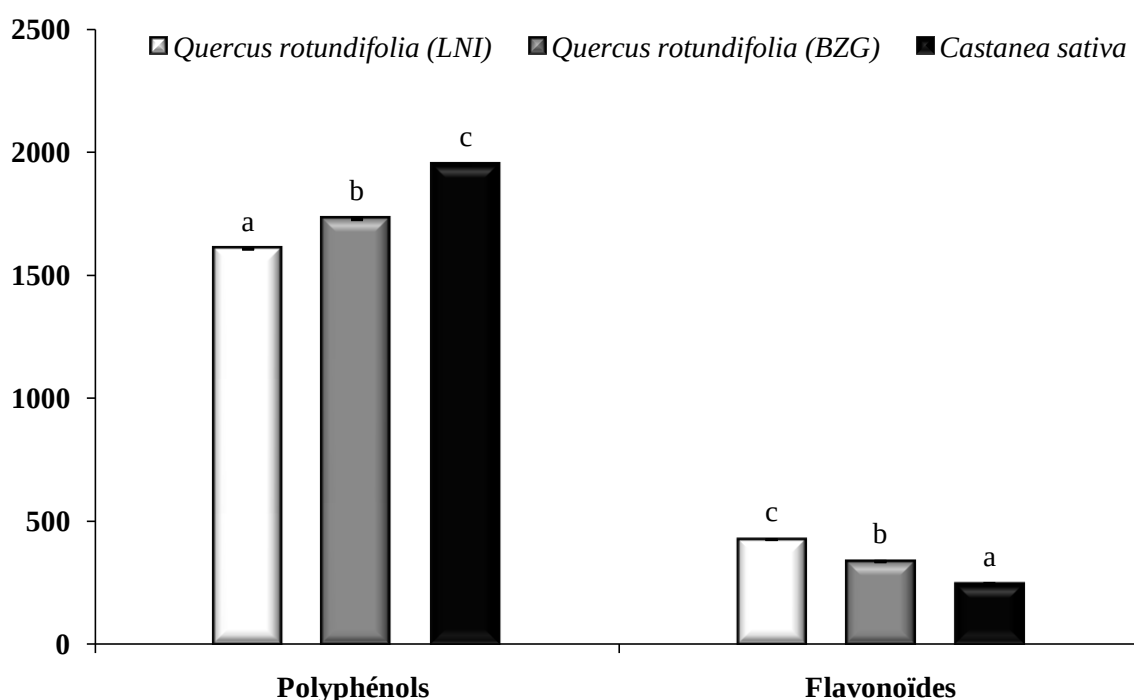


Figure 12: Teneurs en polyphénols et flavonoïdes des poudres de chêne.

Des lettres différentes indiquent une différence significative ($p < 0,05$). Les résultats sont classés par ordre décroissant; $a < b < c$. **LNI:** Larbaa Nath Irathène; **BZG:** Bouzeguène.

Les teneurs en polyphénols sont exprimées en mg EAG/100 g MS.

Les teneurs en flavonoïdes sont exprimées en mg EC/100 g MS.

L'étude entreprise par Teresa Delgado *et al.* (2016) sur la châtaigne a montré que la teneur en polyphénols totaux varie entre 15,80-22,69 mg EAG/ g qui est proche à celle trouve dans la présente étude. Cependant, le taux de polyphénols dans les poudres de *Quercus rotundifolia* (LNI et BZN) présente des valeurs supérieures à celle rapporté par Yizhong *et al.* (2004) qui est de 1253 mg EAG/100 g. La variation enregistrée dans la teneur en composés phénoliques diffère selon l'origine géographique de l'échantillon, la saison de sa récolte et la variété (Ranalli *et al.*, 2006; Li *et al.*, 2009). De plus les solvants, les conditions d'extraction en terme de température et le nombre d'étapes d'extraction ne peuvent pas être exclus pour expliquer des différences dans les résultats obtenus (Scalbert, 1991; Escribano-Baillon *et al.*, 2001; Santos Buelga *et al.*, 2003).

IV.3.2. Les flavonoïdes

Les concentrations en flavonoïdes des poudres étudiées sont enregistrées dans la Figure 12. Selon l'étude statistique, le taux de flavonoïdes varie significativement à $p < 0,05$. La Poudre de *Quercus rotundifolia* (LNI) présente la teneur la plus élevée en flavonoïdes avec une valeur de $424,44 \pm 1,48$ mg EC/100 g MS, suivie de la poudre de *Quercus rotundifolia* (BZN) ($336,56 \pm 1,73$ mg EC/100 g MS) et la poudre de *Castanea sativa* ($244,89 \pm 3,37$ mg EC/100 g MS). Le taux de flavonoïdes enregistré pour la variété *Castanea sativa* est légèrement supérieur au résultat obtenu par Fan *et al.* (2015) sur la poudre de *Castanea mollissima* avec une teneur de 2,38 mg EC/g.

En outre, les taux de flavonoïdes notés pour les poudres de gland *Quercus rotundifolia* LNI et BZG sont remarquablement supérieures à celle enregistrée par Youkabed *et al.* (2015) qui est de l'ordre de 138,8 mg EC/100 g MS. En revanche, les valeurs sont inférieures à celle rapportée par Karimi *et al.* (2014) avec une teneur de 5,80 mg EC/g. Ces différences sont probablement dues à des différences variétales, à l'origine géographique et à la méthode d'extraction et/ou à la sensibilité de la méthode de dosage.

IV.3.3. Les Flavonols

Les résultats obtenus montrent des différences significatives ($p < 0,05$) dans la teneur en flavonols des poudres de chêne analysées (Figure 13). Les taux les plus élevés

sont enregistrés dans les poudres de gland *Quercus rotundifolia* LNI et BZG avec des valeurs de $16,24 \pm 0,04$ mg EQ/100 g MS et $15,25 \pm 0,07$ mg EQ/100 g MS, respectivement. Ces résultats sont confirmés par Amessis-Ouchemoukh *et al.* (2017) qui ont enregistré un taux de $20,30 \pm 0,38$ mg EQ/100 g.

En outre, le taux de flavonols le plus faible est enregistré dans la poudre de châtaigne (*Castanea sativa*) avec une valeur de $7,12 \pm 0,11$ mg EQ/100 g MS. Cette valeur est supérieure à celle apporté par Piazza *et al.* (2018) avec un taux de $2,6 \mu\text{g}/100$ g MF. Cette variation peut s'expliquer par la décomposition des flavonoïdes lors du séchage et/ou à des différences variétales.

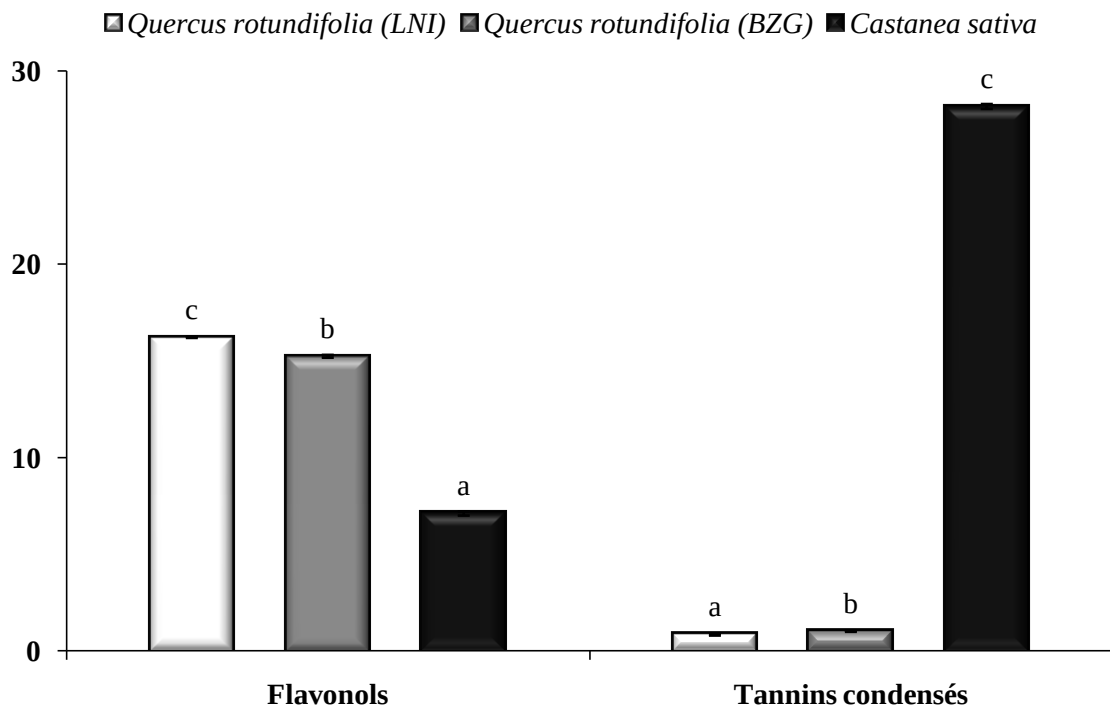


Figure 13: Teneurs en flavonols et tannins condensés des poudres de chêne.

Des lettres différentes indiquent une différence significative ($p < 0,05$). Les résultats sont classés par ordre décroissant; $a < b < c$. **LNI:** Larbaa Nath Irathène; **BZG:** Bouzequène.

Les teneurs en flavonols sont exprimées en mg EQ/100 g MS.

Les teneurs en tannins condensés sont exprimées en mg EQ3G/100 g MS.

IV.3.4. Les Tannins condensés

Les teneurs en tannins condensés des différentes poudres de gland analysées sont indiquées dans la Figure 13. Les résultats obtenus montrent des différences significatives à $p < 0,05$ entre les différents échantillons. La poudre de la châtaigne (*Castanea sativa*) présente la teneur la plus élevée en tannins condensés qui est de $2828,19 \pm 0,12$ mg EQ3G/100 g MS, qui est approximative à celle rapportée par Enrico *et al.* (2018) oscillant entre 0-1,75 mg/g.

En revanche, dans les poudres de gland *Quercus rotundifolia* LNI et BZG on a noté des valeurs plus faible par apport à la châtaigne avec des teneurs respectives de l'ordre de $0,86 \pm 0,06$ mg EQ3G/100 g MS et $1,03 \pm 0,04$ mg EQ3G/100 g MS. Ces valeurs sont inférieures à celle apportée par El Mahi *et al.* (2016), qui est de 0,289 %. Ces auteurs suggèrent que cette réduction enregistrée dans la teneur en tannins condensés est due au brunissement enzymatique car ils subissent une oxydation, puis ils sont transformés en polymères anthocyanidoliques. La teneur en tannins condensés des glands varie selon l'espèce végétale considérée et l'état de maturité du fruit (El Mahi *et al.*, 2016).

IV.3.5. La vitamine C

La vitamine C aussi connue sous le nom d'acide ascorbique, est probablement la vitamine la plus populaire. Elle est effectivement un élément nutritif fascinant et important, nécessaire à la vie humaine, même si une part de mythe l'entoure qui profite à toute l'industrie parapharmaceutique, pharmaceutique, diététique et agroalimentaire; surtout comme additif alimentaire antioxydant (la législation européenne précise que les aliments ou boisson ne peuvent contenir plus de 300 mg/kg de vitamine C) (Apfelbaum, 2004).

Les résultats du dosage de la vitamine C dans les différentes poudres de gland sont illustrés dans la Figure 14. La teneur en vitamine C des différents échantillons présente des différences significatives ($p < 0,05$). Selon la teneur en vitamine C, les poudres de gland analysées peuvent être classé comme suit: *Castanea sativa* > *Quercus rotundifolia* de LNI > *Quercus rotundifolia* de BZG avec des teneurs de l'ordre de $14,96 \pm 0,03$ mg EAA/100 g MS, $13,09 \pm 0,02$ mg EAA/100 g MS et $12,67 \pm 0,08$ mg EAA/100 g MS, respectivement.

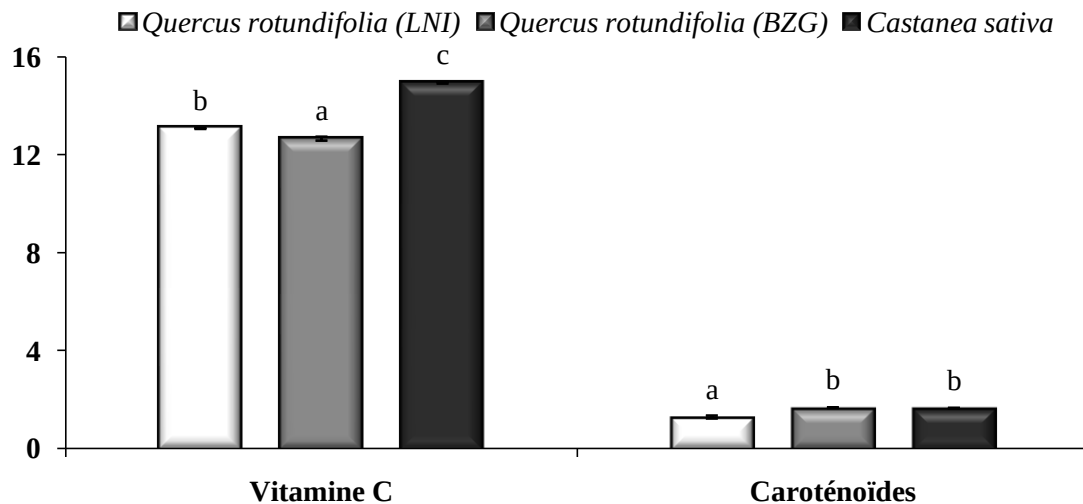


Figure 14: Teneurs en vitamine C et caroténoïdes des poudres de chêne.

Des lettres différentes indiquent une différence significative ($p < 0,05$). Les résultats sont classés par ordre décroissant; $a < b < c$. **LNI:** Larbaa Nath Irathène; **BZG:** Bouzeguène.
 Les teneurs en vitamine C sont exprimées en mg EAA/100 g MS.
 Les teneurs en caroténoïdes sont exprimées en mg EβC/100 g MS.

La teneur en vitamine C enregistrée dans la poudre de châtaigne (*Castanea sativa*) est proche à celle rapporté par Vasconcelos *et al.* (2010) avec une valeur de 15,6 mg EAA/100 g. En outre, L'étude réalisé par David (2001) sur le gland cru ont noté que la teneur en vitamine C varie entre 5-54,8 mg/100 g MS, en accord avec les résultats obtenus dans la présente étude pour la variété de *Quercus rotundifolia*.

IV.3.6. Les caroténoïdes

Les teneurs en caroténoïdes des différentes de poudres de gland présentent des différences significative ($p < 0,05$). Les taux de caroténoïdes enregistrés pour *Quercus rotundifolia* (LNI), *Quercus rotundifolia* (BZG) et *Castanea sativa* sont de l'ordre de $1,29 \pm 0,06$ mg EβC/100 g MS, $1,67 \pm 0,00$ mg EβC/100 g MS et $1,66 \pm 0,01$ mg EβC/100 g MS, respectivement (Figure 14). Les teneurs en caroténoïdes enregistrées pour la variété *Quercus rotundifolia* sont proches à celle rapportée par Boris *et al.* (2013) avec un taux de 0,023 mg/g. Cependant, la teneur en caroténoïdes noté dans la châtaigne est supérieure à celle rapporté par Vasconcelos *et al.* (2010) avec une teneur qui oscille entre 0,23 et 1,30 μg/g. Ceci peut s'expliquer par des différences variétales et/ou à la sensibilité des caroténoïdes à la chaleur, la lumière et aussi aux conditions de stockage (Docarmo *et al.*, 2009).

IV.3.7. Le lycopène

Le lycopène est un caroténoïde présent dans les plantes et un piègeur efficace de l'oxygène singulet et des radicaux libres dans l'organisme (Woodall *et al.* 1997). Les résultats de dosage du lycopène des poudres analysées présentent des différences significatives ($p < 0,05$). La Figure 15 montre que la poudre de la châtaigne (*Castanea sativa*) a présenté la teneur la plus élevée avec un taux de $216,83 \pm 16,95 \mu\text{g EL}/100 \text{ g MS}$ suivie par la poudre de *Quercus rotundifolia* (BZG) avec une teneur de $116,56 \pm 3,76 \mu\text{g EL}/100 \text{ g MS}$ et *Quercus rotundifolia* (LNI) avec une valeur de $75,20 \pm 3,76 \mu\text{g EL}/100 \text{ g MS}$ qui sont supérieures à celle rapporté par Vinha *et al.* (2016). Cette différence est probablement due à des différences variétales.

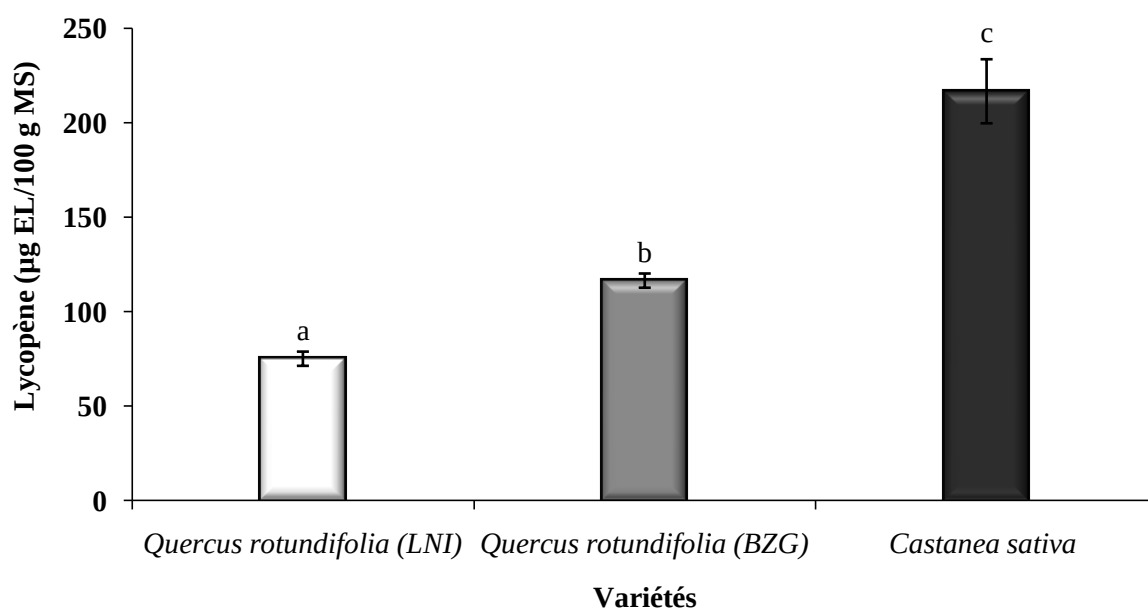


Figure 15: Teneur en lycopène des poudres de châtaigne.

Des lettres différentes indiquent une différence significative ($p < 0,05$). Les résultats sont classés par ordre décroissant; $a < b < c$. **LNI:** Larbaa Nath Irathène; **BZG:** Bouzeguène.

IV.4. Evaluation du pouvoir antioxydant

IV.4.1. Le pouvoir réducteur

Le pouvoir réducteur mesure la capacité des extraits à réduire les ions métalliques [fer ferrique (Fe^{3+}) du ferrocyanure de potassium en forme ferreuse (Fe^{2+})]. Il représente

l'aptitude d'une substance à transférer un électron ou à donner un atome d'hydrogène (Yen et Chen, 1995).

Les résultats du pouvoir réducteur sont exprimés en milligramme Equivalent Acide Ascorbique par cent gramme de Matière Sèche (mg EAA/100 g MS) à différentes concentrations. La Figure 16 montre que l'activité augmente en fonction de la concentration de l'extrait et que la poudre de *Quercus rotundifolia* (BZG) a présenté l'activité la plus élevée ($p < 0,05$) avec une concentration de $213,40 \pm 0,41$ mg EAA/100 g MS, suivie de *Quercus rotundifolia* (LNI) et *Castanea sativa* avec des valeurs de $197,70 \pm 0,47$ mg ET/g MS et $174,55 \pm 0,80$ mg ET/g MS, respectivement (Tableau VI).

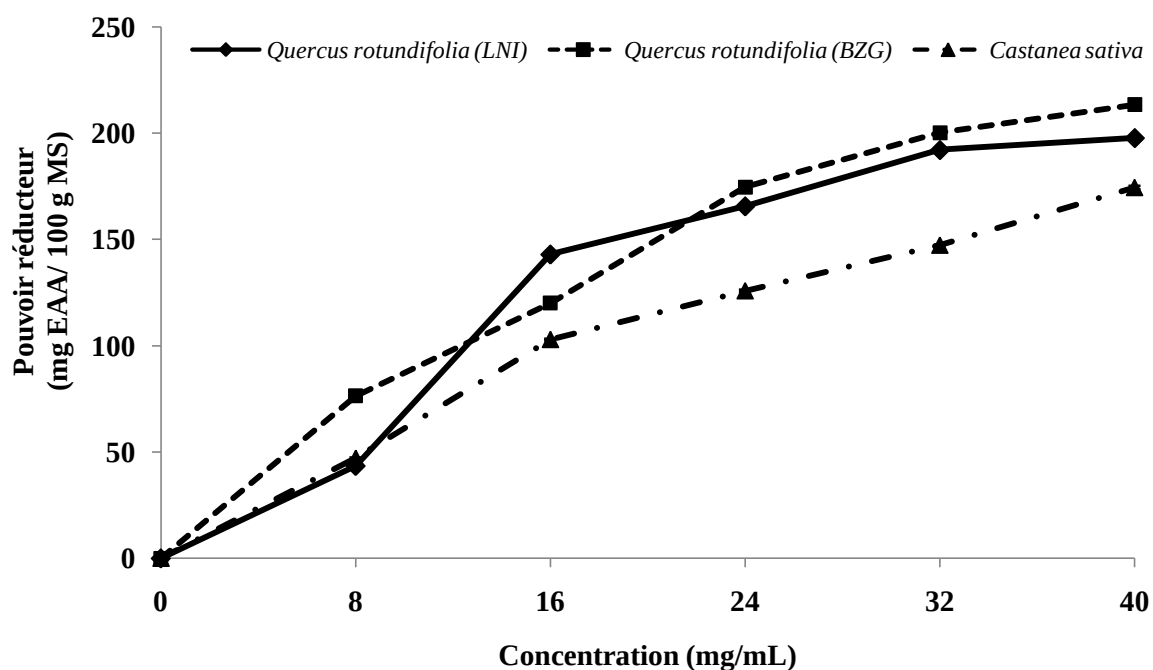


Figure 16: Pouvoir réducteur en fonction de la concentration des poudres de chêne.

Les résultats obtenus dans la présente étude sont en accord avec ceux rapportés par Idrees *et al.* (2018), qui ont noté un pouvoir réducteur élevé dans les farines de la châtaigne augmentant dans tous les échantillons avec l'augmentation de la concentration. En revanche, le pouvoir réducteur enregistré dans la poudre de *Castanea sativa* étudiée est supérieur à celui rapporté par Joao *et al.* (2008) avec une valeur de 152,38 mg Equivalent Tocopherol/100g.

De plus, l'étude réalisée par Amessis-Ouchemoukh *et al.* (2017) sur l'extrait de farine de gland ont montré des valeurs inférieures à celles enregistrées dans la présente

étude qui est de $114,79 \pm 0,007$ mg EC/100 g, ce qui nous permet de conclure que nos échantillons possèdent un pouvoir réducteur important. La divergence enregistrée dans les pouvoirs réducteurs entre les différents échantillons de gland est probablement due à une différence dans la concentration des composés phénoliques présents dans les extraits de poudres de gland.

La capacité réductrice ($CR_{0,5}$) est définie comme étant la concentration du substrat qui donne une absorbance de 0,5 à 700 nm. Elle est obtenue à partir d'une courbe de régression linéaire (Bourgou *et al.*, 2008; Le *et al.*, 2007). Les valeurs des $CR_{0,5}$ (exprimées en mg/mL) des différents extraits sont regroupées dans le Tableau VI confirmant les résultats obtenus précédemment. La poudre de *Quercus rotundifolia* (BZG) présente la meilleure capacité réductrice des ions ferriques ($20,34 \pm 0,05$ mg/mL), suivie de *Quercus rotundifolia* (LNI) et *Castanea sativa* avec des concentrations de $21,95 \pm 0,06$ mg/mL et $24,87 \pm 0,14$ mg/mL, respectivement.

Tableau VI: Les pouvoir réducteurs et les $CR_{0,5}$ des différentes farines de gland.

Variétés	Pouvoir réducteur (mg EAA/100 g MS)	$CR_{0,5}$ (mg/mL)
<i>Quercus rotundifolia</i> (LNI)	$197,70 \pm 0,47^b$	$21,95 \pm 0,06^b$
<i>Quercus rotundifolia</i> (BZG)	$213,40 \pm 0,41^c$	$20,34 \pm 0,05^a$
<i>Castanea sativa</i>	$174,55 \pm 0,80^a$	$24,87 \pm 0,14^c$

Des lettres différentes dans la même colonne indiquent une différence significative ($p < 0,05$). Les résultats sont classés par ordre décroissant; $a < b < c$. **LNI:** Larbaa Nath Irathène; **BZG:** Bouzeguène.

IV.4.2. Activité antioxydante totale (phosphomolybdate)

Le test de phosphomolybdate d'ammonium est une méthode quantitative pour évaluer la capacité antioxydante. Il est basé sur la réduction du Mo^{+6} en Mo^{+5} et la formation d'un complexe phosphate/ Mo^{+5} de couleur verte dans un milieu acide (Bougatef *et al.*, 2009). Les résultats de mesure de l'activité antioxydante totale sont présentés dans la Figure 17. L'analyse statistique a montré des différences significatives ($p < 0,05$) entre l'activité antioxydante totale de l'extrait de la poudre de *Castanea sativa* par rapport à celle des extraits de *Quercus rotundifolia*.

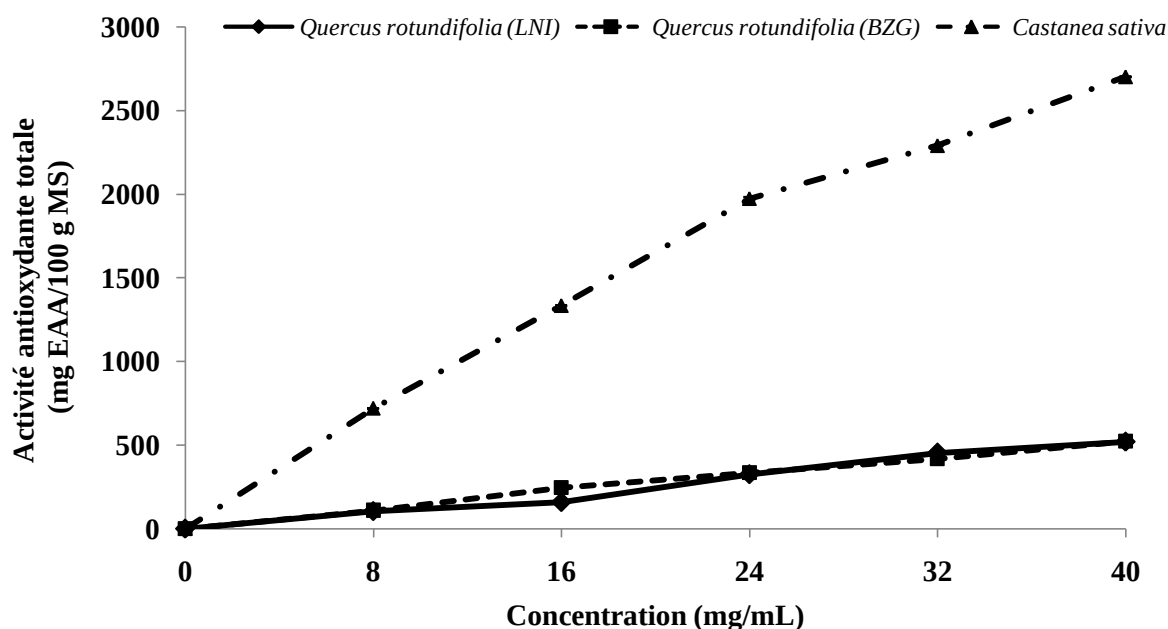


Figure 17: Activité antioxydante totale en fonction de la concentration des poudres de chêne.

La variété *Castanea sativa* a donné la plus faible $CR_{0,5}$ ($2,56 \pm 0,01$ mg/mL) c'est-à-dire l'activité la plus importante ($2702,55 \pm 1,30$ mg EAA/100 g MS) et les deux échantillons de la variété *Quercus rotundifolia* ont donné les $CR_{0,5}$ les plus élevées correspondant à une activité plus faible avec des $CR_{0,5}$ approximatifs de l'ordre de $21,22 \pm 0,03$ mg/mL et $21,14 \pm 0,02$ mg/mL pour *Quercus rotundifolia* (LNI) et *Quercus rotundifolia* (BZG), respectivement (Tableau VII).

Tableau VII: L'activité antioxydante totale et les $CR_{0,5}$ des différentes farines de gland.

Variétés	Activité antioxydante totale (mg EAA/100 g MS)	$CR_{0,5}$ (mg/mL)
<i>Quercus rotundifolia</i> (LNI)	$520,80 \pm 0,69^a$	$21,22 \pm 0,03^b$
<i>Quercus rotundifolia</i> (BZG)	$522,65 \pm 0,45^a$	$21,14 \pm 0,02^b$
<i>Castanea sativa</i>	$2702,55 \pm 1,30^b$	$2,56 \pm 0,01^a$

Des lettres différentes dans la même colonne indiquent une différence significative ($p < 0,05$). Les résultats sont classés par ordre décroissant; $a < b < c$. **LNI:** Larbaa Nath Irathène; **BZG:** Bouzequène.

IV.4.3. L'inhibition du radical DPPH°

Le DPPH° est un radical organique relativement stable qui a été largement utilisé dans la détermination de l'activité antioxydante des différents extraits de plantes (Sharififar *et al.*, 2009). Les antioxydants interagissent avec le DPPH en lui transférant un électron ou un atome d'hydrogène ce qui entraîne sa neutralisation, par conséquent la couleur change de pourpre vers le jaune (Kubola et Siriamornpun, 2008). Les résultats de l'activité antiradicalaire sont exprimés en milligramme Equivalent Trolox par cent gramme de Matière Sèche (mg ET/100 g MS) à différentes concentrations.

La Figure 18 indique que le pourcentage d'inhibition du radical DPPH° augmente au fur et à mesure que la concentration de l'extrait s'élève. L'étude statistique montre qu'il y'a une différence significative ($p < 0,05$) entre l'activité antiradicalaire des poudres de gland *Quercus rotundifolia* et *Castanea sativa*.

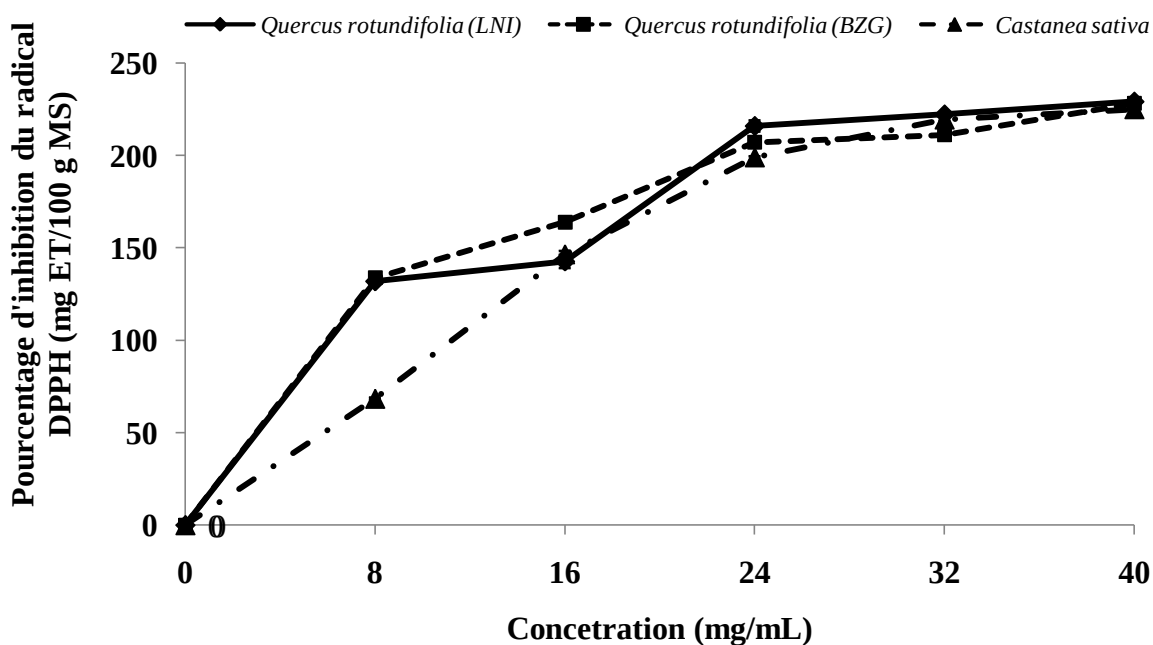


Figure 18: Activité antiradicalaire en fonction de la concentration des farines de gland.

Les extraits issus des poudres de *Quercus rotundifolia* (LNI et BZG) ont donné une activité antiradicalaire importante ($229,20 \pm 0,00$ mg ET/100 g MS, $228,25 \pm 1,81$ mg ET/100 g MS) comparativement à celle enregistrée pour l'extrait de poudre de *Castanea sativa* ($225,12 \pm 1,81$ mg ET/100 g MS) (Tableau VII). Selon Moradi *et al.* (2016), les polyphénols et les flavonoïdes sont des constituants major des végétaux responsables de

leur activité antioxydante élevée et de leurs effets sur la santé. Ces résultats concordent avec ceux obtenus par Cantos *et al.* (2003) sur *Quercus ilex* et Musarat *et al.* (2016) sur la châtaigne qui ont donné des pourcentages d'inhibition de l'ordre de 2,42 mg TAC/g et 1,92g AGE/100g, respectivement.

Le Tableau VIII montre que les extraits des poudres de *Quercus rotundifolia* (LNI et BZG) ont piégé 50% du radical DPPH° avec des concentrations approximative de l'ordre de $75,45 \pm 0,00$ mg/mL et $75,80 \pm 0,60$ mg/mL, respectivement. Celle-ci est supérieure à celle rapporté par Youkabed *et al.* (2015) ($42 \mu\text{g/mL}$). Cependant, l'extrait de poudre de la châtaigne (*Castanea sativa*) a montré la IC₅₀ la plus élevée ($76,86 \pm 0,62$ mg/mL) correspondant à l'activité la plus faible qui est supérieure à celle rapportée par Musarat-Waqas *et al.* (2016) avec une concentration de 61,57 mg/mL. Ces différences sont probablement attribuées à des différences variétales, au solvant d'extraction et/ou à la méthode de détermination et la structure des composés phénoliques présents dans les échantillons. D'après Hayes *et al.* (2011), la structure des composés phénoliques est le déterminant clé de leur piégeage radicalaire et l'activité antioxydante dépend habituellement du nombre et la position des groupements hydroxyle par rapport au groupe fonctionnel carboxyle.

Tableau VIII: L'activité antiradicalaire (DPPH) et les IC₅₀ des différentes poudres de chêne.

Variétés	Pourcentage d'inhibition du DPPH (mg ET/100 g MS)	IC ₅₀ (mg/mL)
<i>Quercus rotundifolia</i> (LNI)	$229,20 \pm 0,00^b$	$75,45 \pm 0,00^a$
<i>Quercus rotundifolia</i> (BZG)	$228,25 \pm 1,81^b$	$75,80 \pm 0,60^a$
<i>Castanea sativa</i>	$225,12 \pm 1,81^a$	$76,86 \pm 0,62^b$

Des lettres différentes dans la même colonne indiquent une différence significative ($p < 0,05$). Les résultats sont classés par ordre décroissant; $a < b < c$. **LNI:** Larbaa Nath Irathène; **BZG:** Bouzequène.

IV.4.4. L'inhibition du radical ABTS^{°+}

Le pourcentage d'inhibition du radical cationique ABTS^{°+} par les extraits étudiés est présenté dans la Figure 19. Les résultats de l'activité antiradicalaire sont exprimés en milligramme Equivalent Trolox par cent gramme de Matière Sèche (mg ET/100 g MS) à différentes concentrations.

La Figure 19 et le Tableau IX montrent que l'extrait de la poudre de châtaigne (*Castanea sativa*) a donné l'activité antiradicalaire la plus élevée ($4443,83 \pm 30,57$ mg ET/100g MS) correspondant à la IC_{50} la plus faible ($2,99 \pm 0,02$ mg/mL). Cependant, les activités antiradicalaires des extraits de *Quercus rotundifolia* (LNI et BZG) sont notés avec des taux respectifs de $4121,11 \pm 26,20$ et $3823,61 \pm 17,47$ mg ET/100g MS significativement inférieures à celui enregistré pour la châtaigne. Ces valeurs sont supérieures à ceux rapportés par Zaklad *et al.* (2015) sur la châtaigne et Antonella *et al.* (2019) sur le *Quercus ilex* avec des valeurs qui varient entre 5–8,5 mg/g et $102,5 \pm 8,3$ mg/100g, respectivement.

Les résultats obtenus dans la présente étude permettent de conclure que les extraits de poudres de chêne sont une source de substances bioactives possédant une forte capacité antiradicalaire contre le radical cationique $ABTS^{*+}$. Manian *et al.* (2008) ont montré que les composés phénoliques à poids moléculaire élevé tels que les tannins ont plus de capacité à capter les radicaux libres et que leur efficacité dépend de leur poids moléculaire, du nombre de noyaux aromatiques et de la nature de substitution des groupements hydroxyles.

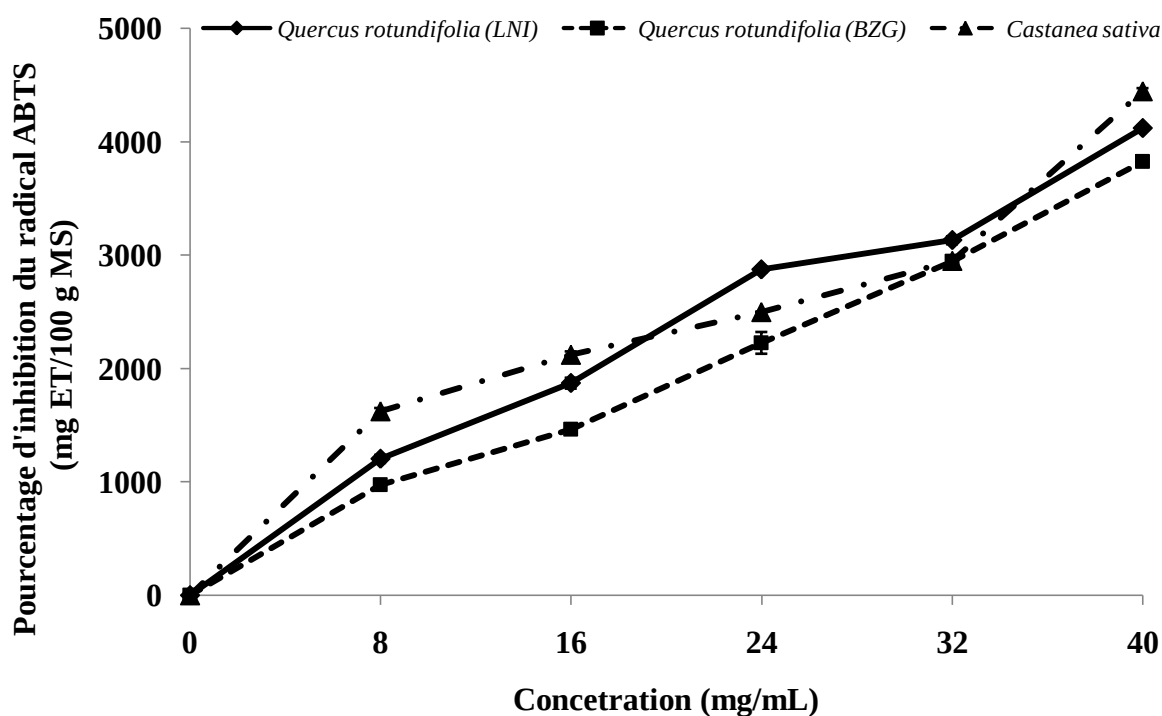


Figure 19: Activité antiradicalaire en fonction de la concentration des poudres de chêne.

Tableau IX: L'activité antiradicalaire (ABTS) et les IC₅₀ des différentes

Farines de gland.

Variétés	Pourcentage d'inhibition de l'ABTS (mg ET/100 g MS)	IC ₅₀ (mg/mL)
<i>Quercus rotundifolia</i> (LNI)	4121,11 ± 26,20 ^b	3,22 ± 0,02 ^b
<i>Quercus rotundifolia</i> (BZG)	3823,61 ± 17,47 ^a	3,47 ± 0,02 ^c
<i>Castanea sativa</i>	4443,83 ± 30,57 ^c	2,99 ± 0,02 ^a

Des lettres différentes dans la même colonne indiquent une différence significative ($p < 0,05$). Les résultats sont classés par ordre décroissant; $a < b < c$. **LNI:** Larbaa Nath Irathène; **BZG:** Bouzequène.

IV.5. Les propriétés fonctionnelles

Ces tests sont réalisés dans le but de simuler une éventuelle réincorporation dans la matrice alimentaire, autrement dit produit fini ayant une teneur en eau ou en huile importante tel qu'un jus, un yaourt, une compote ou encore une margarine.

IV.5.1. La capacité d'absorption de l'eau (CAE) et d'huile (CAH)

La capacité d'absorption d'eau (CAE) de la farine joue un rôle important dans la préparation des aliments en raison de son influence sur autres propriétés fonctionnelles et sensorielles (Sarabhai et Prabhasankar 2015). Un rapport élevé CAE des farines composites est suggéré utile pour les produits de boulangerie et les produits cuits au four il sert à améliorer la pâte et prévenir le rassissement et réduisant la perte d'humidité (Okpala *et al.*, 2013). La capacité d'absorption d'huile (CAH) est la capacité de la farine à absorber l'huile, ce qui est important car l'huile agit comme un arôme retenue et améliore la sensation dans la bouche (David *et al.*, 2015).

La Figure 20 montre que la poudre de la châtaigne (*Castanea sativa*) présente une CAE importante c-à-d la poudre a une affinité élevée pour l'eau (294%), suivie par celle des poudres de *Quercus rotundifolia* (LNI et BZG) avec des pourcentages de 162% et 155%, respectivement. L'étude réalisée par Musarat-Waqas *et al.* (2016) sur la poudre de châtaigne a montré que la CAE est de l'ordre de 102,8 %, qui est largement inférieure à celle trouvée dans la présente étude, ceci permet de conclure que la poudre de la châtaigne qu'on a étudié est plus hydrophile. Inversement à la CAE, la CAH de la poudre de

châtaigne (*Castanea sativa*) présente le taux le plus faible (94%) qui est en accord avec le résultat trouvé par Musarat-Waqas *et al.* (2016) avec un pourcentage de 94,72 %. En revanche, les pourcentages les plus élevés sont observés dans les poudres de *Quercus rotundifolia* (LNI et BZG) avec des taux respectifs de 199 % et 145 %.

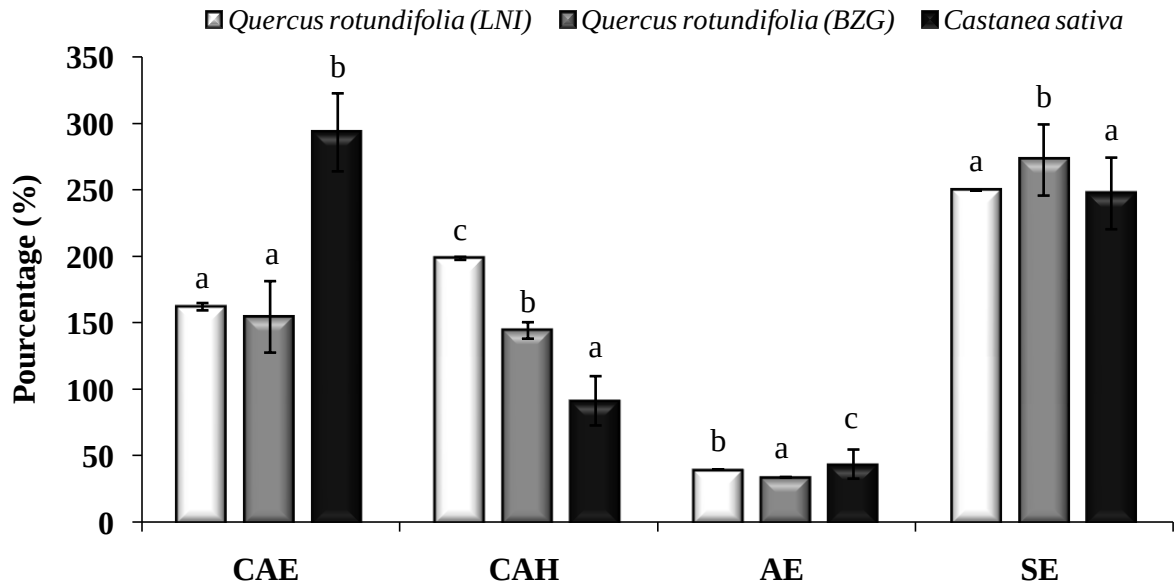


Figure 20: Les propriétés fonctionnelles des farines de gland.

Des lettres différentes dans la même colonne indiquent une différence significative ($p < 0,05$). Les résultats sont classés par ordre décroissant; $a < b < c$. **LNI:** Larbaa Nath Irathène; **BZG:** Bouzeguène; **CAE:** Capacité d’Absorption d’Eau; **CAH:** Capacité d’Absorption d’Huile; **AE:** Activité Emulsifiante et **SE:** Stabilité de l’Emulsion.

La CAH de la farine de blé rapporté par Musarat-Waqas *et al.* (2016) est de $140,00 \pm 12\%$ proche à celle trouvée dans la présente étude pour la poudre de *Quercus rotundifolia* (BZG). Cependant, cette valeur est inférieure par rapport à celle enregistrée pour *Quercus rotundifolia* (LNI), ce qui mène à conclure que les protéines faiblement hydrophobes de cette poudre présentent une liaison forte aux lipides.

Selon Adebawale *et al.* (2002), la présence des chaînes latérales non polaires dans les farines, qui se lient aux chaînes latérales de carbone de l’huile, est l’une des raisons des différentes capacités de rétention d’huile des farines. En outre, les changements dans les propriétés de rétention d’huile pouvaient être attribués à la modification de la structure physique d’un produit. En outre, les méthodes de transformation des aliments affectent la conformation et l’hydrophobicité des protéines (Sangnark et Noomhorm, 2004).

IV.5.2. L'activité émulsifiante (AE) et la stabilité des émulsions (SE)

Les résultats obtenus sur AE et SE montrent des différences significatives ($p < 0,05$) entre les des différentes poudres de gland étudiées (Figure 20). L'AE de la poudre de châtaigne (*Castanea sativa*) est de 44 % suivie par celle *Quercus rotundifolia* (LNI et BZG) avec des taux respectifs de 40 % et 34 %. Ces valeurs sont proches à ceux apportés par Menasra *et al.* (2018) pour la farine de gland ($41,28 \pm 0,02$ %) et Suresh Chandra *et al.* (2014) dans la farine de blé avec des taux qui oscillent entre 38,38 et 48,65%.

Les pourcentages de la stabilité de l'émulsion (SE) notés pour les poudres de *Quercus rotundifolia* (LNI et BZG) sont 273 % et 250 %, respectivement suivi par celui de la poudre de châtaigne (*Castanea sativa*) avec un taux de 248 %. Ces résultats permettent de conclure que les poudres de gland peuvent être utilisées dans la fabrication des vinaigrettes. En effet, la formation et la stabilité de l'émulsion sont très importantes dans la fabrication de vinaigrette (Yu *et al.*, 2007).

IV.6. Effet du solvant d'extraction sur la microstructure des farines de gland après observation au MEB

Le microscope électronique à balayage (MEB) est un appareil d'analyse permettant de fournir rapidement des informations sur la morphologie et la composition chimique d'un objet solide (Séverine, 2003). Afin de déterminer l'effet de du solvant d'extraction sur la microstructure des farines de gland, une observation au MEB est réalisée sur les farines avant et après extraction aux différents grossissements (X 500, X 1000, X 2500 et X 5000).

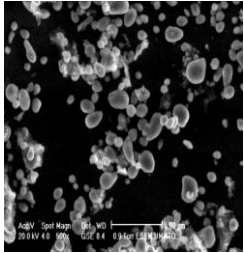
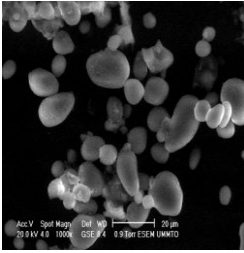
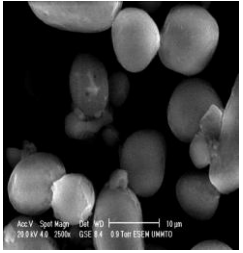
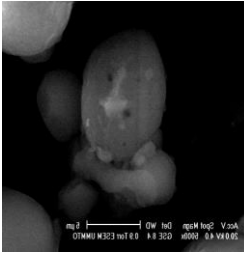
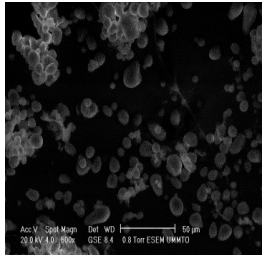
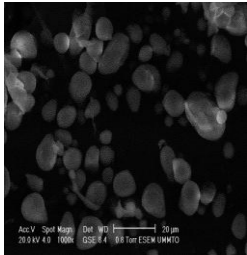
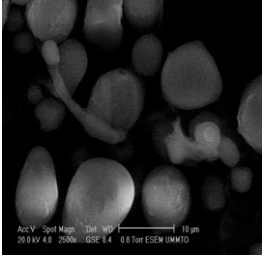
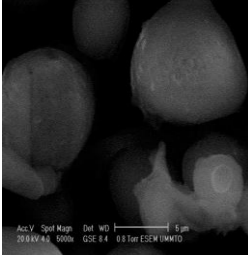
➤ **La farine de *Quercus rotundifolia* (LNI)**

L'aspect microscopique des farines de *Quercus rotundifolia* (LNI) avant et après extraction observées sous le MEB sont regroupées dans le Tableau X.

L'observation des farines sous le MEB indique que l'amidon est le principal composé des farines de gland. Les images microscopiques obtenues aux différents grossissements (500, 1000, 2500 et 5000 X) avant l'extraction montrent que les granules d'amidon présentent une forme sphérique, état de surface lisse et une répartition granulométrique bien individualisée.

Après extraction, les granules présentent la même forme (sphérique), une répartition granulométrique peu individualisée qui ont la tendance de s'agglomérer et un état de surface modifié qui est devenu moins lisse.

Tableau X: Morphologie microscopique des farines de *Quercus rotundifolia* (LNI) avant et après extraction.

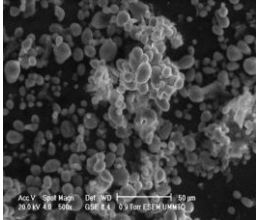
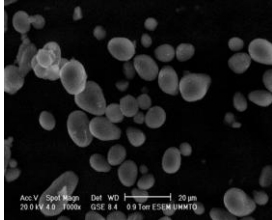
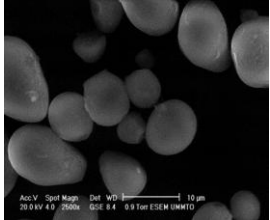
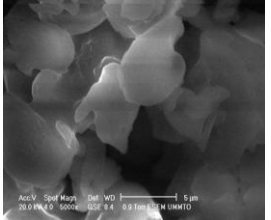
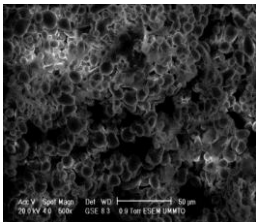
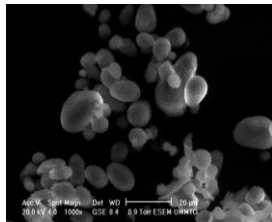
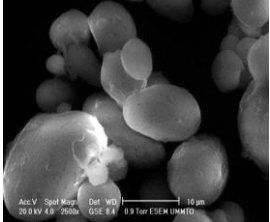
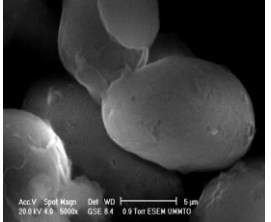
Grossissement				
Etat	X 500	X 1000	X 2500	X 5000
Avant Extraction				
Après Extraction				

➤ La farine de *Quercus rotundifolia* (BZG)

La micrographie électronique à balayage de la farine de *Quercus rotundifolia* (BZG) avant extraction a montré une variété de granules allant de sphériques à arrondies et une distribution granulométrique bien individualisée avec un état de surface lisse sans trace de fissure (Tableau XI)

Après extraction, une modification de la morphologie de la poudre est observée dont la forme est devenue ovoïde, apparition des agglomérats sous forme d'une éponge et présentant une surface rugueuse. Ces observations sont similaires à celles notées par Paula (2010).

Tableau XI: Morphologie microscopique des farines de *Quercus rotundifolia* (BZG) avant et après extraction.

Grossissement	X 500	X 1000	X 2500	X 5000
Etat				
Avant Extraction				
Après Extraction				

➤ **La poudre de *Castanea sativa***

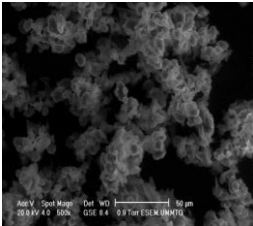
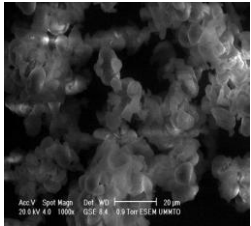
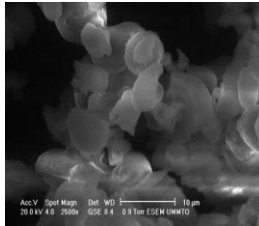
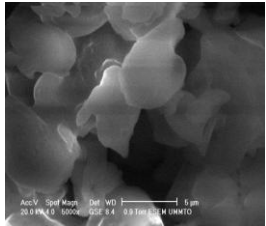
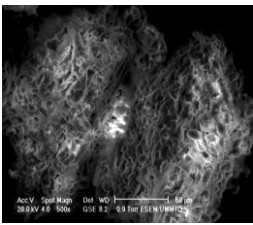
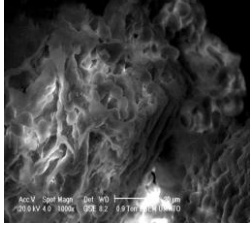
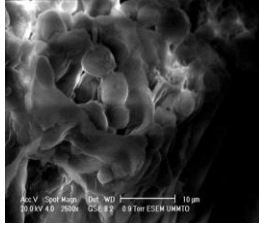
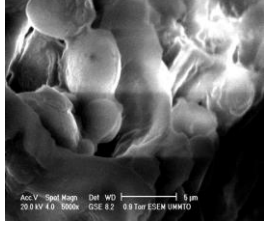
La micrographie électronique à balayage de la farine de *Castanea sativa* avant extraction a montré une morphologie différente par rapport aux farines de *Quercus rotundifolia*; qui se caractérise par la présence de très peu de grains, une hétérogénéité de formes (arrondies, sphériques, épongées) et une surface lisse (Tableau XII).

Après extraction, une morphologie modifiée des particules a été mise en évidence: des granules de petites tailles, moins individualisés qui ont tendance de s'agglomérer et une surface moins lisse. Des morphologies granulaires identiques de la farine de châtaigne ont été détectées déjà par Download *et al.* (2016).

Les micrographies électroniques à balayage des farines de *Quercus rotundifolia* et *Castanea sativa* avant et après extraction observées ont révélé que le solvant d'extraction (Méthanol 80 %) avait un effet marqué sur la microstructure des granules. Selon Adil *et al.* (2010), les différentes tailles et formes des granules d'amidon dans les farines affectent

leurs propriétés physico-chimiques et d'autres caractéristiques telles que la teneur en amylose, la température de gélatinisation et les propriétés de collage... etc.

Tableau XII: Morphologie microscopique des farines de *Castanea sativa* avant et après extraction.

Grossissement				
Etat	X 500	X 1000	X 2500	X 5000
Avant Extraction				
Après Extraction				

Conclusion

Le présent travail avait pour objectif principal de déterminer les paramètres physico-chimiques (pH, humidité, acidité, cendres, sucres totaux, sucres réducteurs, Brix, indice de couleur et BNE), le contenu en antioxydants (polyphénols totaux, flavonoïdes, flavonols, tannins condensés, vitamine C, caroténoïdes et lycopène), l'activité antioxydante et les propriétés fonctionnelles (CAE, CAH, AE, SE) des poudres de deux variétés de chêne locales *Quercus rotundifolia* et *Castanea sativa*. En plus, une observation des poudres de gland a été réalisée avec la MEB afin de déterminer l'effet du solvant d'extraction (méthanol 80%) sur la microstructure des farines.

Les résultats obtenus ont montré des variations significatives ($p < 0,05$) des propriétés physico-chimiques entre les trois poudres de gland analysées. Les teneurs en polyphénols totaux, flavonoïdes, tannins condensés, caroténoïdes, lycopène et vitamine C sont importantes dans les trois extraits. La châtaigne (*Castanea sativa*) présente les taux les plus élevés en polyphénols ($1949 \pm 1,46$ mg EAG/100 g MS), en tannins ($28 \pm 0,00$ mg EQ3G/100g), et en vitamine C ($15 \pm 0,03$ C mg EAA/100 g MS) par rapport à celle des deux échantillons de *Quercus rotundifolia*. Cependant, la teneur en flavonoïdes la plus élevée est enregistrée dans la variété de *Quercus rotundifolia* récoltée dans la région de Larbaa Nath Irathène par rapport autres échantillons analysés.

Les résultats de l'activité antioxydante estimée par différentes méthodes ont montré que le pouvoir réducteur le plus élevé est enregistré pour la variété *Quercus rotundifolia* (BZG) avec un taux de $213,40 \pm 0,41$ mg EAA/100 g MS. En revanche, la meilleure activité antioxydante totale est notée pour la châtaigne (*Castanea sativa*) avec une valeur de $2702,55 \pm 1,30$ mg EAA/100 g MS. En outre, la plus grande activité antiradicalaire contre le radical ABTS est observée dans la poudre de la châtaigne (*Castanea sativa*) enregistrant une valeur de $4443,86 \pm 30,57$ mg TE/100 g MS. Cependant, les deux échantillons de la variété *Quercus rotundifolia* ont montré des activités antiradicalaires contre le radical DPPH qui se rapprochent et les plus élevées avec des taux de $229,20 \pm 0,00$ mg ET/100 g MS (*Quercus rotundifolia* LNI) et $228,25 \pm 1,81$ mg ET/100 g MS (*Quercus rotundifolia* BZG).

Les résultats des propriétés fonctionnelles ont montré que les poudres analysées présentent des capacités d'absorption d'eau (CAE), des capacités d'absorption d'huile (CAH), des activités émulsifiantes (AE) et la stabilité des émulsions (SE) très importantes

suscitant un intérêt de leurs incorporation dans certaines matrices alimentaires riches en eau et/ou huile tels que les yaourts, les vinaigrettes, les mayonnaises.....etc.

L'analyse au MEB des poudres de chêne (*Quercus rotundifolia* et *Castanea sativa*) nous à permis de confirmer que le solvant d'extraction (méthanol 80%) avait un effet remarquable sur la morphologie des granules des trois poudres étudiées.

A la lumière des résultats obtenus, nous concluant que les poudres de chêne *Quercus rotundifolia* et *Castanea sativa* peuvent être considérées comme une source importante de composés phytochimiques ayant des propriétés antioxydantes et fonctionnelles.

Afin de compléter ce travail, il serait souhaitable:

- ✓ D'élargir l'échantillonnage sur le territoire national pour mieux appuyer nos résultats;
- ✓ D'étudier d'autres variétés de chêne existantes en Algérie et leurs sous produits;
- ✓ D'étudier leurs propriétés au cours de la maturation;
- ✓ D'identifier les composés antioxydants de gland par des techniques plus avancées comme l'HPLC et l'UPLC;
- ✓ De quantifier les teneurs en vitamines, minéraux, fibres, amidon, protéines et lipides;
- ✓ D'étudier l'effet des conditions de stockage et climatiques sur les antioxydants de ce fruit.

Références
Bibliographiques

AFNOR. 1974. Recueil des Normes Françaises des produits dérivés des fruits et légumes, jus de fruits. Ed: AFNOR. pp 1-322.

AFNOR. 1982. Recueil de Normes Françaises des produits dérivés des fruits et légumes et jus de fruits. Ed. AFNOR. pp 1-325.

AFNOR. 1986. Recueil de Normes Françaises. Lait et produits laitiers. Méthodes d'analyses. . Ed. AFNOR. pp 123–124.

Afraitane K, 1990. Contribution à l'étude biochimique du fruit du chêne liège (*Quercus-suber.L*) de la surbie de la MAMORA. Thèse de Doctorat 3eme cycle ENS Rabat Maroc. 125 p. 75-80.

Ahmed W., Humaira H., AfshanMumtaz H., Adil G et Ashwar BA. 2017. Propriétés physico-chimiques, rhéologiques et antioxydantes du châtaignier (*Castaneasativa*Mill.), Affecté par la rôtissoire et la micro-onde.Journal of Advanced Research. Pages 399-405.

Ait S. Chabane DA., Selselet-Attou O., Ghalem B,Keddam R.1997. Essai nutritionnels des farines de gland en alimentation du poulet de chair. Pp 11.

Akanitapichat P., Phraibung K., Nuchklang K. et Prompitakkul S. 2010.Antioxidant and hepatoprotective activities of five eggplant varieties. *Food and Chemical Toxicology*. 48: 3017-3021.

Amat J. P., Dorize L., Le coeur C., 2008. Eléments de géographie physique. Cours, documents, travaux dirigés. Ed. Bréal, France. Pp 1-463.

Amellal H. 2007. Aptitudes technologiques de quelques variétés communes de dattes formulation d'un yaourt naturellement sucré et aromatisé. Thèse de Doctorat spécialité Génie Alimentaire, Université de Boumerdès. Pp 1-131.

Amilcar L. Antonioa B., Ângela F., Barreiraa j., Albino B., Botelho ML., Ferreiraa I . 2011. Influence of gamma irradiation in the antioxidant potential of chestnuts (*Castanea sativa* Mill.) fruits and skins. Food and Chemical Toxicology .Pages 1918-1923.

Ana FV, Barreira JV. Costa A., et Beatriz M., P. Oliveira. 2016. A New Age for *Quercus spp.* Fruits: Review on Nutritional and Phytochemical Composition and Related Biological Activities of Acorns.In Food science. (15): Pages 947-981.

Anna Korus, Gumul, Krystyjan M., Juszcak L., Korus J. 2017. Evaluation of the quality, nutritional value and antioxidant activity of gluten-free biscuits made from corn-acorn flour or corn-hemp flour composites. *Eur Food Res Technol* .122 : 30-149.

Apfelbaum M., Romon M. et Dubus M. 2004. Diététique et Nutrition. Ed. Masson. pp 348- 349.

Arkoub-Djermoune L., Boulekbache- Makhlouf L., Zeghichi-Hamri F., Bellili S., Boukhalfa F. et Madani K. 2015. Influence of the thermal processing on the physicochemical properties and the antioxidant activity of a Solanaceae vegetable: eggplant. *Journal of food quality*. 39: 181-191.

Bänziger E., Buri F. 2003 : Châtaignes. Lenzburg, Éditions Fona. pp124.

Barbero M. 1980 ; Les fructicées de la zone bioclimatique méditerranéenne à chêne pubescent : structure, dynamique, zonage, utilisation et protection, biomasse. *Forêt méditerranéenne*. 3 (2): 101-104.

Barbero M., Loisel R. & Quézel P., 1992. Biogeography, ecology and history of Mediterranean Quercus ilex ecosystems. *Vegetation*, 99-100: 19-34.

Barreira J., Ferreira IC., M. Beatriz P. Oliveira MB and Pereira JA. 2010. Antioxidant Potential of Chestnut (*Castanea sativa* L.) and Almond (*Prunus dulcis* L.) By-products *Food Science and Technology International* 16(3):209-16.

Belarbi M. 1991. Contribution à l'étude des composés chimiques des glands des différentes espèces. Mémoire de Magistère en biologie, Université de Tlemcen. Pp 1-187.

Benguettaf R., Benaouda S. 2012. Caractérisation du gland de chêne vert (*Quercus ilex*), et essais d'incorporation dans l'aliment de volaille, en vue de l'amélioration de la valeur nutritionnelle de l'œuf. Mémoire master en génie des procédés, Université de Boumerdès. Pp18.

Besbes S., Drira L., Blecker C., Deroanne C. et Attia H. 2009. *dalue to hard date (Phoenix dactylifera L.) : Compositional, functional and sensory characteristics of date jam. Food Chemistry*. 112: 406–411.

Boily A. 2006. Le réfractomètre. *Cetincompris, Acériculture*. pp 1-3.

BONNIER G., 1911-1934. *Flore complète illustrée en couleurs de la France, Suisse et Belgique*, Neuchâtel, Delachaux et Niestlé, 12 t., 4 vol., p 1 621 .

Boris M., Dubravka Š., RuDicaCdero., Saša O., and Zoran G. 2013. Antioxidant Characterization of Oak Extracts Combining Spectrophotometric Assays and Chemometrics. *The Scientific World Journal* 95 : 6–17.

Bouderoua, K., 1995. Caractéristiques biochimiques et aptitudes nutritionnelles des farines de glands de chêne vert et du chêne liège en alimentation du poulet de chair. Mémoire de magister en sciences agronomiques, Institut National Agronomique (INA), EL-Harrach. Alger, 107.

Boudroua K., Mourot J., Selselet-Attou G. 2009. The effect of green oak acorn (*Quercus ilex*) based diet on growth performance and meat fatty acid composition of Broilers Asian-*Australian Journal of animal Science.* 22 (6): 843-848.

Boudy, P. 1950 : Economie forestière Nord Africaine. Monographie et traitement des essences. E d. Larose. Paris. pp 29-249.

Bougatef A., Hajji M., Balti., Lassoued I., Triki-Ello Z.Y. et Asrim. 2009. Antioxydant and free radical-scavenging activities of smooth hound (*Mustelus mustelus*) muscle protein hydrolysates obtained by gastrointestinal proteases. *Food chemistry.* 144: 1198-1205.

Bourgou S., Ksouri R., Bellila A., Skandrani I., Falleh H. et Marzouk B. 2007. Phenolic composition and biological activities of Tunisian *Nigella sativa* L. shoots and roots. *C. R. Biologies.* 331: 48-55.

Brosse J. Lucien G., 1977. Atlas des Arbres de France et d'Europe occidentale : 180. Collection Bordas Nature, Paris.

Bureau National des Etudes Forestière (B.N.E.F). 1984. Rapport de synthèse. (Document interne, Algérie), p140.

Ceren Anlasa., Tulay Bakirela., Ustun-Alkana F., Celik B., Baranc Y., Ustunera O., Kuruuzum A. 2019. In vitro evaluation of the therapeutic potential of Anatolian kermes oak (*Quercus coccifera* L.) as an alternative wound healing agent. *Journal homepage.* 137:24–32.

Cevriye M., Ümran E. 2017. Chemical compositions and sugar profiles of consumed lllchestnut cultivars in the marmara. *Article.université bursa.turkey.* pp1842-4309.

Cheftel J. C. 1980. Introduction à la biochimie et à la technologie des aliments, Ed. Tec & Doc. pp 1-329.

Claire K. 2008. Le Parc des Cévennes et la châtaigne. <https://www.futura-sciences.com/planete/dossiers/geographie-parc-cevennes-chataigne-796/>.

Conedera M., Tinner W., Krebs P., Rigo D. 2016. *Castanea sativa* in Europe: distribution, habitat, usage and threats. PP 976.

Crepet W. L., Nixon K. C. et Gandolfo M. A. 2004. Fossil evidence and phylogeny: the age of major angiosperm clades based on mesofossil and macrofossil evidence from Cretaceous deposits. *American Journal of Botany*. 91 (10): 1666-1682.

Dahmani M. 1997. Le chêne vert en Algérie syntaxonomie, phytoécologie et dynamique des peuplements. Thèse Doctorat, Université Houari Boumediène, Alger. pp 1-98.

David O., Arthur E., Kwadwo S. O., Badu E., Sakyi P. 2015. Proximate composition and some functional properties of soft wheat flour. *Int J Inn Res SciEng Technol*. 4: 753–758

David O., Arthur E., Kwadwo S. O., Badu E., Sakyi P. 2015. Proximate composition and some functional properties of soft wheat flour. *Int J Inn ResSci Eng Technol*. 4: 753–758

Delaveau P., Lorrain M., Mortier F., Rivolier C., Rivolier J., Schweitzer R. 1985. Secrets et vertus des Plantes médicinales. Ed. Reader's Digest. pp25.

Desmaison A. M. Adrian J. 1986. La place de la châtaigne en alimentation. *Médecine et Nutrition*. 22 (3): 174–180.

Desouhant E. 1998. Selection of fruits for oviposition by the chestnut weevil, *Curculio elephas*. *Entom. exp. appl.* 86: 71–78.

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: 654-660

Doymaz I., Gorel O. et Akgun N. A. 2004. Drying characteristics of the solid by product of olive oil extraction. *Biosystems Engineering*. 88 (2): 213–219.

Elena Corredoira M., Carmen S. J., Antonio B. et Ana M. V. 2004. Cryopreservation of zygotic embryo axes and somatic embryos of european chestnut. *CryoLetters*. 25:33-42.

Emma C., Juancarlos E., Loápez-Bote C., Delahoz I., Ordoñ Z., Tomaàs-Barbera A. 2003. Phenolic Compounds and Fatty Acids from Acorns (*Quercus spp.*), the Main Dietary Constituent of Free-Ranged. *J. Agric. Food Chem.* 51:6248–6255.

Enrico Sangiovanni A. 1., Stefano Piazza A. 1., Urska Vrhovsek B., Marco Fumagalli A., Saba Khalilpour A., Domenico Masuero B., Chiara Di Lorenzo A., Luca Colombo C., Fulvio Mattivi B., Emma De Fabiani A. et Mario Dell'Agli . 2018. A bio-guided approach for the development of a chestnut-based proanthocyanidin-enriched nutraceutical with potential anti-gastritis properties. *Pharmacological Research*. Pages 145-155

Fadanelli L., Chemolli M., Conci S. 1995. Conservation de la châtaigne : systèmes et formules d'application. Actes de la conférence "Réunion technique sur la châtaigneraie", Roncigno, Notebooks on experience and research, S. Michele all'Adige (TN) 2: 43-50.

Fan H, Xianhe S, Qian L, Shuangshuang X, Yanwen W and Ouyang J. 2016. Nutritional quality of Chinese chestnut and effect of cooking on its bioactive compounds and antioxidant activity. *Journal of Food Processing and Preservation*. 1745-4549.

Fatima Zohra E., Benali M., Mahmoud Dif M., Bouazza S., et Aicha Rih. 2016. First Phytochemical Analysis of the Anti-Holm Oak Acorn (*Quercus Ilex L.*) of Tessala [Algeria NW] before and after Cooking. *Advances in Environmental Biology*. Pages: 259-264.

Florentin E. 2004. Le réfractomètre. *Culture Sciences Chimie*.

François L., Phylippe L. 1999. Préparation et caractérisation des nano-cristallites de TiO₂
Effets des conditions préparatoires

Gammouda. Z. 2010. Effet de plasmas des ions d'argon (Ar⁺) sur l'interaction entre des couches minces réfractaires et des substrats en acier, mémoire magister, Université. K.M. Ouargla.

Ganjewala D., Boba S. et Raghavendra A. S. 2008. Sodium nitroprusside affects the level of anthocyanin and flavonol glycosides in pea (*Pisum sativum L. cv. Arkel*) leaves. *Acta Biologica Szegediensis*. 52 (2): 301-305.

Garnier, G., Bezanger-Beauquesne, L., Debraux, G., 1961. Ressources Médicinales de la Flore Française. Vigot Frères, Paris, pp. 962 – 964.

Glushkova M., Zhyanski M., Velinova K. 2010. Nut quality assessment of chestnut cultivars from 'ivanik' clone collection. *Forest Research Institute Sofia Bulgarian Academy of Sciences*. Vol. 47 No. 1 pp. 3-14.

Hagerman A. E. et Bulter L. G. 1978. Protein precipitation method for the quantitative determination of tannins. *Agricultural and Food ClinicaActa*. 328: 39-44.

Kekos D, et Koukios E.G. 1985. Acid hydrolysates of acronpolyssacharids as substrates for Candida utilis "Growith". *biothechnology letters*. Volume VII n°05, p345-348. ATHENS, Greece.

Khalil MB, Moniruzzaman M, Boukraa L, Benkanifia M, Asiful I, Nazmul I,

Kocaa I., Yilmaz VA., Tekguler B. 2018. A gluten-free food: Tarhana with chestnut. *International Society for Horticultural Science* Article number 1220_27 Pages 195-202.

Kubola J. et Siriamornpun S. 2008. Phenolic contents and antioxidant activities of bitter gourd (*Momordica charantia* L.) leaf stem and fruit fraction extracts in vitro. *Food Chemistry*. 110 (4): 881-890.

Kumar R. S., Sivakumar T., Sunderam R. S., Gupta M., Mazumdar U. K., Gomathi P., ajeshwar Y., Saravanan S., Kumar M. S., Muruges K. et Kumar K. A. 2005. Antioxydant and antimicrobial activities of *Bauhinia racemosa* L. Stem bark. *Brazilian Journal of Medical and Biological Research*. 38: 1015-1024.

Larbier M. et Leclercq B. 1992. Nutrition et alimentation des volailles. Ed. INRA, Paris. pp 1-354.

Leraillez P. 1952. La conservation des fruits. Ed. Baillere J. B. et fils, Paris. pp 1-400.

Lia-Tânia D, Manuela M Oliveira, Almeida J., Rita C., Gomes-Laranjo J., Francisco P. 2012. Antioxidant activities of chestnut nut of *Castanea sativa* Mill. (cultivar 'Judia') as function of origin ecosystem. *Food Chemistry*. 132: 1-8.

Luísa, C., João, P., Fernando, A., Nuno, R. N., José, M. F. N., & Anabela, R. (2015). Phenolic composition, antioxidant potential and in vitro inhibitory activity of leaves and acorns of *Quercus suber* on key enzymes relevant for hyperglycemia and Alzheimer's disease. *Industrial Crops and Products*, 64, 45-51.

Manos, P.S., Zhou, Z-K., and Cannon, C.H. 2001. Systematics of Fagaceae: phylogenetic tests of reproductive trait evolution. *Int.J. Plant Sci.* 162: 1361-1379

Marco Conedera., Jermini., Sassella MA., Thomas N. Sieber. 2004. Récolte, traitement et conservation des châtaignes. Institut fédéral de recherches WSL CH-8903 Birmensdorf. 38.

[Maria Vasconcelos](#) C. Bennett RN., Eduard R., and Ferreira-Cardoso JV 2010. Industrial processing effects on chestnut fruits (*Castanea sativa* Mill.) Minerals, free sugars, carotenoids and antioxidant vitamins *International Journal of Food Science and Technology*. 45: 496–505.

Maria Vasconcelos C., Bennett RN., Eduard R., and Ferreira-Cardoso JV. 2010. Composition of European chestnut (*Castanea sativa* Mill.) and association with health effects: fresh and processed products. *Food science agricultural*. (10):1578-89.

Maria Vasconcelos C., Richard N., Bennett R., Quideaub S., Jacquet R ., Eduardo R, Ferreira-Cardoso JV., 2010. Evaluating the potential of chestnut (*Castanea sativa* Mill.) fruit pericarp and integument as a source of tocopherols, pigments and polyphenols. *Industrial Crops and Products*.31: 301–311.

Mau J. L., Tsai S. Y., Tsai Y. H. et Huang S. J. 2005.Antioxidant proprieties of methanolic extracts from *GanodermaTsugae*. *Food Chemistry*. 93: 641-649.

MauriPV.,Manzanera JA (2003). Induction, maturation andgermination of holm oak (*Quercusilex*L.) somatic embryos.*Plant Cell Tissue Organ Cult*. 74(3): 229–235.

Menasra A., Fahloul D. et Haddad D. 2018.Influence of fermentation and germination treatments on physicochemical and functional properties of acorn flour. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*. 24 :719–726.

Mezali H. 1985. Quotidien national horizon in plaidoyer pour Tazrout. Deuxième partie. Ed.....pp 1-9

Mitra Pi.,GoliM.,andHajar A. 2018. Oak flour as a replacement of wheat and corn flour to improve biscuit antioxidant activity. .*Food science et nutrition*.6: Pages 253-258.

Molavi H., Keramat J., Raisee B.2015.Evaluation of the Cake Quality Made from orn-Wheat Flour Blends as a Functional Food. *Journal of Food Biosciences and Technology, Islamic Azad University, Science and Research Branch*. 5 (2): 53-60.

Molina L. Garcí., R. Martinez-Exposito, M. L. Fernandez-de Cordova, and E. J. Llorent ., Martinez. 2018. Determination of the Phenolic Profile and Antioxidant Activity of Leaves and Fruits of Spanish *Quercuscoccifera*. *Journal of Chemistry*.

Molyneux P. 2004. The use of the stable free radical diphenylpicrylhydrazyl (DPPH) for estimating antioxidant activity. *Journal of Science Technology*. 26 (2): 211-219.

Multon J. L. 1982. Conservation et Stockage Des Grains et Graines et Produits Derivés-Céréales, oléagineux, protéagineux, aliments pour animaux. Ed.Lavoisier, Paris.pp 576.

Musarat S, Waqas NB, Farooq Ahmad M, Bazaz R. 2016. Wheat-water chestnut flour blend effect of baking on antioxidant properties of cookies. *Journal of Food Science and Technology*. (12):4278–4288.

Nadia Amessis-Ouchemoukha., Ouchemoukha S., Mezianta M., Idiria Y., Hernanzc D., Carla M. Stinco d., Francisco J., Rodríguez-Pulido d., Francisco J., Heredia d, KhodirMadani , José Luis. 2017. Bioactive metabolites involved in the antioxidant, anticancer and anticalpain activities of *Ficus carica* L., *Ceratonia siliqua* L. and *Quercus ilex* L. extracts. 95 :6–17.

Natividade J. V. 1955. Subériculture, Edition Française de l'ouvrage Portugais subéricultura, Nancy, école national des eaux et forêts .pp1956.303 .

Nixon K.C. 1993. Origins of Fagaceae. In: Syst Assoc Spec vol 40B. Evolution, Systematics and Fossil History of the Hamamelidae. Vol 2(Crane PR, Blackmore S, eds) Clarendon Press, Oxford, 23-43.

Okpala L., Okoli E., Udensi E. 2013. Physico-chemical and sensory properties of cookies made from blends of germinated pigeon pea, fermented sorghum, and cocoyam flours. *Food of Science and Nutrition*. 1: 8–14

Oyaizu M. 1986. Studies on product of browning reaction prepared from glucose amine. *Japanese Journal of Nutrition*. 44: 707-315.

Paula Maria dos Reis Corriea. 2009. Effect of drying temperatures on chemical and morphological properties of acorn flours. Thèse de Doctorat spécialité Génie Alimentaire, Université de UNIVERSIDADE TÉCNICA DE LISBOA Instituto Superior de Agronomia pp139.

Peipei Y., Lingguang y., Ke L., Hang F., Qiang X., Xiang L., Liwei S. Yujun L. 2016. Bioactive components and antioxidant activities of oak cup crude extract and its four partially purified fractions by HPD-100 macroporous resin chromatography. *Arabian Journal of Chemistry*. (12): pages 249-261.

Rakic´ S., Povrenovic D., Tes E., M. Simic., R. Maletic. 2005. Oak acorn, polyphenols and antioxidant activity in functional food. *Journal of Food Engineering* 74 (2006) 416–423.

Rameau J. C., Mansion D., Dume G., Gauberville C., Bardat., Bruno E., Keller R. 2008. Flore forestière française : Guide écologique illustré. Ed. Institut pour le développement forestier, Paris. pp 1- 2432.

Rameau J. C., Mansion D., Dume G., Timbal J., Lecointe A., Dupont P., Keller R. 1989. Flore forestière française : Guide écologique illustré. Ed. Institut pour le développement forestier, Paris. pp 1-1792.

Ranjbar E., Sadeghi M., Ghorbani M., Kashaninejad M. 2014. Antioxidant Properties of Individual vs. Combined Extracts of Rosemary Leaves and Oak Fruit *Journal of Agricultural Science and Technology*. 16(7):pages1575-1586.

Ribéreau-Gayan P. 1968. Notions générales sur les composés phénoliques des végétaux. Ed. Donod. pp 6-22.

Rodriguez-Amaya B.D. 2001. A guide to carotenoid analysis in foods. Ed. International life sciences institute presse. pp 1-71.

Russell T. 2012. Les guides nature Larousse arbre du monde. Ed. Londres. pp 1-167.

Sala Chouaki., Mammeri F., Douzene M. 2006. Organisation des nations unies pour l'alimentation et l'agriculture : Deuxième rapport national sur l'état des ressources phytogénétiques. pp 1-37.

Sangnark A. et Noomhorm A. 2004. Chemical, physical and baking properties of dietary fibre prepared from rice straw. *Food Research International*: 37: 66–74. **Sass-Kiss A., Kiss J., Milotoy P., Kerek M. M. et Toth-Markus M. 2005.** Differences in anthocyanin and carotenoid content of fruits and vegetable. *Food Research International*. 38: 1023-1029.

Séverine D. 2003. Dosage de polymorphisme. Spectrométrie IRTF et chimométrie application aux formes polymorphes du CL 20. Thèse de Doctorat spécialité Chimie Analytique, Université de UNIVERSITE CLAUD BERNARD—LYONI—UCBL. pp 57.

Silva S., Eduardo M. Costa., Andre B., Carvalho AP., Monteiro MJ., Manuela E. 2016. Nutritional characterization of acorn flour (a traditional component of the Mediterranean gastronomic folklore). *V* (10):pp584-588.

SitiAmrah S. et Siew H. G. 2012. Physico-chemical and antioxidant properties of Algerian honey. *Molecules*.17 (11): 11199-11215.

Souad B.2015. Study of Physico-chemicals Characteristics and Antioxidant Capacity of Cork Oak Acorns (*Quercus suber* L.) grown in Three Regions in Tunisia. 5 (04): PP 026-032.

Suresh Ch., Samsher S et Durvesh K.2014. Evaluation of functional properties of composite flours and sensorial attributes of composite flour biscuits. Journal of Food Science and Technology -Mysore- 52(6).

Teresa D., Pereira JA., Susana C., Ramalhosa E. 2016. Bioactive Compounds of Chestnuts as Health Promoters. *Natural Bioactive Compounds from Fruits and Vegetables*. Page 132-154.

Tomas-Babera F. A. et Espin J. C. 2001. Phenolic compounds and related enzyme as determinants of quality in fruits and vegetables. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 81: 853-876.

Toumi-nour N. 2016. Synthèse et caractérisation de bioverres poreux par utilisation des phospholipides comme tensioactifs. thèse de doctorat. Université d'Oran Ahmed Ben Bella. pp 1-47.

Vaazquez G., Fontenla E., Santos J., Freire M.S., Gonzalez -Alvarez J., Antorrena G.2008. Antioxidant activity and phenolic content of chestnut (*Castanea sativa*) shell and eucalyptus (*Eucalyptus globulus*) bark extracts. *Journals & Books .Industrial Crops and Products*. Pages 279-285.

Velioglu Y. S., Mazza G., Gao L. et Oomah B. D. 1998. Antioxidant activity and total phenolics in selected fruits, vegetables and grain products. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 46: 4113-4117.

Verma L. R. et Joshi V. K. 2000. Postharvest technology of fruits and vegetables: Handling, Processing, Fermentation, and waste management, Indus publishing.

Vermerris W. et Nicholson R. 2008. Phenolic compound chemistry: Families of phenolic compound and means of classification. Ed. The Netherlands. pp 1-267.

Vinhaa, A., Costaa A.S.G., Barreiraac J., Pachecoa R., Beatriz M., Beatriz P.Oliveira. 2016. Chemical and antioxidant profiles of acorn tissues from *Quercus* spp.: Potential as new industrial raw materials. *Industrial Crops and Products*. V 94: 143–151.

Wei Z. et Shiow Y. W. 2001. Antioxdant activity and phenolic compounds in selected herbs. *Journal of Agricultural Food Chemistry*: 49 (11): 5165-5170.

Willcox J. K., Catignani G. L. et Lazarus S.2003. Tomatos and cardiovascular health. *Food Science and Nutrition*. 43: 1-18.

Yellavila S. B., Agbenorhevi J. K., Asibuo J. Y., Sampson G. O. 2015. Proximate composition, minerals content and functional properties of five Lima bean accessions. *Journal of Food Science*. 3: 69–74.

Yen G. C. and Hen H. Y. 1995. Antioxidant activity of various tea extracts in relation to their antimutagenicity. *Journal Agricultural and Food Chemistry*. 43: 27-32.

Yıldız S., Ayşenur y., Can Z., Ceyhun k., caferyıldız U .2017. Total phenolic, flavonoid, tannin contents and antioxidant properties of *pleurotusostreatus* and *pleurotuscitrinopileatus* cultivated on various sawdust. *The journal of food*.42:315-323.

Yizhong C., Qiong L., Mei S. et Harold C. 2004. Antioxidant activity and phenolic compounds of traditional 112 Chinese medicinal plants associated with anticancer. *Life Sciences*.74: 2151-2184.

Youkabed Z., MEJRI J., BOUANZI H., Mouldi EF., Mnasser H. 2015.Caractérisation biochimique et valorisation de la farine du gland de chêne vert en panification.Inrat Tunisie .P90.

Yu J., Ahmedna M. et Goktepe I.2007. Peanut protein concentrates: Production and functional properties as affected by processing. *Food Chemistry*.103: 121–129.

Zhou ZK, Pu CX, Chen WY .2003.Relationship between the distributions of *Quercus* sect. *Heterobalanus* (Fagaceae) and uplift of Himalayas. *Advance in Earth Science*, 18: 884-889

AFNOR. 1974. Recueil des Normes Françaises des produits dérivés des fruits et légumes, jus de fruits. Ed: AFNOR. pp 1-322.

AFNOR. 1982. Recueil de Normes Françaises des produits dérivés des fruits et légumes et jus de fruits. Ed. AFNOR. pp 1-325.

AFNOR. 1986. Recueil de Normes Françaises. Lait et produits laitiers. Méthodes d'analyses. . Ed. AFNOR. pp 123–124.

Afraitane K, 1990. Contribution à l'étude biochimique du fruit du chêne liège (*Quercus-suber.L*) de la surbie de la MAMORA. Thèse de Doctorat 3eme cycle ENS Rabat Maroc. 125 p. 75-80.

Ahmed W., Humaira H., AfshanMumtaz H., Adil G et Ashwar BA. 2017. Propriétés physico-chimiques, rhéologiques et antioxydantes du châtaignier (*Castaneasativa*Mill.), Affecté par la rôtissoire et la micro-onde.*Journal of Advanced Research*. Pages 399-405.

Ait S. Chabane DA., Selselet-Attou O., Ghalem B,Keddam R.1997. Essai nutritionnels des farines de gland en alimentation du poulet de chair. pp 11.

Akanitapichat P., Phraibung K., Nuchklang K. et Prompitakkul S. 2010.Antioxidant and hepatoprotective activities of five eggplant varieties. *Food and Chemical Toxicology*. 48: 3017-3021.

Amat J. P., Dorize L., Le coeur C., 2008. Eléments de géographie physique. Cours, documents, travaux dirigés. Ed. Bréal, France. pp 1-463.

Amellal H. 2007. Aptitudes technologiques de quelques variétés communes de dattes formulation d'un yaourt naturellement sucré et aromatisé. Thèse de Doctorat spécialité Génie Alimentaire, Université de Boumerdès. pp 1-131.

Amilcar L. Antonioa B., Ângela F., Barreiraa j., Albino B., Botelho ML., Ferreiraa I . 2011. Influence of gamma irradiation in the antioxidant potential of chestnuts (*Castanea sativa* Mill.) fruits and skins. *Food and Chemical Toxicology* .pp 1918-1923.

Ana FV, Barreira JV. Costa A., et Beatriz M., P. Oliveira. 2016. A New Age for *Quercus spp*. Fruits: Review on Nutritional and Phytochemical Composition and Related Biological Activities of Acorns.In Food science. (15): pp 947-981.

Anna Korus·,Gumul.,Krystyjan M .,Juszczak L., Korus J.2017. Evaluation of the quality, nutritional value and antioxidant activity of gluten-free biscuits made from corn-acorn flour or corn-hemp flour composites.Eur Food ResTechnol .122 : 30-149.

Apfelbaum M., Romon M. et Dubus M. 2004. Diététique et Nutrition. Ed. Masson. pp 348- 349.

Arkoub-Djermoune L., Boulekbache- Makhlouf L., Zeghichi-Hamri F., Bellili S., Boukhalfa F. et Madani K. 2015.Influence of the thermal processing on the physic

chemical properties and the antioxidant activity of a Solanaceae vegetable: eggplant. *Journal of foodquality*. 39: 181-191.

Bänziger E., Buri F. 2003 : Châtaignes. Lenzburg,ÉditionsFona. pp124.

Barbero M. 1980 ; Les fructicées de la zone bioclimatique méditerranéenne à chêne pubescent : structure, dynamique, zonage, utilisation et protection, biomasse. *Forêtméditerranéenne*. 3 (2): 101-104.

Barbero M., Loisel R. &Quézel P., 1992. Biogeography, **ecology and history of** Mediterranean Quercus ilex ecosystems. *Vegetation*, 99-100: 19-34.

Barreira J., Ferreira IC., M. Beatriz P. Oliveira MB and Pereira JA. 2010. Antioxidant Potential of Chestnut (*Castanea sativa* L.) and Almond (*Prunusdulcis* L.) By-products *Food Science and Technology International* 16(3):209-16.

Belarbi M. 1991. Contribution à l'étude des composés chimiques des glands des différentes espèces. Mémoire de Magistère en biologie, Université de Tlemcen. pp 1-187.

Benguettaf R., Benaouda S. 2012. Caractérisation du gland de chêne vert (*Quercus ilex*), et essais d'incorporation dans l'aliment de volaille, en vue de l'amélioration de la valeur nutritionnelle de l'œuf. Mémoire master en génie des procédés, Université de Boumerdès. pp18.

BesbesS., Drira L., Blecker C., Deroanne C. etAttia H. 2009. dalue to hard date (*Phoenix dactylifera* L.) : Compositional, functional and sensory characteristics of date jam. *Food Chemistry*. 112: 406–411.

Boily A. 2006. Le réfractomètre. Cetincompris, Acériculture. pp 1-3.

BONNIER G., 1911-1934. *Flore complète illustrée en couleurs de la France, Suisse et Belgique*, Neuchâtel, Delachaux et Niestlé, 12 pp 1621.

Boris M.,Dubravka Š.,RuDicaCdero.,SašaO.,andZoran G. 2013. Antioxidant Characterization of Oak Extracts Combining Spectrophotometric Assays and Chemometrics. *The Scientific World Journal*, 95 : 6–17.

Boudroua, K., 1995. Caractéristiques biochimiques et aptitudes nutritionnelles des farines de glands de chêne vert et du chêne liège en alimentation du poulet de chair. Mémoire de magister en sciences agronomiques, Institut National Agronomique (INA), EL-Harrach. Alger, 107.

Boudroua K., Mourot J., Selselet-Attou G. 2009. The effect of green oak acorn (*Quercus ilex*) based diet on growth performance and meat fatty acid composition of Broilers Asian-*Australian Journal of animal Science*. 22 (6): 843-848.

Boudy,P.1950 :EconomieforestièreNordAfricaine.Monographieettraitementdesessences.E d.Larose.Paris. pp29-249.

Bougatef A., Hajji M., Balti., Lassoued I., Triki-Ello Z.Y. et Asrim. 2009.Antioxydant and free radical-scavenging activities of smooth hound (*Mustelusmustelus*) muscle protein hydrolysates obtained by gastrointestinal proteases. *Food chemistry*.144: 1198-1205.

- Bourgou S., Ksouri R., Bellila A., Skandrani I., Falleh H. et Marzouk B. 2007.** Phenolic composition and biological activities of Tunisian *Nigella sativa* L. shoots and roots. *C. R. Biologies*. 331: 48-55.
- Brosse J. Lucien G., 1977.** Atlas des Arbres de France et d'Europe occidentale : 180. Collection Bordas Nature, Paris.
- Bureau National des Etudes Forestière (B.N.E.F). 1984.** Rapport de synthèse. (Document interne, Algérie), p140.
- CerenAnlasa., TulayBakirela., Ustun-Alkana F., Celikb B., Baranc Y., Ustunera O., Kuruuzum A. 2019.** In vitro evaluation of the therapeutic potential of Anatolian kermes oak (*Quercus coccifera* L.) as an alternative wound healing agent. *Journal homepage*. 137:24–32.
- Cevriye M., Ümran E. 2017.** Chemical compositions and sugar profiles of consumed chestnut cultivars in the marmara. Article.université bursa.turkey.pp1842-4309.
- Cheftel J. C. 1980.** Introduction à la biochimie et à la technologie des aliments, Ed. Tec & Doc. pp 1-329.
- Claire K. 2008.** Le Parc des Cévennes et la châtaigne. <https://www.futura-sciences.com/planete/dossiers/geographie-parc-cevennes-chataigne-796/>.
- Conedera M., Tinner W., Krebs P., Rigo D. 2016.** *Castanea sativa* in Europe: distribution, habitat, usage and threats. PP 976.
- Crepet W. L., Nixon K. C. et Gandolfo M. A. 2004.** Fossil evidence and phylogeny: the age of major angiosperm clades based on mesofossil and macrofossil evidence from Cretaceous deposits. *American Journal of Botany*. 91 (10): 1666-1682.
- Dahmani M. 1997.** Le chêne vert en Algérie syntaxonomie, phytoécologie et dynamique des peuplements. Thèse Doctorat, Université Houari Boumediène, Alger. pp 1-98.
- David O., Arthur E., Kwadwo S. O., Badu E., Sakyi P. 2015.** Proximate composition and some functional properties of soft wheat flour. *Int J Inn Res SciEng Technol*. 4: 753–758
- David O., Arthur E., Kwadwo S. O., Badu E., Sakyi P. 2015.** Proximate composition and some functional properties of soft wheat flour. *Int J Inn ResSci Eng Technol*. 4: 753–758
- Delaveau P., Lorrain M., Mortier F., Rivolier C., Rivolier J., Schweitzer R. 1985.** Secrets et vertus des Plantes médicinales. Ed. Reader's Digest. pp25.
- Desmaison A. M. Adrian J. 1986.** La place de la châtaigne en alimentation. *Médecineet Nutrition*. 22 (3): 174–180.
- Desouhant E. 1998.** Selection of fruits for oviposition by the chestnut weevil, *Curculio elephas*. *Entom. exp. appl*. 86: 71–78.

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: 654-660.

Diomande, M., Koko, A.C., Kouame ,K.B., Beugre , G.A.M., & Bohoua, L.G. (2017). Evaluation des propriétés fonctionnelles et activité antioxydante d'amandes de mangue produites en Côte d'Ivoire. *International Journal of Advancements in Research & Technology*, 6(11): pp 6 – 29.

Doymaz I., Gorel O. et Akgun N. A. 2004. Drying characteristics of the solid by product of olive oil extraction. *Biosystems Engineering*. 88 (2): 213–219.

Elena Corredoira M., Carmen S. J., Antonio B. et Ana M. V. 2004. Cryopreservation of zygotic embryo axes and somatic embryos of european chestnut. *CryoLetters*. 25:33-42.

Emma C., Juancarlos E., Loápez-Bote C., Delahoz I., Ordoñ Z., Tomaäs-Barberaän A. 2003. Phenolic Compounds and Fatty Acids from Acorns (*Quercus spp.*), the Main Dietary Constituent of Free-Ranged. *J. Agric. Food Chem.* 51:6248–6255.

Enrico Sangiovanni A. 1., Stefano Piazza A. 1., Urska Vrhovsek B., Marco Fumagalli A., Saba Khalilpour A., Domenico Masuero B., Chiara Di Lorenzo A., Luca Colombo C., Fulvio Mattivi B., Emma De Fabiani A. et Mario Dell'Agli . 2018. A bio-guided approach for the development of a chestnut-based proanthocyanidin-enriched nutraceutical with potential anti-gastritis properties. *Pharmacological Research*. Pages 145-155

Fadanelli L., Chemolli M., Conci S. 1995. Conservation de la châtaigne : systèmes et formules d'application. Actes de la conférence "Réunion technique sur la châtaigneraie", Roncegno, Notebooks on experience and research, S. Michele all'Adige (TN) 2: 43-50.

Fan H, Xianhe S, Qian L, Shuangshuang x, Yanwen w and Ouyang J. 2016. Nutritional quality of chinese chestnut and effect of cooking on its bioactive compounds and antioxidant activity. *Journal of Food Processing and Preservation*. 1745-4549.

Fatima Zohra E., Benali M., Mahmoud Dif M., Bouazza S., et Aicha Rih. 2016. First Phytochemical Analysis of the Anti-Holm Oak Acorn (*Quercus Ilex L*) of Tessala [Algeria NW] before and after Cooking. *Advances in Environmental Biology*. Pages: 259-264.

Florentin E. 2004. Le réfractomètre. Culture Sciences Chimie.

François L., Phylippe L. 1999. Préparation et caractérisation des nano-cristallites de TiO₂ Effets des conditions préparatoires

Gammouda. Z. 2010. Effet de plasmas des ions d'argon (Ar⁺) sur l'interaction entre des couches minces réfractaires et des substrats en acier, mémoire magister, Université. K.M. Ouargla.

Ganjewala D., Boba S. et Raghavendra A. S. 2008. Sodium nitroprusside affects the level of anthocyanin and flavonol glycosides in pea (*Pisum sativum L. cv. Arkel*) leaves. *Acta Biologica Szegediensis*. 52 (2): 301-305.

Garnier, G., Bezanger-Beauquesne, L., Debraux, G., 1961. Ressources Mé dicinales de la Flore Franc aise. VigotsFre`res, Paris, pp. 962 – 964.

Glushkova M, Zhyanski M, Velinova K. 2010. Nut quality assessment of chestnut cultivars from ‘ivanik’ clone collection. *Forest Research Institute Sofia Bulgarian Academy of Sciences*. Vol.47 No.1 pp.3-14.

Hagerman A. E. et Bulter L. G. 1978. Protein precipitation method for the quantitative determination of tannins. *Agricultural and Food ClinicaActa*. 328: 39-44.

Kekos D, et Koukios E.G. 1985. Acidhydrolysats of acronpolyssacharids as substrats for Candida utilis ‘‘Growith’’. *biothechnology letters*. Volume VII n°05, p345-348. Athens ,Greece.

Khalil MB, Moniruzzaman M, Boukraa L, Benkanifia M, Asiful I, Nazmul I,

Kocaa I., Yilmaz VA., TekgulerB. 2018. A gluten-free food: Tarhana with chestnut .*International Society for Horticultural Science* Article number 1220_27 Pages 195-202.

Kubola J. et Siriamornpun S. 2008. Phenolic contents and antioxidant activities of bitter gourd (*Momordicacharantia* L.) leaf stem and fruit fraction extracts in vitro. *Food Chemistry*. 110 (4): 881-890.

Kumar R. S., Sivakumar T., Sunderam R. S., Gupta M., Mazumdar U. K., Gomathi P., ajeshwar Y., Saravanan S., Kumar M. S., Muruges K. et Kumar K. A. 2005. Antioxydant and antimicrobial activities of *Bauhinia racemosa* L. Stem bark. *Brazilian Journal of Medical and Biological Research*. 38: 1015-1024.

Larbier M. et Leclercq B. 1992. Nutrition et alimentation des volailles. Ed. INRA, Paris. pp 1-354.

Leraillez P. 1952. La conservation des fruits. Ed. Baillere J. B. et fils, Paris. pp 1-400.

Lia-Tânia D, Manuela M Oliveira, Almeida J., Rita C., Gomes-Laranjo J., Francisco P. 2012. Antioxidant activities of chestnut nut of *Castanea sativa* Mill. (cultivar ‘Judia’) as function of origin ecosystem. *Food Chemistry*. 132: 1–8.

Luísa, C., João, P., Fernando, A., Nuno, R. N., José, M. F. N., &Anabela, R. (2015). Phenolic composition, antioxidant potential and in vitro inhibitory activity of leaves and acorns of *Quercus suber* on key enzymes relevant for hyperglycemia and Alzheimer’s disease. *Industrial Crops and Products*, 64, 45–51.

Manos, P.S., Zhou, Z-K., and Cannon, C.H. 2001. Systematics of Fagaceae: phylogenetic tests of reproductive trait evolution. *Int.J. Plant Sci.* 162: 1361–1379

Marco Conedera., Jermini., Sassella MA., Thomas N. Sieber. 2004. Récolte, traitement et conservation des châtaignes. Institut fédéral de recherches WSL CH-8903 Birmensdorf. 38.

Maria Vasconcelos C. Bennett RN., Eduard R., and Ferreira-Cardoso JV 2010. Industrial processing effects on chestnut fruits (*Castanea sativa* Mill.) Minerals, free sugars,

carotenoids and antioxidant vitamins *International Journal of Food Science and Technology*. 45: 496–505.

Maria Vasconcelos C., Bennett RN., Eduard R., and Ferreira-Cardoso JV. 2010. Composition of European chestnut (*Castanea sativa* Mill.) and association with health effects: fresh and processed products. *Food science agricultural*. (10):1578-89.

Maria Vasconcelos C., Richard N., Bennett R., Quideaub S., Jacquet R., Eduardo R, Ferreira-Cardoso JV., 2010. Evaluating the potential of chestnut (*Castanea sativa* Mill.) fruit pericarp and integument as a source of tocopherols, pigments and polyphenols. *Industrial Crops and Products*.31: 301–311.

Mau J. L., Tsai S. Y., Tsai Y. H. et Huang S. J. 2005.Antioxidant propriétés of methanolic extracts from *GanodermaTsugae*. *Food Chemistry*. 93: 641-649.

MauriPV.,Manzanera JA (2003). Induction, maturation andgermination of holm oak (*Quercusilex*L.) somatic embryos.Plant Cell Tissue Organ Cult. 74(3): 229–235.

Menasra A., Fahloul D. et Haddad D. 2018.Influence of fermentation and germination treatments on physicochemical and functional properties of acorn flour. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*. 24 :719–726.

Mezali H. 1985. Quotidien national horizon in plaidoyer pour Tazrout. Deuxième partie. Ed.....pp 1-9

Mitra Pi.,GoliM.,andHajar A. 2018. Oak flour as a replacement of wheat and corn flour to improve biscuit antioxidant activity. .Food science et nutrition.6: Pages 253-258.

Molavi H., Keramat J., Raisee B.2015.Evaluation of the Cake Quality Made from orn-Wheat Flour Blends as a Functional Food. *Journal of Food Biosciences and Technology, Islamic Azad University, Science and Research Branch*. 5 (2): 53-60.

Molina L. Garcí., R. Martínez-Exposito, M. L. Fernandez-de Cordova, and E. J. Llorent., Martínez. 2018. Determination of the Phenolic Profile and Antioxidant Activity of Leaves and Fruits of Spanish *Quercuscoccifera*. *Journal of Chemistry*.

Molyneux P. 2004. The use of the stable free radical diphenylpicrylhydrazyl (DPPH) for estimating antioxidant activity. *Journal of Science Technology*. 26 (2): 211-219.

Multon J. L. 1982.Conservationet Stockage Des Grains et Graines et Produits Derivés-Céréales, oléagineux, protéagineux, aliments pour animaux. Ed.Lavoisier, Paris.pp 576.

Musarat S, Waqas NB, Farooq Ahmad M, Bazaz R. 2016. Wheat-water chestnut flour blendseffect of baking on antioxidant properties of cookies. *Journal of Food Science and Technology*. (12):4278–4288.

Nadia Amessis-Ouchemoukha., Ouchemoukhb S., Mezianta M., Idiria Y., Hernanzc D., Carla M. Stinco d., Francisco J., Rodríguez-Pulido d., Francisco J., Heredia d, KhodirMadani , José Luis. 2017. Bioactive metabolites involved in the antioxidant,

anticancer and anticalpain activities of *Ficus carica* L., *Ceratonia siliqua* L. and *Quercus ilex* L. extracts. 95 :6–17.

Natividade J. V. 1955. Subériculture, Edition Française de l'ouvrage Portugais subéricultura, Nancy, école national des eaux et forêts .pp1956.303 .

Nixon K.C. 1993. Origins of Fagaceae. In: SystAssoc Spec vol 40B. Evolution, Systematics and Fossil History of the Hamamelidae. Vol 2(Crane PR, Blackmore S, eds) Clarendon Press, Oxford, 23-43.

Okpala L., Okoli E., Udensi E. 2013. Physico-chemical and sensory properties of cookies made from blends of germinated pigeon pea, fermented sorghum, and cocoyam flours. *Food of Science and Nutrition*. 1: 8–14

Oyaizu M. 1986. Studies on product of browning reaction prepared from glucose amine. *Japanese Journal of Nutrition*. 44: 707-315.

Paula Maria dos Reis Corriea. 2009. Effect of drying temperatures on chemical and morphological properties of acorn flours. Thèse de Doctorat spécialité Génie Alimentaire, Université de Técnica de LISBOA Instituto Superior de Agronomia pp139.

Peipei Y., Lingguang y., Ke L., Hang F., Qiang X., Xiang L., Liwei S. Yujun L. 2016. Bioactive components and antioxidant activities of oak cup crude extract and its four partially purified fractions by HPD-100 macroporous resin chromatography. *Arabian Journal of Chemistry*. (12): pages 249-261.

Rakić S., Povrenovic D., Tes E., M. Simic., R. Maletic. 2005. Oak acorn, polyphenols and antioxidant activity in functional food. *Journal of Food Engineering* 74 (2006) 416–423.

Rameau J. C., Mansion D., Dume G., Gauberville C., Bardat., Bruno E., Keller R. 2008. Flore forestière française : Guide écologique illustré. Ed. Institut pour le développement forestier, Paris. pp 1- 2432.

Rameau J. C., Mansion D., Dume G., Timbal J., Lecoq A., Dupont P., Keller R. 1989. Flore forestière française : Guide écologique illustré. Ed. Institut pour le développement forestier, Paris. pp 1-1792.

Ranjbar E., Sadeghi M., Ghorbani M., Kashaninejad M. 2014. Antioxidant Properties of Individual vs. Combined Extracts of Rosemary Leaves and Oak Fruit. *Journal of Agricultural Science and Technology*. 16(7):pages1575-1586.

Ribéreau-Gayon P. 1968. Notions générales sur les composés phénoliques des végétaux. Ed. Donod. pp 6-22.

Rodriguez-Amaya B.D. 2001. A guide to carotenoid analysis in foods. Ed. *International life sciences institute presse*. pp 1-71.

Russell T. 2012. Les guides nature Larousse arbre du monde. Ed. Londres. pp 1-167.

Sala Chouaki., Mammeri F., Douzene M. 2006. Organisation des nations unies pour l'alimentation et l'agriculture : Deuxième rapport national sur l'état des ressources phytogénétiques. pp 1-37.

Sangnark A. et Noomhorm A. 2004. Chemical, physical and baking properties of dietary fibre prepared from rice straw. *Food Research International*: 37: 66–74. **Sass-Kiss A., Kiss J., Milotoy P., Kerek M. M. et Toth-Markus M. 2005.** Differences in anthocyanin and carotenoid content of fruits and vegetable. *Food Research International*. 38: 1023-1029.

Séverine D. 2003. Dosage de polymorphisme. Spectrométrie IRTF et chimométrie application aux formes polymorphes du CL 20. Thèse de Doctorat spécialité Chimie Analytique, Université Claude Bernard—Lyon—UCBL. pp 57.

Silva S., Eduardo M. Costa., Andre B., Carvalho AP., Monteiro MJ., Manuela E. 2016. Nutritional characterization of acorn flour (a traditional component of the Mediterranean gastronomic folklore). V (10): pp584-588.

Siti Amrah S. et Siew H. G. 2012. Physico-chemical and antioxidant properties of Algerian honey. *Molecules*. 17 (11): 11199-11215.

Souad B. 2015. Study of Physico-chemical Characteristics and Antioxidant Capacity of Cork Oak Acorns (*Quercus suber* L.) grown in Three Regions in Tunisia. 5 (04): PP 026-032.

Suresh Ch., Samsher S. et Durvesh K. 2014. Evaluation of functional properties of composite flours and sensorial attributes of composite flour biscuits. *Journal of Food Science and Technology -Mysore-* 52(6).

Teresa D., Pereira JA., Susana C., Ramalhosa E. 2016. Bioactive Compounds of Chestnuts as Health Promoters. *Natural Bioactive Compounds from Fruits and Vegetables*. pp132-154.

Tomas-Babera F. A. et Espin J. C. 2001. Phenolic compounds and related enzyme as determinants of quality in fruits and vegetables. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 81: 853-876.

Toumi-nour N. 2016. Synthèse et caractérisation de bioverres poreux par utilisation des phospholipides comme tensioactifs. thèse de doctorat. Université d'Oran Ahmed Ben Bella. pp 1-47.

Vaazquez G., Fontenla E., Santos J., Freire M.S., Gonzalez -Alvarez J., Antorrena G. 2008. Antioxidant activity and phenolic content of chestnut (*Castanea sativa*) shell and eucalyptus (*Eucalyptus globulus*) bark extracts. *Journals & Books .Industrial Crops and Products*. pp 279-285.

- Velioglu Y. S., Mazza G., Gao L. et Oomah B. D. 1998.**Antioxidant activity and total phenolics in selected fruits, vegetables and grain products. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 46: 4113-4117.
- Verma L. R. et Joshi V. K. 2000.**Postarverst technology of fruits and vegetebales: Handling, Processing, Fermentation, and waste management, Indus publishing.
- Vermerris W. et Nicholson R. 2008.**Phenolic compound chemistry: Families of phenolic compound and means of classification. Ed. The Netherlands. pp 1-267.
- Vinhaa, A., Costaa A.S.G., Barreiraac J., Pachecoa R., Beatriz M., Beatriz P.Oliveira. 2016.** Chemical and antioxidant profiles of acorn tissues from *Quercus* spp.: Potential as new industrial raw materials. *Industrial Crops and Products*. V 94: 143–151.
- Wei Z. et Shiow Y. W. 2001.** Antioxdant activity and phenolic compounds in selected herbs. *Journal of Agricultural Food Chemistry*: 49 (11): 5165-5170.
- Willcox J. K., Catignani G. L. et Lazarus S.2003.**Tomatos and cardiovascular health. *Food Science and Nutrition*. 43: 1-18.
- Yellavila S. B., Agbenorhevi J. K., Asibuo J. Y., Sampson G. O. 2015.** Proximate composition, minerals content and functional properties of five Lima bean accessions. *Journal of Food Science*. 3: 69–74.
- Yen G. C. and Hen H. Y. 1995.** Antioxidant activity of various tea extracts in relation to their antimutagenicity. *Journal Agricultural and Food Chemistry*. 43: 27-32.
- Yıldız S., Ayşenur y., Can Z., Ceyhun k., caferyıldız U .2017.** Total phenolic, flavonoid, tannin contents and antioxidant properties of pleurotusostreatus and pleurotuscitrinopileatus cultivated on various sawdust. *The journal of food*.42:315-323.
- Yizhong C., Qiong L., Mei S. et Harold C. 2004.** Antioxidant activity and phenolic compounds of traditional 112 Chinese medicinal plants associated with anticancer. *Life Sciences*.74: 2151-2184.
- Youkabed Z., MEJRI J., BOUANZI H., Mouldi EF., Mnasser H. 2015.**Caractérisation biochimique et valorisation de la farine du gland de chêne vert en panification.Inrat Tunisie .pp90.
- Yu J., Ahmedna M. et Goktepe I.2007.** Peanut protein concentrates: Production and functional properties as affected by processing. *Food Chemistry*.103: 121–129.
- Zhou ZK, Pu CX, Chen WY .2003.**Relationship between the distributions of *Quercus* sect. *Heterobalanus* (Fagaceae) and uplift of Himalayas. *Advance in Earth Science*, 18: 884-889

Annexes

Annexe I: Les produits chimiques et les appareils utilisés.

Produits chimiques	Appareillages
-Acide acétique glaciale	-Réfractomètre
-ABTS	-pH mètre
- DPPH	-Four à moufle
-Acide oxalique	-Balance de précision
-Acide sulfurique	-Centrifugeuse
-Acétone	-Spectrophotomètre
-Acide trichloracétique	-Plaques magnétiques
-AlCl ₃	-Micropipette
-Carbonate de sodium	-Agitateur
-Chlorure ferrique FeCl ₃	-Etuve
-DCPIP	-Verrerie : bécher, burette, éprouvette ect .
-Ethanol	-Papier wattman.
-Ferricyanure de potassium K ₃ Fe(CN) ₆	- Dessicateur.
-FeCl ₂	
-Phosphate de sodium	
-HCl	
-K ₂ HPO ₄	
-Méthanol	
-Molybdate d'aluminium	
-NaCl	
-NaOH	
-Phosphomolybdate	
-Hexane	
-Carbonate de Sodium Na ₂ CO ₃	
-Réactif de Folin –Ciocalteu	
-NaNO ₂	
-Chlorure d'aluminium AlCl ₃	
- Persulfate de sodium.	
-Standards : Acide gallique, β-carotène, acide ascorbique....ect.	

Annexe II: Les courbes d'étalonnage.

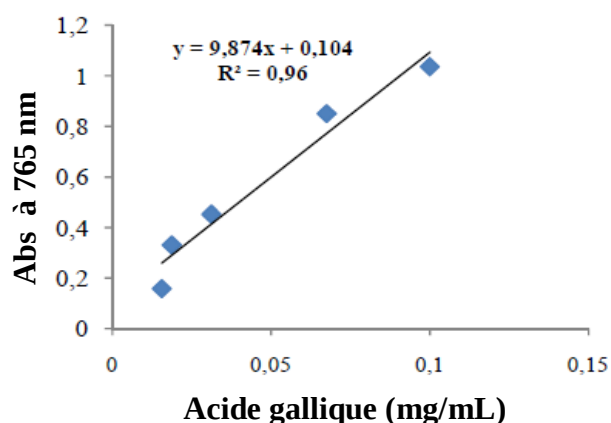


Figure 1: Courbe étalon pour le dosage des polyphénols.

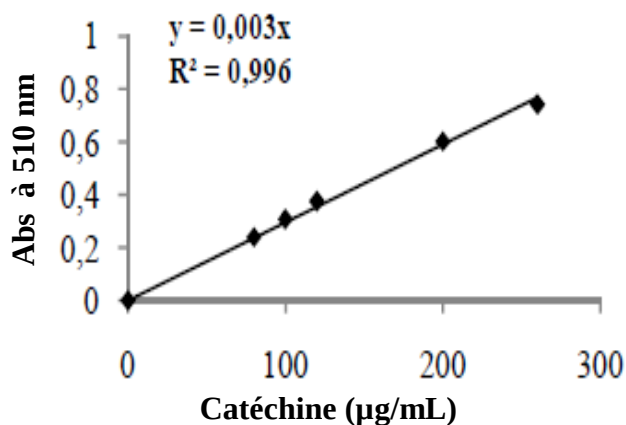


Figure 2: Courbe étalon pour le dosage des flavonoïdes.

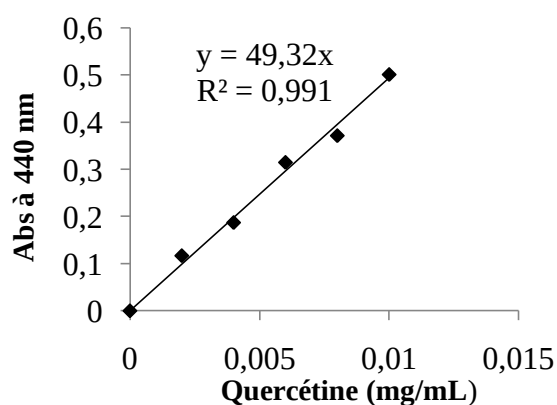


Figure 3: Courbe étalon pour le dosage des flavonoïdes.

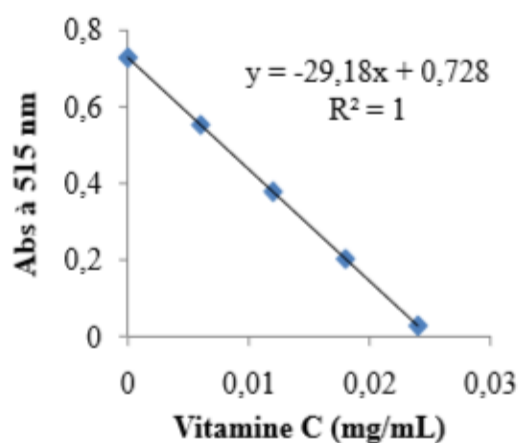


Figure 4: Courbe étalon pour le dosage de la vitamine C.

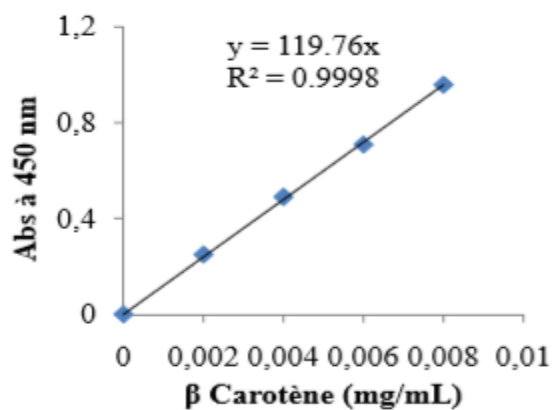


Figure 5: Courbe étalon pour le dosage des caroténoïdes totaux.

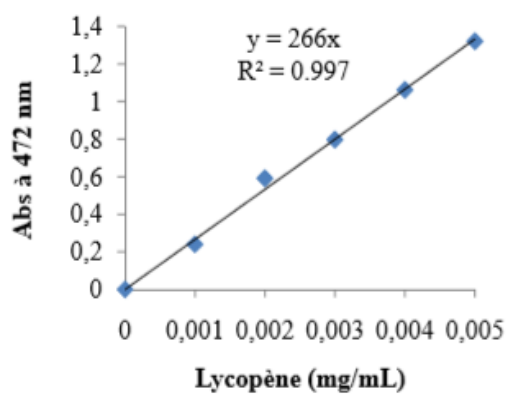


Figure 6: Courbe étalon pour le dosage du lycopène.

Annexe II (suite): Les courbes d'étalonnage.

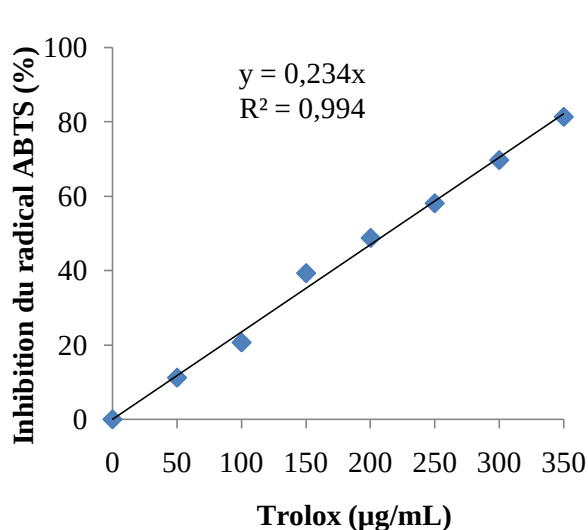


Figure 7: Activité antiradicalaire (ABTS) en fonction de la concentration du Trolox (µg/mL).

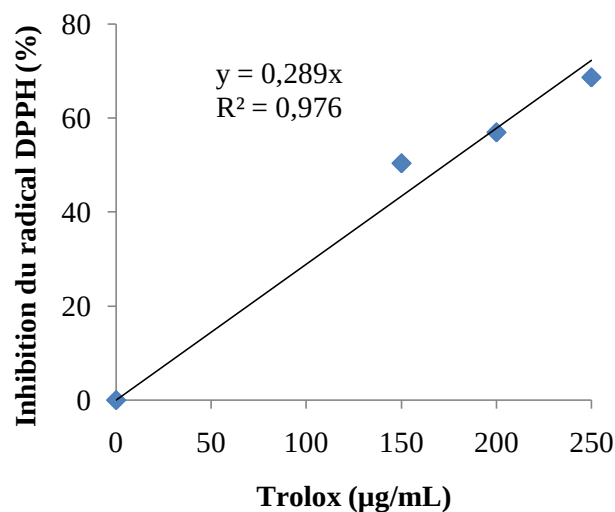


Figure 8: Activité antiradicalaire (DPPH) en fonction de la concentration du Trolox (µg/mL).

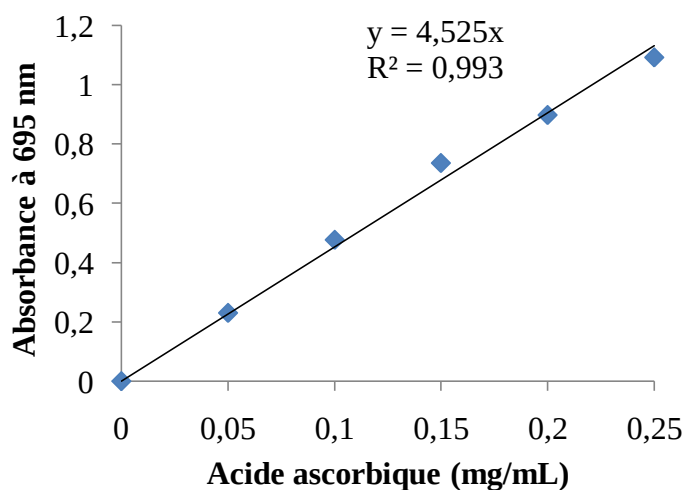


Figure 8: Phosphomolybdate en fonction de la concentration de l'Acide Ascorbique (mg/mL).

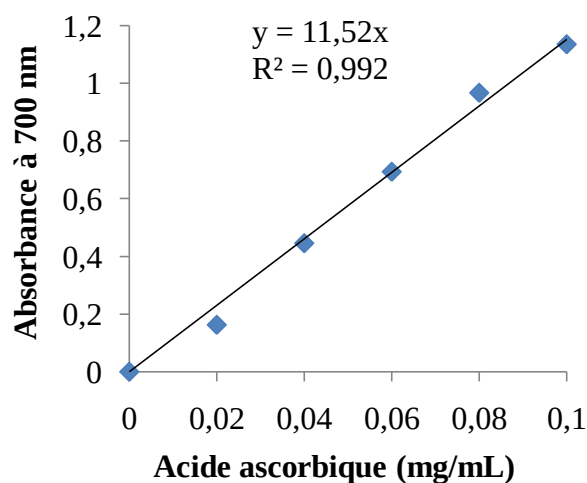
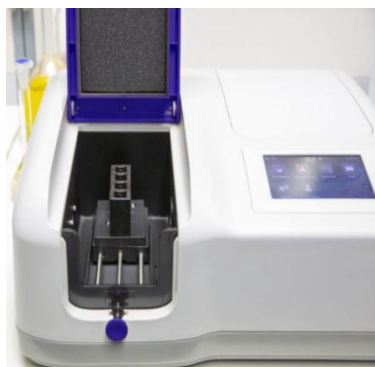


Figure 9: Pouvoir réducteur en fonction de la concentration de l'Acide Ascorbique (mg/mL).

Annexe III: Photographie de quelques appareils utilisés.



Bain marie



Spectrophotomètre



Balance



Balance de précision



Etuve



Four à moufle



pH mètre



Agitateur



Refractomètre

Résumé

La présente étude a pour objectif l'évaluation des propriétés physico-chimiques, les teneurs en substances bioactives, l'activité antioxydante, les propriétés fonctionnelles et la morphologie des granules des farines de deux variétés de chêne locales originaires de la wilaya de Tizi-Ouzou, Algérie: *Quercus rotundifolia* et *Castanea sativa*. Les résultats obtenus montrent que les poudres de chênes étudiées présentent un pH compris entre 5,68 et 5,76 %, un taux d'humidité élevé variant entre 51,52% et 63,00 %, des teneurs en sucres totaux et réducteurs allant de 25,35 % à 35,54% et 2,91 à 3,44, respectivement. De plus, le Brix des différentes poudres varie de 5,00 % à 7,00 %, un indice de couleur variant entre 0,184 et 0,986 et un degré de BNE oscillant entre 0,456 et 0,527. Les teneurs en polyphénols et flavonoïdes enregistrées varient de 1606 à 1949 mg EAG/100g MS et 244 à 424 mg EC/100 g MS, respectivement. En outre, les teneurs les plus élevées en flavonols (16,24 mg EQ/100g MS), caroténoïdes (1,67 mg E β C/100 g MS) et lycopène (216,83 μ g EL/100 g MS) ont été notées dans la variété *Quercus rotundifolia*; alors que les teneurs les plus importantes en vitamine C et tannins condensés ont été enregistrés dans la farine de *Castanea sativa* avec des taux respectifs de 14,96 mg EAA/100 g MS et 28 mg EQ3G/100 g MS. Les extraits de gland *Quercus rotundifolia* ont montré le meilleur pouvoir réducteur et la meilleure activité antiradicalaire (DPPH). Cependant, l'extrait de *Castanea sativa* a montré la meilleure activité antioxydante totale et antiradicalaire (ABTS). Les résultats des propriétés fonctionnelles (CAE, CAH, AE, SE) indiquent que les farines de chêne étudiées ont une bonne affinité à l'eau et à l'huile ce qui suscite leurs incorporation comme ingrédients dans d'autres matrices alimentaires. En fin, l'observation au MEB a montré que le solvant d'extraction a un effet important sur la morphologie des granules des poudres de chêne étudiées.

Mots clés: Chêne; *Quercus rotundifolia*; *Castanea sativa*; Propriétés physico-chimiques; Antioxydants; Activité antioxydante; Propriétés fonctionnelles.

Abstract

The objective of this study is to evaluate the physicochemical properties, the bioactive substance contents, the antioxidant activity, the functional properties and the morphology of the granules of the flours of two local oak varieties originating from Tizi-Ouzou, Algeria: *Quercus rotundifolia* and *Castanea sativa*. The results obtained show that the oak powders studied have a pH of 5.68 and 5.76%, a high moisture content varying between 51.52% and 63.00%, total sugar and reducing sugar contents varying from 25.35% to 35.54% and 2.91 to 3.44, respectively. In addition, the Brix of the various powders ranged from 5.00% to 7.00%, a color index ranging from 0.184 to 0.986 and a degree of BNE varying from 0.456 to 0.527. The levels of polyphenols and flavonoids recorded ranged from 1606 to 1949 mg GAE/100g DW and 244 to 424 mg CA/100 g DW, respectively. In addition, the highest levels of flavonols (16,24 mg QE/100 g DW), carotenoids (1,67 mg β CE/100 g DW) and lycopene (216,83 μ gLE/100 g DW) are noted in the variety *Quercus rotundifolia*; then the highest levels of vitamin C and condensed tannins were recorded in *Castanea sativa* flour with respective levels of 14.96 mg AAE/100 g DW and 28 mg Q3GE/100 g DW. The *Quercus rotundifolia* extract showed the best reducing power and the best antiradical activity (DPPH). However, extract of *Castanea sativa* showed the best total antioxidant and antiradical activity (ABTS). The results of the functional properties (WAC, OAC, EA, ES) indicate that the studied oak flours have a good affinity for water and oil, which gives rise to their incorporation as ingredients in other food matrices. Finally, the SEM observation showed that the extraction solvent has an important effect on the morphology of the granules oak powders studied.

Key words: Oak; *Quercus rotundifolia*; *Castanea sativa*; Physico-chemical properties; Antioxidants; Antioxidant activity; Functional properties.

Agzul

Iswi n tezraw-agi, d aktazal n tulmisin tafizikt-tacimikt (tasengama-takrura), ayen yellan deg tanga n urmud-asmudder (bio-active) ; armud mgal-tanigt (antioxydante), tulmisin tiswuranin akked talya n ibruyen n lfarina n snat n tewsat n ubelluḍ n tmurt azar-is n lwilaya n Tizi-Wezzu, Lezzayer: *Quercus rotundifolia* (ihellad n tmurt) yet *Castanea sativa* (abelluḍ urumi ney lehlu). Igemmad d-yeffyen skanen-d belli taneḍda n ubelluḍ n walmed teskan-d un Ph isegzay-d ger 5,68 et 5,76 %, ulmu yulin yemgraden ger 51,52 % et 63,00 %, yef win ilan sekkaḥ ayruḍ yeqes yesca de 25,35 % à 35,54 % d 2,91 à 3,44, yef tikkelt. Tin yernan yer-s, tafesna (le brix) n tmeḍdatin yemgaraden ger 5,00 % à 7,00 %, timitar n yiḍman yemgaraden ger 0,184 et 0,986 d tfeḥna n BNE yettawi yetterra ger 0,456 et 0,527. Ifarisen n polyphénols akked flavonoïdes tla tela deg-s ufan deg-s tamgirda seg 1606 à 1949 mg EAG/100g MS yer 244 à 424 mg EC/100 g MS, yef tikkelt. Yerna, seant atas seg ufaris n flavonols (16,24 mg EQ/100 g MS), caroténoïdes (1,67 mg E β C/100 g MS) akked lycopène (216,83 μ g EL/100 g MS) yella deg tewsit n ihellad n tmurt (*Quercus rotundifolia*); ihi tid yesan atas n vitamine C akked ifarisen n tannins condensés yellan deg lfarina n ubelluḍ urumi (*Castanea sativa*) s uktamur yef tikkelt seg 14,96 mg EAA/100 g MS et 28 mg EQ3G/100 g MS. Ayen d-yettwakksen seg yihellad n tmurt (*Quercus rotundifolia*) skanen-d tazmert igerizen n usemzi akked urmud ifazen n antiradicalaire (DPPH). Seg tama, tukkist n ubelluḍ n lehlu (urumi) (*Castanea sativa*) yeskan-d armud ifazen deg mgal-tanigt yellan d ayruḍ akked antiradicalaire (ABTS). Igemmad n tmezliyin tiswuranin (CAE, CAH, AE, SE), seneatent-d belli lfarina n ukerruc ittuzerwen, lant ticbin n waman d zzit ayen ara tt-yegḡen ad tili d asafar deg usirew n wučči. Tagara, tamawt MEB yemmal-d belli asuffey n uselyam yesca asemdu axatar yef talya n yibruyen n tmeḍdatin n ubelluḍ n walmed.

Tisura (asegzi n wawalen): Abelluḍ; ihellad n tmurt; Abelluḍ lehlu (urumi); Tulmisin tafizikt-tacimikt ney tulmisin tasengama-takrura; mgal-tanigt; Armud mgal-tanigt; tulmisin tiswuranin

ملخص

الهدف من هذه الدراسة هو تقييم الخواص الفيزيائية والكيميائية ومحتوى المادة النشطة بيولوجيًا ونشاط مضادات الأكسدة والخصائص الوظيفية ومورفولوجيا حبيبات دقيقين من أصناف البلوط المحلية الناشئة عن ولاية تيزي وزو الجزائر: *Quercus Rotundifolia* و *Castanea SATIVA*. أظهرت النتائج التي تم الحصول عليها أن مساحيق البلوط التي تمت دراستها تحتوي على درجة حموضة تتراوح بين 5.68 و 5.76 %، وهي نسبة رطوبة عالية تتراوح بين 51.52 % و 63.00 %، ومحتوى السكر الكلي والمختزل يتراوح بين 25.35 % إلى 35.54 % و 2.91 إلى 3.44، على التوالي. BNE ودرجة BNE تتراوح بين 0.456 إلى 0.527. تتراوح محتويات البوليفينول والفلافونويد المسجلة من 1606.13-1949.80 ملغ EAG على 100 غ، من المواد الجافة و 244.89 إلى 424.44 ملغ EC على 100 غ من المواد الجافة، على التوالي. بالإضافة إلى ذلك، لوحظت على مستويات الفلافونول (16.24 ملغ مكافئ لكل 100 جرام)، الكاروتينات (1.67 ملغ من الدرجة الأولى من 100 غ من المواد الجافة والليكوبين (216.83 ميكروغرام من 100 / El جم من المواد الجافة في بالإضافة إلى ذلك، تتراوح بريكس مساحيق مختلفة من 5.00 % إلى 7.00 %، وهو مؤشر اللون يتراوح بين *Quercus Rotundifolia* تم تسجيل أعلى مستويات فيتامين C والعصعص المكثف في دقيق *Castanea SATIVA* بمستويات كل منهما 14.96 ملغ EA على 100 غ و 28.19 ملغ EQ3 على 100 غ من المواد الجافة. أظهرت مقتطفات البلوط *Quercus ROTUNDIFOLIA* أفضل قوة خفض وأفضل نشاط مضاد حيوي (Dpph) ومع ذلك، أظهر مستخلص *Castanea SATIVA* أفضل نشاط مضاد للأكسدة، تشير نتائج الخواص الوظيفية (Se، Ae، Cah) إلى أن دقيق البلوط المدروس لديه تقارب جيد للمياه والزيت، مما يؤدي إلى دمجه كمكونات في مصفوفات الطعام الأخرى. أخيرًا، أظهرت ملاحظة MEB أن منzip الاستخراج له تأثير كبير على مورفولوجيا حبيبات مساحيق البلوط التي تمت دراستها. الكلمات الرئيسية: البلوط *Quercus ROTUNDIFOLIA*، *Castanea SATIVA* الخواص الفيزيائية والكيميائية، المواد المضادة للأكسدة، نشاط مضادات الأكسدة والخصائص الوظيفية.