

N° d'ordre :

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE & POPULAIRE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR & DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE



UNIVERSITÉ DJILLALI LIABES
FACULTÉ DES SCIENCES
DE LA NATURE ET DE LA VIE
SIDI BEL ABBÉS

***THESE
DE DOCTORAT EN SCIENCES***

Présentée par : **Mme ELMAHI Fatima Zohra**

Spécialité : Sciences biologiques

Option : Biotoxicologie

Intitulé

Contribution à l'étude des métabolites nutritionnels et fonctionnels des glands de différentes espèces de chênes de la région de Tessala (Algérie). Mise au point de techniques de détoxification hydrothermique

Soutenue en 2016

Devant le jury composé de :

Président :	Pr ABBOUNI Bouziane	UDL Sidi Bel-Abbés
Examineurs :	Pr BELABID Lakhdar	Université de Mascara
	Dr BACHIR RAHO Ghalem	Université de Mascara
Rapporteur :	Pr BENALI Mohammed	UDL Sidi Bel-Abbès

Laboratoire de biotoxicologie de l'université Djillali Liabes- Sidi Bel-Abbes, CRU (Ex : CFTE)

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Remerciements

Je tiens tout d'abord à remercier Dieu le tout puissant et miséricordieux, de m'avoir donné le courage, la force et la patience d'accomplir ce modeste travail.

En second lieu, je tiens à remercier et rendre hommage à tous ceux qui de loin ou de près ont veillé à ma bonne formation et à leur encadrement agréable en l'occurrence :

*Mon directeur de thèse, Monsieur **Benali M.**, Professeur à l'Université de Djillali liabès de Sidi-Bel-Abbès et Directeur du laboratoire de Biotoxicologie, qui a eu l'amabilité de m'encadrer, et pour m'avoir aidé tout au long de mon cursus et pour ses précieux conseils et orientations prodigués au cours de la réalisation de ce travail, auquel il a porté un grand intérêt. Sa compréhension et sa constante sollicitude m'ont été d'un secours précieux. Qu'il soit rassuré de ma profonde gratitude.*

Tous mes égards et toute ma considération à :

*Monsieur **Abbouni B.**, Professeur à l'Université Djillali liabès de Sidi-Bel-Abbès, Département de Biologie, qui m'a fait l'honneur d'accepter de présider le jury de soutenance, malgré ses multiples préoccupations ; je lui exprime mes respectueux dévouements.*

*Je remercie vivement Monsieur **Belabid L.**, Professeur à L'Université de Mascara d'avoir accepté de juger ce travail. Veuillez trouver Monsieur le professeur, le témoignage de mon profond respect.*

*J'adresse mes sincères remerciements à Monsieur **Bachir Raho G.**, Maître de conférence à l'Université de Mascara, de l'honneur qu'il me fait en acceptant de juger ce travail.*

*Je remercie profondément Monsieur **Levade T.**, Professeur de Biochimie et Biologie Moléculaire à l'Université Paul Sabatier de Toulouse et chef de service du Laboratoire de Biochimie Métabolique à l'Institut de Médecine Moléculaire de Rangueil, et Monsieur, **Jean-Luc Olivier**, Professeur de Biochimie et Biologie Moléculaire à la faculté de Médecine de Nancy et Chef de Service du Laboratoire de Biochimie-Biologie Moléculaire du CHU de Nancy, qui m'ont accueillis lors de mes séjours à Nancy et Toulouse. Je leurs exprime mes sincères remerciements pour les discussions enrichissantes que nous avons eu à plusieurs reprises sur les parties de la thèse, qui m'ont permis d'améliorer mes connaissances et de faire progresser mon travail. Recevez Messieurs, l'expression de ma profonde gratitude pour vos qualités scientifiques et humaines.*

*Je suis très heureuse d'exprimer ma profonde reconnaissance à Monsieur **Dif M.M.**, Maître de conférence au Centre Universitaire Nour Bachir d'El-Bayadh et Monsieur **Bouazza S.** doctorant en*

sciences biologiques à l'Université Djillali Liabès de Sidi-Bel-Abbès, Département de Biologie, pour avoir accepté de partager leur expérience et leur savoir-faire tout au long de la réalisation de ce modeste travail, et pour avoir mis à ma disposition plusieurs documents se rapportant à mon étude.

*Je tiens à remercier Monsieur **Benaoula S.**, Professeur à l'Université Djillali Liabès de Sidi-Bel-Abbès, Département de Pharmacie et Monsieur **Ramdani M.**, Professeur de l'Enseignement Supérieur à l'Université Mohammed V d'Agdal, Institut Scientifique de Rabat-Maroc- Département de Zoologie et Ecologie Animale, pour m'avoir accueillie et permis de réaliser plusieurs dosages, en mettant à ma disposition tous les moyens ayant contribué à la réalisation de certaines analyses. Soyez assurés de ma profonde reconnaissance.*

Enfin j'exprime ma sympathie à tous ceux et celles qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce présent travail.

Dédicaces

En guise de reconnaissance, je dédie ce travail :

À mon très cher pays « L'Algérie ».

A ma très chère mère qui a toujours cru en moi ; il n'existe pas de remerciement qui soit aussi chaleureux et cardiaque à une personne aussi appréciée que toi, merci maman pour ta patience, ta compréhension, ton sacrifice et tes encouragements au cours de la réalisation de ce travail.

A mes très chers anges Khalil Abdelhak et Meyssem Sérine, que dieu les protège « Inchallah ».

A mes très chères amies et sœurs Aicha Rih et Zahira Bouyakoube pour leur encouragement et leur soutien constant.

A toute ma famille et tous ceux qui me sont chers.

El mahi Fatima Zohra

Résumé

La présente étude contribue à la mise en valeur du potentiel alimentaire des glands de chêne comme nouvelle ressource susceptible d'être exploitée à l'échelle industrielle en vue de leur utilisation en alimentation animale afin de diminuer le coût d'importation du système maïs-soja qui présente un problème économique accru pour notre pays.

Notre étude porte sur la détermination de la composition chimique avant et après traitement hydrothermique (cuisson et autoclavage) de trois espèces de chêne, une comestible, le chêne vert et deux fourragères, le chêne liège et le chêne kermès.

À la lumière des résultats obtenus, il ressort que les fractions d'une part glucidiques, représentées particulièrement par l'amidon (50,95 % de la matière sèche) et d'autre part lipidiques (8,10 % de la matière sèche) constituent la majeure partie des réserves des glands crus de chêne vert, liège et kermès.

Les teneurs en matière minérale, protéines et cellulose brute sont relativement faibles pour les trois espèces de chêne, et représentent respectivement 2,79%, 7,18% et 2,59% de la matière sèche.

De faibles teneurs en tannins ont été mises en évidence (0,295% pour le gland de chêne vert, 0,645 % pour le gland de chêne liège et 1,09 % pour le gland de chêne kermès).

Les traitements hydrothermiques, occasionnent une diminution des teneurs protéiques et une baisse de leur solubilité. Des observations analogues ont été enregistrées pour l'amidon et les lipides.

Ainsi, l'application de l'autoclavage semble être bien adaptée pour la détoxification des glands, sans entraîner de graves pertes en principes nutritifs.

L'objectif serait de diminuer cette richesse en facteurs antinutritionnels par des traitements hydrothermiques en vue d'une amélioration et d'une consommation durable ou bien de procéder à l'extraction des différentes fractions tannique toxiques avant de nourrir les animaux.

Mots clés : Glands de chêne, Composition chimique, Traitement hydrothermique, Détoxification, Facteurs antinutritionnels.

Abstract

This study contributes to the value of food potential implementation acorns as a new resource that can be exploited on an industrial scale for their use in animal feed in order to reduce the cost of importing corn - soybean system which has an increased economic problem for our country.

Our study focuses on determining the chemical composition before and after Hydrothermal treatments of three species of oak, edible, green oak and two fodder, cork oak and the Kermes oak.

In the light of the results obtained, it appears that the carbohydrate fractions of a share, represented particularly by starch (50, 95 % Dry Matter) and the other lipid (8,10% Dry Matter) are the most of the reserves of raw acorns of oak, cork and kermes.

The contents of mineral, protein and crude fiber are relatively low for the three species of oak, and are respectively 2, 79%, 7, 18% and 2, 59% of the Dry Matter.

Low tannin contents were identified (0.295% for green oak, 0,645 % for cork oak and 1.09% for kermes oak).

Hydrothermal treatments cause a decrease in protein levels and a decrease in their solubility. Similar observations were recorded for starch and fat.

Thus, the application of autoclaving seems to be well adapted to the detoxification of acorns, without causing serious losses in nutrients.

The objective would be to reduce this richness in anti-nutritional factors by hydrothermal treatments for improved and sustainable consumption or to proceed with the extraction of various toxic tannin fractions before feeding the animals.

Key words: Acorns of oak, Chemical composition, Hydrothermal treatments, Detoxification, Anti-nutritional factors.

مُلخَص

البلوط فاكهة لشجرة عملاقة و مقاومة تدعى بشجرة البلوط، تتواجد هذه الشجرة في البلدان المطلة على البحر الأبيض المتوسط نظرا لرطوبتها.

إن هذا العمل يركز على تحديد التركيبة الكيميائية قبل و بعد المعالجة الحرارية لثلاثة أنواع من البلوط واحدة صالحة للأكل البلوط الأخضر و الآخريين: شجرة الفلين و شجرة الكرميس المعروفة بعفويتها و توزيعها الجغرافي المهم. على ضوء النتائج المتحصل عليها تبين أن البلوط غني بالسكريات التي تمثل نسبة 50,95 % و بالمواد الدسمة التي تمثل نسبة 8,10 %.

كما أن كمية الأملاح المعدنية، البروتينات و الألياف ضعيفة بالنسبة للأنواع الثلاث من البلوط و التي تمثل بالترتيب 2,79%، 7,18% و 2,59%.

كما سمحت لنا معالجة المواد الحمضية بإظهار نوعين للحوامض المركزة و المخففة. تحديد كمية الحوامض أظهرت اختلافها حسب النوع النباتي و لكن أيضا حسب درجة نضج الفاكهة. من خلال دراستنا تبين تواجد هذه الحوامض بكمية معتبرة و تمثل 0,295 %، 0,645 % و 1,09 %.

تبين لنا من خلال دراستنا أن المعالجة الحرارية هي أحسن طريقة لمعالجة فاكهة البلوط بدون إلحاق الضرر بالمكونات الغذائية من أجل تحسين استهلاكها أو استخراج هذه السموم قبل أن نقدمها كغذاء للحيوان.

الكَلِمَاتُ الْمُفْتَا حِيَّة: البلوط، التركيبة الكيميائية، المعالجة الحرارية المائية، إزالة السموم، العوامل المضادة للتغذية.

Table des matières

Remerciements	
Dédicaces	
Résumé	
Abstract	
مُلَخَّص	
Table des matières	
Liste des abréviations	
Liste des équations	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Introduction générale.....	1

Revue bibliographique

Chapitre I: Répartition et identité de *Quercus Ilex*, *Quercus Suber* et *Quercus Coccifera*

I. Historique.....	3
II. Répartition géographique du chêne.....	3
II.1 Au monde.....	3
II.2 En Algérie.....	4
II.3 Production forestière.....	4
III. Présentation et répartition du chêne vert, du chêne Liège et du chêne Kermès.....	4
III.1 Chêne vert (<i>Quercus Ilex</i>).....	4
III.2 Le chêne liège (<i>Quercus Suber</i>).....	11
III.3 Le Chêne Kermès (<i>Quercus Coccifera</i>).....	15

Chapitre II: Données bibliographiques sur la composition chimique des glands de chêne

I. Étude du fruit de chêne « gland ».....	17
I.1 Morphologie.....	17
II. Composition chimique du gland.....	18
II.1 Humidité.....	18
II.2 Composés nutritionnels.....	18

Chapitre III: Les facteurs antinutritionnels

I. Généralités sur les facteurs antinutritionnels.....	29
I.1 Les analogues de nutriments.....	29
I.2 L'excès de nutriments.....	30
I.3 Inhibiteurs d'enzymes.....	30
I.4 Composés bloquant l'utilisation des nutriments.....	30
II. Les composés phénoliques.....	31
II.1 Différents types de composés phénoliques des glands de chênes.....	31
II.2 Réactions.....	33
II.3 Action des polyphénols.....	33
II.4 Techniques d'évaluation des polyphénols.....	34
I. Les tannins.....	35
I.1 Définition.....	35
I.2 Les tannins dans le chêne.....	35
I.3 Rôle des tannins.....	36
I.4 La structure chimique et les propriétés du tannin.....	37
II. Les phytates.....	53

II.1 Introduction.....	53
II.2 Rôle physiologique de l'acide phytique	53
II.3 La toxicité de l'acide phytique	54
II.4 Répartition de l'acide phytique chez les êtres vivants.....	55

Chapitre IV: Facteurs de variation de la composition chimique des glands de chêne

I. Introduction	56
I.1 Origine géographique.....	56
I.2 L'espèce	56
I.3 La croissance et maturité du gland	56
I.4 Conservation du gland	57
I.5 Conservation de la farine de gland	58
I.6 Variation de la composition chimique au cours du stockage.....	59
I.7 Traitements technologiques.....	59
I.8 Utilisation du gland.....	60

Étude expérimentale

Chapitre V: Matériel et Méthodes

I. Matériel biologique.....	62
I.1 Choix du matériel biologique.....	62
I.2 Collecte et stockage	62
II. Méthodes d'analyse	64
II.1 Teneur en eau	64
II.2 Dosage des matières azotées	65
II.3 Dosage des glucides	67
II.4 Dosage des lipides	70
II.5 Détermination de l'acidité grasse (NA 1182 / 1990).....	70
II.6 Dosage de la matière minérale	71
II.7 Dosage du phosphore.....	71
II.8 Dosage du calcium	71
II.9 Dosage du magnésium.....	72
II.10 Dosage de l'acide phytique	72
II.11 Dosage des phénols totaux.....	73
II.12 Dosage du tannin total	73
II.13 Dosage du tannin condensé (Test de vanilline avec H ₂ SO ₄)	73
II.14 Dosage du tannin hydrolysable (TH) au chlorure ferrique	74

Chapitre VI: Résultats et discussion

I. Composés nutritionnels.....	75
I.1 Teneur en eau	75
I.2 Teneurs en matières azotées des glands de chêne crus	77
I.3 Teneurs en fractions protéiques des glands de chêne crus	78
I.4 Teneur en matières azotées des glands de chêne traités	79
I.5 Teneur en fractions glucidiques des glands de chêne crus.....	81
I.6 Teneur en fractions glucidiques des glands de chêne traités.....	84
I.7 Étude microscopique de l'amidon de différentes espèces végétales	87
I.8 Teneur en matières grasses des glands de chênes crus	89
I.9 Teneur en matières grasses des glands de chêne traités.....	89
I.10 Évolution de l'acidité grasse au cours du stockage des glands de chêne crus	91
I.11 Teneur en acidité grasse des glands de chêne traités	91
I.12 Teneur de la matière minérale des glands de chêne crus	92

I.13 Teneur en matière minérale des glands de chêne traités	94
II. Composés antinutritionnels.....	95
II.1 Teneur en composés phénoliques des glands de chêne crus.....	95
II.2 Teneur en composés phénoliques des glands de chêne traités	98
II.3 Conclusion	100
Conclusion générale et perspective.....	102
Références bibliographiques	
Annexes	

Liste des figures

Figure 1. Répartition du chêne vert (<i>Quercus Ilex</i>) en Algérie	5
Figure 2. Gland de chêne vert de la région de Tessala (Sidi bel Abbés).	18
Figure 3. Gland de chêne liège de la région de Tessala (Sidi Bel Abbés).	18
Figure 4. Gland de chêne Kermès de la région de Tessala (Sidi Bel Abbés).	18
Figure 5. Les analogues des acides aminés.	30
Figure 6. Hydroquinone	32
Figure 7. Le pyrogallol.....	33
Figure 8. Les tannins condensés	38
Figure 9. La subdivision des tannins hydrolysables	39
Figure 10. Schéma résumant l'action des polyphénols dans l'organisme animal.	50
Figure 11. Farine de gland de chêne cru.	63
Figure 12. Farine de gland de chêne autoclavé.	63
Figure 13. Farine de gland de chêne cuit.	64
Figure 14. Teneurs en eau des différentes espèces de glands de chênes étudiées.	75
Figure 15. Teneurs en eau d'espèces de glands comestibles.....	75
Figure 16. Teneurs en eau d'espèces des glands chênes fourragers de différentes régions.	76
Figure 17. Teneurs comparatives en eau de quelques espèces végétales.....	77
Figure 18. Teneurs en protéines brutes et pures de glands de chênes étudiés.....	77
Figure 19. Relation entre le diamètre du chêne et la teneur en protéines.	78
Figure 20. Composition des fractions protéiques des glands de chênes étudiés, des céréales et des légumineuses. ...	79
Figure 21. Teneurs en protéines brutes et pures des glands de chêne vert, liège et kermès cuits et autoclavés.	80
Figure 22. Composition des fractions protéiques des glands de chêne vert, liège et kermès cuits et autoclavés.	81
Figure 23. Teneur en amidon des glands de chêne comparée à celles de différentes espèces végétales.....	82
Figure 24. Teneurs en saccharose des glands de chênes comparés à celles des céréales et des légumineuses.....	82
Figure 25. Teneurs en sucres réducteurs des glands de chênes comparées à celles des céréales et des légumineuses.....	83
Figure 26. Teneurs en cellulose des différentes espèces de glands de chênes.	84
Figure 27. Teneurs en amidon des glands de chêne vert, liège et kermès cuits et autoclavés.	84
Figure 28. Teneurs en cellulose des différentes espèces de glands de chênes cuits et autoclavés.....	86
Figure 29. Teneur en sucres réducteurs des différentes espèces de glands de chênes cuits et autoclavés.....	86
Figure 30. Teneurs en saccharose des différentes espèces de glands de chênes cuits.	87
Figure 31a. Observation microscopique des cristaux d'amidon du gland de chêne vert cru. (Gross. x 40).....	88
Figure 31à. Observation microscopique des cristaux d'amidon de gland de chêne vert traité. (Gross. x 40).....	88
Figure 31b. Observation microscopique des cristaux d'amidon de gland de chêne liège cru. (Gross. x 40).....	88
Figure 31b'. Observation microscopique des cristaux d'amidon de gland de chêne liège traité. (Gross. x 40).....	88
Figure 31c. Observation microscopique des cristaux d'amidon de gland de chêne kermès cru. (Gross. x 40).....	88
Figure 31c'. Observation microscopique des cristaux d'amidon de gland de chêne kermès traité. (Gross. x 40).....	88
Figure 31d. Observation microscopique des cristaux d'amidon de blé (Gross. x 40)	88
Figure 32. Teneurs en lipides des différentes espèces de glands de chênes.....	89

Figure 33. Teneurs en lipides des différentes espèces de glands de chênes cuits et autoclavés.	90
Figure 34. Évolution de l'acidité grasse de différentes farines de glands de chênes (en mg d'H ₂ SO ₄) pour 100 g de matière sèche).....	91
Figure 35. Détermination de l'acidité grasse des différentes espèces de glands de chênes traités (en mg d'H ₂ SO ₄ pour 100g de MS).	92
Figure 36. Teneurs en cendres des glands de chêne, des céréales et des légumineuses.	92
Figure 37. Teneur en calcium, phosphore, magnésium et acide phytique des différentes espèces végétales.....	94
Figure 38. Teneurs en matière minérale des différentes espèces de glands de chênes cuits et autoclavés.	95
Figure 39. Teneurs en acide phytique des glands de chênes étudiés.	96
Figure 40. Teneurs en phénols totaux, tannins condensés et tannins hydrolysables des glands de chênes étudiés.	97
Figure 41. Teneurs en acide phytique des différentes espèces de glands de chênes cuits et autoclavés.	98
Figure 42. Teneurs en phénols totaux, tannins totaux, tannins condensés et tannins hydrolysables des différentes espèces de glands de chênes cuits et autoclavés.....	99

Liste des tableaux

Tableau 1. Surfaces occupées par le chêne liège. Unités : 10 ³ ha.....	11
Tableau 2. Teneur en fractions glucidiques des glands de différentes espèces de chênes.....	20
Tableau 3. Teneurs en protéines brutes chez les glands de différentes espèces de chênes.	22
Tableau 4. Composition en aminoacides de la farine de glands en pourcentage de protéines de quelques espèces portugaises (comparaison avec la protéine de référence : protéine de l'œuf).....	23
Tableau 5. Teneurs en lipides chez différentes espèces de chênes.	25
Tableau 6. Teneur en acides gras essentiels des glands entiers de chêne vert et de chêne liège (en % de la MS).	25
Tableau 7. Teneurs en cendres des glands entiers de chêne vert et de chêne liège (en % de la MS).	26
Tableau 8. Teneurs en éléments minéraux des glands entiers de chêne vert et de chêne liège (en % de la MS).	27
Tableau 9. Composition chimique en vitamines de la farine du gland de chêne vert et de chêne liège en pourcentage de matière sèche	27
Tableau 10. Valeur nutritionnelle des GCL (Gland de chêne liège) et GCV (Gland de chêne vert)	28
Tableau 11. Détermination de la valeur énergétique de la farine de gland de chêne vert (G.C.V) et de chêne liège (G.C.L), (Kcal par 100g d'aliment).....	28
Tableau 12. Teneurs en tannin des glands de différentes espèces de chênes.	36
Tableau 13. Les différents types de tanins dans quelques espèces fourragères.	40
Tableau 14. Effet du tannin de différentes espèces de Quercus sur quelques animaux.....	52
Tableau 15. Teneur en acide phytique des produits céréaliers	55
Tableau 16. Composition chimique de quelques espèces de glands de chêne (en % de MS).....	56
Tableau 17. Proportions relatives de micro-organismes dans les aliments riches en amidon	58
Tableau 18. Tableau récapitulatif présentant les teneurs en composés nutritionnels et antinutritionnels des trois espèces de glands de chênes étudiés.	101

Liste des équations

Equation 1. Formule de calcul de la teneur en eau exprimée en (%) de MS.

Equation 2. Formule de calcul de la teneur en protéines exprimée en (%) de MS.

Equation 3. Formule de calcul de la teneur en amidon exprimée en (%) de MS.

Equation 4. Formule de calcul de la teneur en cellulose exprimée en (%) de MS.

Equation 5. Formule de calcul de la teneur en matière grasse exprimée en (%) de MS.

Equation 6. Formule de calcul de la teneur en acidité grasse exprimée en (%) de MS.

Equation 7. Formule de calcul de la teneur en cendres exprimée en (%) de MS.

Equation 8. Formule de calcul de la teneur en calcium exprimée en (%) de MS.

Equation 9. Formule de calcul de la teneur en magnésium exprimée en (%) de MS.

Equation 10. Formule de calcul de la teneur en phénols totaux exprimée en (%) de MS.

Equation 11. Formule de calcul de la teneur en tannins totaux exprimée en (%) de MS.

Equation 12. Formule de calcul de la teneur en tannins condensés exprimée en (%) de MS.

Equation 13. Formule de calcul de la teneur en tannins hydrolysables exprimée en (%) de MS.

Liste des abréviations

AFNOR	Association Française de Normalisation
CB	Cellulose brute
DO	Densité optique
ED	Eau distillée
<i>Eq</i>	Equation
G	Gramme
GCV	Glands de Chêne Vert
GCL	Glands de Chêne Liège
GCK	Glands de Chêne Kermès
INRA	Institut National de Recherche Agronomique
M	Molaire
Mn	Minute
ml	Millilitre
MS	Matière Sèche
N	Normalité
NA	Norme Algérienne
ppm	Partie par million
T	Tour
TCs	Tannins Condensés
THs	Tannins Hydrolysables
TTs	Tannins totaux
UF	Unité fourragère

Introduction générale

Introduction générale

En vue de mettre en évidence l'importance de la flore algérienne sur le plan économique dans le but de découvrir de nouvelles ressources alimentaires tant animales que végétales, qui peuvent contribuer de manière directe à la relance du secteur agricole, des travaux de recherche biochimique actuels convergent vers une valorisation des substances naturelles susceptibles de fournir des glucides, des lipides et des protéines.

De cette renaissance d'intérêt à l'égard des ressources floristiques en général et des produits forestiers en particulier, il nous est apparu intéressant de concevoir une nouvelle approche du gland de chêne de façon à mettre en valeur les possibilités de valorisation de ce fruit.

L'idée de mise en valeur du gland est apparue dans la plupart des pays possédant le chêne dans le but de tirer profit du potentiel alimentaire de sa pulpe à l'échelle de laboratoire et de l'industrie (Bouderoua, 1995), afin d'étudier la viabilité économique de la transformation du gland par sa conservation en farine comme aliment de bétail et l'obtention de l'huile comestible.

La riche flore Algérienne offre énormément de possibilités d'exploitation dans ce domaine. Les glands de chêne occupent une place prépondérante par l'importance de la superficie qu'ils recouvrent en Algérie, en particulier le chêne vert : *Quercus ilex* 354.000 ha, le chêne liège : *Quercus suber* 468.000 ha et le chêne kermès : *Quercus coccifera* 51.000 ha (Mara, 1978).

L'intensification fourragère constitue une préoccupation majeure pour les cultivateurs, ceci vient du fait qu'actuellement l'Algérie connaît un déficit dans la production fourragère et en aliment de bétail plus particulièrement. Elle consacre d'énormes efforts pour augmenter la production et beaucoup de ressources pour faire face à ce déficit par l'importation en qualité de matières premières destinées à l'industrie des aliments de bétail soit 209 646 \$, notamment les différents types de tourteaux de maïs, soja, et tournesol (Bessah et Touzi, 2001).

Si les potentialités forestières des chênaies sont diversifiées et occupent d'importantes superficies, leur mise en valeur et leur exploitation sont loin d'être rationnelles et satisfaisantes car il ressort des enquêtes que l'Algérie est encore loin de tirer la meilleure partie de ces chênaies (I.N.R.F, 1988). La culture du chêne en Algérie est nettement extensive mais l'intervention de l'homme ne se borne qu'à la récolte du liège.

Les recherches effectuées sur le fruit sont malheureusement peu nombreuses et la documentation scientifique ne se limite qu'à son stockage et à sa germination.

Le déficit en protéines dans l'alimentation de nombreux pays du tiers monde pousse la recherche à concentrer ses efforts sur la mise en évidence et la production des protéines à partir

des substances naturelles, sans sous-estimer toutefois l'intérêt des fractions glucidiques et lipidiques qui restent certainement les plus importantes (Benchaïb et Mahi, 1994).

En revanche, les besoins énergétiques assurés par les lipides et les glucides ne posent pas de problème vu qu'ils se trouvent dans les aliments d'origine animale aussi bien que dans ceux d'origine végétale à des pourcentages différents. Par contre les besoins protéiques restent le problème majeur vu leur importance pour la croissance et l'entretien de l'organisme (Hassine et Graia, 1996).

Pour lutter contre ce problème alimentaire, il est nécessaire d'enrichir l'alimentation par des protéines de la bonne valeur biologique à condition qu'elles soient à moindre coût.

Nous optons pour une solution intéressante qui consiste à exploiter le fruit d'un arbre qui occupe une place prépondérante par l'importance de la superficie qu'il recouvre c'est le cas du gland.

Le fruit du chêne appelé communément « Ballote » est très utilisé dans la fabrication du pain (dans certaines régions pauvres) ; et en alimentation animale.

Aliment énergétique de premier ordre, particulièrement riche en amidon, ce produit forestier renferme une proportion assez élevée en tannins ; principaux facteurs antinutritionnels en alimentation animale. Ces substances ont des effets principalement dirigés contre la digestibilité des protéines.

Notre travail consiste à déterminer les caractéristiques biochimiques de trois espèces de glands de chêne et à détoxifier ces fruits de chêne de leurs substances phénoliques par un traitement hydrothermique (cuisson et autoclavage), dans le but de leur incorporation dans l'alimentation humaine et animale. Il s'agit du chêne vert comestible et de deux espèces fourragères, le chêne liège et le chêne kermes.

Le choix de ces espèces est guidé par le double intérêt que présentent celles-ci. Ce sont des espèces spontanées et fourragères qui recouvrent une superficie importante en Algérie.

En outre elles sont riches en fractions glucidiques estimées à 47% et 11,3% pour les lipides et leur valeur biologique est semblable à celle des céréales (Ferreira et Vieira, 1966).

Revue bibliographique

Chapitre I

Répartition et identité de *Quercus ilex*,
Quercus suber et *Quercus coccifera*

I. Historique

La forêt de chêne « Quercus » en Algérie s'est implantée surtout du centre vers l'est grâce aux conditions climatiques très favorables (altitude, pluviométrie, température).

Cette forêt a subi de graves préjudices depuis la colonisation Romaine, l'Algérie a vu se succéder plusieurs civilisations, ces invasions fréquentes ont ravagé une bonne partie de sa forêt.

D'après Boudy, (1950) citant l'historien Ibn Khaldoun : « ce furent principalement les invasions du XIII^e siècle qui ramenèrent la Berbérie à la stérilité et l'on admet que l'étendue actuelle des subéraies algériennes représente à peine 40% de la forêt de jadis ».

Les peuplements purs prédominent avec une forte densité dans la région d'Akfadou. Malheureusement, servant de refuge aux maquisards, elle a subi de graves dommages pendant la guerre d'Algérie. Depuis l'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 qui ne se borne qu'à la récolte du liège et à l'utilisation du bois pour le chauffage ; Et de l'absence de régénération (Meziane, 1990).

II. Répartition géographique du chêne

II.1 Au monde

Le chêne (*Quercus*) occupe une place remarquable parmi tous les peuplements forestiers, avec 33% de la superficie mondiale boisée, soit près de la moitié des feuilles qui occupent 66% des massifs forestiers (Bouderoua, 1994).

En termes d'occupation du tapis végétal de notre planète, le chêne pousse surtout dans le bassin méditerranéen, Sicile, Italie, Sardaigne, Corse, Midi de la France, Espagne, Algérie, Tunisie, Maroc et Portugal où les conditions climatiques sont favorables à sa végétation (Altitude, Pluviométrie, Température).

En Asie, poussent exclusivement le *Quercus Semercaifolia*, *Quercus Lanata* S.M. et *Quercus Leucotrichiophora* Camus.

En Europe, on trouve du *Quercus Castanocfolia* C.A. Mey, *Quercus Pedunculata*, *Quercus Sessiliflora*, *Quercus Pubescens* Will et *Quercus Cerris* L.

Dans le bassin méditerranéen, où le chêne est très abondant, on trouve plusieurs espèces : *Quercus Ilex*, *Quercus Coccifera* L., *Quercus Suber* L., *Quercus Infectoria*, *Quercus Faginea* Lamk, *Quercus Fructicosa* Brot et *Quercus Pyrenaica* (C.N.R.S., 1975).

II.2 En Algérie

Selon Boudy, (1955), les chênes qui appartiennent à la famille des cupulifères et au genre chêne, comprennent en Afrique du Nord six espèces :

- | | | | |
|----------------|---|---|-----------------------|
| • Chêne Liège | } | ⇒ | Feuilles persistantes |
| • Chêne Vert | | | |
| • Chêne Kermès | | | |
| • Chêne Zéen | } | ⇒ | Feuilles caduques |
| • Chêne Afarés | | | |
| • Chêne Tauzin | | | |

Selon Belarouci, (1991), la carte forestière (Figure 1) montre l'énorme répartition actuelle des chênes, qui occupent une superficie de 1.062.000 ha répartie en :

- 643.000 ha de chêne liège (*Quercus Suber* L.).
- 354.000 ha de chêne vert (*Quercus Ilex*).
- 65.000 ha de chêne Kermès (*Quercus Coccifera*) et de chêne Afarés (*Quercus Afarés*).

La surface occupée est répartie sur la frange Nord, à partir des piémonts sud de l'Atlas Saharien.

II.3 Production forestière

La production algérienne est faible sur les 2.380.000 ha, de forêts domaniales, 1.600.000 ha sont constitués par les chênaies et les pinèdes sont caractérisés surtout par l'exploitation du liège allant jusqu'à 310.000 quintaux par an (Kaddik, 1986).

III. Présentation et répartition du chêne vert, du chêne Liège et du chêne Kermès

III.1 Chêne vert (*Quercus Ilex*)

III.1.1 Répartition géographique

III.1.1.1 Le chêne vert dans le monde

Espèce à vaste répartition. Le *Quercus Ilex* recouvre d'immenses territoires depuis la chine et l'Himalaya jusqu'en Grande Bretagne et aux confins du Sahara.

Il apparaît au Pliocène et au quaternaire à l'état fossile comme dans le midi et l'auvergne française, dans le désert libyen et au Sahara.

Ainsi, des formes très proches telles que le *Quercus Praeilex*, *Quercus Praecursor* et *Quercus Mediterranea* (considérés comme antécédents probables du *Quercus Ilex*) apparaissent au miocène moyen et au pliocène (Boudy, 1950).

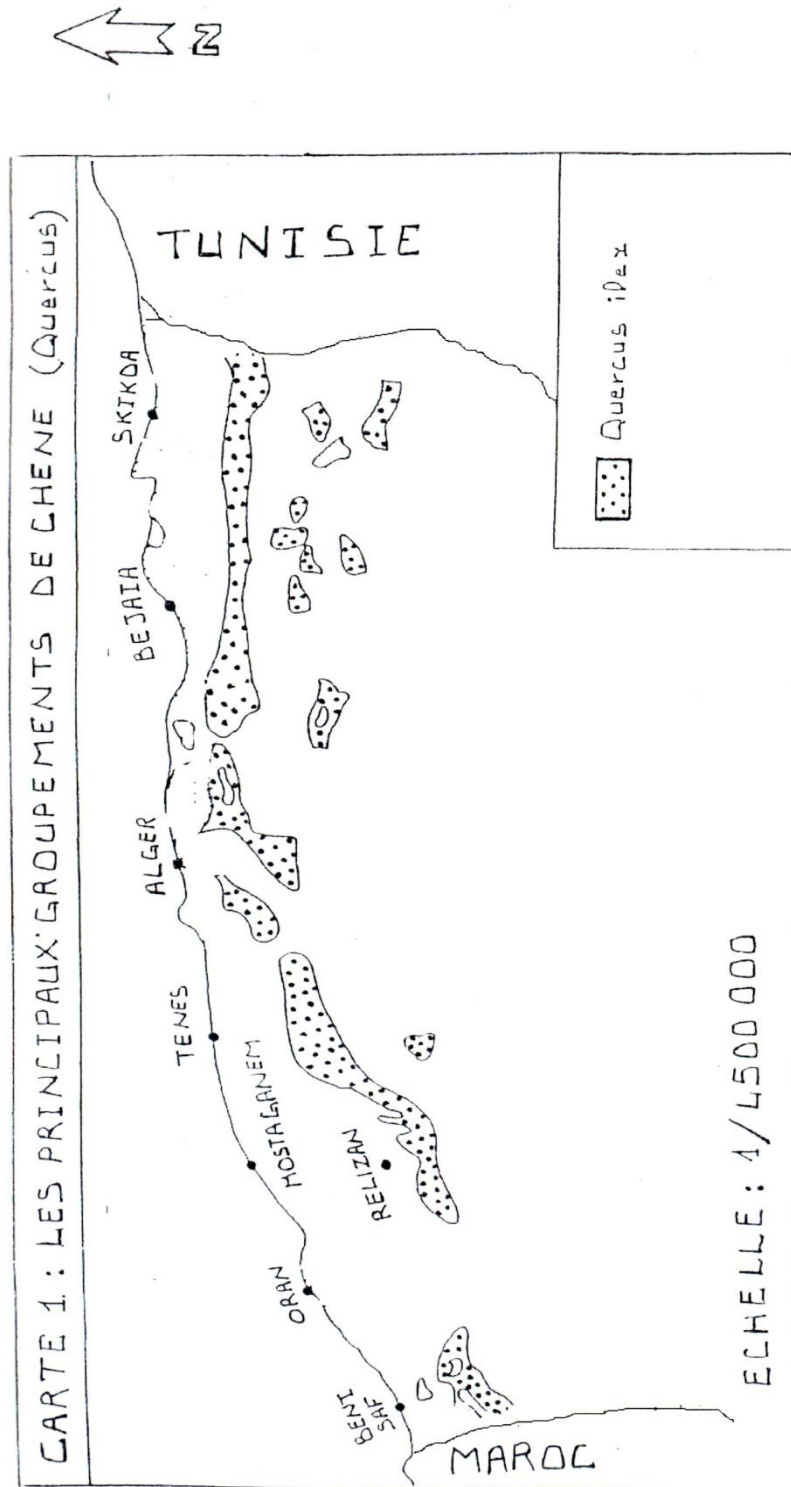


Figure 1. Répartition du chêne vert (*Quercus Ilex*) en Algérie (B.N.E.D.E.R, 1984).

III.1.1.2 Le chêne vert dans le bassin méditerranéen

Il est spontané dans le bassin méditerranéen. On le trouve au Portugal, l'Espagne, la France méridionale, l'Italie, la Grèce et en Macédoine, s'étendant jusqu'à la mer Adriatique de Yougoslavie puis apparaît sous forme de quelques peuplements discontinus au Proche-Orient pour reprendre et former le cercle au Maghreb où elle apparaît sous forme de matorral.

Par sa spontanéité et son abondance dans la région, le chêne vert est considéré comme espèce du circum méditerranéen. Néanmoins, une nette décroissance d'occupation d'Est en Ouest est à noter. En effet c'est en Espagne, l'Algérie et le Maroc qu'elle prospère le mieux occupant une grande partie du tapis végétal.

Boudy, (1950) donne d'ailleurs les surfaces d'occupation dans différents pays méditerranéens illustrant bien ainsi la répartition :

- Espagne 3000000 ha
- Afrique du Nord 2110000 ha
- France 380000 ha
- Italie 340000 ha

III.1.1.2.a Le chêne vert en Afrique du Nord

Selon Boudy, (1950), la superficie d'occupation est répartie comme suit :

- Maroc 1.346.000 ha
- Algérie 680.000 ha
- Tunisie 83.000 ha

➤ **Maroc**

Premier pays d'Afrique du Nord par sa superficie en chêne vert. Il possède de très importants boisements dans le moyen et le grand Atlas ; par ailleurs une large bande d'étend jusqu'à la côte atlantique.

Le *Quercus ilex* est aussi présent sur les massifs de la région orientale qui ne sont autres que le prolongement de ceux de Tlemcen (Algérie) (Belarbi, 2001).

➤ **Algérie**

Cette essence couvre des dizaines de milliers d'hectares, mais la plupart d'entre eux se trouvent dans un état tellement dégradé qu'il serait préférable de parler de matorral de chêne vert (Boudy, 1950).

Les plus importantes chênaies sont localisées en Oranie, dans les régions de Tiaret, Frenada et Saida avec les forêts de Solamas. Ces chênaies font suite aux vieilles futaies de la région de Tlemcen.

Les monts de Tlemcen correspondent à la zone forestière du chêne vert occidentale (Boudy, 1952). En effet, c'est dans la forêt de Slissen que s'arrête l'aire d'expansion du pin d'Alep et que commence la zone du chêne vert dominant. Il constitue d'importants massifs, allant de Sebdu à la frontière Algéro-marocaine.

En Kabylie, le chêne vert est toujours associé au chêne liège jusqu'à une altitude de 800 mètres.

Dans la partie Est, l'espèce se mélange souvent avec le pin d'Alep (*Pinus Halepensis*), et est présente dans toute la région forestière algéro-tunisienne, marquant les massifs de Belzma, Bou-Arifs, Sigag et l'ouest de Fedala. L'espèce se trouve le plus souvent à l'état de taillis dégradés en voie de régression comme dans la partie Est des Bibans et sur la chênaie de Hodna (Dahmani, 1984).

Dans l'Atlas Saharien, elle s'associe avec le pin d'Alep, tel que le massif de Djelfa, sous forme de taillis clairs et dégradés, dans les Monts d'Aflou, de Djebel Amour, les Monts de Ksour et Djebel Touiba à Aïn-Sefra (Boudy, 1950).

Actuellement, *Quercus Ilex* occupe la troisième place après le pin d'Alep et le chêne liège avec une superficie de 345000 ha (S.E.F.O.R., 1981).

En définitive si l'on compare les chiffres actuels et ceux donnés par Boudy (1950), on constate une diminution de 50 % des superficies d'occupation du chêne vert.

➤ Tunisie

Le chêne vert a un rôle très subordonné et se rencontre en sous-étage dans les forêts du pin d'Alep. Il est localisé à l'état pur sous forme de médiocres taillis sur la dorsale Tunisienne uniquement (Ouyahia, 1982).

III.1.2 Taxonomie et caractères botaniques

III.1.2.1 Taxonomie

La division systématique du chêne vert a donné lieu à des controverses dues à l'importance du polymorphisme sexuel chez le chêne vert.

La plupart des botanistes admettent cependant que c'est *Quercus Ilex* de variété *ballotta* que l'on trouve en Algérie.

Selon Dahmani, (1984), le chêne vert est classé de la manière suivante :

- Embranchement Trachéophytes
- S/embranchement Ptéropsides
- Classe Angiospermes
- S/classe Dicotylédones

-
- Ordre Fagales
 - Famille Fagaceae
 - Genre *Quercus*
 - S/genre *Sclérophyllodys*
 - Espèce *Ilex*, variété *ballotta*

III.1.2.2 Philologie

Suivant les pays dans lesquels on le trouve, le *Quercus ilex* prend les noms respectifs :

- « Encina » en Espagnol
- « Azenbeirra » en Portugais
- « Holm oak » en Anglais
- « Prinas » en Grec
- « Kerouch » en Berbère
- « Ballout » en Arabe
- « Steineïche » en Allemand
- « Leccio » en Italien

III.1.2.3 Caractères botaniques

Arbre toujours vert, vivace, de 25 à 30 mètres de hauteur pouvant atteindre plus de 1000 ans. La cime est arrondie, ample ; les branches sont obliques ou sinueuses. Les rameaux jeunes sont pubescents, à ramifications denses. Le chêne vert vit en symbiose avec les lichens. Vers 100 ans, il arrête de grandir, mais continue de grossir. Le jeune tronc possède une écorce lisse, vert pâle alors que les vieux troncs ont une écorce grise verte foncée à noirâtre, finement crevassée et riche en tannins (utilisés autrefois pour la teinture des filets de pêche). Le fût est tortueux, court, ramifié très tôt (Boudy, 1952).

Les feuilles de 2 à 7 cm, coriaces, vert foncé, et plus ou moins lustrées sur le dessus, ont un fin duvet blanc sur le dessous ; Leur aspect est variable sur le même individu, elles sont souvent à bords lisses, d'autres sont dentées, épineuses ou entières au sommet et dentées à la base, avec une certaine ressemblance avec celles du Houx (*Ilex*).

Persistantes, leur durée de vie est de quelques années, aussi leur chute est-elle compensée par de nouvelles venues au printemps, si bien que l'arbre est semper virens, toujours vert.

Les bourgeons sont petits, ovoïdes ou arrondis de couleur brun-marron et velus. Les bourgeons terminaux sont ciliés (Ouyahia, 1982).

Les fleurs femelles présentent un périanthe avec 3 à 5 divisions pubescentes et verdâtres. Elles apparaissent sur les rameaux après les fleurs mâles (Benyelles et Bezzou, 1993).

Le fruit sec est un akène appelé gland, comestible, ovoïde et glabre surmonté d'une pointe. Il fait 2 à 3 cm de long sur 1 à 1,5 centimètres de diamètre. Le gland est enchâssé dans une cupule couvrant le tiers ou la moitié de sa taille. Cette cupule est grisâtre et tomenteuse extérieurement avec présence d'écailles très rapprochées à l'intérieur. Elle est soyeuse.

La floraison a lieu en Avril-Mai, et il commence à fructifier en Juin-Juillet et donne une glandée en Octobre-Novembre à l'âge de 8 à 10 ans.

Néanmoins, les récoltes ne se font qu'entre 15 et 20 ans, moment où les glandées deviennent régulières et abondantes avec un minimum de temps situé entre 50 et 100 ans (Ouyahia, 1982).

III.1.3 Approche écologique du chêne vert

Le chêne vert est une espèce robuste qui s'accommode aux conditions écologiques les plus variées et est très plastique (Plaisance, 1978). On le trouve aussi bien dans le semi-aride que dans les étages humides et subhumides avec les variantes allant du froid au tempéré. L'altitude, les conditions climatiques, édaphiques, et biotiques représentent les facteurs écologiques les plus importants qui influent sur le chêne vert pouvant entraver son bon développement (Boudy, 1952).

III.1.4 Utilité et utilisation

En plus des avantages qu'apporte tout peuplement forestier, le chêne vert est fort intéressant par ses produits.

III.1.4.1 Bois

Le bois est extrêmement dur, compact et pesant, très résistant à la submersion et à la pourriture. Il fut très fonctionnel comme bois de machine et pour la tonnellerie. On peut l'utiliser avec profit pour les travaux hydrauliques. Sa densité est de 0,903 à 1,182 (Beauverie, 1905). À l'âge adulte sa couleur est homogène, brun-rosâtre clair.

Ces caractères donnent de belles marbrures au bois qui convient au charbonnage, à la menuiserie et aussi à l'ébénisterie car il est susceptible de prendre un beau poli.

Comme combustible, c'est l'un des meilleurs bois et son charbon a un grand pouvoir calorifique (4500 calories/Kg) (I.T.F., 1978).

III.1.4.2 Feuilles

Siège de la photosynthèse, elles assurent avec le sol, la nutrition des végétaux supérieurs par le biais de l'assimilation chlorophyllienne. Aussi l'un des avantages des feuillages est l'apport d'une litière abondante qui protège le sol de l'érosion hydrique et du lessivage intense. Les feuilles sont aussi distribuées fraîches à des caprins entraînés au pâturage sur parcours (Meuret, 1988).

III.1.4.3 Fruits

Le pâturage sous-yeuseraie était fortement pratiqué en Europe. Les glands nourrissent les troupeaux de cochons dont la chair était jugée excellente, et les meilleurs jambons proviennent des régions à chêne vert.

Par ailleurs, les glands de la variété chêne vert à glands doux sont comestibles par la population et font même l'objet d'un commerce non négligeable. En effet le prix du kilogramme peut atteindre la somme de 150 DA.

En Algérie, la farine de glands doux torréfiée, mêlée à la poudre de cacao donne le « racahout » apprécié par les populations. Les Turcs engraisaient leurs sultans avec le « palamoud », bouillie de farine de maïs additionnée de farine de glands, de chocolat et de sucre ; c'est dire les vertus nutritives de ce fruit injustement négligé (Jacquiot, 1938).

En outre, ils sont utilisés en Espagne pour faire des bouillies et des mélanges de cafés.

III.1.4.4 Ecorce

Elle peut contenir jusqu'à 20% en tannin sec (Ouyahia, 1982). Toutes les parties du chêne vert sont utilisées en pharmacopée comme astringentes, d'où l'emploi de décoction pour arrêter les cours du ventre « les hémorragies utérines » et pour soigner les plaies, la scrofule et les hémorroïdes (Plaisance, 1978).

III.1.5 Maladie du chêne vert

III.1.5.1 Le dépérissement du chêne vert

La Bupreste du chêne vert *Coreobus fasciatus vill* est un insecte qui se développe principalement chez le chêne vert. Les atteintes du ravageur se traduisent par le dépérissement et la mort des branches charpentières de l'arbre.

III.1.5.2 Lutte

La seule méthode efficace, praticable pour limiter la dispersion de l'insecte, est le repérage précoce des branches attaquées en Avril (avant émergence des adultes), leur section et leur destruction par le feu (Abgrall et Soutrenon, 1979).

III.2 Le chêne liège (*Quercus Suber*)

III.2.1 Répartition géographique

III.2.1.1 Dans le monde

On trouve le chêne liège en Afrique du Nord (pays du Maghreb). Il croit du Portugal à la côte Yougoslave. Il est originaire d'Europe méridionale (Fettouche, 1988).

L'aire mondiale du chêne liège se limite actuellement à 2.150.000 ha et 1.545.000 ha représentant plus des deux tiers en zone atlantique (Natividade, 1956). La production mondiale du liège brute peut être située dans un intervalle de 300.000 à 350.000 tonnes / an (Plaisance, 1978).

Les surfaces occupées par le chêne liège se répartissent au niveau des pays producteurs selon le tableau 1.

Tableau 1. Surfaces occupées par le chêne liège. Unités : 10³ ha (Salazar, 1988).

Pays	Ceduli, (1977)	Artigas, (1985)	F.A.O., (1958)
Algérie	480	475	459
Espagne	500	530	300
France	100	127	160
Italie	100	104	80
Maroc	400	375	Ind
Portugal	676	700	300
Tunisie	99	145	134
Total	2355	2456	1433

III.2.1.2 Dans le bassin méditerranéen

III.2.1.2.a Le chêne liège en Algérie

La surface totale des feuillettes en Afrique du Nord est de 3.869.000 ha, soit 56,3% de la surface totale de la végétation forestière principale. Le chêne liège représente 643.000 ha soit 21,8% et est en état d'équilibre instable et se maintient de justesse dans son aire.

En Algérie, la culture du chêne liège est extensive. Le chêne liège occupe aujourd'hui sur le littoral méditerranéen au Maghreb, une bande de 600 km qui s'étend d'Alger à Bizerte. De cette zone côtière dont la plus grande largeur ne dépasse guère 60-75 km, 450 km appartiennent

à l'Algérie depuis Alger jusqu'au Cap Roux, un peu à l'Est de la Calles ; le reste appartient à la Tunisie.

La carte forestière de l'Afrique du Nord montre la dispersion actuelle des subéraies de l'Algérie qui occupent quelques 439.000 ha répartis ainsi :

- Le Constantinois avec 391.000 ha.
- L'Algérois avec 41.000 ha.
- L'Oranie avec 7.000 ha.

C'est dans la partie orientale du territoire Algérien, mieux dotée au point de vue climatique que sont placés les peuplements, les meilleurs et les plus vastes (Zeraia, 1983).

III.2.2 Taxonomie et caractères botaniques

III.2.2.1 Taxonomie

Le chêne liège appartient à :

- | | |
|--------------------|-----------------|
| • Embranchement | Trachéophytes |
| • S/ embranchement | Ptérospidés |
| • Classe | Angiospermes |
| • S/ classe | Dicotylédones |
| • Ordre | Fagales |
| • Famille | Fagaceae |
| • Genre | Quercus |
| • S/genre | Sclérophylloïde |
| • Espèce | Suber L. |

III.2.2.2 Philologie

Le chêne liège est appelé différemment suivant les régions dans lesquelles on le trouve :

- « *Quercus suber* » en Latin.
- « Fernane » en Arabe.
- « Iggris » en Berbère.
- « Sobreiro » en Portugais.

III.2.2.3 Caractères botaniques

Le *Quercus suber* est un arbre de taille moyenne (10 à 20 m). Quand les conditions écologiques sont les plus favorables il peut atteindre 15 à 300 m de haut et le terme de sa longévité naturelle est de 300 ans (Fettouche, 1988).

C'est un arbre qui présente une écorce externe épaisse et molle restant la principale source mondiale de liège (Edlin et Nimmo, 1981).

Le chêne liège est un arbre à cime globuleuse présentant des feuilles dures de couleur vert foncé. Ce sont des feuilles persistantes et lustrées sur le dessus, recouvertes d'une pubescence blanche en dessous, à bords ondulés et à lobes peu profonds terminés en épines (Edlin et Nimmo, 1981). En Algérie, leur chute n'a presque jamais lieu simultanément de sorte qu'un même arbre n'est jamais dépouillé complètement (Belarbi, 1990).

La fructification chez le chêne liège est alternée, c'est-à-dire qu'une ou plusieurs années de disette ou de production réduite succèdent à une ou plusieurs années d'abondance.

Cette fructification alternée de la lente accumulation des réserves nécessaires au processus de reproduction (Belarbi, 1990).

La floraison est monoïque (mâles et femelles sur un même arbre mais distincts). La période de floraison est longue, les glands se forment pendant toute l'année. Ils mûrissent et tombent en Octobre à Janvier suivant l'altitude et l'exposition. Leur forme et leur dimension varient suivant les arbres, sous forme de cupule conique avec un enracinement puissant et pivotant (Belkaid et Bouchenak, 1993).

III.2.2.4 Approche écologique

Les conditions écologiques sont déterminées par le climat et le sol. Parmi les facteurs influant sur le développement du chêne liège : l'altitude, l'exposition, les conditions climatiques, les conditions édaphiques, ainsi que les conditions biotiques. Pour cette dernière, diverses maladies peuvent affecter le végétal dans son développement.

III.2.3 Utilité et utilisation

III.2.3.1 Bois d'œuvre

Le bois d'œuvre du chêne liège fût autrefois largement utilisé pour les constructions navales, mais aujourd'hui son application est plus restreinte se limitant à la fabrication des meubles, linteaux, marteaux de cheminées, outils agricoles rudimentaires et en papeterie (Belarbi, 2001).

III.2.3.2 Glands

Le gland du chêne liège est moins estimé que celui du chêne vert. Il est utilisé pour l'engraissement du bétail. On connaît quelques chênes lièges qui donnent des glands doux, plus appréciés par le bétail. Ils sont toutefois assez rares dans les subéraies du Portugal à l'inverse

de ce qui semble se produire dans les subéraies du Maroc et de l'Algérie, où parfois la population s'en nourrit.

Le gland sec est broyé, mélangé avec du son représente un bon aliment pour la volaille. On peut même en faire usage dans les produits médicaux et cosmétiques, en particulier (Natividade, 1956).

III.2.3.3 Usages médicaux anciens du liège

Tombé aujourd'hui dans l'oubli, le chêne liège a figuré au siècle passé dans la table de nombreuses matières médicales. Bien qu'il soit à peu près faibles en tannin, on lui reconnaît un pouvoir astringent. Autrefois c'était un remède estimé contre les hémorroïdes, contre la dysenterie et contre le flux immodéré des hémorroïdes (Natividade, 1956).

III.2.4 Maladies du chêne liège

III.2.4.1 Le dépérissement du chêne liège

Le chêne liège est soumis aux attaques des champignons et des insectes. Parmi celles des champignons, il y a surtout :

- La rouille orangée qui s'attaque surtout pour tuer l'arbre ;
- Le champignon *Xypoxylon mediterraneum* qui s'attaque surtout aux feuilles, entraînant la maladie dite du « charbon de la mère » ;
- Le polyphore, qui s'attaque à l'arbre déjà malade et entraîne la carie du bois ;

Parmi les insectes on trouve notamment :

- Le *Lymantria dispar* qui provoque une grave défloraison entraînant la mort de l'arbre (Djinnit, 1977).

III.2.4.2 Lutte

À l'heure actuelle, aucun moyen de lutte curatif direct n'est envisageable, il s'agira essentiellement d'une lutte préventive indirecte par des techniques sylvicoles.

D'abord contre les champignons, enlever et brûler les couches de liège de l'arbre attaqué. Il ne faut surtout pas oublier de désinfecter les instruments et à la limite couper et brûler l'arbre malade. Contre le *Lymantria dispar* utiliser le *Bacillus thuringiensis* dans la mesure du possible (Belkaid et Bouchenak, 1993).

III.3 Le Chêne Kermès (*Quercus Coccifera*)

III.3.1 Répartition géographique

Le chêne kermès est indigène dans le Sud de l'Europe. En Afrique du Nord et en Asie mineure où les conditions à son développement sont réunies, à savoir les milieux secs et ensoleillés et surtout les sols calcaires (Somon, 1988).

Sur les montagnes, il ne s'élève pas à une altitude importante. En France, il est commun dans le Roussillon et le Languedoc, la région littorale de Provence.

Il est assez rare dans les Alpes maritimes et ne dépasse pas vers le Nord la partie méridionale de la Drôme et de l'Ardèche où il est rare et vers le Nord- Ouest de Tarn et l'Aveyron (Gaston, 1987).

En Algérie, on le rencontre surtout en Oranie et les dunes littorales de Constantine (joue un rôle dans la fixation des sables), il est très souple au point de vue climatique, c'est une essence de plaine et de plateau ne dépassant jamais 1000 mètres d'altitude (Meziane, 1990).

Selon Boudy, (1955) le chêne kermès n'est pas à proprement parler un arbre forestier, son rôle est de garnir les sols les plus déshérités, il végète aussi bien sur des terrains siliqueux que sur des terrains calcaires.

III.3.2 Taxonomie et caractères botaniques

III.3.2.1 Taxonomie

Selon le Docteur Maire, (1961) la systématique du chêne kermès est assez complexe du fait de l'existence de très nombreuses sous espèces du *Quercus coccifera* :

- | | |
|-------------------|---------------|
| • Embranchement | Trachéophytes |
| • S/Embranchement | Ptérospidés |
| • Classe | Angiospermes |
| • S/classe | Fagales |
| • Famille | Fagaceae |
| • Genre | Quercus |
| • Espèce | Coccifera |

III.3.2.2 Philologie

Le chêne kermès (de l'Arabe « Algirmiz » passé au français par l'espagnol « Alkermès ») est à l'origine, le nom d'une coccinelle, insecte hémiptère dont la femelle est parasite du *Quercus coccifera* (le nom botanique de l'espèce signifie : Qu'il porte la coccinelle).

En Algérie, il est présent dans les différentes régions du Nord, sous diverses appellations telles que : « Kerrouch », « Kermès » et « Kechrit » (Somon, 1988).

III.3.2.3 Caractères botaniques

C'est un arbrisseau touffu et buissonnant dont la taille varie de 50cm à 3m de hauteur, pouvant parfois atteindre les 7 mètres. Il croit dans les endroits secs et pierreux, principalement dans la région méditerranéenne où ses fleurs jaunâtres apparaissent en Avril et en Mai, ses fruits ne sont mûrs qu'au mois d'Août de l'année suivante (Benyelles et Bezzou, 1993).

L'écorce que revêtent les jeunes rameaux est grise et lisse, celle de la tige est d'un brun-noirâtre, rude et finement crevassée.

Les feuilles à limbe ovale bordées de dents épineuses (rarement entières), à pétiole court, sont coriaces, sans poils, luisantes et d'un vert clair sur les deux faces et ces feuilles persistent pendant deux ou trois ans.

Les fruits sont isolés (rarement groupés par deux) sur des pédoncules courts. Ces glands sont allongés ou un peu globuleux et leurs cupules arrondies à la base sont couvertes d'écailles légèrement velues, rigides et presque aigus, étalées ou même recourbées (Somon, 1988).

III.3.3 Utilité et utilisation

III.3.3.1 Écorce

L'écorce est très riche en tanin, environ 11% à 16%. Celle de la racine jadis appelée garouille en donne jusqu'à 20 à 22% (Camus, 1954). De ce fait le chêne kermès est particulièrement recherché pour le tannage des cuirs.

III.3.3.2 Le bois

Le bois n'est guère utilisé que pour le chauffage (Camus, 1954).

Chapitre II

Données bibliographiques sur la composition chimique des glands de chêne

I. Étude du fruit de chêne « gland »

Le gland est un fruit de chêne, généralement monosperme (Murray et *al.*, 1965). Suivant l'espèce, sa forme et ses dimensions sont très variables. Sa maturation varie également considérablement à la fin du mois de septembre selon les espèces et le climat.

I.1 Morphologie

I.1.1 Le gland de chêne vert

Le gland de chêne vert est de forme ovoïde, sub-globuleux, articulé aux sommets, atténué ou arrondi, de couleur brun marron et strié longitudinalement. Il possède deux cotylédons enveloppés de deux membranes, l'une interne ou endocarpe et l'autre externe appelée encore péricarpe. Selon Maire, (1961) le chêne vert présente un gland doux et un peu sucré, souvent très allongé mais variable, c'est le cas de la variété Ballota (Figure 2).

I.1.2 Le gland de chêne liège

Le gland de chêne liège est un fruit sec indéhiscent appelé akène dont la base aplatie repose sur une petite cupule écailleuse et dont le sommet est terminé par un prolongement à pointe velue.

Selon Bucur et Muller, (1988), il possède deux cotylédons enveloppés par une membrane appelée péricarpe qui est formé de trois parties :

- Vers l'extérieur, un épiderme externe ou épicarpe.
- Vers l'intérieur, un épiderme interne appelé endocarpe.
- Entre les deux, le mésocarpe (Figure 3).

I.1.3 Le gland de chêne kermès

Le gland, assez gros, dont la cupule hémisphérique est couverte d'écailles allongées, aiguës étalées ou réfléchies, presque piquantes, tous ces caractères donnent au chêne kermès un visage bien typique, le différencient des autres chênes et de tous les arbrisseaux méditerranéens à feuilles persistantes (Somon, 1988) (Figure 4).



Figure 2. Gland de chêne vert de la région de Tessala (Sidi bel Abbés).



Figure 3. Gland de chêne liège de la région de Tessala (Sidi Bel Abbés).



Figure 4. Gland de chêne Kermès de la région de Tessala (Sidi Bel Abbés).

II. Composition chimique du gland

II.1 Humidité

Des travaux relativement anciens reconnaissent l'importance du dosage de l'eau dans les aliments (Camus, 1938 ; Hart et Fisher, 1971).

Les teneurs en eau des glands rapportées par Picollo et *al.*, (1983) et Leclercq et *al.*, (1984), font apparaître un taux d'humidité moyen de 40%. En outre, le gland doux décortiqué renferme une teneur faible de 36% par rapport à son équivalent amer de 41% (Natividade, 1955).

II.2 Composés nutritionnels

II.2.1 Glucides

Les glucides constituent le groupe le plus important des substances organiques entrant dans la composition chimique des végétaux.

Comme l'eau, ils sont indispensables à la vie végétale ; ainsi ils constituent des substances de réserve comme l'amidon. Ils entrent dans la composition des membranes et du cytoplasme sous forme de gommages de mucilage, de matières pectiques, de cellulose et aussi comme composants de métabolites fondamentaux qui entrent dans la constitution des acides nucléiques.

La composition glucidique des glands de chêne est généralement mal connue, ceci est dû au manque de la bibliographie. Jusqu'à un passé très récent, les chercheurs se sont contentés de déterminer la teneur en cellulose est quelquefois celle de l'amidon. Cependant, une meilleure connaissance des différentes fractions glucidiques des glands est nécessaire pour améliorer l'estimation de la valeur énergétique de ce fruit.

II.2.1.1 Teneur des glands de chêne en fractions glucidiques

II.2.1.1.a Teneur en Amidon

Selon les données de plusieurs auteurs Picollo et *al.*, (1983) ; Leclercq et *al.*, (1984) ; Kekos et Kaukios, (1985) ; Belarbi, (1990) ; Foudhil, (1990) ; Bouderoua, (1995); Aït Saada, (1997) et El mahi, (2005), il ressort que la farine de gland riche en amidon constitue un aliment énergétique par excellence. Ainsi, le gland du chêne vert demeure plus riche en amidon que son équivalent le chêne liège.

Les résultats du dosage des farines de différentes espèces de chênes ont révélé que les espèces françaises (*Quercus toza*) et indienne (*Quercus leucotrophora*) renferment le taux le plus élevé estimé respectivement à 60.08% (Goussein et Rouquette, 1949) et 60.01% (Barbero et Loisel, 1980).

Pour le chêne vert algérien (espèce comestible), sa valeur est inférieure à celle des espèces portugaises et françaises estimées respectivement à 50,3% (Ferreira et Vieira, 1966) et 52.5% (Goussein et Rouquette, 1949).

Pour le chêne liège (espèce fourragère), les résultats montrent que les espèces françaises, portugaises, espagnoles et marocaines renferment une teneur supérieure à la valeur de l'espèce algérienne et sont estimées respectivement à 55.1% (Goussein et Rouquette, 1949), 49.12% (Ferreira et Vieira, 1966), 47% (Vidal et Valera, 1967) et 45.65% (Afratane, 1990) (Tableau 2).

Tableau 2. Teneur en fractions glucidiques des glands de différentes espèces de chênes.

Pays	Populations	Fractions glucidiques					Références
		Amidon	Saccharose	Sucres réducteurs	Sucres totaux	Cellulose	
Algérie	Chêne vert	47,28	24,82	5,44	19,77	2,44	(El mahi, 2005)
	Chêne liège	42,93	17,66	6,26	17,00	2,52	
	Chêne Kermes	51,63	13,59	6,87	Ind	2,66	(Belarbi, 1990)
	Chêne Zeen	Ind	9,50	5,31	20,60	3,07	
France	Chêne vert	52,50	11,38	5,95	18,06	3,33	(Guaussein et Rouquette, 1949)
	Chêne liège	55,10	7,68	9,49	17,58	4,57	
	Chêne Kermes	52,50	11,96	7,36	19,80	2,50	
	Chêne Toza	60,08	4,00	7,51	11,90	2,40	
	Chêne Pubescent	57,80	5,68	9,16	15,40	2,49	
Portugal	Chêne vert	50,30	Ind	Ind	Ind	2,5–5,0	(Vidal et Valera, 1967)
	Chêne liège	49,12	Ind	Ind	Ind	2,50–5,0	
Amérique	Chêne Foige	52,00	Ind	Ind	Ind	Ind	(Guaussein et Rouquette, 1949)
Inde	Chêne Indien	60,01	Ind	Ind	Ind	Ind	(Barbero et Loisel, 1980)
	Chêne Kernel	Ind	Ind	Ind	Ind	9,34	(Pal <i>et al.</i> , 1972)
Maroc	Chêne Liège	45,65	Ind	1,39	Ind	Ind	(Afraitane, 1990)
Espagne	Chêne Liège	47,00	Ind	0,60	Ind	Ind	(Vidal et Valera, 1967)
	Chêne vert	Ind	Ind	Ind	Ind	6,20	(Luque et Murillo, 1971)

Ind : Indéterminé

II.2.1.1.b Teneur en saccharose

Les valeurs obtenues par certains auteurs (Tableau 2) montrent que les glands de chêne vert (espèce comestible) renferment le taux le plus élevé en saccharose d'où l'appréciation du consommateur qui le trouve assez doux.

Comparé aux glands de chêne vert français avec 11,60% (Guaussein et Rouquette, 1949), le chêne vert algérien présente des glands avec une teneur en saccharose nettement supérieure estimée à 18,08% (Belarbi, 1990).

Pour le chêne liège (espèce comestible), le taux de l'espèce algérienne est de 15,62% (Belarbi, 1990) et cette fraction est aussi supérieure à celle de la population française qui est estimée à 7,68% (Goussein et Rouquette, 1949).

II.2.1.1.c Teneur en sucres réducteurs (glucose)

Il a été vérifié que le taux en sucres réducteurs présents dans un fruit ou une graine varie avec les espèces d'un même genre mais aussi avec la climatologie du terrain (Afraitane, 1990).

D'autres facteurs liés au dosage paraissent avoir une influence sur les résultats finaux en sucres. Il est donc normal que les glands de diverses provenances présentent des teneurs variables en sucres. Comparées aux glands des chênes français, les valeurs des chênes algériens sont légèrement inférieures et renferment des teneurs faibles allant de 3 à 7% (Tableau 2). En revanche, le chêne kermès français présente un taux de sucres totaux important estimé à 19,80% (Goussein et Rouquette, 1949).

D'après Kekos et Kaukios, (1985), le glucose représente les 80% des sucres réducteurs.

II.2.1.1.d Teneur en cellulose

Les variations de la teneur en cellulose chez une population de chêne peuvent s'expliquer par des facteurs liés à l'espèce telle que l'âge. À cet effet, la moyenne des valeurs en cellulose des glands des espèces comestibles algériennes est inférieure à celles des populations françaises estimées à 3,33% (Goussein et Rouquette, 1949), des populations espagnoles 6,20% (Luque et Murillio, 1971) et des glands des populations portugaises estimées de 2,5 à 5,00% (Ferreira et Vieira, 1966). De même, la teneur en cellulose des espèces fourragères (chêne liège) est inférieure à celles des glands des populations françaises estimée à 4,57% (Goussein et Rouquette, 1949) et portugaises 2,5 à 5,00% (Ferreira et Vieira, 1966) (Tableau 2).

En général la teneur en cellulose brute ne dépasse guère 3% de la matière sèche (Bouderoua, 1995). Par ailleurs, Picollo et *al.*, (1983) rapportent que la farine de gland de chêne liège est relativement riche en hémicellulose et moins pourvue en lignine respectivement 14 à 19 % et 0,08 à 0,46 % de la matière cellulosique.

II.2.2 Matières azotées

Les glands sont généralement consommés au pied des arbres par le bétail et non cru par les hommes, ce qui constituerait un déséquilibre nutritionnel.

Il est donc apparu intéressant de citer les caractères qualitatifs et quantitatifs des protéines de glands et ceci pour une meilleure utilisation du gland dans des conditions nutritionnelles adéquates (Afraitane, 1990).

II.2.2.1 Teneur en protéines

Le dosage des protéines par la méthode de Kjeldahl des glands de différentes espèces de chênes algériens, français, espagnols, portugais, marocains, américains et indiens a révélé des teneurs qui varient entre 3 et 6%.

Pour le chêne vert (espèce comestible), la valeur de l'espèce algérienne s'avère plus élevée que les espèces espagnoles et portugaises, mais inférieur à la valeur de l'espèce française (Tableau 3).

Pour le chêne liège (espèce comestible), le taux de l'espèce algérienne diffère légèrement de ceux des espèces américaines (Booth et Bell, 1968), portugaises (Ferreira et Vierra, 1966), et française (Guaussein et Rouquette, 1949), alors qu'il est inférieur à celui des populations marocaines (Afraitane, 1990) (Tableau 3).

Pour le chêne kermès, l'espèce algérienne renferme une teneur légèrement supérieure à celle de l'espèce française estimée respectivement à 4,68% (Belarbi, 1990) et 3,66% (Guaussein et Rouquette, 1949).

Tableau 3. Teneurs en protéines brutes chez les glands de différentes espèces de chênes.

Pays	Populations	Protéines	Références
Algérie	Chêne vert	5,93	(Belarbi, 1990)
	Chêne liège	5,75	
	Chêne Kermes	4,68	(Belkaid et Bouchenak, 1993)
	Chêne Zeen	5,24	(Belarbi, 1990)
France	Chêne vert	6,21	(Guaussein et Rouquette, 1949)
	Chêne liège	4,17	
	Chêne Kermes	3,66	
	Chêne Tauzin	6,73	
	Chêne pubescent	4,90	
Portugal	Chêne vert	4,20–5,90	(Ferreira et Vieira, 1966)
	Chêne liège	4,20–5,90	
Amérique	Chêne rouge	5,62	(Booth et Bell, 1968)
	Chêne blanc	5,90	
	Chêne noir	5,90	
Inde	Chêne Kernel	5,18	(Barbero et Loisel, 1980)
	Chêne indien	4,93	
Maroc	Chêne liège	7,88	(Afraitane, 1990)
Espagne	Chêne vert	4,20	(Luque et Murillio, 1971)

II.2.2.2 Teneur en glands des acides aminés

La valeur nutritive de la protéine est déterminée par son équilibre en acides aminés essentiels. L'acide glutamique, aspartique, et l'arginine sont prépondérants et représentent respectivement 13,59 et 10,93 % et 9,93% des protéines totales ; alors que la méthionine est l'acide aminé limitant estimée à 2 % en moyenne (Picollo et *al.*, 1983). On remarque que la protéine de gland est moins riche en acides aminés essentiels que la protéine de l'œuf notamment en lysine (Tableau 4).

Tableau 4. Composition en aminoacides de la farine de glands en pourcentage de protéines de quelques espèces portugaises (comparaison avec la protéine de référence : protéine de l'œuf) (Picollo et *al.*, 1983).

Acides aminés	Farinia	Cerro	Rovere	Roverl	Lecciolla	Œuf
Lysine	3,47	3,97	3,14	3,53	3,58	6,5
Histidine	3,39	3,64	3,04	3,14	2,77	Ind
Arginine	13,59	12,64	12,42	14,15	12,71	Ind
Glutamate	13,51	13,22	12,92	13,67	12,07	Ind
Thréonine	3,37	2,84	2,54	2,60	2,96	5,1
Serine	3,33	3,36	2,51	2,73	3,13	Ind
Aspartate	10,93	9,57	9,88	10,14	11,46	6
Proline	5,17	4,54	4,20	4,25	4,13	Ind
Glycine	3,41	3,31	3,14	3,01	3,18	Ind
Alanine	5,47	5,80	5,33	4,94	4,80	Ind
Valine	6,23	6,93	6,15	5,93	6,74	7,3
Méthionine	2,08	2,25	1,68	1,58	1,61	3,2
Isoleucine	3,24	5,53	2,90	3,18	2,97	6,7
Leucine	6,63	7,09	6,09	6,37	6,37	8,9
Tyrosine	4,93	3,99	3,29	3,18	3,18	Ind
Phénylalanine	6,48	6,96	5,84	5,88	5,88	6,5
Cystine	Ind	Ind	Ind	Ind	Ind	6,5
*Tryptophane	Ind	Ind	Ind	Ind	Ind	5,1

*Le tryptophane est détruit par l'hydrolyse acide, mais il est déterminé séparément des autres acides aminés par hydrolyse alcaline.

II.2.2.3 Valeur biologique

La valeur protéique d'un aliment correspond à son aptitude à satisfaire les besoins du consommateur en azote et en acides aminés et à assurer une croissance et un entretien

convenable. Cette aptitude dépend de la teneur et la qualité des protéines ainsi la disponibilité des acides aminés (Cheftel et *al.*, 1992).

Une étude comparative a été faite et a permis de classer les protéines de gland de chêne vert par rapport à l'œuf, et a montré que cette espèce de chêne renferme une déficience en méthionine qui est le facteur limitant pour de nombreuses espèces végétales (Rao et Pernollet, 1981).

II.2.3 Les lipides

Les lipides alimentaires sont une source énergétique intéressante puisqu'ils contiennent pour un même poids de matière sèche 2,25 fois plus d'énergie brute que les glucides. En outre, ils renferment généralement une proportion assez élevée d'acides gras essentiels (acide linoléique) que l'organisme ne peut synthétiser, des vitamines liposolubles ou leurs précurseurs (vitamines A, D, E, K, Carotène) et des facteurs lipotropes (choline inositol). De plus les lipides peuvent jouer un rôle important dans l'appétibilité d'un aliment. Ils peuvent subir des transformations (hydrolyse, oxydations) modifiant ainsi les caractéristiques organoleptiques de l'aliment et abaissant son appétibilité. Ces transformations apparaissent surtout dans les produits conservés dans des conditions médiocres ou exposés à l'humidité et à l'air sous forme de farine alors que les lipides sont bien protégés à l'intérieur des graines.

II.2.3.1 Teneur en lipides et en acides gras

Le dosage des lipides des différents types de chênes algériens, français, espagnols, portugais, américains et indiens a révélé des résultats variables. Pour le chêne vert (espèce comestible), la valeur de l'espèce algérienne s'avère plus élevée que les espèces portugaises et américaines, mais inférieure aux valeurs des espèces françaises et espagnoles (Tableau 5). Pour le chêne liège (espèce fourragère), le taux de l'espèce algérienne diffère légèrement de ceux des espèces américaines et portugaises (Ferreira et Vieira, 1966), alors qu'il est inférieur à ceux des populations marocaines (Afratane, 1990) et espagnoles. Pour le chêne kermès, l'espèce algérienne renferme pratiquement la même teneur que l'espèce française estimée respectivement à 5,11% (Belkaid et Bouchenak, 1993) et 5,16% (Guaussein et Requette, 1949).

Tableau 5. Teneurs en lipides chez différentes espèces de chênes.

Pays	Populations	Teneur en lipides % de matières sèches	Références
Algérie	Chêne vert	7,25	(Foudhil, 1990)
	Chêne liège	4,94	(Belarbi, 1990)
	Chêne Kermes	5,05	(Belkaid et Bouchenak, 1993)
	Chêne Zeen	7,50	(Belarbi, 1990)
France	Chêne vert	8,22	(Guaussein et Requette, 1949)
	Chêne liège	5,77	
	Chêne Kermes	5,16	
	Chêne Tauzin	4,89	
Portugal	Chêne vert	4,90	(Ferreira et Vieira, 1966)
	Chêne liège	4,40	
Amérique	Chêne rouge	18,90	(Guaussein et Requette, 1949)
	Chêne blanc	4,30	(Booth et Bell, 1968)
	Chêne noir	17,90	
Inde	Chêne Kernel	6,78	(Barbero et Loisel, 1980)
	Chêne indien	4,45	
Maroc	Chêne liège	12,00	(Afraitane, 1990)
Espagne	Chêne vert	10,67	(Vidal et Valera, 1967)
	Chêne liège	13,00	

Le profil d'acides gras met en évidence une dominance des acides oléiques, linoléique et palmitique, respectivement (66,8% ; 13,5% et 18,4% de la M.G en moyenne) et uniquement 0,6% d'acide linoléique (Afraitane, 1990 et Belarbi, 1990) (Tableau 6).

Tableau 6. Teneur en acides gras essentiels des glands entiers de chêne vert et de chêne liège (en % de la MS).

Acides gras essentiels	<i>Quercus suber l.</i>	<i>Quercus ilex</i>	Maïs
C16. Acide palmatique	13,5	23,3	10 – 17
C18. Acide stéarique	2,5	Ind	1,3 – 3,5
C18.1. Acide oléique	67,9	65,7	27 – 35
C18.2. Acide linoléique	15,3	10,9	48 – 64
C18.3. Acide linoléique	0,6	Ind	0,6 – 2,7
Source	Belarbi, (1990)	Afraitane, (1990)	Wolf et <i>al.</i> , (1981)

Comparés au maïs les glands de chêne présentent des teneurs supérieures en acides gras essentiels, sauf pour l'acide linoléique ou le maïs les dépassent de loin (Wolf et *al.*, 1981). Une telle composition chimique des glands rappelle celle de l'huile d'olive ; ce qui devrait conférer

aux glands une haute qualité diététique en nutrition animale et humaine (Buron Arias, 1976 ; Afraitane, 1990 et Belarbi, 1990).

En résumé, les teneurs en matière grasse du gland de chêne rapportées par la littérature sont très variables de 4,5 % à 14,7 %. D'une façon générale le gland de chêne vert est plus riche en lipides totaux que celui du chêne liège. Les valeurs moyennes de production unitaire en huile du chêne vert et liège peuvent se calculer de la manière suivante :

	<u>Glands de chêne vert</u>	<u>Glands de chêne liège</u>
- Surface cultivée	472 441 ha	668 688 ha
- Production/ha	200 kg	100 kg
- Production totale	94 488,2 t	66 868,8 t
- Production en MS	47 244,1 t	33 440 t
- Production en huile	2 664,75 t	1285,4 t
- Production en farine	25 209 t	19 448 t

II.2.4 Matière minérale

Plusieurs auteurs s'accordent à dire que le gland de chêne renferme de faibles teneurs en cendre 2% de la MS en moyenne (Buron Arias, 1976) (Tableau 7).

Tableau 7. Teneurs en cendres des glands entiers de chêne vert et de chêne liège (en % de la MS).

Espèces	Cendres	Sources
<i>Quercus Ilex</i>	1,20	Feriera et Vieira, (1966)
	2,02	Picollo <i>et al.</i> , (1983)
	2,25	Afraitane, (1990)
	2,21	Foudhil, (1990)
	1,92	Belarbi, (1990)
	1,65	Bouderoua, (1995)
<i>Quecus Suber L.</i>	1,39	Feriera et Vieira, (1966)
	3,21	Afraitane, (1990)
	2,29	Foudhil, (1990)
	1,16	Belarbi, (1990)
Maïs	1,92	Larbier et Leclercq, (1992)

Le potassium est l'élément dominant dans le gland 1,01 % de la matière sèche en moyenne (Picollo *et al.*, 1983). Par contre, le calcium, le magnésium et le phosphore sont présents en

faible quantité. Ce qui confirme le cas général des produits végétaux (Vidal et Valera, 1969). Parmi les oligo-éléments, le fer et le manganèse sont prépondérants, avec 14,59 et 7,58 ppm en moyenne respectivement (Tableau 8).

Comparé au maïs, le gland renferme plus de calcium et de potassium, mais demeure pauvre en magnésium et phosphore (Picollo *et al.*, 1983).

Tableau 8. Teneurs en éléments minéraux des glands entiers de chêne vert et de chêne liège (en % de la MS).

Eléments minéraux	<i>Quercus Ilex</i>		<i>Quercus Suber L.</i>		Maïs			
		(%MS)		(PPM)		(%MS)		(%MS)
Ca	0,07	(%MS)	124,21	(PPM)	0,01	(%MS)	0,01	(%MS)
Mg	0,05	(%MS)	114,47	(PPM)	0,13	(%MS)	0,15	(%MS)
P	0,10	(%MS)	1251,83	(PPM)	0,31	(%MS)	0,31	(%MS)
Na	0,05	(%MS)	205,31	(PPM)	0,01	(%MS)	0,05	(%MS)
K	1,19	(%MS)	1684,76	(PPM)	0,38	(%MS)	0,38	(%MS)
Zn	11,49	(PPM)	2,09	(PPM)	Ind		29	(mg /kg)
Cu	6,76	(PPM)	1,67	(PPM)	Ind		03	(mg /kg)
Fe	24,6	(PPM)	4,57	(PPM)	Ind		30	(mg /kg)
Mn	13,24	(PPM)	1,92	(PPM)	Ind		04	(mg / kg)
Sources	Picollo <i>et al.</i> , (1983)		Afraitane, (1990)		Larbier et Leclercq, (1992)		Steven et Summers, (1991)	

II.2.5 Vitamines

Les vitamines sont présentes en faible quantité mais elles jouent un rôle important par leurs différents processus d'action (Tableau 9).

Foudhil, (1990) a observé que le gland est relativement pauvre en vitamine B1 et B2, comparé au maïs qui renferme 4,8 mg / kg de B1 et 1,4 mg / kg de B2.

Tableau 9. Composition chimique en vitamines de la farine du gland de chêne vert et de chêne liège en pourcentage de matière sèche (C.E.I.P., 1979).

Vitamines	Farine de gland de chêne vert	Farine du gland de chêne liège
	(%)	(%)
Vitamine B1	2,1	2,1
Vitamine B2	0,8	0,8
Vitamine B12	0	0

II.2.6 Valeur énergétique

Afraitane, (1990) rapporte que le gland constitue une source nutritionnelle intéressante pour les ruminants et la volaille. Le gland est un aliment énergétique vu sa richesse en amidon. Mais, il est pauvre en protéines et en vitamines. Certains auteurs Natividade, (1955) ; Lorthior, (1973) et Foudhil, (1990) ont tenté de déterminer la valeur nutritionnelle des glands de chêne (Tableau 10).

Tableau 10. Valeur nutritionnelle des GCL (Gland de chêne liège) et GCV (Gland de chêne vert) calculées par Natividade, (1956).

Espèce	UF / kg MS	MAD / kg MS
GCL entier	0,730	Ind
GCL pulpe	0,758	34
GCL écorce	0,667	Ind
GCV doux entier	0,740	Ind
GCV doux pulpe	0,841	27
GCV doux écorce	0,604	Ind

Foudhil, (1990) a tenté de déterminer la valeur énergétique des GCV et GCL. Pour cela, il a utilisé la méthode du Cance Witowson qui donne pour 1g de protides 4 Kcal, 1g de glucides 4 Kcal et 1g de lipides 9 Kcal (Tableau 11).

Tableau 11. Détermination de la valeur énergétique de la farine de gland de chêne vert (G.C.V) et de chêne liège (G.C.L), (Kcal par 100g d'aliment) (C.E.I.P., 1979).

Composants	Quantités en g pour 100 g de M.S.		Equivalent énergétique en Kcal	
	G.C.V	G.C.L	G.C.V	G.C.L
Protéines	6,6	9,0	26,4	36
Glucides	56,4	49,6	225,6	198,4
Lipides	11,8	3,2	106,2	28,8
Total	74,8	61,8	358,2	263,2

La valeur énergétique est élevée, elle est de 358,2 Kcal pour 100g de matière sèche pour les glands du chêne vert et de 263,2 Kcal pour 100g de matière sèche pour les glands du chêne liège. On remarque que cet apport énergétique, est surtout dû aux glucides et que la différence entre les deux espèces est due à la richesse du chêne vert en lipides.

Chapitre III

Les facteurs antinutritionnels

I. Généralités sur les facteurs antinutritionnels

L'animal dans son environnement est confronté à un monde de substances chimiques d'une incroyable complexité. Plus de 12.000 molécules sont connues chez les végétaux. Un certain nombre de substances dites allélochimiques sont composées d'éléments non nutritifs affectant la croissance, la santé, le comportement ou la biologie de l'espèce consommatrice. Ces substances peuvent se révéler toxiques pour certains organismes et comme source alimentaire pour d'autres organismes bien adaptés. Le problème d'identification de fraction toxique de chêne reste posé, une alternative a été utilisée pour découvrir si les constituants autres que les tannins étaient toxiques. Ces substances extraites ont été testées pour leur toxicité sur des rats après injections intra péritonéales.

Les résultats peuvent se résumer comme suit :

Substance	Dose maximale	Dose létale (mg/kg)
Acide ellagique	250	non toxique
Acide gallique	1600	non toxique
Quercitol	2000	non toxique
Quercitrine	250	non toxique
Tannin	1600	50
Alcaloïde non identifié	300	non toxique

La seule substance létale par injection intra péritonéale que peut contenir le gland est le tannin hydrolysable. Les autres constituants possèdent une toxicité insignifiante (Clarke et Cotchin, 1956).

I.1 Les analogues de nutriments

Un nutriment est métabolisé dans l'organisme par des complexes. Si une substance de structure voisine est ingérée par l'animal, elle peut interférer avec le métabolisme normal du nutriment.

Comme exemple : les analogues des acides aminés qui peuvent bloquer des réactions enzymatiques, ou entrer en compétition avec les acides aminés des protéines sur les sites de transport tel que la L-Dopa : Acide aminé de structure analogue à la tyrosine (Figure 5).

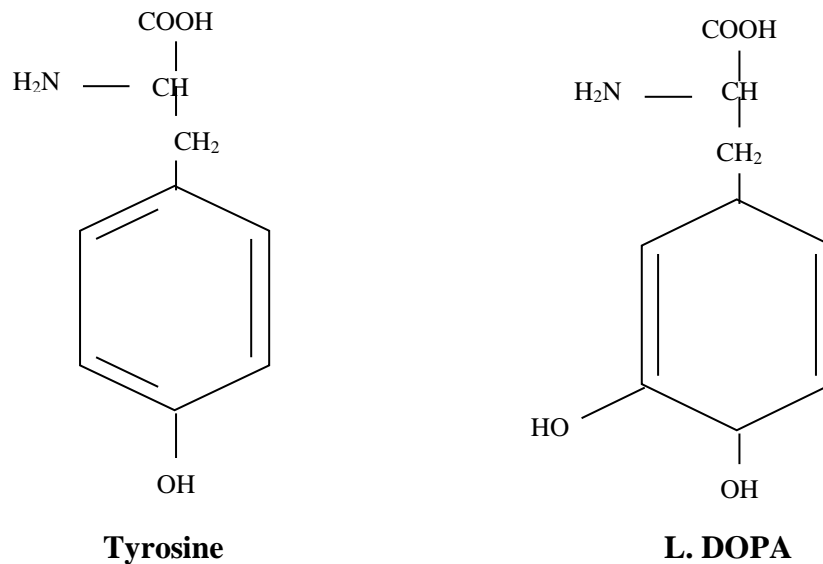


Figure 5. Les analogues des acides aminés (Multon, 1991).

I.2 L'excès de nutriments

Certains nutriments utiles à l'organisme se trouvent dans certaines plantes, ou tissus en concentrations si élevées qu'elles peuvent se révéler inhibitrices ou toxiques pour le consommateur tel est le cas de la méthionine.

I.3 Inhibiteurs d'enzymes

Certains composés inhibent l'action de la trypsine ou de la chymotrypsine in vitro comme le précise Zelter et Leroy, (1966) dans une revue bibliographique. Ils ont pu montrer que ces substances remarquablement résistantes à l'action de la pepsine réduisent le taux de vitesse de libération de certains acides aminés essentiels, notamment la méthionine facteur limitant de la qualité des protéines de graines de légumineuses.

I.4 Composés bloquant l'utilisation des nutriments

Différentes catégories de substances sont susceptibles de réduire l'efficacité de nutriments importants. C'est ainsi que la présence de tannins combinés aux protéines dans les végétaux réduit l'hydrolyse dans le tube digestif, à l'état libre, ces mêmes tannins peuvent conférer aux aliments un goût amer ou réagir avec les enzymes digestives, réduisant leurs activités et accroissant leur excrétion fécale (Multon, 1991).

II. Les composés phénoliques

Ils sont largement distribués dans les végétaux, ils ne sont pas directement impliqués dans un processus métabolique quelconque et ils sont donc considérés comme des métabolites secondaires. Ce sont principalement les acides phénoliques qui sont libres ou liés sous forme d'esters. Les flavonoïdes qui sont des dérivés du polyphénol monomères flavane 4-ol appelés aussi anthocyanidines et les tannins sont des polymères résultant de la condensation des flavanes 3-ol (Crevieu-Gabriel, 1999).

Dans le règne végétal, les phénols se forment lors de la pyrogénéation des goudrons de bois et de houille. La fonction phénolique est présente également dans le règne animal, souvent liée avec certaines molécules biologiques telles que la tyrosine, les stéroïdes et les estrogènes (Miocque et *al.*, 1986).

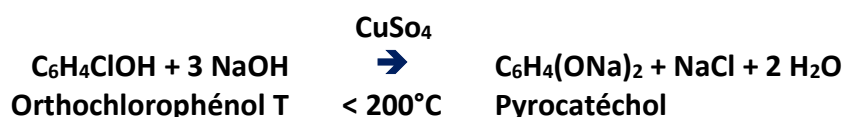
De nombreuses applications dans le domaine industriel ont permis de mettre en évidence le rôle des phénols comme matière première pour la fabrication de matières colorantes, résines artificielles, des médicaments, antiseptiques, détergents et insecticides.

II.1 Différents types de composés phénoliques des glands de chênes

Certaines recherches effectuées sur des animaux en particulier des bovins alimentés par des glands de chêne ont permis d'identifier dans les urines les composés phénoliques suivant : d'une part le pyrocatechol, résorcinol, hydroquinone qui sont des diphenols, d'autre part le pyrogallol, phloroglucinol qui sont des triphenols (Dessart et *al.*, 1985 ; Shi, 1997).

II.1.1 Pyrocatechol

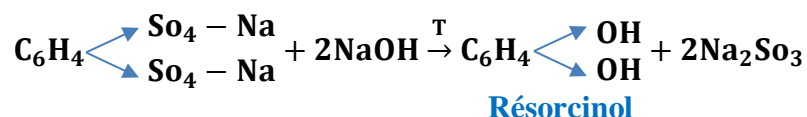
Le pyrocatechol (cathécol) est « l'orthodiphenol », il fond à 15°C et il donne une coloration verte avec la solution de chlorure ferrique. Il est obtenu par action d'une solution diluée de NaOH sur l'orthochlorophenol, à T° < 200°C en autoclave, la réaction étant catalysée par le sulfate cuivrique.



Le pyrocatechol étant réducteur, il est employé comme révélateur en photographie et comme produit de synthèse de substance à effet thérapeutique comme l'adrénaline.

II.1.2 Résorcinol

Le résorcinol ou résorcine est le « Métadiphenol » il fond à 110°C. Le résorcinol est obtenu par fusion alcaline du benzène disulfonate de sodium.



En présence d'une solution de chlorure ferrique, il donne une coloration violette. C'est une matière première pour la fabrication de colorants. Il est utilisé en dermatologie (Topique) et comme antiseptique léger.

II.1.3 Hydroquinone

L'hydroquinone ou l'hydroquinol est le « Paradiphénol ». Elle fond à 169°C, et elle est préparée industriellement par réduction de la quinone, obtenue par oxydation de l'aniline au moyen d'acide chronique ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 + \text{H}_2\text{SO}_4$). C'est une substance suite à son oxydation en quinone (Figure 6).

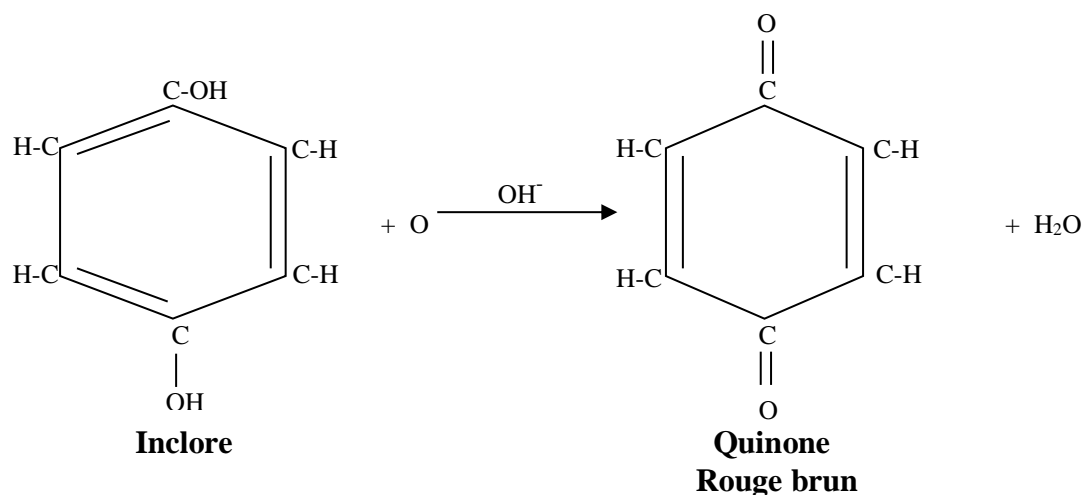


Figure 6. Hydroquinone (Dessart et *al.*, 1985).

On l'utilise comme révélateur en photographie et comme antioxydant, contre l'oxydation des huiles siccatives et les caoutchoucs par l'air. Ce sont les 3 diphénoles (ortho, méta, para) répondant à la formule $\text{C}_6\text{H}_4(\text{OH})_2$.

II.1.4 Le pyrogallol

Le pyrogallol ou Triphénol 1,2,3 est un solide cristallin fondant à 132°C. Il est préparé par décomposition thermique à 200°C et en présence de chaux, de l'acide gallique extrait de la noix de galle, il est très réducteur (Figure 7).

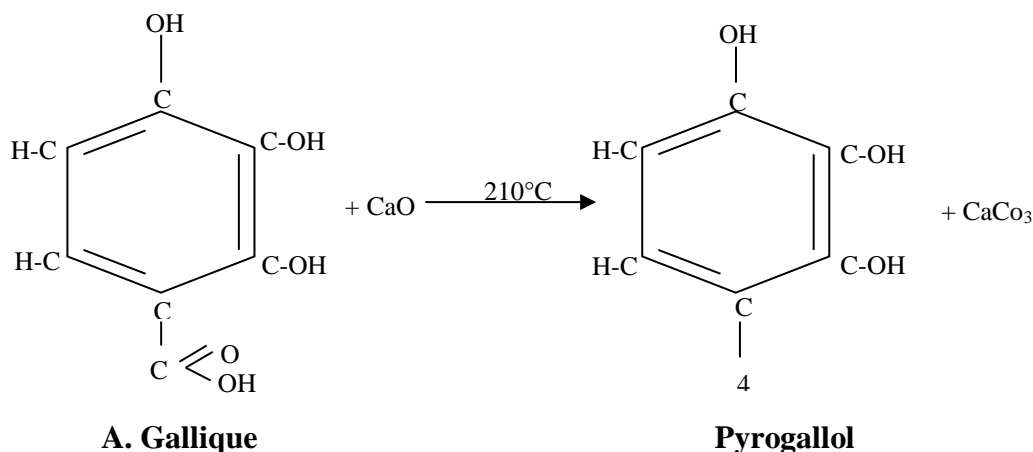
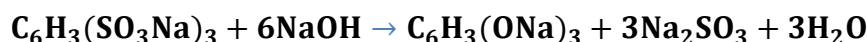


Figure 7. Le pyrogallol (Roux et Evelyn, 1958).

On l'utilise également dans les produits pour photographie et comme fixateur de l'oxygène présent dans un mélange gazeux.

II.1.5 Le Phloroglucinol

C'est le triphénol 1,2,3 employé comme colorant en papeterie. Il est obtenu par fusion alcaline du benzène trisulfonate de sodium.



Ce sont les 2 types de triphénols (le pyrogallol et le phloroglucinol).

II.2 Réactions

L'oxydation des phénols produit des quinones qui réagissent avec des groupes comme les aminés et sulphydryl pour produire des composés stables. Les phénols simples si bien que les polyphénols forment des associations réversibles faibles avec un certain nombre de substrats parmi lesquels la cellulose et les protéines avec une affinité qui est déterminée par la configuration et le poids moléculaire des phénols (Roux et Evelyn, 1958 ; Roux, 1963).

II.3 Action des polyphénols

Les polyphénols ont longtemps été considérés dans le monde occidental avec une certaine méfiance en alimentation (sauf dans le vin). Ils se révèlent aujourd'hui des auxiliaires inestimables pour le maintien de la bonne santé. On leur prête toutes sortes de qualités préventives en tant qu'antioxydant, anti-cariogènes, régulateurs de la flore intestinale grâce à leur activité contre les micro-organismes nuisibles (du type *Clostridium perfringens*). Ils jouent un rôle inhibiteur dans l'oxydation des LDL et en détruisant les radicaux libres d'oxygène,

interviendraient dans la phase d'initiation de certains cancers (en particulier le cancer du côlon) (Langley-Danysz, 1998). Les polyphénols ne seraient-ils pas une nouvelle panacée qui aurait raison de beaucoup de troubles et maladies causés par l'alimentation moderne ?

Deux propriétés principales sont reconnues sans hésitation aux polyphénols : un pouvoir antioxydant et le pouvoir microbicide. Les pouvoirs antioxydants du romarin et de sauge ont été reconnus comme quasi-équivalents à ceux des additifs BHT (Buthylhydroxytoluène) et du BHA (Buthylhydroxyanisol) pour la conservation des aliments. Ainsi que les polyphénols de thé vert, ont une action préventive sur l'oxydation des matières grasses insaturées comme le lard, les huiles en acides linoléique et linoléique (Wiseman et *al.*, 1997).

Tandis que le pouvoir microbicide des polyphénols a été principalement démontré dans le cas des caries dentaires et des infections des gencives (Mitsunage, 1999).

Les recherches sont très actives sur l'activité des polyphénols dans le maintien des défenses immunitaires par le biais de l'action antioxydante, ainsi que sur les effets de prévention contre certains cancers. Mais pour ces thèmes de recherches, les travaux sont encore au stade de laboratoire ou des premiers essais sur les animaux. Ils ne concernent pas encore l'action préventive d'une alimentation riche ou enrichie en polyphénols (Langley-Danysz, 1998).

II.4 Techniques d'évaluation des polyphénols

L'estimation spectrophotométrique est utilisée pour estimer les tannins des espèces fourragères. Cette méthode utilise le réactif de Folin Denis (Réduction phospho-Molibdate-Trungstate). Ainsi on mesure les phénols totaux mais le réactif réagit avec d'autres constituants de la plante comme, la xanthine, les acides aminés et les protéines (Lowry et *al.*, 1951).

Une modification plus spécifique basée sur une élimination sélective des phénols par le polymère insoluble polyvinyl pyrrolidone (polyclar AT) a été développée par Anderson et Todd, (1968).

Une méthode utile pour l'estimation des composés phénoliques simples, et des flavonoïdes dans des extraits végétaux, a été développée par Peri et Pompei, (1971). Cette méthode d'estimation inclue l'application du réactif Folin Ciocalteu à des fractions obtenues par la précipitation sélective des tannins avec le sulfate de cinchonine et des flavonoïdes avec formaldéhyde (Singleton et Rossi, 1965).

I. Les tannins

I.1 Définition

Les tannins sont des composés phénoliques hydrosolubles, qui entrent dans la texture des parois cellulaires. Ayant une masse moléculaire comprise entre 500 et 3000 ils présentent à côté des réactions classiques des phénols, la propriété de précipiter les alcaloïdes, la gélatine et d'autres protéines.

Les composés sont d'origine végétale, inodores et possèdent la propriété de tanner la peau. Ils sont répandus dans tout le règne végétal. Selon leur concentration dans un produit alimentaire, ils développent une note organoleptique positive (bière, vin) ou négative lorsque leur astringence et leur amertume deviennent excessives et donnent aussi une saveur particulière à certains tissus végétaux, le gland de chêne en est un exemple.

En effet, le noircissement qui s'observe parfois au niveau de la plupart des fruits, lorsque ceux-ci sont exposés à l'air, provient de la formation de composés pigmentés entre les tannins hydrolysables et des traces de fer (Cheftel, 1980).

Les tannins se rencontrent dans les feuilles, fruits, écorces et le bois de la plupart des chênes. Ils peuvent représenter jusqu'à 20% de la matière sèche (Scalbert et *al.*, 1988).

I.2 Les tannins dans le chêne

Le chêne offre parmi ses multiples produits, des tannins qui sont extraits en grande quantité dans les écorces et aussi au niveau du fruit mais à des quantités variables. D'autres suggestions affirment que les substances toxiques y compris celles qui sont produits dans les champignons existent dans le gland (Marion et *al.*, 1988).

De nombreux auteurs dont Ramos Ayerbe et *al.*, (1964) ont déterminé la teneur en tannins contenus dans les glands de différents chênes à des fins nutritionnelles.

Il ressort de l'examen de ces différentes recherches que le taux de tannins des glands est très variable : de 0,1 à 0,5 % pour les tannins des chênes espagnols et des chênes blanc américains, alors qu'il peut atteindre les 10% pour les glands du chêne noir américain. A ce moment il devient très toxique et mortel (Ramos Ayerbe et *al.*, 1964).

Certaines études ont montré que les glands de chênes algériens renferment une teneur en tannin assez importante qui varie entre 0,2 et 0,9% (Belkaid et Bouchennak, 1993) (Tableau 12).

La différence des teneurs pourrait être due aux conditions pédoclimatiques de la région, de l'espèce qui a fourni l'échantillon, de la maturité du gland, et aussi de la morphologie de la plante en particulier l'épaisseur ou le diamètre de l'arbre (Afraitane, 1990).

Parmi les plus affectés par l'intoxication aux tannins on trouve le bétail, et les chevaux. Sa période se situe le plus souvent au début de l'automne.

Les symptômes habituels du bétail se caractérisent par une atteinte de l'appareil digestif, une diminution de l'appétit, un gonflement abdominal avec douleur, une constipation légèrement associée à des gémissements, enfin une diarrhée sanglante noirâtre. L'animal présente alors un rein endommagé entraînant souvent la mort (Basden et Dalvi, 1987).

L'intoxication chez les chevaux est caractérisée par une mousse autour de la bouche avec perte de coordination.

Dans le passé, les glands utilisés pour l'engraissement des porcs pouvaient entraîner des intoxications. Consommés en quantité raisonnable le gland ne présente aucun danger (Belarbi, 1990).

Tableau 12. Teneurs en tannin des glands de différentes espèces de chênes.

Pays	Population	Teneurs en tannin (%)	Références
Algérie	Chêne vert	0,2003	(Belarbi, 1990)
	Chêne liège	0,4849	
	Chêne kermès	0,9522	
Espagne	Chêne vert	0,1 – 0,5	(Mazuelos Vela et al., 1967)
	Chêne liège	0,4600	
Maroc	Chêne liège	0,3300	(Afraitane, 1990)
Amérique	Chêne blanc	0,1 – 0,5	(Ofcarcik et Burns, 1971)
	Chêne noir	10	(Ferreira et Vieira, 1966).

I.3 Rôle des tannins

Les tannins sont des métabolites secondaires importants dans le règne végétal. Ils s'intègrent dans la défense des végétaux contre les herbivores, en particulier pour les plantes se développant dans les zones difficiles.

La structure chimique de ces polyphénols leur confère une capacité très développée à se fixer sur toutes sortes de molécules, essentiellement les protéines.

Les interactions faisant intervenir les différents types de liaison possibles sont dépendants de nombreux facteurs liés au milieu et à la structure des molécules réactantes. Ces aspects biochimiques permettent de se rendre compte de l'incidence et de la complexité des actions des tannins dans l'alimentation.

La principale conséquence chez les ruminants est une diminution de la dégradation des protéines alimentaires dans le rumen, mais aussi une perturbation des activités microbiennes (rumen, cæcum), une diminution de l'ingestion et même une toxicité (Zimmer et Cordesse, 1996).

Certains tannins sont utilisés pour mordancer la teinture d'étoffes, encoller le papier ou la soie et coaguler le caoutchouc.

L'aptitude des tannins à se combiner avec les macromolécules explique qu'ils précipitent la cellulose, la pectine et les protéines chez les animaux et les humains.

I.4 La structure chimique et les propriétés du tannin

I.4.1 Occurrence

Les études de dégradation chimique ont montré que la plante contenant les tannins a une structure complexe de polymère phénolique comportant des groupes d'hydroxydes phénoliques et aliphatiques et dans certains cas des groupes carboxyles (Haslam, 1966).

Les tannins regroupent seulement une partie des polyphénols présents dans les plantes. Forsyth, (1964) considère que les tannins se trouvent dans les vacuoles des cellules, mais Swain, (1965) a remis en question quelques-uns de ces tests cytochimiques.

La fonction exacte des tannins dans la plante n'est pas claire, bien que Suchorukow, (1958) considérait les tannins comme des agents d'oxydoréduction.

White, (1957) a soutenu que les vrais tannins se trouvent rarement dans les tissus activement métabolisant et considère que leur rôle était de protéger les parties vulnérables de la plante des attaques microbiennes ; la plante semble être capable de se protéger elle-même des concentrations élevées des phénols toxiques à travers l'utilisation de structures spécialisées comme le cas des glands de gossypol (Singleton et Kratzer, 1969).

I.4.2 Classification

Selon Cheftel, (1980) ; Scalbert et *al.*, (1988), les tannins peuvent être classés en deux groupes selon leurs structures :

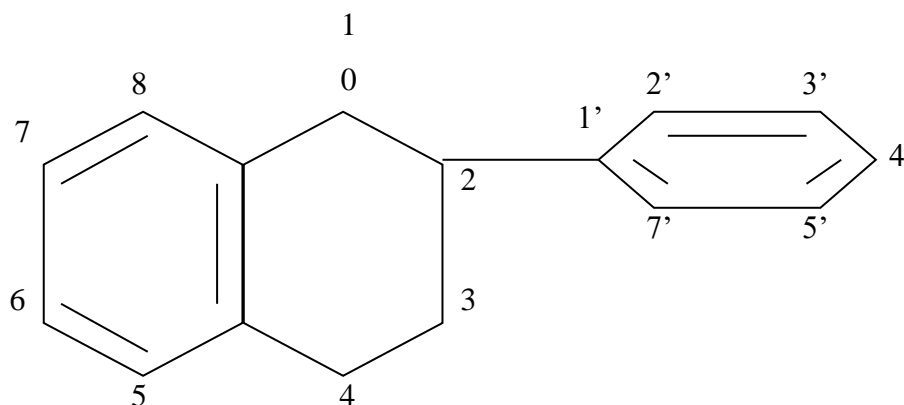
Les tannins condensés et les tanins hydrolysables. Cette classification est le plus largement acceptée jusqu'à présent.

I.4.2.1 Les tannins condensés (les tannins catéchiques)

Les tannins condensés, également appelés proanthocyanidines sont les plus anti-nutritionnels parmi les composés phénoliques ; dont la constitution chimique est très voisine de celle des anthocyanidols. Les tannins condensés, n'ont pas de noyau carboxyhydraté et sont généralement dérivés par condensation de précurseurs flavonoïdes (Figure 8).

Les tannins de plantes fourragères tel que « *Quercus Robur* » sont de types condensés. Ils sont généralement dérivés de leucoanthocyanides (Flavanediols 3,4) qui se trouvent habituellement dans la plante sous forme de glucosides (Haslam, 1966).

Les liaisons formées sont de type carbone ce qui rend ces molécules très difficilement hydrosolubles.



Le système saturé	Position 3	Position 4
Catéchins	-OH	=2H
Flavones	=2H	=O
Flavanols	-OH	=O
Le système insaturé		
Anthocyanides	-OH	-H
Flavones	-H	=O
Flavanols	-OH	=O

Figure 8. Les tannins condensés (Weings et al., 1968).

Les leucoanthocyanides, ainsi que les catéchines (Hydroxy-Flavanols 3) sont converties par des enzymes déshydrogénateurs, ou bien même par des acides minéraux très dilués à température ambiante en tannins flavonoïdes (tableau 13). Leur oxydation en milieu alcool-acide à chaud entraîne la formation de pigments anthocyanidines tels que vanidine et delphenidine (Weings et al., 1968).

I.4.2.2 Les tannins hydrolysables ou (pyrogalliques)

Les tannins hydrolysables ont un noyau central carboxyhydrate qui sert comme un polyalcool, auquel un certain nombre d'acides phénoliques carboxyliques sont lié par des liaisons esters. Selon Booth et *al.*, (1961), les tannins hydrolysables peuvent être subdivisés encore plus en « Gallotannins » et « Ellagitannins » selon le composant d'acides phénoliques carboxyliques. Pendant l'hydrolyse, les gallotannins produisent de l'acide gallique et les ellagitannins produisent de l'acide hexahydroxydiphénemique (Figure 9).

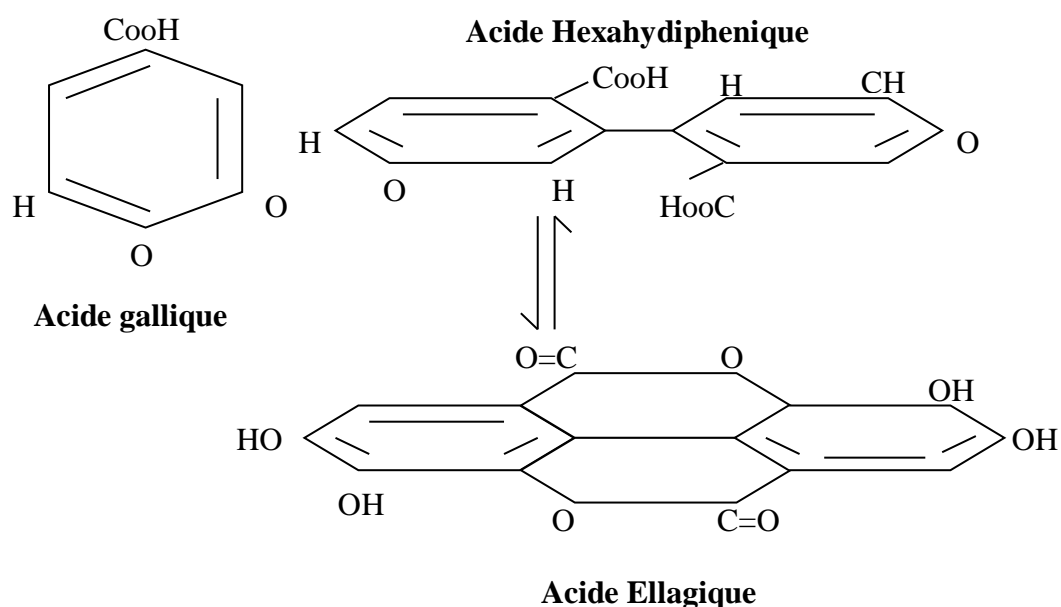


Figure 9. La subdivision des tannins hydrolysables (Weings et *al.*, 1968).

Les tannins hydrolysables se trouvent surtout dans les follicules de fruit et de galle de plante telle la noix de galle. Les tannins hydrolysables sont digérés par les animaux, alors que les tannins condensés ne le sont pas (Tableau 13).

La coexistence de ces deux types de tannins dans le même fruit ou dans le même tissu est constatée (Hillis, 1987 ; Scalbert et *al.*, 1988). En plus, ils confèrent aux composants de la plante une de leurs propriétés caractéristiques telle que la durabilité (Roux, 1963 ; Hillis, 1987; Scalbert et *al.*, 1988).

Tableau 13. Les différents types de tanins dans quelques espèces fourragères.

Source	Type de tannin
<i>Calluna Vulgaris</i>	Tannin condensé, polymère linéaire de leucocyanidine (Betts et Brown, 1967).
<i>Ceratonia Siliqua</i>	A : gousse verte
	Large quantité de tannin hydrolysable principalement gallotannin. Tannin condensé présent :
	Leucodelphinidine hautement polymérisés (Nachtom et Alumot, 1963 ; Joslyn et al., 1968).
	B : gousse mûre
	Trace de gallotannin, mais principalement leucodelphinidines condensées.
	C : feuilles
	Probablement leucodelphinidines polymérisées (Bate-Smith, 1954).
<i>Caronilla Varia</i>	Tannin condensé probablement dérive de leucodelphinidine et leucocyanidine (Burns et al., 1967).
<i>Desmodium Species</i>	Tannin condensés, probablement du leucocyanidines et leucodelphinidines polymérisés (Burns et al., 1967).
<i>Lespedeza cuneata</i>	Tannin condensés (PM 14000-20000) principalement dérivés de leucodelphinidines petites quantités de catéchines et leucocyanidines (Bell et al., 1965).
<i>Medicago sativa</i>	Catéchine tannin condensés et gallotannin (Millic et Stojanovic, 1972).
<i>Gnabrychis vicafoia</i>	Tannin condensés, probablement dérivés de leucodelphinidines et leucocyanidines (Osborn et al., 1971).
<i>Quercus robur</i>	Tannin hydrolysable (PM 1680) principalement type ellagique mais quelques gallotannins présents.
	Tannin condensés PM 6780 dérivés de catéchine (Feeny et Bostock, 1968).
<i>Grain Sorghum</i>	Tannin condensés qui réduit en flavone probable eriodictyol et anthocyanidine pelargonidine (Yasumatsu et al., 1965).

I.4.3 Biosynthèse des tannins

À présent, on pense que les tannins condensés sont formés par la polymérisation des leucoanthocyanides isolés, ou bien en conjonction avec d'autres flavonoïdes comme les catéchines.

Weinges et al., (1968) ont proposé la théorie selon laquelle le mécanisme de formation de tannin condensé consiste en la polymérisation primaire suivie par une condensation intermoléculaire catalysée par l'acide catéchique et leucoanthocyanides sans intervention d'enzymes.

I.4.4 Réactions

Les tannins naturels sont des agents réducteurs puissants et ont tendance à absorber de l'O₂ et surtout dans une solution alcaline pour former les produits d'oxydation fortement colorés (Schanderl, 1970).

La liaison hydrogène a été proposée comme étant le mécanisme le plus probable pour former les liaisons et qui explique avec satisfaction la réversibilité et la non spécificité du substrat (Shuttleworth et Cunningham, 1948 ; Russel et *al.*, 1968a ; Russel et *al.*, 1968b). Il a été trouvé que le tannin a une plus grande affinité pour les protéines que pour la cellulose. Cette forte affinité de liaison hydrogène des peptides a été observée à travers d'autres études comparatives sur la fixation des tannins par des substrats polypeptidiques (Freudenberg, 1921 ; Batzer et Weissenberger, 1952 ; Gustavson et Holm, 1952).

Les plus grands nombres de groupes phénoliques dans la molécule du tannin procurent plusieurs points d'attaches avec des opportunités stériques favorables pour des liaisons hydrogènes. Ces liaisons forment avec des peptides des chaînes de protéines adjacentes des complexes protéines tannins (Gustavson, 1954 ; White, 1957).

On pense que la protéine réagit réversiblement avec le tannin. La protéine a été retrouvée non dénaturée à partir de complexes protéines-tannins (Boguslawska-Jaworska, 1959). L'effet de la liaison hydrogène détermine la stabilité du complexe tannin-substrat et dépend de facteurs comme le nombre, le type et l'arrangement spatial de groupes de charge sur les molécules du tannin et sur les molécules du substrat (Russel et *al.*, 1968 b).

I.4.5 Poids moléculaire et réactivité

Russel et *al.*, (1968 b), présentent une « image dynamique de la liaison » dans laquelle les liaisons individuelles sont continuellement brisées et réformées d'une manière quelconque. L'augmentation dans la réactivité (les liaisons) implique aussi une augmentation dans la compatibilité spatiale entre les sites actifs sur le tannin adjacent et les surfaces des protéines. Ceci suggère que la taille moléculaire ou le poids moléculaire, ainsi que la configuration et le nombre de groupes réactifs déterminent la réactivité du tannin.

I.4.6 Méthodes d'analyses

Une difficulté majeure dans l'étude des tannins est la tendance de plusieurs phénols à s'oxyder durant la préparation de l'échantillon et pendant l'extraction (Boguslawska-Jaworska, 1959 ; Craft, 1961). Les méthodes conventionnelles de séchage des échantillons des espèces

fourragères dans des fours volontairement séchés, peuvent causer des changements oxydants dans le tannin (Goldstein et Swain, 1963).

Des rendements plus élevés de composés phénoliques ont été obtenus quand des agents réducteurs adéquats ont été ajoutés au solvant d'extraction (Khana et *al.*, 1968).

Bate-Smith, (1973) a montré qu'il était difficile d'extraire le tannin à partir des feuilles de certaines espèces d'herbes de légumineuses comme la « *Onobrychis Vicioefolia* », mais que cette extraction peut être améliorée par broyage plus fin.

Pridham, (1960) a décrit les méthodes d'isolation et d'identification des phénols de tannins dans des plantes.

- **La technique de filtration sur gel**

Elle consiste à séparer le tannin condensé (Somers, 1967), et le tannin hydrolysable (Seikel et Hillis, 1970).

- **La technique de HCL-Vanilline**

Elle permet de sélectionner les tannins condensés des plantes. Elle est utilisée à cause de sa sensibilité, sa spécificité et de sa simplicité, mais ce réactif détecte les flavonoïdes manométriques ainsi que les flavonoïdes polymériques (Goldstein et Swain, 1963).

- **Electrophorèse sur gel**

Elle est indiquée comme moyen pour confirmer la présence de polymère (Jones et *al.*, 1973).

L'analyse du tannin devient difficile sur les échantillons dont la teneur en tannin est faible.

Le choix des standards adéquats pour l'analyse du tannin est important à cause de la variation dans la réactivité molaire des composés phénoliques. N'importe quel composé phénolique peut être utilisé comme standard arbitraire, l'acide tannique a été choisi à cause de sa structure qui ressemble à celles des tannins naturels mais cela a été un mauvais choix parce que l'acide tannique est un mélange de 4 composés phénolique dont les proportions relatives varient selon les échantillons (Rosenblatt et Peluso, 1941).

La mesure de l'activité du tannin en question serait plus significative dans des investigations biologiques que l'estimation de la teneur en phénols totaux.

Schanderl, (1970) a suggéré la détermination du tannin actif comme étant la mesure significative d'astringence.

D'autres études plus poussées sont nécessaires pour développer les méthodes de mesure du tannin actif, bien que l'approche exacte ne soit pas encore évidente. Un raisonnement peut être obtenu à partir des études de la structure, la réactivité et l'activité biologique des phénols simples (Gubergrits et *al.*, 1969 ; Allinson et Osbourn, 1970).

I.4.7 Les propriétés biologiques des tannins

Les propriétés biologiques des tannins sont principalement le résultat de la possibilité du tannin à former des complexes avec les protéines.

I.4.7.1 Inhibition Enzymatique

Les activités de plusieurs systèmes enzymatiques sont inhibées par le tannin (Pridham, 1960), mais peuvent être considérablement augmentées par l'élimination des tannins par polyvinylpyrrolidone (Sanderson et Perera, 1966).

L'élimination des enzymes actifs des tissus des plantes contenant des tannins peut se faire par l'infiltration de la vacuole du tissu de la plante intacte par un précipitant phénolique adéquat avant l'homogénéisation afin d'empêcher la liaison du tannin avec des protéines d'enzyme pendant l'homogénéisation. Badran et Jones, (1965) ont examiné le polyvinyl pyrrolidone (P.V.P), le polyéthyléneglycol (P.E.G) et la gélatine comme étant des précipitants de tannins et ont montré que le P.E.G est le plus efficace pour l'extraction d'enzyme. Anderson et Todd, (1968) ont montré que de tels polymères sont efficaces sur des phénols de poids moléculaire faible comme par exemple l'acide chlorogénique.

La perte d'activité des enzymes durant l'extraction à partir des tissus de plantes contenant des phénols de poids moléculaire faible est évitée par l'utilisation d'agents réducteurs comme les thiols. D'autre part, d'autres substances sont efficaces pour empêcher les liaisons du tannin pendant l'extraction des protéines comme le Carbowax 4000, le sérum albumine, la nicotine et la caféine (Pirie, 1959).

L'inhibition enzymatique est causée par la formation de complexes entre le tannin et la protéine et de l'enzyme avec le substrat (Benoit et Starkey, 1968). Les cinétiques de réaction non compétitives ont été rapportées pour l'inhibition de la β -Glucosidase par l'acide tannique (Goldstein et Swain, 1963) et la trypsine ; α -amylase et la lipase par le tannin condensé (Tamir et Alumot, 1969).

Ces derniers auteurs, pensent que cette inhibition non compétitive est causée par la liaison non spécifique du tannin avec l'enzyme protéine. La résistance du complexe substrat avec le tannin à l'attaque de l'enzyme a été illustré par Feeny, (1969), qui a montré que la caséine était hydrolysée à 83% quand elle était incubée avec la trypsine mammalienne pendant 3h à pH 7,6 et $T^\circ = 26^\circ\text{C}$, mais le complexe de caséine avec du tannin de feuille de chêne était hydrolysé à 1% seulement. Cette observation est faite in vitro. Glick et Joslyn, (1970) montrent in vivo que les protéines de sources endogènes plutôt que la caséine diététique constituait la majorité des composés nitrogènes excrétés par des rats nourris à partir de tannins variés.

I.4.7.2 Inhibition microbienne

Quelques Micro-organismes peuvent tolérer de grandes concentrations de tannins et utiliser même leur carbone pour la croissance (Bavendamm, 1928 ; Basaraba, 1964). Le degré d'inhibition dépend du type de tannin et du micro-organisme (Basaraba, 1966 ; Hanis et *al.*, 1989).

Les tannins condensés ont un effet inhibiteur plus grand sur l'activité des enzymes et des micro-organismes que les tannins hydrolysables et les phénols à faibles poids moléculaires (Gustavson, 1956 ; Pridham, 1960 ; Feeny, 1969).

De par leur potentiel élevé pour l'oxydation les polyphénols de type ortho-hydroxyl et para-hydroxyl les tannins condensés ont une toxicité microbienne plus élevée que les polyphénols de type méta. Ceci est confirmé par l'inhibition marquée de la croissance microbienne par les phénols oxydés, les composés non oxydés n'exercent aucune inhibition (Lindenberg, 1949 ; Oku, 1960 ; Lyr, 1965).

Le potentiel d'oxydation ne peut être considéré comme une mesure parfaite de toxicité d'un composé, car l'inhibition est réduite avec l'oxydation progressive de tous les polyphénols (Lyr, 1965).

I.4.7.3 Les effets physiologiques sur les animaux

La plupart des investigations physiologiques des tannins ont été faites sur les non ruminants mais les résultats peuvent s'appliquer aux ruminants.

I.4.7.3.a Le phénomène d'astringence

Le tannin peut affecter la consommation de nourriture par un animal à travers son effet astringent dans la bouche (Bate-Smith, 1954 ; Joslyn et Goldstein, 1964).

L'astringence a été définie par Moncrieff, (1951), comme étant un goût contractant ou desséchant. Il est suggéré qu'il s'agit d'un sens du toucher plutôt qu'un goût réel à cause de la lubrification réduite résultant de la coagulation des protéines de la salive et de l'épithélium muqueux de la bouche (Bate-Smith, 1954).

Selon Berg et *al.*, (1955), le seuil de perception du tannin varie. La rétention du tannin aux sites récepteurs est responsable de la sensation de la membrane muqueuse orale (Kawamura et *al.*, 1969).

I.4.7.3.b La perméabilité de la membrane intestinale

Les sécrétions de l'appareil digestif contiennent des mucoprotéines qui réagissent avec le tannin (Mitjavila et *al.*, 1968). Tout tannin qui échappe à la réaction (Donc à la dégradation

dans la panse) peut réagir avec les protéines de la couche cellulaire externe de l'intestin et peut réduire le passage des nutriments à travers la membrane intestinale.

La Magnitude de la croissance dans la perméabilité dépend de la quantité du tannin pénétrant dans le tube digestif (Nekachaloo, 1959 ; Begovic, 1962 ; Hand et *al.*, 1966 ; Mitjavila et *al.*, 1970).

I.4.7.3.c La toxicité

Hong Buyung et *al.*, (1975) ont montré que les glands deviennent toxiques s'ils contiennent un taux en tannins dépassant 1%. Dans ce cas, on peut les détoxifier par extraction des tannins par de l'eau chaude. La grande taille moléculaire et sa réactivité conséquente empêchent son adsorption par la superficie digestive (Glick et Joslyn, 1970).

Les tannins hydrolysables peuvent être dégradés dans les intestins en composés phénoliques et en sucre (Kessler et Blumenberg, 1961), qui sont alors absorbés (Glick et Joslyn, 1970).

Les phénols absorbés sont d'habitude détoxiqués par conjugaison du groupe hydroxyle avec du gluconate ou des anions de sulfate, d'autres réactions comme l'hydroxylation et la méthylation sont possible selon l'espèce animale (Williams, 1959). L'O-méthylation est la méthode principale de détoxification de l'acide gallique chez les poules (Potter et Fuller, 1968), chez les rats et les lapins (Booth et *al.*, 1959). Les groupes de méthyles nécessaires pour cette réaction sont fournis par la choline et la méthionine. Booth et *al.*, (1961) ; Chang et Fuller, (1964) ont montré qu'elles peuvent réduire la toxicité de l'acide tannique, ce qui explique en partie l'augmentation des besoins de l'organisme pour ces aminoacides.

Les tannins condensés ne sont pas dégradés au cours de la digestion (Milic et Stovanovic, 1972) et il est improbable qu'ils passent à travers la paroi intestinale (Booth et Bell, 1968). La consommation d'une grande quantité de tannin condensé peut provoquer des gastrites et des irritations intestinales.

L'absorption du tannin provoque des dommages hépatiques (Arhelger et *al.*, 1965 ; Camp et *al.*, 1967) et rénaux (Fowler et Richards, 1965 ; Boler et *al.*, 1966), ces détériorations peuvent survenir si les mécanismes de détoxification sont inadéquats et l'absorption des composés phénoliques n'a pas été prise en considération.

I.4.7.3.d Tolérance au tannin

La tolérance aux tannins varie avec les différentes espèces animales. L'action serait plus nocive chez les monogastriques que chez les ruminants qui posséderaient dans le rumen une tannasse (Laurena et *al.*, 1984).

L'existence d'un mécanisme protecteur chez les animaux est clairement démontrée par la tolérance ou l'acceptation du tannin par voie buccale. L'injection dans les tissus de l'animal des doses similaires ou même plus petites du même tannin provoque un dérèglement dans le fonctionnement hépatique pouvant même entraîner la mort (Clarke et Cotchin, 1956 ; Langille et Mc Kee, 1968). Le type de toxicité dépend du type de tannin.

D'autres recherches ont montré que le tannin extrait du *Quercus havardi* provoque des signes toxiques sévères quand il est administré par voie buccale au lapin (Duncan, 1961). La même dose d'acide tannique injecté par voie sous cutanée au lapin provoque seulement un dérèglement temporaire du foie (Texl et Konecny, 1967). Aucun effet n'a été observé quand il s'agit du tannin extrait de *Quercus pedunculata* administré par voie buccale à des lapins à une dose légèrement inférieure (Clarke et Cotchin, 1956).

Les différents degrés de toxicité des différents tannins sont probablement expliqués par les différences dans leur taille moléculaire bien que ce ne soit pas une évidence suffisante pour soutenir ce concept. La haute toxicité des tannins extraits des espèces de *Quercus* correspond à leur poids moléculaire étant dans l'intervalle 500-3000 pour une réactivité optimale (White, 1957).

La tolérance au tannin varie selon les espèces d'animaux. Les rats sont plus résistants aux acides tanniques que les souris, parce que des doses 4 fois supérieures à celle administrées aux souris sont nécessaires pour produire des signes toxiques similaires chez les rats (Robbinson et Graessle, 1943).

Il apparaît que les ruminants tolèrent des niveaux relativement élevés de tannin variant de 0,5% à 0,6% (Herman et al., 1953 ; Hawkins, 1955). Un retard de croissance a été observé chez les poules nourries avec une composition d'aliments contenant 0,6% de tannins (Chang et Fuller, 1964). Aucun effet hostile n'a été rapporté là où des ruminants broutaient des forages contenant des quantités similaires de tannins. Aucun effet toxique à désordre nutritionnel n'a été observé chez du bétail nourri à partir de régime alimentaire contenant 5% d'acide tannique (Herman et al., 1953 ; Hawkins, 1955). Une diminution dans la consommation de la nourriture et de la croissance a été observée chez des rats alimentés à partir de régime alimentaire contenant 4% d'acide tannique (Glick et Joslyn, 1970) et chez des poules alimentées à partir d'un régime contenant 1% d'acide tannique (Chang et Fuller, 1964 ; Connor et al., 1969).

I.4.8 L'effet des tannins sur la qualité de la nourriture

I.4.8.1 Consommation volontaire

La présence du tannin dans un forage a été considérée comme affectant la consommation volontaire de nourriture (Donnelly, 1954). La signification exacte du tannin comme cause de consommation inférieure n'est pas encore connue. La consommation de matière sèche de foin par des veaux de six mois qui têtent encore leurs mères n'est pas significativement décroissante lorsque de l'acide tannique a été ajouté (Hawkins, 1955).

I.4.8.2 Digestibilité

Il est attendu que la digestion par le ruminant de la fibre et de la protéine d'un forage contenant du tannin diminue à cause de l'inhibition enzymatique par les tannins. Il a été montré que des plantes de *Lespedeza cuneata* contenant peu de tannin avaient une plus grande quantité de matière sèche digestible que celles qui contenait une grande quantité de tannins (Donnelly et Anthony, 1970). Cela pourrait être expliqué par l'inhibition de la cellulose en présence des extraits de tannins (Donnelly, 1954).

Certaines études montrent que les effets inhibiteurs de l'extrait de caroube sur la cellulose et la désamination sont liés au carbohydrate soluble et non à la fraction du tannin et l'activité protéolytique diminue significativement en présence de fraction tannique (Donnelly et Anthony, 1970).

La préférence du tannin pour les protéines explique la corrélation négative trouvée entre le contenu du tannin et la digestibilité des protéines (Hawkins, 1955). D'autres études plus tard ont confirmé que la présence de la protéine protégeait l'inhibition du système enzymatique cellulosique de la panse, malgré la présence des extraits de tannin de *Lespedeza cuneata* (Donnelly, 1954).

I.4.8.3 Protection protéique

Le ruminant utilise la protéine de régime plus efficacement si elle est protégée contre la désamination bactérienne dans la panse (Chalmers et al., 1954 ; Reis et Schinckel, 1961 ; McDonald, 1964 ; Horwood, 1970). La méthode proposée pour protéger la protéine par le moyen d'un traitement de chaleur a été trouvée non satisfaisante à cause d'une réduction dans la présence des acides aminés essentiels et en particulier la lysine. Comme alternative, les protéines doivent être protégées par un traitement au tannin (Leroy et al., 1964 ; Tagari et al., 1965 ; Zelter et Leroy, 1966).

Pour que la méthode soit un succès, Zelter, Leroy et Tissier, (1970) ont proposé que le complexe tannin-protéine doit être stable dans la panse, mais entièrement libéré par les enzymes protéolytiques dans le duodénum et ne doit pas réduire les activités métaboliques de la microflore de la panse.

Les tannins condensés sont considérés imparfaits parce qu'ils ne sont hydrolysés ni par les acides ni par les enzymes.

I.4.9 Effets antinutritionnels des tannins

Le principal intérêt des études *in vivo* et *in vitro* réside dans la compréhension des mécanismes d'action des tannins provoquant des effets néfastes sur l'organisme.

Bien que l'action des tannins condensés ne soit pas élucidée. Nous résumerons les principaux travaux en suivant le cheminement de ces composés dans l'organisme et leur devenir avec les aliments de la ration.

I.4.9.1 Au niveau buccal

Les premières interactions entre les tannins condensés (polyphénols) et les protéines se déclenchent au niveau de la bouche. Il en résulte un phénomène d'astringence qui découle de la formation de liaisons hydrogène entre les groupements ortho-diphenols des tannins et les protéines de la cavité buccale, ceci provoque une sensation de sécheresse au niveau de la bouche et un refus de l'aliment. Ce phénomène d'astringence induit une réponse des glandes parotides qui synthétisent davantage des protéines salivaires riches en proline constituant un important système de défense contre la toxicité des tannins (Osawa et *al.*, 1987 ; Robins et *al.*, 1987 ; Butler et Mole, 1988).

I.4.9.2 Au niveau du tractus digestif (estomac)

Au niveau stomacal, les tannins de la ration alimentaire se trouvent en contact avec les glycoprotéines des sécrétions, les protéines alimentaires et les protéases.

La formation des complexes polyphénols protéines (CPP) serait la cause de l'indisponibilité des aminoacides des protéines. En effet ces complexes ne sont pas dégradés aux pH physiologiques et seront excrétés, ce qui conduit à une réduction de l'azote absorbé (Mitjavila et *al.*, 1971 ; Bressani et *al.*, 1988 ; Deshpande et Damodaran, 1989).

In vitro, Griffiths, (1981) montre que la présence de tannins dans les téguments colorés tend à décroître la solubilité des protéines aussi bien pour les échantillons de pois que de féverole. Laurena et *al.*, (1984) montrent aussi que les tannins condensés du pois diminuent la digestibilité des protéines.

Les tannins forment des complexes non seulement avec les protéines de la ration alimentaire, mais ils peuvent également se combiner aux protéines enzymatiques du tractus digestif entraînant une baisse de leurs activités biologiques.

Singh, (1984) établie une bonne corrélation entre la concentration en polyphénols du pois chiche et l'inhibition de la trypsine et la chymotrypsine.

La réduction de la digestibilité des aliments s'expliquerait donc par l'action des tannins qui affectent les enzymes soit en réduisant leur solubilité par formation de complexes tannins-protéines enzymatiques soit en inhibant leur activité par blocage des sites actifs. Le mode d'association des polyphénols avec les protéines est donné dans la figure 10.

Les complexes qui résultent de la combinaison tannins protéines sont pratiquement insolubles aux pH physiologiques, ils sont résistants aux protéases digestives et sont éliminés au niveau des fèces, sans être dégradés.

Hernandez, (1979) montre chez les rats, l'existence de corrélation entre la richesse en tannins des variétés de haricot entrant dans le régime et la quantité d'azote excrétée. Les mêmes tests en alimentation humaine aboutissent à des tendances similaires mais moins marquées.

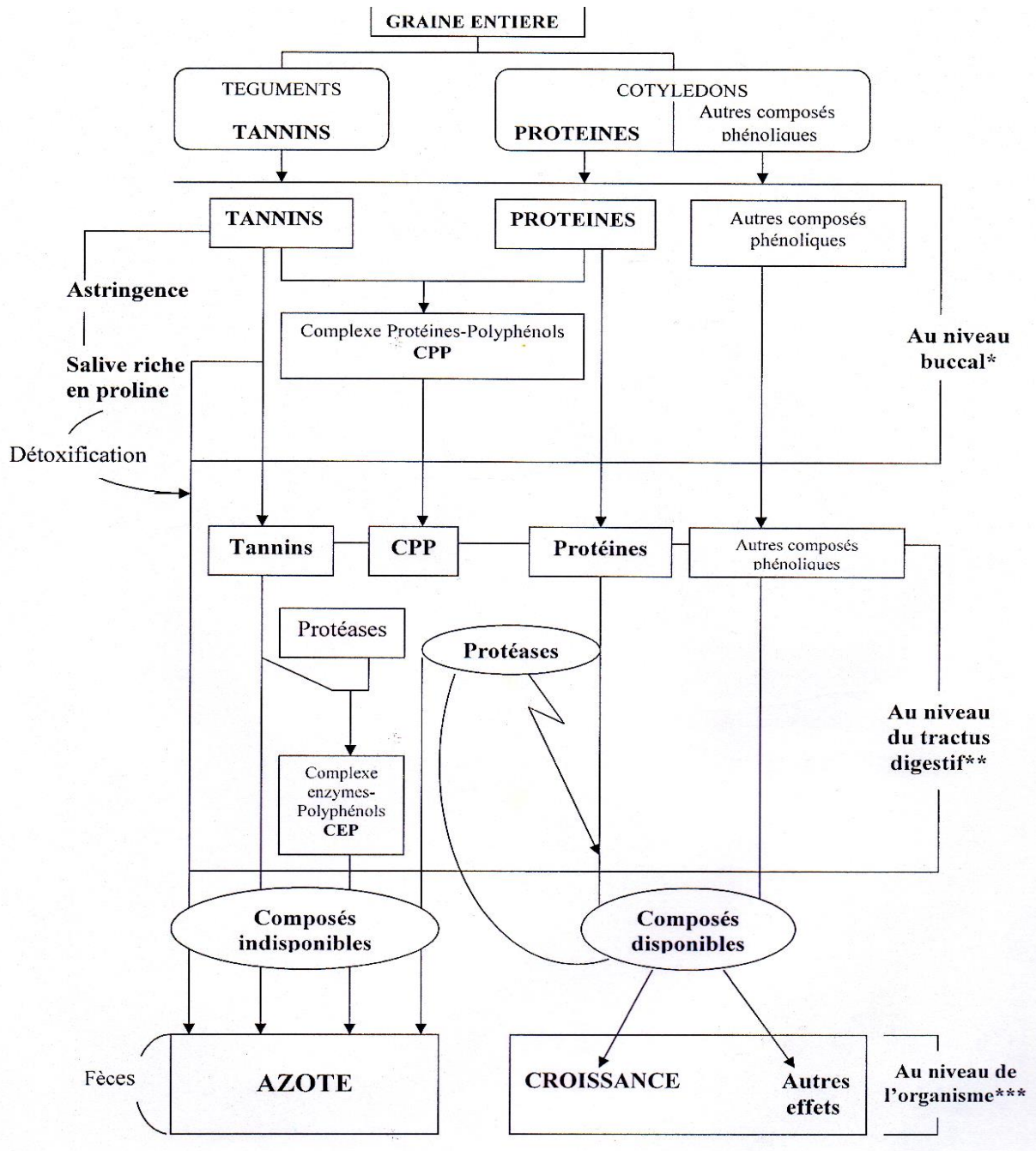


Figure 10. Schéma résumant l'action des polyphénols dans l'organisme animal.

* (Osawa et al., 1987 ; Robbins et al., 1987 ; Bulter et Mole, 1988).

** (Mitjavila et al., 1971 ; Despande et Damodra, 1989 ; Bressani et al., 1988).

*** (Horigome et al., 1988).

I.4.10 Étiologie de l’empoisonnement par les feuilles et glands de chêne

I.4.10.1 Étiologie

Les rapports d’empoisonnement du bétail et des moutons, des chevaux, ainsi que des porcs par les feuilles et les glands de chêne ont été rapportés par (Wiseman et Thompson, 1984 ; Holliman, 1985).

En grande Bretagne, l’année 1984 était caractérisée par un été chaud et sec avec une grande abondance de glands durant l’automne qui suit. L’empoisonnement est plus accentué dans de telles circonstances. Ces observations peuvent signifier qu’un autre facteur est associé à l’étiologie de l’empoisonnement des glands ou qu’une variation est survenue dans la concentration de leurs constituants toxiques (Warren et Vaughan, 1985).

I.4.10.2 Les constituants toxiques

Les feuilles et les glands de chêne contiennent de grandes quantités d’acide tannique et de petites quantités d’huiles volatiles. On considère que le taux élevé d’acide tannique est responsable de la toxicité.

I.4.10.3 Les effets cliniques

Des signes d’empoisonnement par les feuilles ou des glands de chêne peuvent ne pas apparaître pendant quelques jours après qu’ils aient été consommés. Les symptômes débutent par une lenteur et une anorexie avec cessation d’urination associées à une constipation, suivie plus tard d’une diarrhée persistante avec des passages fréquents de petites quantités de selles de couleur sombre contenant du sang. Il survient aussi une urination excessive, l’urine peut être de couleur sombre. Un liquide peut couler des yeux, du nez et de la bouche bien que le museau soit sec. En fin l’animal présente un rein endommagé (Cockrill et Beasley, 1979).

I.4.10.4 Les effets pathologiques

La panse est d’habitude normale (non atteinte), mais certains animaux peuvent développer une ulcération intestinale, ainsi que des œdèmes des parties inférieures du corps et des œdèmes pulmonaires. Il survient alors une pneumonie due à l’empoisonnement du bétail par les glands (Dixon et *al.*, 1979).

Holliman, (1985) déclare que le changement de base au niveau du rein chez le bétail et les moutons est une nécrose tubulaire et que les animaux ayant une quantité d’urine sanguine supérieure à 50 millimole/L mourraient plus tard (Tableau 14).

Tableau 14. Effet du tannin de différentes espèces de *Quercus* sur quelques animaux.

Source	Concentration et méthode d'administration	Effet sur l'animal
<i>Quercus havardi</i>	0,5 g / kg par mois	Hémorragie gastrique, nécrose hépatique (Camp et al., 1967).
<i>Quercus pedunculata</i>	0,3 g / kg par mois 0,1 g / kg intra péritonéale	Effet non observé sur le lapin meurt après 18h par une enflure du foie et du rein (Clarke et Cotchin, 1956).
<i>Quercus rubra</i>	NA* par mois	Cheval Signe de l'intoxication se développe dans 6 à 9 jours, dépressions et faiblesse associé douleur abdominale constipation et hématurie et œdème (Duccan, 1961).
<i>Quercus lobata</i>	NA* par mois	Mouton Diminution du poids, sérieuse lésions rénales (Fowler et Richards, 1965).
<i>Quercus lobata</i>	NA* par mois	Betail Faiblesse et perte de poids réduction de la mobilité, lésion rénale, mort après 21 J.(Fowler et Richards, 1965).
<i>Quercus pedunculata</i>	0,12 g / kg intra péritonéale	Veau âgé de 4 mois meurt après 24h dilatation de l'intestin avec faible quantité aqueux (Clarke et Cotchin, 1956).

NA*: La concentration de tannin n'est pas utilisable. Les concentrations de tannin reportées pour quelques espèces sont fournies comme guide.

I.4.10.5 Traitement

Le traitement recommandé consiste en l'administration de la paraffine ou de purgatifs oléagineux additionnés au lait qui se comporte comme un mucilage et un stimulant. Les purgatifs salés sont contre indiqués. Warren et Vaughan, (1985), suggèrent que les sucres et la levure boulangère devraient être administrés par voie orale dans une tentative de rétablir la flore normale de la panse.

Dollahite et al., (1966) montrent que l'administration simultanée d'hydroxyde de calcium empêche l'intoxication de veaux nourris de quantités létales de *Quercus havardi*. Ces résultats sont corroborés par Burns et al., (1967), qui ont montré l'effet protecteur de l'hydroxyde de calcium à une concentration de 0,16% dans la consommation d'eau potable ou de 5% dans la nourriture du lapin.

I.4.11 Conclusion

Les tannins ont une structure très complexe qui varie selon la structure chimique et leur activité biologique.

Les groupes phénoliques des tannins réagissent selon deux mécanismes :

- Irréversibilité du complément oxydatif.
- Irréversibilité de la liaison hydrogène.

La majorité des propriétés biologiques des molécules de tannins sont associée à la possibilité qu'elles forment des complexes réversibles avec des protéines par les liaisons hydrogènes. Certains groupes ionisés comme par exemple les groupes carboxyles présents dans les tannins hydrolysables peuvent renforcer ou affaiblir l'effet de la liaison hydrogène.

Les tannins des plantes sont toxiques pour les micro-organismes et les animaux. Cependant les tannins de fourrages n'ont pas un effet nuisible sur les ruminants qui broutent, bien qu'ils réduisent la digestibilité des protéines (Mc Leod, 1974).

II. Les phytates

II.1 Introduction

Ils constituent la forme de réserve du phosphore de la plante, représentent de 0,5% à 3,4% de la matière sèche des principales matières végétales utilisées en alimentation. On le dénomme l'inositol hexaphosphorique ($C_6 H_{18} O_{24} P_6$) (Crevieu-Gabriel, 1999).

L'acide phytique est une matière de réserve à la fois phosphorée et glucidique ; son taux diminue lors de la germination (Courtois et Perles, 1972).

Les phytates ont des propriétés chélatantes et forment des complexes avec les minéraux, mais aussi avec les protéines. La plupart des complexes phytates-métal sont insolubles au pH physiologique et rendent par conséquent plusieurs minéraux biologiquement indisponibles pour les animaux et les humains.

Les phytates ont un effet sur la protéase in vitro, cet effet pouvant être inhibiteur ou activateur (Deshpande et *al.*, 1986).

II.2 Rôle physiologique de l'acide phytique

L'action de l'acide phytique varie en fonction du sort qu'il lui est réservé dans le tube digestif. Chez les animaux qui ont la possibilité de l'hydrolyser, les ruminants par exemple qui ne peuvent pas les décomposer, tels les monogastriques, ces substances dépriment l'absorption de certains éléments minéraux, en formant avec les métaux bivalents des composés insolubles et inabsorbables, l'excès de phytates peut affecter aussi bien l'utilisation du calcium, du fer, du magnésium et du zinc, rendent ainsi carencé une ration paraissait être convenable (Boukhlet, 1992).

En milieu acide, l'acide phytique peut réagir directement avec les groupements des acides aminés basiques d'une protéine (arginine, histidine, lysine). La première réaction se développant dans le milieu stomacal entraîne une inhibition de l'hydrolyse pepsique des protéines alimentaires. Quel que soit le mécanisme exact en cause, il est responsable d'une digestibilité incertaine des protéines du fait des perturbations provoquées au niveau de l'estomac.

Ainsi, la diminution de la digestibilité azotée observée lors de la consommation de farines entières et de sons, pourrait résulter pour une part d'une réaction acide phytique - protéines alimentaires, et non pas seulement de l'abondance des glucides indigestibles. En ce qui concerne les cations alcalino-terreux (calcium, magnésium) on remarque qu'ils sont particulièrement affectés, on peut admettre que l'efficacité de ces cations est diminuée de moitié lorsqu'ils sont fixés sur l'acide phytique.

II.3 La toxicité de l'acide phytique

Cette toxicité de l'acide phytique se résume dans l'apparition de signes cliniques de carence en magnésium chez les animaux surchargés en acide phytique, les troubles étant résorbés par une augmentation du taux de magnésium dans la ration. Pour le calcium, l'indisponibilité de ce dernier à se lier à l'acide phytique se traduit toujours par une diminution de l'absorption intestinale et en conséquence, une réduction du degré de minéralisation du tissu osseux.

L'acide phytique bloque également des éléments comme le fer, ce qui entraîne une anémie hypochronique.

La toxicité s'observe aussi lors de la présence d'acide phytique dans une ration riche en métaux lourds toxiques, du fait que l'acide phytique n'entraîne jamais une diminution appréciable de la digestibilité ; au contraire, il est susceptible d'accroître l'absorption intestinale de certains éléments comme le cadmium et le fer lorsqu'ils sont ingérés à des concentrations élevées, tandis qu'il est sans effet sur d'autres comme le zinc et le cuivre (Lepen et Adrian, 1985).

L'acide phytique apparaît tantôt intensifier les phénomènes toxiques (cadmium, zinc), tantôt les réduire (plomb, étain) ; dans le premier cas, l'aggravation de l'intoxication se traduit par un retard de croissance des animaux, tandis que dans le second, le gain de poids se trouve restauré par une addition d'acide phytique dans l'alimentation. Ces variations du degré de toxicité sont en relation étroite avec le degré d'association entre l'acide phytique et le métal lourd, c'est-à-dire si leur affinité est faible, ils se dissocient dans l'organisme et ainsi, l'acide phytique sera un pourvoyeur d'éléments toxiques.

À l'inverse, si l'affinité est forte, le complexe n'est pas dissociable dans l'organisme et l'élément toxique - bien qu'absorbé - demeure « masqué » et sans efficacité biologique, donc sans réduire sa digestibilité, l'acide phytique entrave la disponibilité de l'élément toxique.

II.4 Répartition de l'acide phytique chez les êtres vivants

L'acide phytique est abondant dans les organes de réserves des végétaux, on le trouve dans beaucoup d'aliments d'origine végétale et il a été particulièrement étudié chez les céréales (Adrian et *al.*, 1981) (Tableau 15).

Tableau 15. Teneur en acide phytique des produits céréaliers (Adrian et *al.*, 1981).

Céréales (100 g MS)	Acide phytique (mg)
Mil pennisetum	725
Sorgho	920
Maïs	890
Orge	660
Blé	960
Riz	710
Seigle	870
Avoine	990
Sarrazin	1130
Son de blé	1150

Chapitre IV

Facteurs de variation de la composition chimique des glands de chêne

I. Introduction

Parmi les facteurs de variations les plus importants qui ont une influence remarquable sur la composition chimique du gland, on cite souvent la situation géographique, l'espèce, la date de récolte, le stade de développement, la méthode de conservation (durée et condition de stockage), et les traitements technologiques (le décorticage et la cuisson).

I.1 Origine géographique

Selon Lorthior, (1973), l'origine géographique modifie grandement la toxicité des glands.

I.2 L'espèce

Selon Manage-Wild, (1976), le gland de chêne le plus riche au plan nutritionnel provient de l'espèce *Quercus alba*, le plus consommé par les animaux sauvages. Celui-ci représente des teneurs relativement élevées en azote, cendres et hémicelluloses, mais une quantité faible de matières grasses.

Koenig et Heck, (1988) ; Koenig, (1990) ; Carter *et al.*, (1993) et Boudroua, (1995) confirment que la composition chimique des glands diffère d'une espèce à l'autre. (Tableau 16).

Tableau 16. Composition chimique de quelques espèces de glands de chêne (en % de MS).

Espèces de chêne	* <i>Quercus lobata</i>	** <i>Quercus agrifolia</i>	<i>Quercus rubra</i>	<i>Quercus alba</i>	<i>Quercus ilex</i>	<i>Quercus suber L.</i>
Protéines	2 – 5,5	7,1	4,9 – 8,3	4,6 – 7,3	5,31	5,24
Lipides	9,7 – 5,6	16,8 – 24,3	14,0 – 23,0	5,8 – 8,8	8,98	6,69
Glucides	75,6	55,1	Ind	Ind	45,47 (Amidon)	33,47 (Amidon)
Cendres	1,9	0,7	Ind	Ind	1,65	1,39
Cellulose	3,0	3	Ind	Ind	3,60	3,39
Tannins	10,87 10,85	15,84 20,27	13	3,3	8,95	9,91
Sources	*Koenig, (1990) **Koenig et Heck, (1988)		Carter <i>et al.</i> , (1993)		Boudroua, (1995)	

I.3 La croissance et maturité du gland

Pour toutes les espèces, c'est durant la fin août que le gland accumule les hydrates de carbone d'une façon spectaculaire alors qu'en parallèle son taux d'humidité diminue.

D'autre part, Bonner, (1976) rapporte que le taux d'hydrate de carbone soluble diminue alors qu'en contrepartie les formes insolubles d'hydrate de carbone augmentent rapidement pendant le mois d'août. De ce fait, plusieurs auteurs s'accordent à confirmer que le niveau d'hydrate de carbone reste le meilleur indice de maturité du gland. À partir d'octobre, le taux de matières grasses remonte rapidement alors que la teneur en azote soluble et protéique tend à rester stable ou à diminuer (Manage-Wild, 1976). Concernant les éléments minéraux, Bonner, (1971) a observé que la concentration de phosphore, du magnésium et du calcium diminuent dans la plupart des glands de chênes pendant la phase de croissance.

I.4 Conservation du gland

Les bonnes fructifications du chêne n'intervenant que très épisodiquement tous les 2 à 10 ans, il est nécessaire de mettre au point de bonnes techniques de conservation, afin d'assurer un approvisionnement régulier pour la réalisation de programme de son utilisation alimentaire (Meziane, 1990).

Dans le but de leur utilisation dans le domaine alimentaire un certain nombre d'essais de conservations sont réalisés sur les glands entiers.

En 1907, les glands séchés à l'ombre durant quelques jours, sont obtenus sur un lit de feuilles séchées de 30 cm d'épaisseur de manière à former des cônes d'un mètre de haut, qui seront ensuite recouverts de feuilles mortes, de mousses, de paille. D'après Natividade, (1956), ce procédé très rudimentaire permet de conserver les fruits à l'air.

Les essais effectués en 1935 par Mexia, cité par Natividade, (1956) sur la conservation dans l'eau pure ou salée (4% de NaCl), en milieu gazeux (Ether sulfurique, vapeurs d'alcools, sulfure de carbone à 2%), s'est avérée la meilleure et la plus économique, d'autres essais ont permis de constater que la conservation par le sulfure de carbone à 20% s'avère la plus économique et conduit aux résultats les plus satisfaisants.

Pour la conservation en sachets à atmosphère modifiée mise au point par Marcellin, (1974), les glands sont mis dans des sachets en polyéthylène épais munis d'une fenêtre de diffusion (membrane de silicone permettant des échanges gazeux). L'avantage de ces sachets est que pratiquement aucune germination n'intervient en cours de conservation, d'autre part *Ciboria batschiana* et d'autres champignons ne se développent pas (I.N.R.A., 1984).

En 1984, Muller et Massimbert ont effectué des essais de conservation du gland à +4°C et -1°C, après avoir subi un traitement chimique par trempage de 16 heures dans une solution aqueuse de méthyl-thiophanate à raison de 1g /L/kg de glands ou de benomyl, à raison de

6,4 g/L/kg de glands. Les résultats obtenus à + 4°C montrent une germination et un niveau d'infection plus faible.

Le moyen le plus efficace reste, selon Claudot, (1974) et Muller, (1986) en premier lieu une lutte chimique contre les champignons suivie d'une thermothérapie, trempage dans de l'eau chaude à 41°C pendant trois heures, puis ressuyage jusqu'à une teneur en eau de 42 %- 45 % avant conditionnement et stockage à 1°C. Cette méthode a permis de conserver des glands trois à quatre ans. Mais des pertes de poids par déshydratation apparaissent après 30 mois d'entreposage.

I.5 Conservation de la farine de gland

La préparation de la farine de gland après séchage à la chaleur est suggérée comme une solution d'avenir (Murray et Fowler, 1965).

Comme la plupart des produits alimentaires, les farines peuvent être contaminées par les microorganismes qui, en se développant provoquent une altération des qualités organoleptiques et physico-chimiques. Les microorganismes ne peuvent se développer dans le fruit ou la graine mais seulement au cours de sa transformation ou de son conditionnement (Bourgeois et Leveau, 1991).

La farine de gland est riche en amidon 60,5%. Ce type de produit constitue un milieu favorable à la prolifération de la flore mésophile, coliformes et coliformes fécaux, *staphylococcus aureus*, anaérobies sulfitoréducteurs et salmonelles (Tableau 17).

Tableau 17. Proportions relatives de micro-organismes dans les aliments riches en amidon (Bourgeois et Leveau, 1991).

Germes	Nombres de germes par 1 gramme d'aliment riche en amidon
Flore mésophile	$3 \cdot 10^5$
Coliformes	10^3
Coliformes fécaux	10
<i>Staphylococcus aureus</i>	10^2
Anaérobies sulfitoréducteurs	30
Salmonelles	Absence par 25 grammes

Les intoxications par les moisissures indésirables sont rares chez l'homme en raison de son alimentation diversifiée et du soin généralement apporté à la préservation de ses aliments. Elles sont par contre fréquentes dans les élevages industriels ou les aliments sont stockés dans des conditions ne permettant pas toujours le non-développement des micro-organismes, les

moisissures peuvent synthétiser des mycotoxines comme les Trichothécènes qui sont produites par le fusarium et qui provoquent des gastro-entérites et des hémorragies.

Généralement, les levures ont besoin de composés organiques carbonés qui procurent à la fois la source de carbone et d'énergie. Les levures dégradent les composés carbonés par un métabolisme oxydatif ce qui conduit à la formation de CO_2 et H_2O (phénomène de fermentation). Dans la nature, les levures vont se trouver principalement sur les végétaux riches en sucres directement assimilables (Bourgeois et Leveau, 1991).

La préparation de la farine du gland après séchage par la chaleur est aussi suggérée comme une solution d'avenir. Ainsi par la déshydratation à la chaleur selon les procédés courants, les fruits perdent une partie de leurs propriétés organoleptiques et deviennent moins appétissants pour le bétail, néanmoins le séchage à faible température par courant d'air chauffé ou par évaporation sous vide partiel supprime cet inconvénient (Meziane, 1990).

I.6 Variation de la composition chimique au cours du stockage

En examinant les modifications biochimiques des substances de réserves des glands de plusieurs espèces de chênes (*Quercus shumardi*, *Quercus falcata*, *Quercus alba*) pendant 8 mois de conservation à 2°C, Clatter Buck et Bonner, (1985) ont observé une diminution continue et lente des lipides totaux et une légère augmentation des glucides solubles moins importante dans le cas de *Quercus alba*.

La fraction des glucides insolubles augmente pendant les 3 à 4 premiers mois de conservation puis diminue.

I.7 Traitements technologiques

I.7.1 Décorticage

Il permet d'éliminer ou du moins réduire la teneur en facteurs antinutritionnels des glands contenus dans l'enveloppe.

D'après Lorthior, (1973), les tannins sont concentrés dans les enveloppes de l'akène, et un bon décorticage réduit sans doute nettement la teneur en tannins.

À coup sûr, la cupule doit être éliminée, car elle est plus riche en tannins que le gland lui-même. De ce fait, l'utilisation digestive des protéines des protéines sera meilleure.

I.7.2 Cuisson

La cuisson peut entraîner une diminution de la teneur en substances anti-nutritionnelles et provoque une altération de certaines protéines (Liener, 1980 et Aït Saada, 1997). Ce même

traitement provoque la gélatinisation de l'amidon et entraîne une modification de la composition chimique de l'aliment.

Lothior, (1973), rapporte que les glands de chêne vert crus sont plus vénéneux que les glands séchés.

Enfin, il est à noter que l'origine géographique modifie grandement la toxicité des glands. Legoy, (1986) a montré que la cuisson pourrait avoir une action sur l'amidon en détruisant les granulés et en rendant de ce fait les chaînes d'amylose, et d'amylopectine plus facilement accessibles aux enzymes digestives.

I.8 Utilisation du gland

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

I.8.1 En alimentation humaine

Plusieurs auteurs rapportent l'utilisation du gland et sa farine en alimentation humaine (Fiestas Ros de Ursinos et *al.*, 1969 ; Ofcarick et Burns, 1971).

Avant la généralisation des céréales, les glands constituaient la nourriture des populations européennes sous forme de pain à base de gland pulvérisé. Avec du gland doux, on fabrique une sorte de succédané de café que l'on ajoute même au chocolat.

Les Indiens d'Amérique du Nord consomment des bouillies de farine de gland, du pain et des gâteaux à base de gland.

En Afrique du Nord, le gland est encore de nos jours consommés parmi les produits de cueillette. La farine du gland est utilisée par les gens de Tazrout (Cherchell) (I.N.R.F., 1988) et aussi par ceux de Montados au Portugal (Boudy, 1950) pour fabriquer du pain. Elle est aussi utilisée pour la préparation de couscous, de galettes et de bouillies. Pour ces populations, la farine du gland remplace bien celle du blé.

I.8.2 En alimentation animale

En alimentation animale, les populations riveraines des chênaies utilisent les glands séchés ou bouillis pour l'engraissement des ovins. L'intérêt de leur utilisation réside dans leur richesse en amidon. Toutefois, les apports en protéines et en vitamines des glands demeurent faibles. Selon Natividade, (1956), on connaît quelques variétés de chênes liège qui donnent des glands doux plus appréciés par le bétail, surtout dans les subéraies Marocaines et Algériennes.

Afraitane, (1990) rapporte que le gland constitue une grande source nutritionnelle pour beaucoup d'animaux (moutons, bœufs, oies, dindons et volailles) et sa valeur alimentaire serait comparable à un mélange de maïs et d'avoine.

Dans ce sens, plusieurs travaux portant sur les aptitudes nutritionnelles des régimes à base de glands de chêne vert et de chêne liège crus ou autoclavés ont été réalisés sur le poulet de chair par Larbier et Leclercq, (1992) ; Boudroua, (1995) et Aït Saada, (1997).

Des résultats intéressants ont été obtenus sur les performances zootechniques et les qualités organoleptiques de la viande blanche.

Boudroua, (1995) rapporte qu'il est possible de substituer partiellement le maïs par le gland de chêne vert et le gland de chêne liège sans que les aptitudes de croissance du poulet de chair ne soient affectées.

Dans le temps ancien, la ballote séchée, broyée, mélangée avec du son était un bon aliment pour la volaille, malheureusement cet usage est délaissé.

L'engraissement des porcs, brebis représentent un complément important de l'exploitation des chênes (Murray et Fowler, 1965), bien que l'on ne puisse le considérer comme un revenu constant, en raison des irrégularités de fructifications du chêne. Depuis longtemps, l'engraissement des porcs se faisait pendant une période d'environ trois mois, fin d'octobre à la fin janvier ou début d'octobre à la fin décembre. Les résultats montrent qu'un porc pesant 45 kg s'engraisse fortement pour peser 105 à 120 kg après trois mois (Murray et Fowler, 1965).

Certains animaux sauvages prévoyants font des provisions de fruits ou de graines, les geais cachent les glands dans les trous qu'ils creusent dans le sol où ils viennent les rechercher à la mauvaise saison.

Selon l'I.N.R.F., (1995), les chênaies productrices de glands dans les gorges de la Chiffa abritent des populations de singes qui s'alimentent du moins pendant une période de l'année.

À partir de la farine de gland, on extrait de l'huile comestible et les tourteaux obtenus servent à la nutrition animale (Belarbi, 2003).

I.8.3 Autres usages

L'amidon de l'endosperme du gland est saccharifié par l'HCl dilué, et H₂SO₄. Les hydrolysats sont utilisés comme substrats pour la croissance de *Candida utilis* qui les convertit en éthanol, acétone et butanol (fermentation alcoolique) (Kekos et Kaukios, 1985). La richesse en carbohydrates du gland constitue un matériel cru attirant pour la biotechnologie.

Étude expérimentale

Chapitre V

Matériel et Méthodes

I. Matériel biologique

I.1 Choix du matériel biologique

Notre choix s'est porté sur quelques espèces de chêne. Le chêne vert dont le gland doux est comestible. Le chêne liège et le chêne kermès dont le gland amer, ils sont considérés comme espèces fourragères.

Le choix des espèces est fonction du double intérêt que présentent celles-ci. Ce sont des espèces spontanées d'une part et comestibles pour l'homme et les animaux d'autre part.

I.2 Collecte et stockage

I.2.1 Collecte

La récolte des glands a été effectuée pendant le dernier trimestre de l'année 2012-2013, puisque la fructification débute en Octobre et prend fin en Décembre. Les glands des populations de chêne vert, chêne liège et chêne kermès ont été collectés dans les différentes stations (différents arbres, expositions et différentes altitudes) appartenant aux monts de TESSALA wilaya de Sidi Bel Abbés.

I.2.2 Stockage

Après leur récolte, les glands triés ne doivent être ni laissés longtemps dans le sac, ni exposés au soleil.

Au laboratoire, le matériel végétal est lavé, étalé sur le sol et laissé sécher spontanément à l'abri de la lumière et de la chaleur. Cela permet d'éviter la germination des glands ou leur fermentation.

I.2.3 Préparation de la farine des glands crus

Les glands entiers, crus, décortiqués, découpés en petits morceaux, séchés dans une étuve portée à une température de 105°C jusqu'à un poids constant, puis sont broyés et placés dans un tamis très fin (\varnothing 1mm) afin d'obtenir une farine blanchâtre aussi fine que possible.

Les échantillons obtenus sont conservés dans des flacons en verre teinté ou enveloppés avec du papier aluminium, pour des utilisations ultérieures (Figure 11).

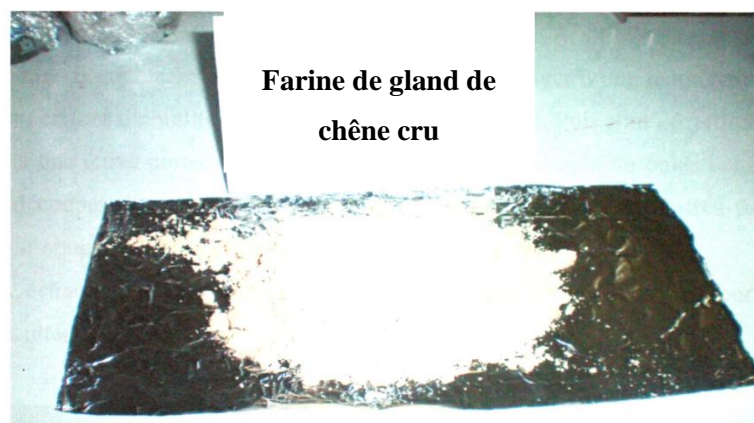


Figure 11. Farine de gland de chêne cru.

I.2.4 Préparation de la farine des glands traités par autoclavage

Les glands entiers, crus, ont subi un autoclavage à une température de 105°C pendant trente (30) minutes. Puis sont décortiqués et séchés dans une étuve portée à une température de 45°C jusqu'à un poids constant, puis sont découpés en petits morceaux, broyés et placés dans un tamis très fin (\varnothing 1mm) afin d'obtenir une farine brunâtre aussi fine que possible.

Les échantillons sont conservés dans des flacons en verre teinté ou enveloppés avec du papier aluminium, pour des utilisations ultérieures (Figure 12).



Figure 12. Farine de gland de chêne autoclavé.

I.2.5 Préparation de la farine des glands traités par cuisson ménagère

Les glands entiers, crus, ont subi un traitement ménager à une température de 100°C (température d'ébullition) pendant trente (30) minutes. Puis sont décortiqués et séchés dans une étuve portée à une température de 45°C jusqu'à un poids constant, puis sont découpés en petits

morceaux, broyés et placés dans un tamis très fin (\varnothing 1mm) afin d'obtenir une farine brunâtre aussi fine que possible.

Les échantillons sont conservés dans des flacons en verre teinté ou enveloppés avec du papier aluminium, pour des utilisations ultérieures (Figure 13).



Figure 13. Farine de gland de chêne cuit.

II. Méthodes d'analyse

Sur les farines obtenues sont dosées la teneur en eau, les éléments minéraux, les protéines, les glucides, les lipides et leurs fractions ; ainsi les facteurs antinutritionnels comportant les phénols totaux, les tannins totaux, les tannins condensés, les tannins hydrolysables et l'acide phytique.

Chaque analyse est répétée trois fois et la moyenne des trois valeurs est retenue.

II.1 Teneur en eau

II.1.1 Principe

La quantité d'eau est déterminée par une dessiccation jusqu'à poids constant à l'étuve à la température de 100°C à 105°C. Pour éviter toute reprise d'humidité, il convient d'opérer dans des cristallisoirs placés dans un dessiccateur.

La teneur en eau est définie comme étant la perte de masse subie avant et après séchage dans des conditions bien déterminées (Audigie, 1981).

Les résultats sont exprimés en pourcentage de matière sèche selon l'équation 1.

II.1.2 Expression des résultats

La teneur en eau des échantillons est calculée selon la formule suivante :

$$H\% = \frac{P2-P1}{C} \times 100 \quad \text{Eq.1}$$

P1 : poids du creuset et l'échantillon avant séchage.

P2 : poids du creuset et l'échantillon après séchage.

C : Masse en gramme de l'échantillon.

H % : Humidité en pourcentage de l'échantillon.

II.2 Dosage des matières azotées

II.2.1 Dosage de l'azote total

La teneur en azote total a été déterminée selon la norme internationale ISO 8968-1 (ISO, 2001), selon la méthode de Kjeldahl (1883) qui s'effectue en trois phases :

II.2.1.1 Minéralisation (digestion)

La minéralisation consiste en la transformation de l'azote organique en azote minérale [Sulfate d'ammonium ; $(\text{NH}_3)_2\text{SO}_4$] sous l'action de l'acide sulfurique concentré à chaud 373°C) en présence d'un catalyseur approprié (Cu (CuSO_4) ou Se) et d'un sel (K_2SO_4). La minéralisation va donc dénaturer les protéines, casser les liaisons peptidiques, libérer les acides aminés et ensuite transformer l'azote organique en azote minéral. Elle présente certaines difficultés essentiellement dues à un certain nombre de substances organiques azotées qui s'échappent à cette minéralisation pour des raisons diverses. En outre, la minéralisation ne s'effectue que très lentement. Il est indispensable d'ajouter des adjuvants afin d'accélérer l'opération tels que les oxydants et les réducteurs métalliques ; lors de notre manipulation nous avons utilisé un mélange de catalyseur sulfate de cuivre, sulfate de potassium et sélénium (Annexe 1).

II.2.1.2 Distillation

L'étape de distillation de l'ammoniac consiste en la libération de l'ammoniac sous la forme du sel $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ par action de la soude qui est retenue dans l'acide sulfurique.

- Dans les matras contenant la solution limpide, on verse 80ml d'eau distillée et 40 ml de NaOH 33%.
- Ces matras sont placés dans l'appareil de distillation, à leur extrémité 25 ml d'acide borique à 4% et la réaction suivante se réalise :



Il y a libération d'ammoniac par action de la soude qui est retenue dans l'acide sulfurique. L'ammoniac distillé (NH_3) est reçu dans une fiole conique où il est fixé par l'acide borique H_3BO_3 à 4%, pour former des sels borates d'ammonium donnant une couleur jaune (Annexe 1).

II.2.1.3 Titrage

Le recueilli (l'ammoniaque sous la forme de borates d'ammonium) est titré directement par l'acide sulfurique à 0,1N, après avoir ajouté quelques gouttes d'indicateur coloré (rouge de méthylène 0,1%). La coloration passe du jaune au rose pâle persistant, cela veut dire que NH_3^+ est neutralisé par l'acide sulfurique (H_2SO_4). Ensuite, le pourcentage de protéines est calculé en utilisant un facteur F de conversion de 6,25 (Equation 2).

La teneur en protéines est exprimée en g pour 100 g de matière sèche.

II.2.2 Dosage de l'azote protéique

On traite 2g de farine par 10 ml d'une solution de trichloroacide acétique à 10%, le mélange est filtré est ensuite lavé avec 5ml du trichloroacide acétique à 2%. Le culot obtenu est constitué uniquement de l'azote protéique, l'azote non protéique est éliminé.

L'azote protéique est dosé par la méthode de Kjeldhal décrite précédemment.

II.2.3 Dosage des fractions protéiques

Il est réalisé par la méthode d'Osbourn (Osbourn et *al.*, 1971).

II.2.3.1 Principe

Cette analyse consiste à une solubilisation protéique de la farine en quatre fractions par trois solutions :

- L'eau distillée solubilise les albumines ;
- Une solution de chlorure de potassium 1M solubilise les globulines ;
- Une solution d'éthanol à 70% solubilise les prolamines ;
- Une solution de soude à 2% solubilise les gluténines.

Nous avons utilisé les opérations figurant en annexe 2 ; les agitations sont effectuées à température ambiante et les centrifugations sont faites à 10.000 T/mn.

Après centrifugation, les extraits aqueux, salés, alcalins et alcooliques sont récupérés dont les volumes sont complétés à 25ml. L'azote sera ensuite dosé par la méthode de Kjeldhal.

II.2.4 Conversion du taux d'azote en protéines

On estime à 16 g d'azote contenu dans 100g de protéines. On utilise un facteur de conversion F basé sur le taux moyen d'azote des protéines. Cette propriété est mise à profit pour déterminer la teneur en protéines brutes et pures.

$$F = \frac{100}{16} = 6,25$$

Les résultats sont donnés sous la forme suivante :

$$N(\%) = \frac{0,0014 V 100}{p} \times \frac{100}{100 - H}$$

La teneur en protéines est calculée en multipliant le taux d'azote total N (%) par le coefficient 6,25.

$$\text{Protéines (\%)} = N(\%) \times 6,25 \quad \text{Eq.2}$$

V : Volume en millilitres de la solution d'acide sulfurique versée dans la burette lors du titrage.

P : Poids en grammes de la prise d'essai.

H : Humidité en pourcentage de l'échantillon.

Sachant que 1ml de l'acide sulfurique correspond à 0,0014g d'azote.

100 / 100-H : Facteur de conversion permettant d'exprimer le résultat sur base sèche en tenant compte du pourcentage d'humidité H (%) de l'échantillon.

II.2.5 Détermination de l'azote non protéique

C'est la différence des teneurs en azote total et azote protéique.

II.3 Dosage des glucides

II.3.1 Extraction et déprotéinisation des glucides

Selon la teneur estimée en glucides dans le matériel végétal, on prend entre 5-10g de poudre végétale que l'on broie en présence de carbonate de calcium (0,5g) et 15 ml d'eau distillé. Le broyat est transvasé dans une fiole de 100 ml que l'on complète à l'eau distillée aux deux tiers.

Les sucres sont extraits au bout de 30mn au bain-marie à 80°C. Après refroidissement de la solution, on additionne 10 ml de solution de sulfate de zinc à 4,5% et 6 ml de la solution de chlorure de sodium à 2%. On chauffe au bain-marie bouillant pendant 3mn. Cette dernière opération a pour but de précipiter les protéines.

Après refroidissement, la solution complétée à 100 ml est filtrée. Le filtrat est utilisé pour doser les sucres réducteurs et le saccharose (Lecoq, 1965).

II.3.2 Dosage des sucres réducteurs

Le dosage titrimétrique des sucres réducteurs est basé sur leur interaction quantitative avec le ferricyanure de potassium ($K_3Fe(CN)_6$) qui se réduit en ferrocyanure ($K_4Fe(CN)_6$) par les monosaccharides dans un milieu alcalin chaud.

On ajoute le ferricyanure de potassium en excès dans l'échantillon mesuré. La quantité de ferricyanure non réduite est mesurée iodométriquement en milieu acide en présence d'iode de potassium. L'excès de ferricyanure libère une quantité équivalente d'iode. Cette dernière peut être déterminée en titrant avec une solution de thiosulfate de sodium 0,05N jusqu'au virage du bleu au blanc (Lecoq, 1965) (Annexe 3).

II.3.3 Dosage des disaccharides (saccharose)

La solution à analyser (utiliser précédemment pour le dosage des sucres réducteurs) est traitée par un acide après hydrolyse elle est neutralisée avec 10% de bicarbonate de sodium ; on effectue ensuite la manipulation comme s'il s'agissait d'un dosage de solutions des sucres réducteurs.

La valeur obtenue est multipliée par 0,95 étant donné qu'à partir de 1g de sucre réducteur on obtient 0,95g de saccharose (Lecoq, 1965) (Annexe 4).

II.3.4 Dosage de l'amidon

La méthode comprend une double détermination. L'amidon est dispersé par le traitement de l'échantillon à chaud par l'acide chlorhydrique dilué. Après défécation et filtration, on mesure par polarimétrie le pouvoir rotatoire de la solution (AFNOR, 1985).

Le même traitement est effectué sur l'extrait éthanolique à 40% ; extraction qui a pour but d'éliminer les glucides éthanolosolubles susceptibles d'interférer en polarimétrie.

Après acidification du filtrat par HCL concentré on procède à la défécation suivie d'une filtration. On mesure ensuite le pouvoir rotatoire de la deuxième solution de la même manière.

La différence obtenue entre les deux mesures polarimétriques est multipliée par un facteur spécifique à l'origine botanique de l'amidon. Elle conduit à la teneur en amidon de l'échantillon.

Les résultats sont exprimés en pourcentage de matière sèche selon l'équation 3.

II.3.4.1 Expression des résultats

Le taux d'amidon est calculé par la formule suivante :

$$\text{Amidon (\% du produit brut)} = 2000 \frac{[\alpha - \alpha']}{[\alpha]^{20}_D} \quad \text{Eq.3}$$

α : Pouvoir rotatoire total en degrés d'arc pour les substances solubles dans l'acide chlorhydrique.

α' : Pouvoir de rotation total en degrés d'arc donné pour les substances solubles dans l'éthanol à 40%.

$[\alpha]^{20}_D$: Pouvoir de rotation spécifique de l'amidon pur = 184°.

II.3.5 Étude microscopique de la farine de gland

II.3.5.1 Préparation de la solution étudiée

Dans un tube à essai contenant 1 mg de la farine de gland cru et traité, on verse 1 ml d'eau distillée, on agite la solution.

II.3.5.2 Observation de la solution au microscope optique

On dépose une goutte du mélange sur une lame à l'aide d'une pipette, on observe aux grossissements 10 et 40. On réalise aussi une étude microscopique de la farine de blé.

II.3.6 Dosage de la teneur en cellulose

Le dosage de la cellulose se fait selon la méthode de Weende (méthode gravimétrique) (Lecoq, 1965). Il s'agit d'une méthode conventionnelle dont les termes doivent être scrupuleusement respectés pour qu'elle possède toute sa validité.

La cellulose constitue le résidu organique obtenu après l'action d'une double hydrolyse, l'une en milieu acide (H_2SO_4 à 0,255N) et l'autre en milieu alcalin (NaOH à 0,313 N). Le résidu est séché à 100°C, pesé puis calciné.

La différence de poids avant et après calcination correspond à la cellulose de la prise d'essai. À la suite de ce traitement subsistent, une grande partie de la cellulose vraie, une partie de lignine, des résidus d'hémicelluloses, ainsi qu'une petite quantité de matières minérales insolubles (Annexe 5).

Les résultats sont exprimés en pourcentage de matière sèche selon l'équation 4.

II.3.6.1 Expression des résultats

Le taux de la cellulose est calculé par la formule suivante :

$$\text{Cellulose (\%)} = \frac{P_1 - P_2}{P_0} \times 100 \times \frac{100}{100 - H} \quad \text{Eq.4}$$

P_0 : Poids en (g) de la prise d'essai.

P_1 : Poids total en (g) du creuset + prise d'essai avant incinération.

P_2 : Poids total en (g) du creuset + prise d'essai après incinération.

H : L'humidité en pourcentage de l'échantillon.

II.4 Dosage des lipides

II.4.1 Principe

Le taux de la matière grasse est déterminé gravimétriquement. Les huiles sont extraites à l'aide d'un solvant organique. L'extraction est réalisée dans l'appareil de Soxhlet (méthode officielle AOAC (1997)) (Annexe 6).

La teneur en matière grasse est exprimée en pourcentage de matière sèche selon l'équation 5.

II.4.2 Expression des résultats

On calcule le pourcentage de matière grasse d'après la formule suivante :

$$\text{MG (\%)} = \frac{P_1 - P_0}{P.E} \times 100 \times \frac{100}{100 - H} \quad \text{Eq.5}$$

MG : Matières grasses.

P₀ : Poids du ballon en gramme avant extraction (vide).

P₁ : Poids du ballon en gramme après extraction.

P.E : Prise d'essai en gramme.

H : L'humidité en pourcentage de l'échantillon.

II.5 Détermination de l'acidité grasse (NA 1182 / 1990)

Elle donne une idée sur la qualité du produit qui, contenant une quantité de matière grasse élevée devient acide et donc perd ses qualités organoleptiques. Dans une matière grasse, l'acidité résulte uniquement de la présence de carboxyles appartenant à des acides gras.

II.5.1 Principe

Les acides gras sont mis en solution dans l'éthanol à 95% afin de libérer les acides gras. Ces derniers, après centrifugation sont titrés et neutralisés par l'hydroxyde de sodium à 0,05N (Annexe 7).

La teneur en acidité grasse est calculée selon l'équation 6.

II.5.2 Expression des résultats

L'acidité est exprimée en gramme de NaOH pour 100g de matière sèche, le pourcentage d'acidité est donné par la relation suivante :

$$\text{AC (\%)} = 0,0735 \times (V_1 - V_0) \times \frac{100}{100 - H} \quad \text{Eq.6}$$

V₁ : Volume en millilitre de la solution NaOH utilisée pour la détermination.

V₀ : Volume en millilitre de la solution NaOH utilisée pour l'essai à blanc (le titrage d'alcool).

H : Humidité en pourcentage de l'échantillon.

1ml d'hydroxyde de sodium à 0,05N correspond à 0,0735 mg d'acidité grasse.

II.6 Dosage de la matière minérale

II.6.1 Principe

La teneur en cendre a été déterminée selon la méthode officielle AOAC 972.15 (AOAC, 2006). Elle est conventionnellement le résidu de l'échantillon après destruction de la matière organique par incinération.

Le principe consiste en une calcination au four à moufle de l'échantillon à une température de 550 à 600°C jusqu'à ce que les résidus deviennent blancs au refroidissement (Annexe 8).

Le pourcentage de teneur en cendres est déterminé selon l'équation 7.

II.6.2 Expression des résultats

Le pourcentage de cendre exprimé par rapport à la matière sèche est calculé de manière suivante :

$$X (\%) = \frac{P_3 - P_1}{P_2 - P_1} \times 100 \times \frac{100}{100 - H} \quad \text{Eq.7}$$

X : La teneur en cendre en pourcentage de la matière sèche.

P1 : Masse en (g) du creuset vide.

P2 : Masse totale en (g) du creuset vide + prise d'essai avant incinération.

P3 : Masse totale en (g) du creuset vide + prise d'essai après incinération.

H : L'humidité en pourcentage de l'échantillon.

II.7 Dosage du phosphore

Le dosage est basé sur la formation et la réduction d'un complexe de l'acide phosphorique et de l'acide molybdique. L'addition d'un réactif sulfumolybdique et de l'acide ascorbique provoque le développement d'une couleur bleue à la suite d'un chauffage dont l'intensité est fonction de la concentration du P₂O₅ (Chapman et Pratt, 1961).

La densité optique de la solution bleue ainsi formée est mesurée par spectrophotométrie à 650 nm.

La quantité de phosphore est déterminée en se référant à une courbe d'étalonnage (Annexe 9).

II.8 Dosage du calcium

L'échantillon est incinéré, les cendres sont traitées par l'acide chlorhydrique, et le calcium est précipité sous forme d'oxalate de calcium. Après dissolution du précipité dans l'acide sulfurique, l'acide oxalique formé est titré par une solution de permanganate de potassium (KMnO₄ 0,02N) jusqu'à obtention d'une couleur rose clair qui ne disparaît qu'après une minute (Annexe 10).

Cette méthode permet de doser la teneur de calcium total (Lecoq, 1965).

Le résultat est exprimé en pourcentage d'échantillon selon l'équation 8.

II.8.1 Expression des résultats

Conversion du taux de calcium :

$$\text{CaO (\%)} = \frac{a.F.0,0014}{b} \cdot 100 \quad \text{Eq.8}$$

a : Volume du permanganate de potassium à 0,02N.

F : Facteur de correction du permanganate de potassium (1,014).

b : Poids en grammes de l'échantillon utilisé (2g).

1ml de permanganate de potassium à 0,02N correspond à 0,0014 mg de calcium.

II.9 Dosage du magnésium

Le magnésium est précipité dans un milieu alcalin selon la réaction suivante :



Le précipité est ensuite dissout dans de l'acide sulfurique à concentration connue (0,1N). L'excès d'acide sulfurique permet de déterminer le magnésium (Lecoq, 1965).

Le résultat est exprimé en pourcentage d'échantillon selon l'équation 9.

II.9.1 Expression des résultats

Conversion du taux du magnésium :

$$\text{Mg (\%)} = \frac{F(a-c).0,00202}{b} \times 100 \quad \text{Eq.9}$$

a : Volume en millilitre d' H₂SO₄ à 0,1N (20 à 25ml).

c : Volume en millilitre de NaOH à 0,1N.

b : Poids en gramme de l'échantillon (2g).

F : Facteur de correction de normalité de NaOH (1,02).

1 ml d'acide sulfurique 0,1 N correspond à 0,00202 mg de magnésium.

II.10 Dosage de l'acide phytique

La détermination de l'acide phytique est basée sur les propriétés des substances phytiques liées aux ions ferriques. L'acide phytique est insoluble dans l'eau, mais soluble dans l'acide chlorhydrique dilué. La densité optique de la solution verte ainsi formé est mesuré par spectrophotométrie à 700nm (Wheeler et Ferrel, 1971).

Le taux d'acide phytique obtenu est déterminé par colorimétrie en se référant à une courbe d'étalonnage (Annexe 11).

II.11 Dosage des phénols totaux

II.11.1 Préparation de l'extrait

À 1 g de farine de gland sont ajoutés 50 ml de méthanol. Laisser réagir pendant 24h à température ambiante. La solution est filtrée et le surnageant est récupéré (Bate- Smith, 1973).

II.11.2 Dosage spectrophotométrique des composés phénoliques

Les phénols totaux sont déterminés par la méthode de bleu de prusse.

L'intensité de la réaction colorée est fonction du degré d'oxydation et de polymérisation des composés polyphénoliques (Bate-Smith, 1973) (Annexe 12).

Le résultat est exprimé en pourcentage d'échantillon selon l'équation 10.

II.11.3 Expression des résultats

Le calcul de la teneur en phénols totaux est exprimé en (%) de matière sèche :

$$\text{Teneur en phénols totaux} = E \cdot L \cdot C \quad \text{Eq.10}$$

E (%) = 150 (le coefficient d'extinction du composé considéré à la longueur d'onde utilisée pour la mesure).

L = 1cm : longueur de la cuve.

C : Concentration des phénols totaux déterminée, en se référant à une courbe d'étalonnage réalisé avec une solution d'acide tannique à des concentrations allant de (10 à 100 mg/ml) à 725 nm.

II.12 Dosage du tannin total

Le dosage titrimétrique des tannins est basé sur leurs interactions quantitatives avec l'acétate de cuivre (Guenadiev, 1968).

Le résultat est exprimé en pourcentage d'échantillon selon l'équation 11.

II.12.1 Expression des résultats

La teneur en tannins totaux est exprimée en (%) de matière sèche :

$$T (\%) = \frac{(a-b) \cdot F \cdot 0,010392 \cdot 100}{0,5} \quad \text{Eq.11}$$

a: Volume en mL de thiosulfate de sodium ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$) à 0,1N utilisé pour le titrage du témoin.

b: Volume en mL de thiosulfate de sodium à 0,1N.

F : Facteur de correction de normalité du thiosulfate de sodium (0,95).

1 ml de thiosulfate de sodium à 0,1N correspond à 0,010392 mg de tannin.

II.13 Dosage du tannin condensé (Test de vanilline avec H_2SO_4)

Cette méthode de la détermination du taux de tannin est basée sur la condensation polyphénolique avec la vanilline en milieu acide, il est spécifique des flavanes-3 ols (Price et al., 1977).

La densité optique est mesurée par spectrophotométrie à 530 nm (Annexe 13).

Le résultat est exprimé en pourcentage d'échantillon selon l'équation 12.

II.13.1 Expression des résultats

Les tanins condensés sont calculés par la formule suivante :

$$\text{TC (\%)} = 5,2 \times 10^{-2} \times \frac{\text{D.O.} \times \text{V}}{\text{P}} \quad \text{Eq.12}$$

$5,2 \times 10^{-2}$: Constante exprimée en équivalent de cyanidine.

D.O : Densité optique

V : Volume d'extrait utilisé (1ml).

P : Poids de l'échantillon (0,2g).

II.14 Dosage du tannin hydrolysable (TH) au chlorure ferrique

Le principe repose sur la réaction de l'extrait tannique et le réactif de FeCl_3/HCl (FeCl_3 à 0,01M dans du HCl à 0,001M) en provoquant la coloration rouge violette du complexe, d'où la formation des ions (Fe^{+3}) (Mole et Waterman, 1987)) (Annexe 14).

La densité optique est mesurée par spectrophotométrie à 660nm.

Le résultat est exprimé en pourcentage d'échantillon selon l'équation 13.

II.14.1 Expression des résultats

Les tanins hydrolysables sont calculés par la formule suivante :

$$\text{TH (\%)} = \frac{\text{D.O.} \times \text{M} \times \text{V}}{\epsilon \cdot \text{P}} \quad \text{Eq.13}$$

DO : Densité optique.

ϵ_{mole} : 2169 de l'acide éllagique (constante exprimée en mole).

M : Masse = 300.

V : Volume d'extrait utilisé (1 ml).

P : Poids de l'échantillon (0,2 g).

Chapitre VI

Résultats et discussion

I. Composés nutritionnels

I.1 Teneur en eau

La détermination de la teneur en eau constitue un indice très important pour estimer la qualité des glands. Un gland humide donne un rendement faible en farine (Ferreira et Vieira, 1966). L'humidité accélère la germination et favorise le développement des microorganismes lors du stockage.

Les populations du chêne kermès présentent une légère richesse en eau (29,81%) par rapport à ses équivalents le chêne vert (25,73%) et le chêne liège (27,30%) (Figure 14).

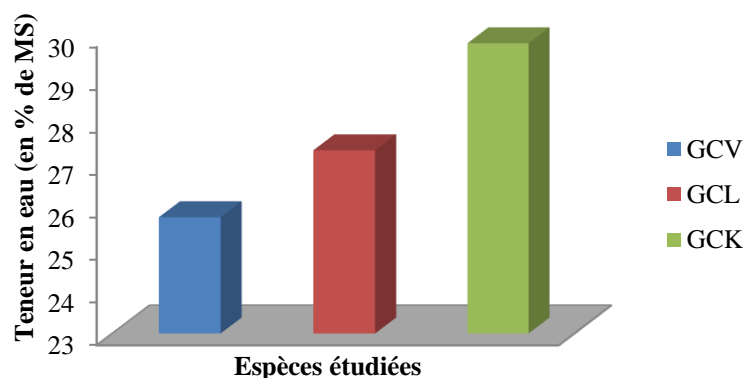


Figure 14. Teneurs en eau des différentes espèces de glands de chênes étudiées.

I.1.1 Comparaison des résultats avec les différents types de chêne

I.1.1.1 Entre les espèces comestibles

Il ressort des résultats obtenus que les teneurs en eau pour les populations étudiées sont inférieures à celles des populations françaises estimées à 31,24% (Gaussein et Rouquette, 1949), alors qu'elles sont proches de celles des espèces portugaises présentant une valeur moyenne de 26,3% (Ferreira et Vieira, 1966) (Figure 15).

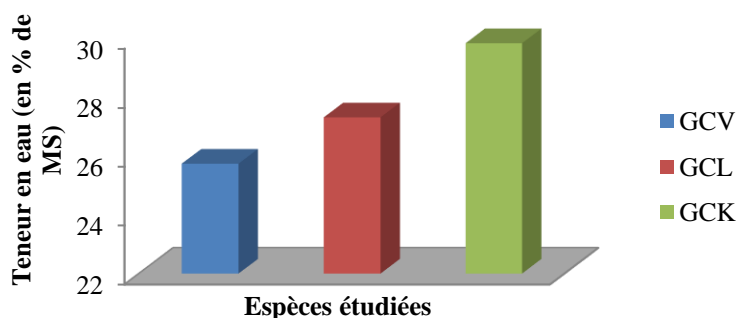


Figure 15. Teneurs en eau d'espèces de glands comestibles.

I.1.1.2 Entre les espèces fourragères

La teneur en eau des populations françaises, portugaises et américaines du chêne liège signalé par la bibliographie a été estimée respectivement à 34,7% (Guaussein et Rouquette, 1949), 34,2% (Ferreira et Vieira, 1966) et 43,36% (Afraitane, 1990). Ces valeurs dépassent celles qu'on a trouvées. Le taux d'eau des populations de chêne kermès est inférieur à celui de la population française estimée à 29,81% (Guaussein et Rouquette, 1949) (Figure 16).

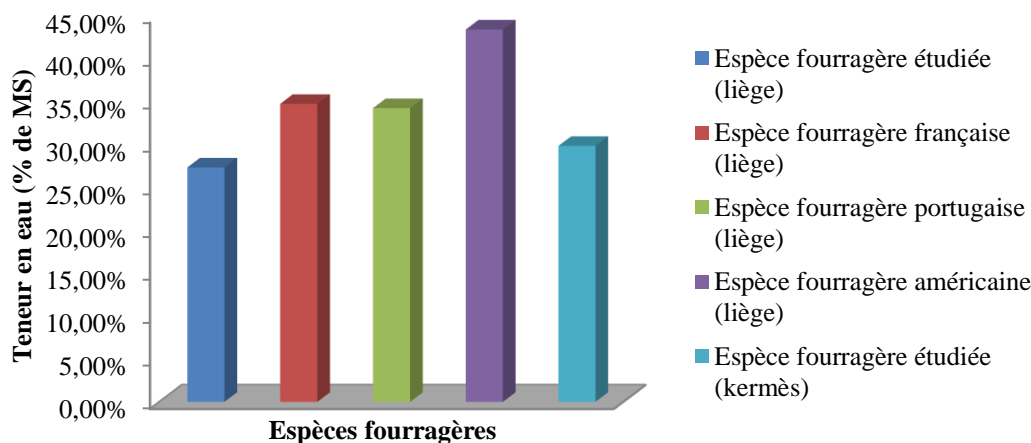


Figure 16. Teneurs en eau d'espèces des glands chênes fourragers de différentes régions.

I.1.2 Comparaison avec les espèces de chênes

Les résultats indiqués sur la figure 16, montrent que le chêne kermès est l'espèce la plus riche en eau (29,81%) suivie de près du chêne liège (27,30%). Cependant les espèces américaines et françaises présentent des valeurs supérieures aux notre.

I.1.3 Comparaison avec les différentes espèces végétales

Comparés aux teneurs des graines de légumineuses et des céréales, les glands de chêne sont nettement plus riches en eau (Figure 17).

Cette variabilité des valeurs est due principalement à certains facteurs dont :

- Le mode de préparation des échantillons et particulièrement la perte d'eau au cours du broyage au mortier ;
- L'état physiologique du fruit ;
- La provenance ou bien le lieu de la récolte du gland, le taux d'humidité est proportionnel à l'altitude (Belarbi, 1990) ;
- Par ailleurs un autre facteur néanmoins important modifie le taux en humidité : c'est l'espèce ou la variété productrice des échantillons.

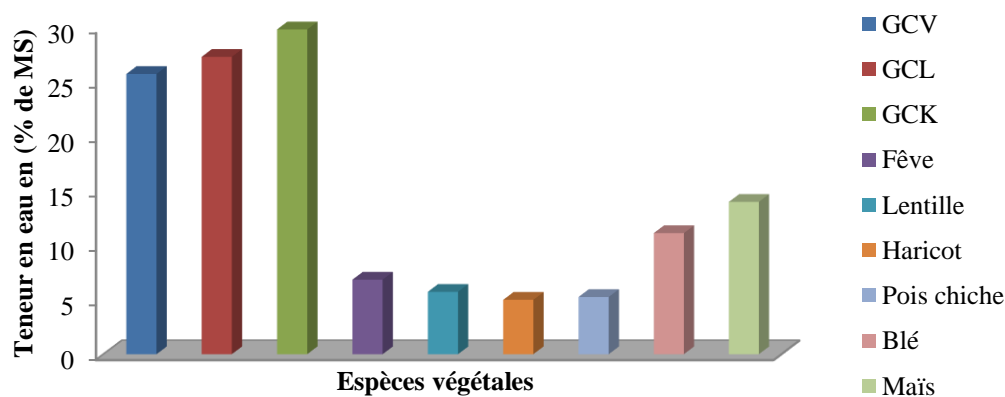


Figure 17. Teneurs comparatives en eau de quelques espèces végétales.

I.2 Teneurs en matières azotées des glands de chêne crus

I.2.1 Teneur en azote total, protéique, et non protéique

Les résultats montrent que les glands du chêne vert, liège et kermès renferment de faibles teneurs en protéines, d'où l'importance de connaître leur pourcentage afin de déterminer l'apport qu'il faudrait supplémenter pour obtenir une ration équilibrée.

En outre, le taux d'azote protéique représente la majeure partie de l'azote total (Figure 18).

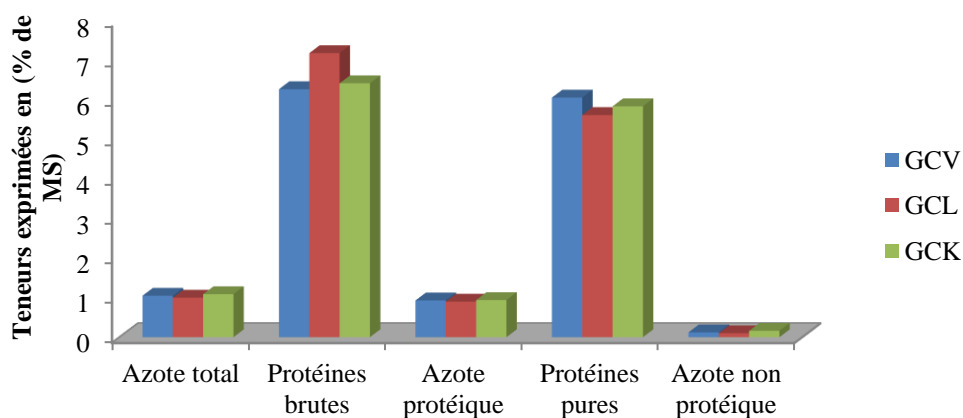


Figure 18. Teneurs en protéines brutes et pures de glands de chênes étudiés.

I.2.1.1 Comparaison entre les espèces comestibles

Les résultats obtenus (figure 18) montrent que les teneurs en protéines brutes de la population étudiée (6,27%), dépassent celles de la population française (4,17%) (Guaussein et Rouquette, 1949).

I.2.1.2 Comparaison entre les espèces fourragères

Il ressort de la figure 18, que la population du chêne liège étudiée renferme un taux élevé (7,18%) par rapport à celui de la population française (3,66%) (Guaussein et Rouquette, 1949) et espagnole (6,12%) (Vidal et Varela, 1969), mais proche à celui de la population marocaine (7,89%) (Afraitane, 1990).

Pour la population du chêne kermès, nos résultats (6,42%) sont supérieurs à ceux de la population française (3,81%) (Guaussein et Rouquette, 1949).

I.2.1.3 Comparaison entre les différentes espèces de chêne

Les teneurs en protéines brutes des glands étudiés sont supérieures à celles des glands portugais (5,90%) (Ferreira et Vieira, 1966), à celles des glands italiens (4,81%) (Picollo *et al.*, 1983), des glands algériens (5,26%), (5,53%) (Taleb Bendiab *et al.*, 1990 ; Taleb Bendiab *et al.*, 1991) et des glands espagnols (5,62%) (Fiestas Ras de Urinos *et al.*, 1969).

Nous constatons de cette analyse que la teneur en protéines des glands est variable. Ces différences pourraient être dues :

- À l'espèce qui a fourni l'échantillon ;
- La maturité du gland ;
- Aux conditions pédoclimatiques de la région ;
- Et à la morphologie de la plante dont l'épaisseur du tronc de chêne est un élément essentiel (Figure 19).

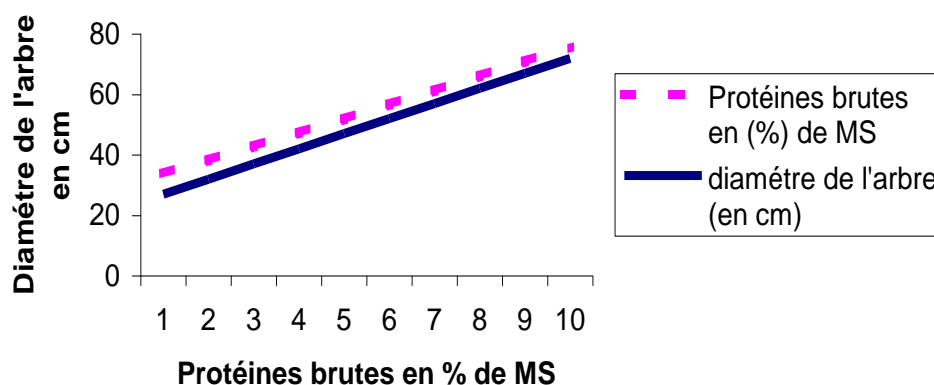


Figure 19. Relation entre le diamètre du chêne et la teneur en protéines.

I.3 Teneurs en fractions protéiques des glands de chêne crus

Les résultats représentés dans la figure 20, montrent que l'espèce comestible est riche en glutéline (0,30%) et en albumine (0,32%). La globuline et la prolamine sont abondantes chez les espèces fourragères.

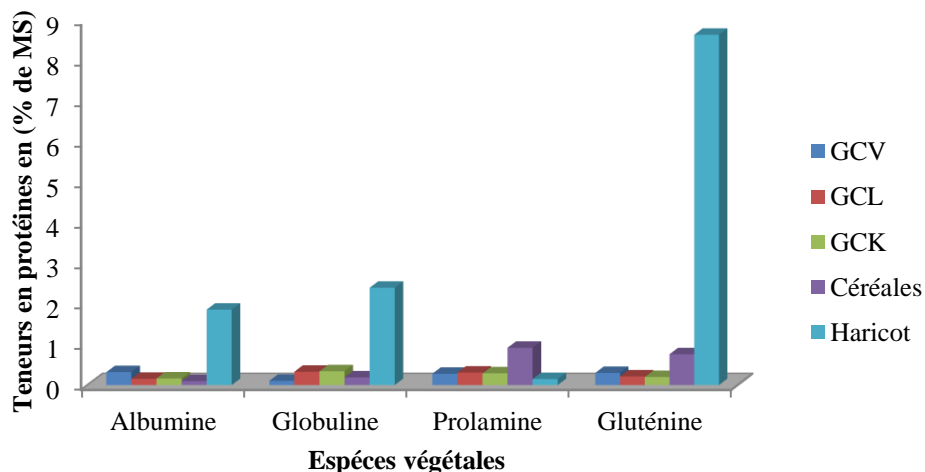


Figure 20. Composition des fractions protéiques des glands de chênes étudiés, des céréales et des légumineuses.

Les céréales renferment les teneurs les plus élevées en prolamine (0,92%) et en gluténine (0,76%), les légumineuses sont riches en gluténine (8,64%) (Thivend, 1981). On constate que les fractions représentées en faible quantité chez les céréales et les légumineuses sont abondantes chez les glands.

Ce déficit peut être rééquilibré par le mélange ou par l'adjonction de gland de chêne. Les résultats dont nous disposons actuellement sur les protéines des glands de chêne permettent d'avoir quelques éléments de choix pour leur utilisation dans les rations animales. Elles sont toutefois encore insuffisantes pour servir de base à la constitution de régime optimum.

I.4 Teneur en matières azotées des glands de chêne traités

D'après les figures 21 et 22, nous constatons que les matières azotées des glands crus subissent une nette diminution des teneurs en protéines pures, protéines brutes et en fractions protéiques, ceci pourrait être expliqué par l'effet du traitement hydrothermique (cuisson et autoclavage) sur les protéines et aboutissant souvent à la modification de la structure quaternaire de la protéine et à la dissociation des sous-unités polypeptidiques qui la constituent. Selon Quinzac, (2003) les conséquences peuvent être la perte de l'activité biologique (enzymes protéolytique) ou la modification de la solubilité.

Selon Shen, (1979) ; Hager, (1984) et Boudroua, (1995) ; les traitements sévères affectent sans doute les propriétés fonctionnelles des protéines. Il s'en suit ainsi une dénaturation de certains acides aminés indispensables notamment, la cystéine, la valine, la lysine et la méthionine (Miller *et al.*, 1965 ; Ford et Batter, 1966 ; Melcion, 1986 et Larbier et Leclercq, 1992).

Sachant que la cuisson est une opération mal définie dont l'effet sur les protéines dépend surtout de la température (Cheftel, 1980) et lorsque la cuisson est très poussée ce qui est notre cas, la conformation tridimensionnelle peut être bouleversée, désorganisée par rupture des liaisons hydrogène et autres liaisons secondaires, qui permettent à l'édifice de maintenir sa conformation dans l'espace, c'est ce qu'on appelle la dénaturation.

Selon Weil, (1981) la dénaturation est parfois irréversible, parfois réversible. Il y a passage d'un état hautement ordonné à un état moins ordonné (augmentation de l'entropie).

Après traitement hydrothermique (cuisson et autoclavage) des différents échantillons de glands, nous avons obtenu des farines brunâtres, cela veut dire que le traitement hydrothermique thermique a favorisé le brunissement non enzymatique, car ces polymères bruns sont probablement issus des réactions de Maillard.

Les substrats de ces réactions sont des composés carbonylés, et en premier lieu les sucres réducteurs et d'autres produits de l'oxydation des lipides.

Les acides aminés et les protéines participent à ces réactions et les catalysent par l'intermédiaire des groupements aminés libres, pour donner des glycosylamines, qui se transforment ensuite en composés d'Amadori. Ces composés sont responsables de l'apparition de nouvelles propriétés organoleptiques souvent appréciées par le consommateur. Ceci explique la disparition des sucres réducteurs et la diminution du taux des protéines.

D'après nos résultats, nous constatons que la cuisson ménagère entraîne une diminution assez importante en protéines par rapport à l'autoclavage.

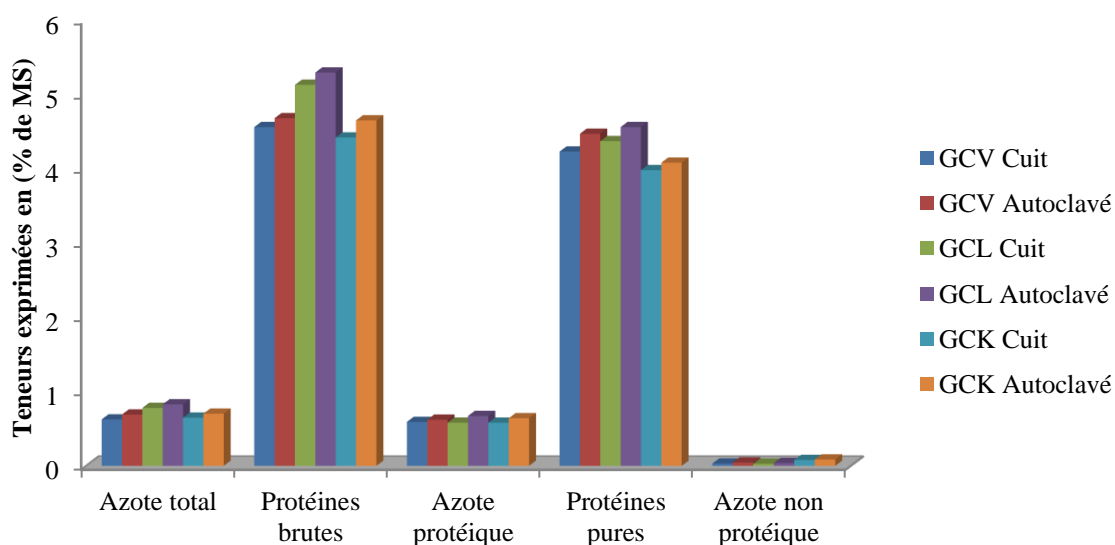


Figure 21. Teneurs en protéines brutes et pures des glands de chêne vert, liège et kermès cuits et autoclavés.

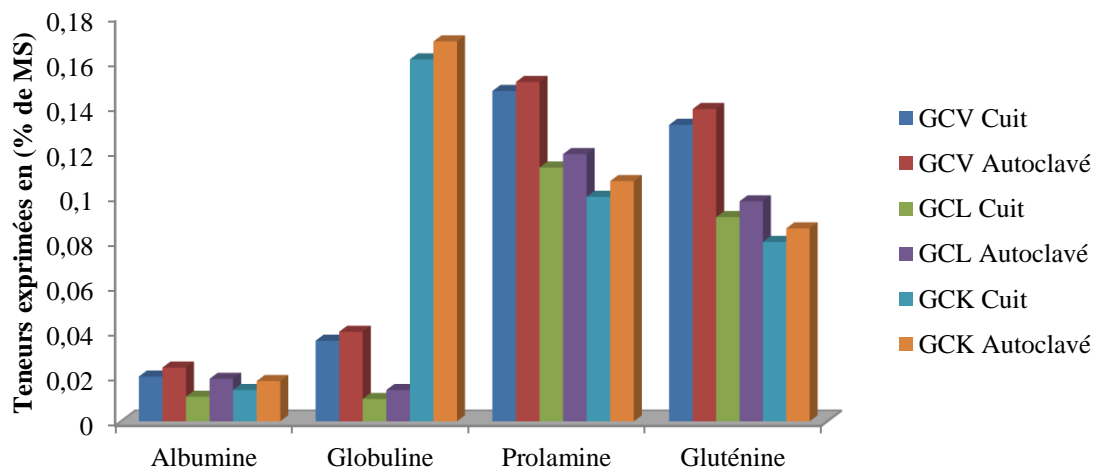


Figure 22. Composition des fractions protéiques des glands de chêne vert, liège et kermès cuits et autoclavés.

D'après Yeo et Shibamoto, (1991) les composés α -dicarbonylés résultent de la décomposition des cétosamines peuvent réagir avec un acide aminé et entraîne la dégradation de ce dernier (Dégradation de Strecker). Cette dégradation entraîne un dégagement d'anhydride carbonique, et la formation d'un aldéhyde à un atome de carbone de moins que l'acide aminé initial, et l'apparition de divers composés carbonylés nouveaux (Cheftel, 1980), expliquant la diminution de la teneur en azote total.

D'après nos résultats, nous constatons que la cuisson ménagère entraîne une diminution assez importante en fractions protéiques par rapport à l'autoclavage.

I.5 Teneur en fractions glucidiques des glands de chêne crus

I.5.1 Teneur en amidon

L'amidon est une substance polysaccharidique on l'appelle aussi un glucosane puisque son hydrolyse ne donne que du glucose. C'est pratiquement la substance la plus importante chez le gland. Il représente presque la moitié de la matière sèche. Les quantités sont inférieures à celles du gland de chêne indien 59% (Pal et *al.*, 1972), du chêne français 52,5% (Guaussein et Rouquette, 1949) et du chêne américain 52% (Bonner, 1971).

La figure 23, montre que les céréales présentent les teneurs les plus élevées en amidon estimé environ à 60% à l'exception de l'avoine dont la valeur est similaire à celle des glands ; par contre les légumineuses et les graines oléagineuses renferment des teneurs faibles à celles des glands (41,20%) (Thivend, 1981).

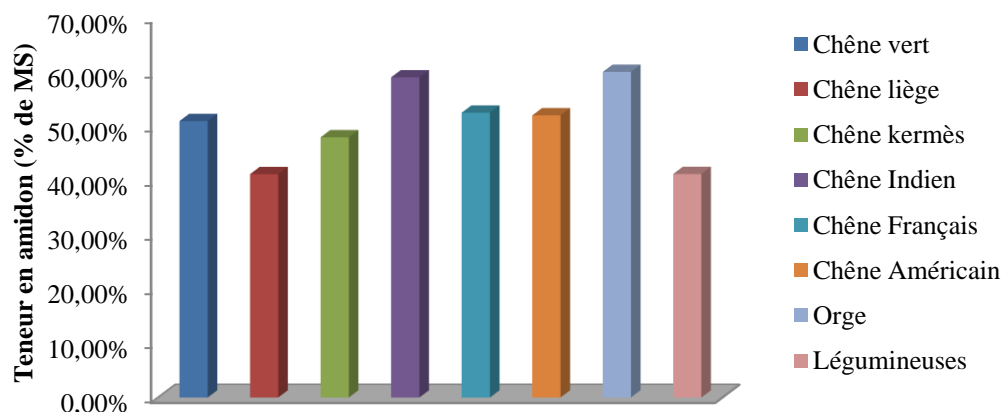


Figure 23. Teneur en amidon des glands de chêne comparée à celles de différentes espèces végétales.

Des travaux antérieurs montrent que le taux d'amidon varie dans un ordre décroissant avec l'épaisseur du tronc de l'arbre de chêne, il dépend aussi de l'état de maturité et de stockage des glands (Singh et Deol, 1985). La richesse en amidon des glands montre leur apport important en glucides en nutrition animale et leur possible utilisation comme matière première pour la fabrication d'amidon.

1.5.2 Teneur en saccharose

Selon la figure 24, le taux du saccharose est élevé chez les glands du chêne vert (24,76%). Les valeurs obtenues par certains auteurs sur des espèces françaises notamment le chêne Tauzin (4,00%) est inférieures à celles des espèces étudiées (Gaussein et Rouquette, 1949).

Comparés aux céréales (2,90%) et aux légumineuses (5,90%), les glands renferment des teneurs plus importantes (Boudoumia, 1985 ; Afraitane, 1990). Ces variations peuvent être dues à l'espèce, aux conditions écologiques et édaphiques.

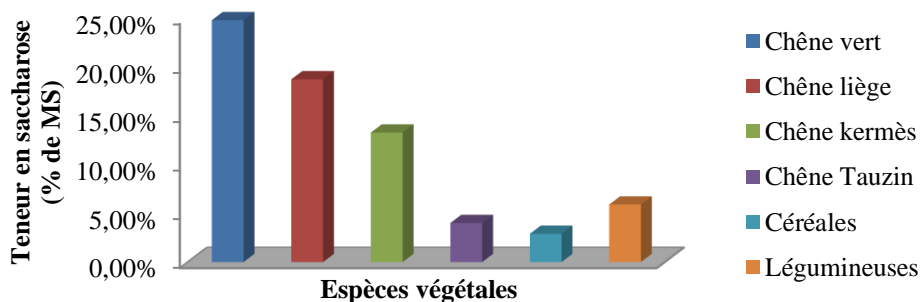


Figure 24. Teneurs en saccharose des glands de chênes comparés à celles des céréales et des légumineuses.

I.5.3 Teneur en sucres réducteurs

D'après la figure 25, les quantités de sucres réducteurs que l'analyse donne sont faibles. Ces valeurs sont inférieures à celles rapportées par Foudhil, (1990) estimées à 7%. Par contre, elles dépassent celles présentées par Afraitane, (1990) sur le gland marocain et par Ramos Ayerbe et *al.*, (1964) qui trouvent respectivement 1,51% et 0,6%. Les écarts observés sont vraisemblablement liés aux dates de récolte et aux modalités de conservations des glands.

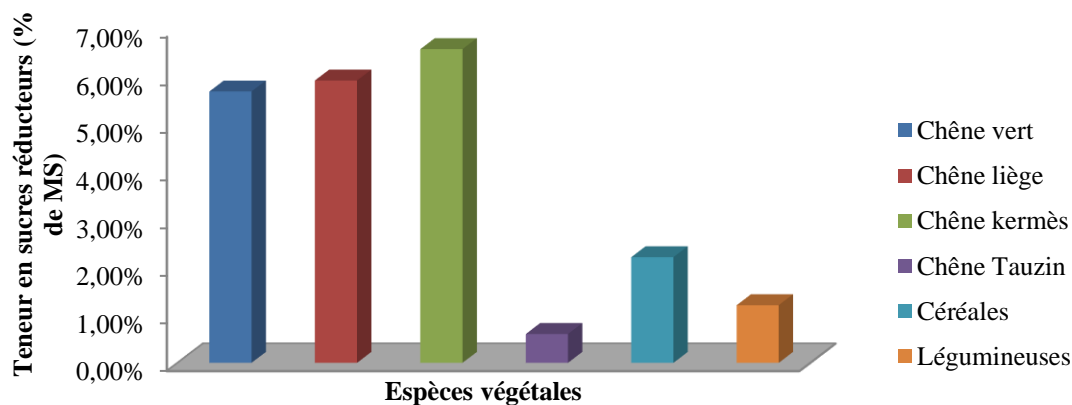


Figure 25. Teneurs en sucres réducteurs des glands de chênes comparées à celles des céréales et des légumineuses.

Les céréales (2,20%) et les légumineuses (1,20%) renferment des taux faibles comparés à ceux des glands (Kasmi, 1990).

I.5.4 Teneur en cellulose

Le taux de cellulose est l'un des principaux facteurs effectuant la digestibilité qui diminue avec le vieillissement de la plante. Il permet donc de fournir un renseignement sur l'âge de la plante et sa valeur énergétique, puisque le coefficient de digestibilité de la matière organique est lié au taux de cellulose (Boudoumia, 1985).

D'après la Figure 26, les valeurs obtenues sont du même ordre que celles déterminées par Vidal et Valera, (1969) pour les glands des chênes américains (2,4%), et supérieures à celles trouvés par Afraitane, (1990) pour les glands des chênes marocains (2,3%).

La teneur en cellulose de glands d'espèces différentes varie peu. Cette variation est due à l'origine du gland (espèces, conditions écologiques et édaphiques).

Ce taux relativement stable est un facteur important dans la préparation d'aliment composé pour bétail.

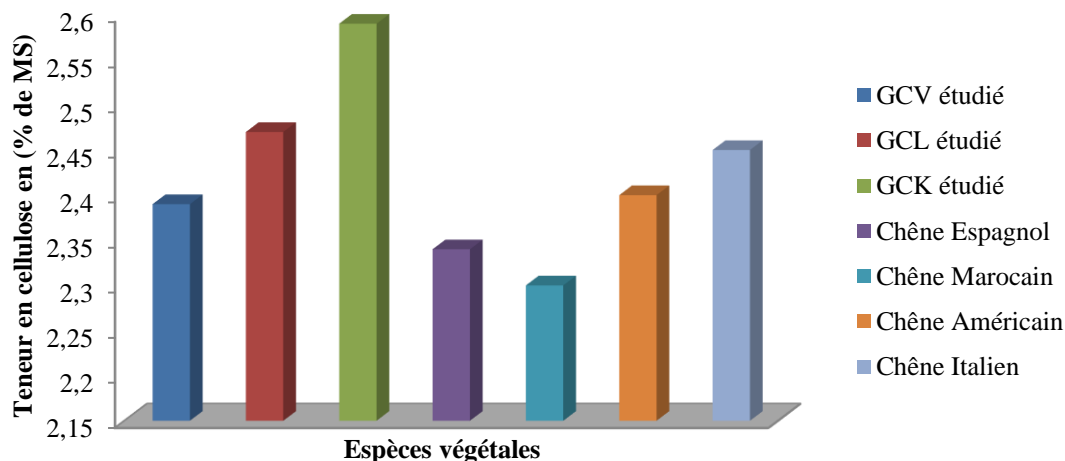


Figure 26. Teneurs en cellulose des différentes espèces de glands de chênes.

I.6 Teneur en fractions glucidiques des glands de chêne traités

I.6.1 Teneur en amidon

Les amidons sont des polysaccharides végétaux et sont présents dans les tissus végétaux sous forme de granules intracellulaires denses, d'aspect et de structure souvent caractéristique de la plante d'où ils proviennent. Ces granules sont des sphérocristaux contenant très peu d'eau. Ils sont à peu près totalement insolubles dans l'eau froide.

Lorsque les granules d'amidon sont exposés à la fois à la chaleur et à l'humidité il y a gélatinisation au-dessus de 55 – 70°C, les granules gonflent du fait d'une adsorption d'eau sur les groupements polaires hydroxydes. Si le traitement hydrothermique est prolongé ce qui est notre cas, il y a éclatement des granules, hydrolyse partielle et dissolution plus au moins complète des molécules constitutantes ce qui explique la diminution du taux d'amidon (Figure 27).

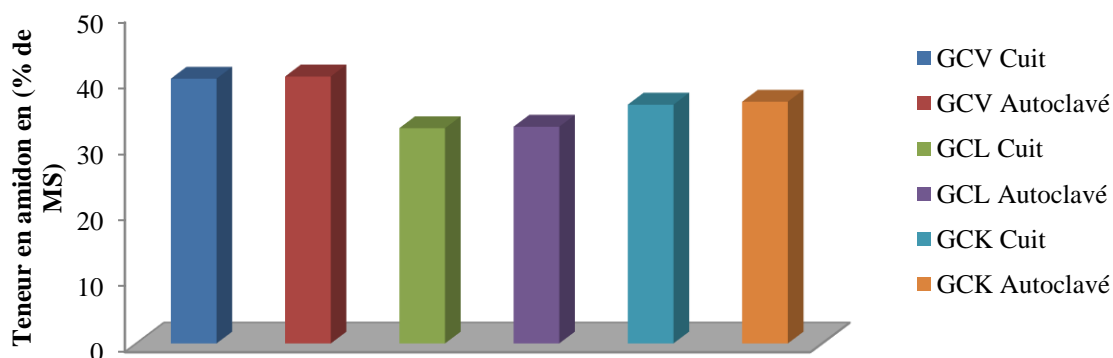


Figure 27. Teneurs en amidon des glands de chêne vert, liège et kermès cuits et autoclavés.

Legoy, (1986) montre que la cuisson pourrait avoir une action sur l'amidon en détruisant les granules et en rendant de ce fait les chaînes d'amylose et d'amylopectine plus facilement accessibles aux enzymes digestives.

Tout traitement thermique concernant l'amidon de quelques origines que ce soit est suivi après refroidissement d'une rétrogradation. Dans notre cas ces phénomènes sont probablement en partie expliqués par les modifications physico-chimiques intervenant au niveau des constituants de l'amidon. La vitesse de rétrogradation est influencée par le pH, la présence d'ions, la concentration en amylose et la masse moléculaire de l'amylose. Une masse moléculaire moyenne entraîne une vitesse maximale de rétrogradation et la présence d'acide gras ou de mono glycéride, qui forment des complexes plus au moins solubles avec l'amylose diminue le gonflement et la viscosité à la cuisson en protégeant partiellement contre la rétrogradation. Par contre, l'amylopectine absorbe beaucoup d'eau à la cuisson, et est en grande partie responsable du gonflement des granules d'amidon. Ces derniers riches en amylopectine sont plus faciles à dissoudre dans l'eau à 95°C, ainsi l'hydrolyse d'amidon donne le glucose qui est un substrat de brunissement non enzymatique. Ce phénomène est très apparent dans notre cas et se traduit par une farine de coloration légèrement brunâtre.

D'après nos résultats, nous constatons que la cuisson ménagère entraîne une diminution assez importante en amidon par rapport à l'autoclavage.

I.6.2 Cellulose

D'après la figure 28, le traitement hydrothermique, provoque une légère diminution du taux de la cellulose, car les liaisons β 1,4 qui relient les résidus de glucose, sont particulièrement résistantes à l'hydrolyse, sachant que les chaînes de cellulose peuvent contenir jusqu'à 10.000 résidus de glucose. La régularité de disposition des groupements hydroxyles fait que les chaînes voisines interagissent par l'intermédiaire de nombreuses liaisons hydrogènes créant un édifice à taux élevé de cristallinité (= 70%). Par contre la chaleur humide réduit quelque peu cette cristallinité par gonflement et pénétration d'eau entre les chaînes ; et un traitement prolongé à température de 100°C peut détruire quelques liaisons, ce qui explique la diminution du taux de la cellulose.

D'après nos résultats, nous constatons que la cuisson ménagère entraîne une diminution assez importante en cellulose par rapport à l'autoclavage.

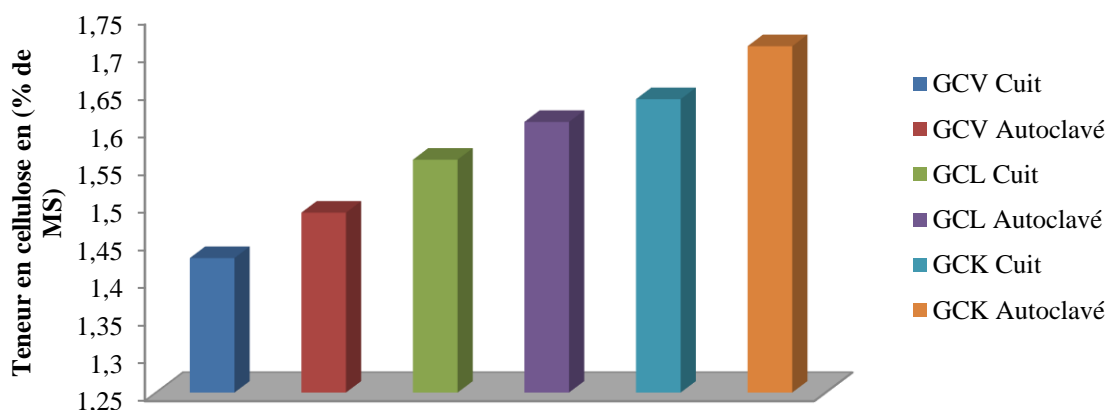


Figure 28. Teneurs en cellulose des différentes espèces de glands de chênes cuits et autoclavés.

I.6.3 Teneur en sucres réducteurs

D'après la figure 29, on constate que le traitement hydrothermique provoque une réduction appréciable du taux des sucres réducteurs, ceci pourrait être expliqué par la participation de ces derniers dans les réactions de dégradations thermiques car ils sont des substrats du brunissement non enzymatique.

D'après nos résultats, nous constatons que la cuisson ménagère entraîne une diminution assez importante en sucres réducteurs par rapport à l'autoclavage.

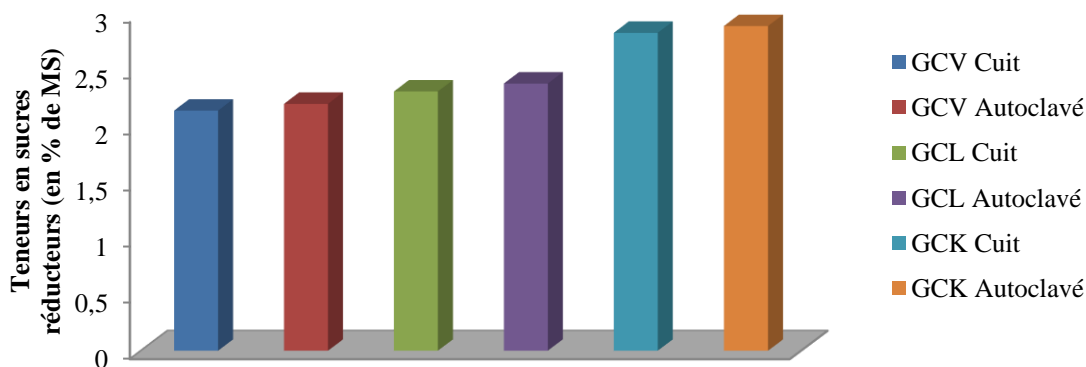


Figure 29. Teneur en sucres réducteurs des différentes espèces de glands de chênes cuits et autoclavés.

I.6.4 Teneur en Saccharose

Le saccharose qui est un disaccharide de glucose et de fructose n'a pas de fonction réductrice (la fonction aldéhydique du glucose est la fonction cétonique du fructose sont bloquées) donc le saccharose n'est pas un substrat de brunissement non enzymatique.

Selon Boudroua, (1995) la farine de gland a un pH acide qui varie de 4,90 à 6,05, donc l'acidité du milieu et la température élevée de 100°C de notre traitement favorise l'hydrolyse (inversion du saccharose en glucose et en fructose) donc libération des fonctions réductrices. Dans ce cas le saccharose interverti devient un substrat des réactions de Maillard. Nos résultats montrent que le saccharose a été interverti en glucose et fructose qui ont participé aux réactions de brunissement non enzymatique, ce qui explique sa diminution (Figure 30).

D'après nos résultats, nous constatons que la cuisson ménagère entraîne une diminution assez importante en saccharose par rapport à l'autoclavage.

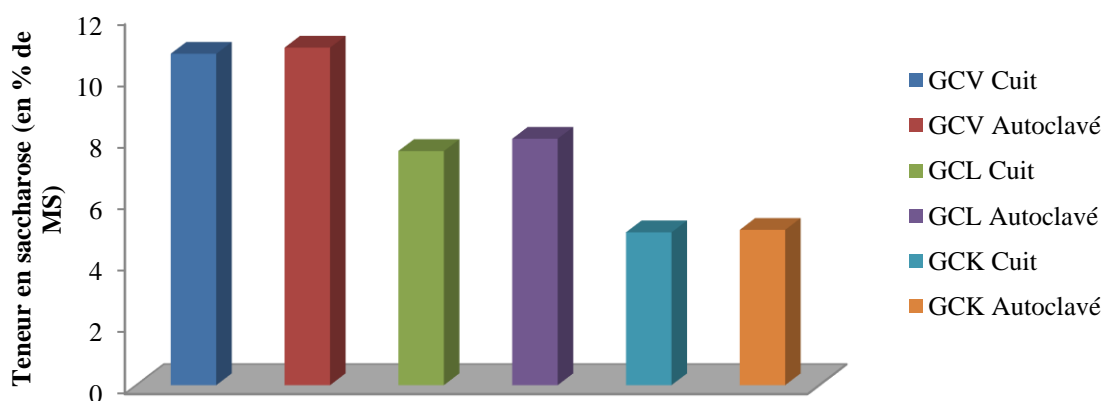


Figure 30. Teneurs en saccharose des différentes espèces de glands de chênes cuits.

1.7 Étude microscopique de l'amidon de différentes espèces végétales

On comparant les figures 31a et 31a', on constate que les cristaux d'amidons du gland de chêne vert traité ont disparus ; car au cours la cuisson, il y a une gélatinisation de l'amidon, donc les granulés gonflent au maximum du fait d'une adsorption d'eau sur les groupements polaires hydroxyles et c'est l'amylopectine qui en est responsable car elle absorbe beaucoup d'eau au cours de la cuisson ; puis il y a éclatement de ces granules (hydrolyse et dissolution des molécules constructrices), ce qui explique leur disparition. Il l'en est de même pour les figures 31b et 31b' ; 31c et 31c'.

Les différentes photos montrent que la structure de l'amidon (dimension des grains d'amidon) des différentes espèces de glands crus (Figure 31a, 31b et 31c) présente une certaine ressemblance avec celle de l'amidon du blé (Figure 31d).

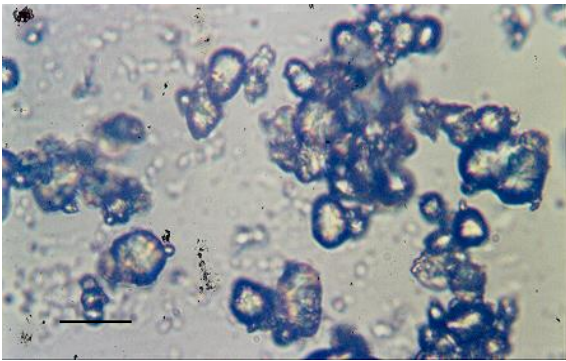


Figure 31a. Observation microscopique des cristaux d'amidon du gland de chêne vert cru. (Gross. x 40) (Barre : $1\text{cm} = 6.10^{-3} \mu$).

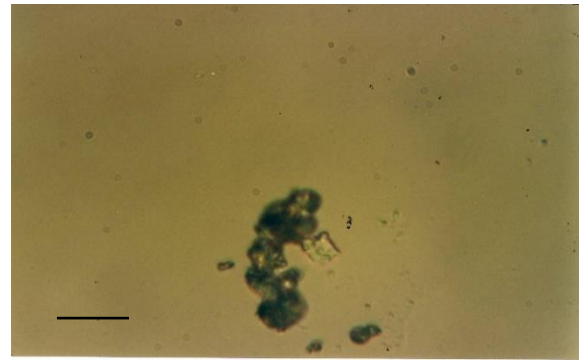


Figure 31à. Observation microscopique des cristaux d'amidon de gland de chêne vert traité. (Gross. x 40) (Barre : $1\text{cm} = 6.10^{-3} \mu$).

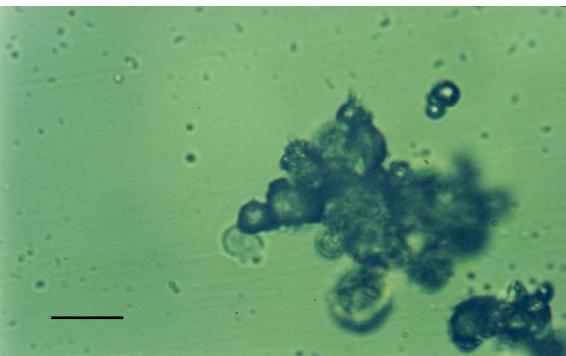


Figure 31b. Observation microscopique des cristaux d'amidon de gland de chêne liège cru. (Gross. x 40) (Barre : $1\text{cm} = 6.10^{-3} \mu$).

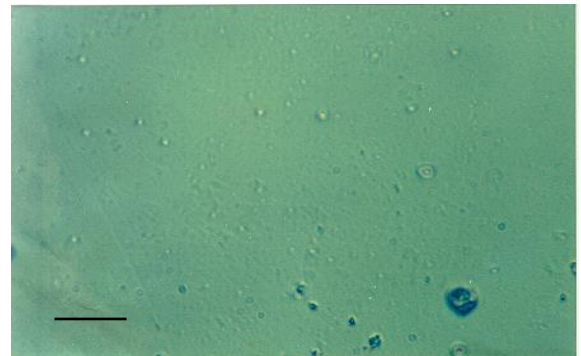


Figure 31b'. Observation microscopique des cristaux d'amidon de gland de chêne liège traité. (Gross. x 40) (Barre : $1\text{cm} = 6.10^{-3} \mu$).

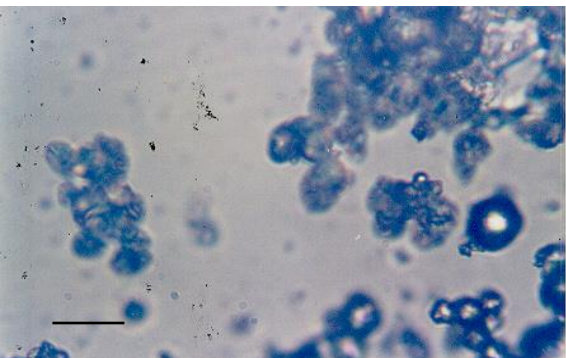


Figure 31c. Observation microscopique des cristaux d'amidon de gland de chêne kermès cru. (Gross. x 40) (Barre : $1\text{cm} = 6.10^{-3} \mu$).

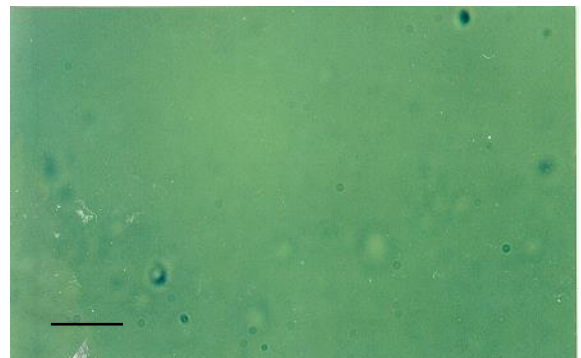


Figure 31c'. Observation microscopique des cristaux d'amidon de gland de chêne kermès traité. (Gross. x 40) (Barre : $1\text{cm} = 6.10^{-3} \mu$).

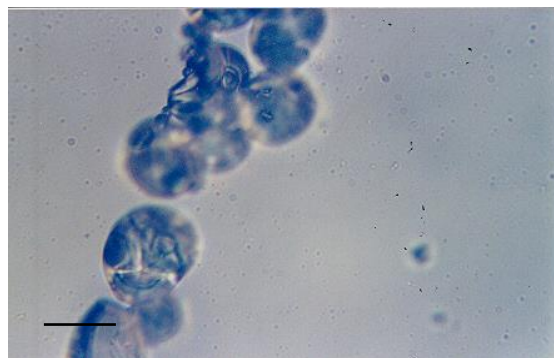


Figure 31d. Observation microscopique des cristaux d'amidon de blé (Gross. x 40)
(Barre : $1\text{cm} = 6.10^{-3} \mu$).

I.8 Teneur en matières grasses des glands de chênes crus

Le chêne vert est l'espèce qui possède le taux le plus haut en lipides estimés à 8,10%. La richesse de l'espèce comestible en matière grasse confirme les résultats de Picollo *et al.*, (1983) ; Taleb Bendiab *et al.*, (1990) ; Boudoumia, (1985). Ferrao *et al.*, (1988), constate que le taux du chêne vert est supérieur à celui des autres espèces de chêne. Selon ces derniers, le gland du chêne vert présente une meilleure qualité d'huile et peut être destiné à l'extraction d'huile. D'après la figure 32, nos valeurs s'avèrent plus élevées que celles des populations portugaises (4,9%) (Ferreira et Vieira, 1966) et américaines (3,46%), mais inférieures aux teneurs des populations espagnoles (14,5%) (Figure 32).

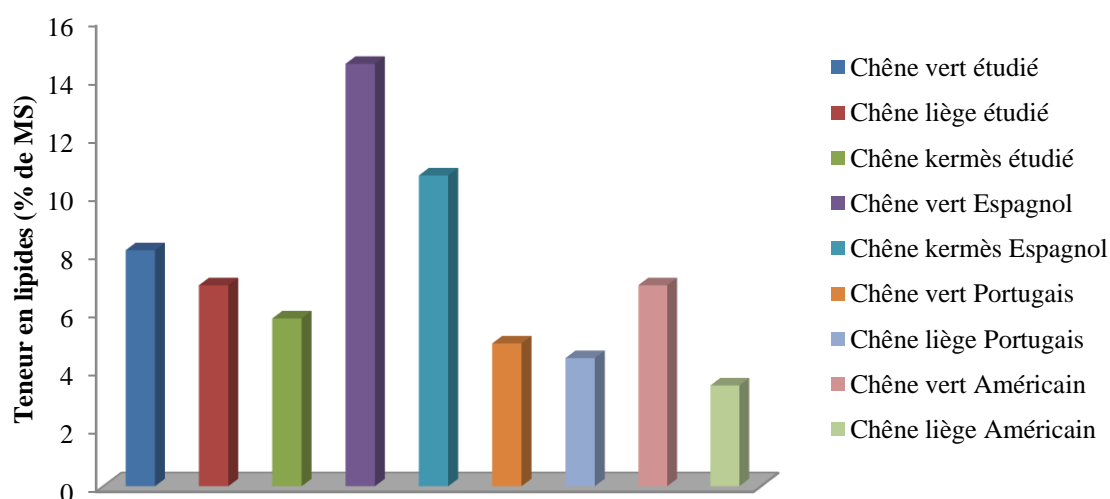


Figure 32. Teneurs en lipides des différentes espèces de glands de chênes.

Il semble donc selon nos résultats et ceux de la littérature que la teneur en huile de gland de couleur jaune est très variable. Divers paramètres influent sur le taux de la matière grasse comme la granulométrie, l'humidité et la nature du solvant.

Buron Arias, (1976) confirme que l'opération d'extraction faite par l'hexane permet d'obtenir un meilleur rendement d'huile.

I.9 Teneur en matières grasses des glands de chêne traités

La diminution des lipides au cours du traitement hydrothermique pourrait être liée à une libération partielle des huiles contenues dans les cellules oléagineuses, survenant après une rupture des structures cellulaires sous l'action des traitements hydrothermiques (Berset, 1987 ; Larbier et Leclercq, 1992).

Au cours de la cuisson il y a dégradation des lipides, donc libération des acides gras dont les propriétés sont plus ou moins désagréables sur le plan organoleptiques (acides gras à courte chaîne principalement).

Les différentes références (Bouderoua, 1995 ; Belarbi, 2003) indiquent que l'huile de gland est riche en acide oléique (68 à 70,10%) et moins riche en acide linoléique (13,10 à 28,6%) et contient plus de 2% d'acide stéarique.

D'après Bradley et Min, (1992) ces acides gras non saturés, s'ils sont libres, s'oxydent en général plus vite en présence d'oxygène et de la chaleur. Mais c'est surtout le degré d'insaturation qui influence la vitesse d'oxydation à 100°C.

Les acides gras saturés ne s'oxydent qu'à une température supérieure à 60°C.

D'autres substrats non saturés peuvent subir des réactions d'oxydation analogue, telle que l'oxydation des vitamines A et E peut être due aussi à l'action des peroxydes formés aux dépens des acides gras insaturés, dans un cas comme dans l'autre, elle entraîne des pertes d'activité vitaminée, de même que l'oxydation des acides gras essentiels provoquent une diminution de la valeur nutritionnelle (Cheftel, 1980).

D'autre part, certains parmi les nombreux composés qui prennent naissance lors des réactions d'oxydation des lipides sont à l'origine d'autres altérations, ainsi les composés carbonisés peuvent notamment réagir avec les protéines ou plus généralement favorisent le brunissement non enzymatique ; et la présence des lipides oxydés peut entraîner l'oxydation secondaire de divers arômes. Sachant que le traitement hydrothermique favorise l'augmentation de la teneur en peroxyde relativement élevé, donc l'oxydation démarre plus vite. Ce qui explique la diminution du taux de lipides qui est sûrement due à l'oxydation des acides gras libres existant dans nos échantillons (Figure 33).

D'après nos résultats, nous constatons que la cuisson ménagère entraîne une diminution assez importante en lipides par rapport à l'autoclavage.

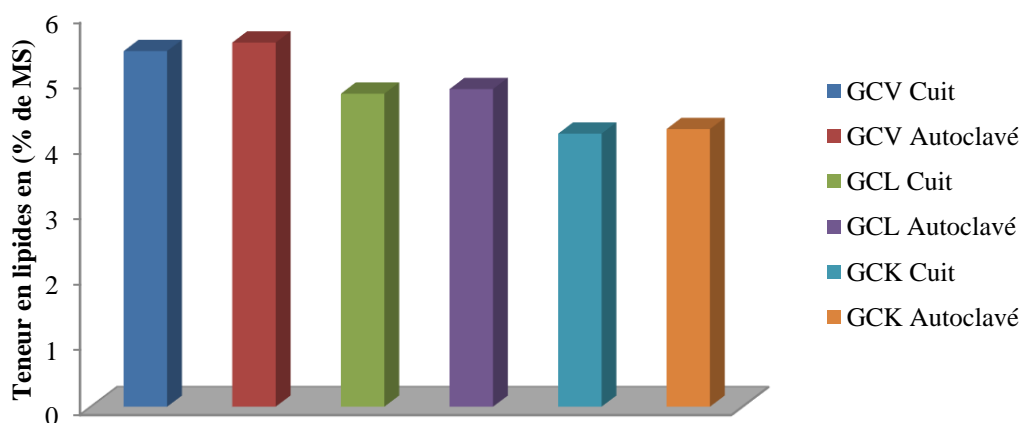


Figure 33. Teneurs en lipides des différentes espèces de glands de chênes cuits et autoclavés.

I.10 Évolution de l'acidité grasse au cours du stockage des glands de chêne crus

Le contrôle de l'acidité des farines est très important et permet de suivre leur stabilité pendant leur conservation. Pour cela nous avons suivi l'évolution de l'acidité pendant une période de deux mois environ.

Les résultats trouvés sont dans les normes jusqu'à la 8^{ème} semaine de stockage. L'acidité évolue régulièrement jusqu'à se rapprocher des valeurs considérées comme critiques par les spécialistes (pour les farines 0,05).

La figure 34 montre que l'acidité du gland de chêne kermès évolue lentement par rapport à celle des glands de chêne vert et liège, ce qui signifie que le gland du chêne kermès est plus stable que le gland du chêne vert et liège durant les huit semaines de conservations. Ainsi les glands de chêne vert et liège sont riches en matière grasse par rapport au gland de chêne kermès.

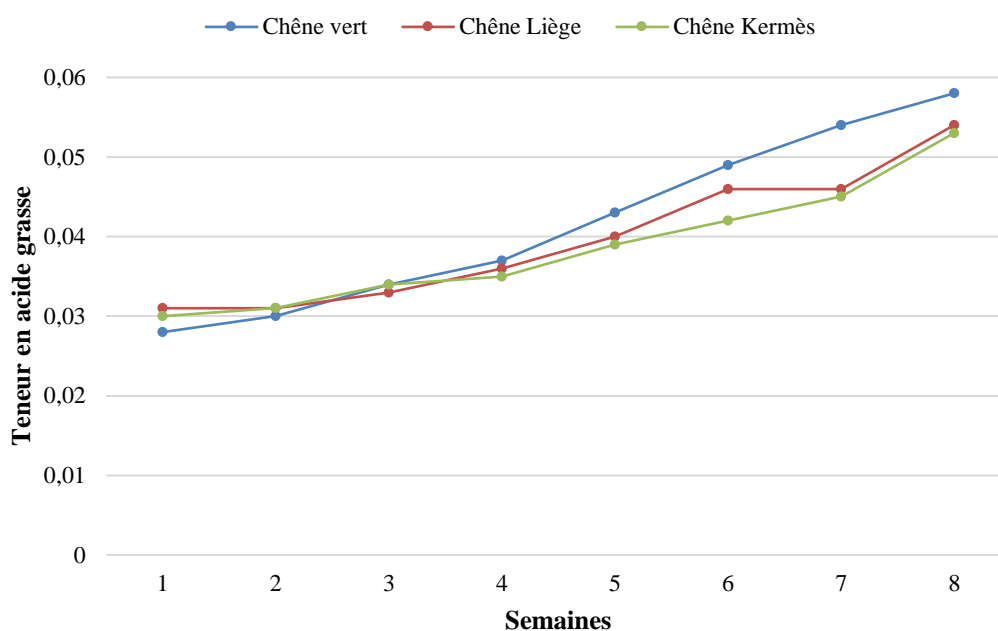


Figure 34. Évolution de l'acidité grasse de différentes farines de glands de chênes (en mg d'H₂SO₄ pour 100 g de matière sèche).

I.11 Teneur en acidité grasse des glands de chêne traités

Il ressort de la Figure 35, que la teneur en acidité grasse a légèrement diminué, ceci pourrait être expliqué par l'oxydation des acides gras libérés lors du traitement hydrothermique, puisque l'acidité grasse est l'expression conventionnelle des acides gras libres.

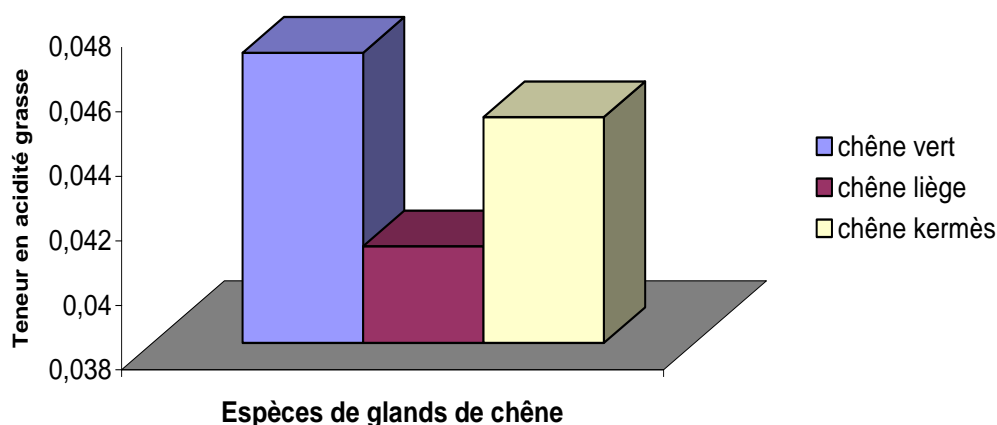


Figure 35. Détermination de l'acidité grasse des différentes espèces de glands de chênes traités (en mg d'H₂SO₄ pour 100g de MS).

I.12 Teneur de la matière minérale des glands de chêne crus

I.12.1.1 Teneur en cendres

La détermination du taux de cendre est importante dans les analyses des aliments pour différentes raisons :

Seules les basses teneurs en cendre des produits sont acceptables pour la consommation humaine.

La teneur en cendre est un excellent indice de qualité de farine, mais aussi des substances nutritives utilisées dans l'alimentation du bétail et de la volaille (Afratane, 1990).

Les teneurs en cendres déterminées par incinération sèche sont exposées dans la figure 36.

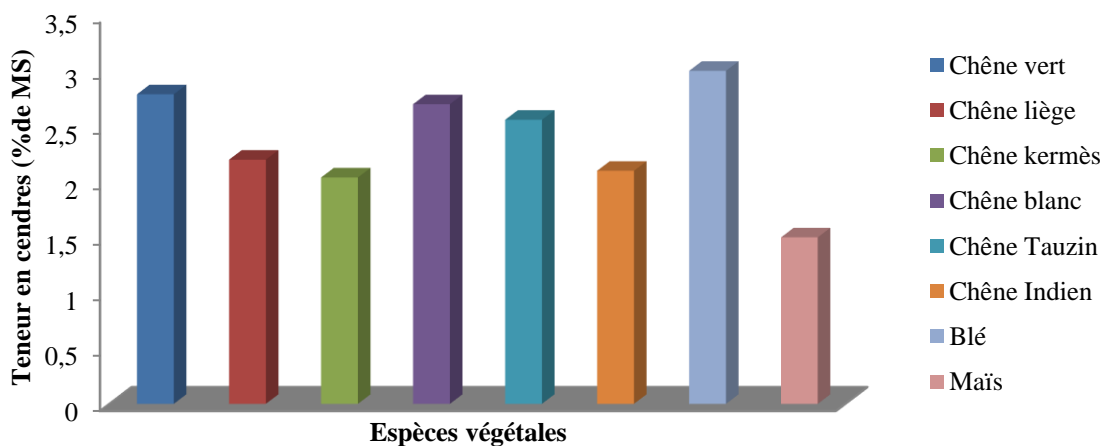


Figure 36. Teneurs en cendres des glands de chêne, des céréales et des légumineuses.

Les glands des trois espèces de chênes se caractérisent par des faibles teneurs en cendres, l'espèce comestible renferme des teneurs importantes (2,79%) comparés aux espèces fourragères (2,2% pour le gland de chêne liège et 2,04% pour le gland de chêne kermès).

Les résultats montrent que le taux de cendre des glands est inférieur à celui des glands du chêne blanc (2,70%) (Manage-Wild, 1976) et du chêne tauzin (2,56%) (Ferreira et Vieira, 1966) alors qu'il est supérieur à celui du chêne indien (2,10%) (Singh et Deol, 1985).

Comparées aux teneurs des graines de légumineuses, estimées à 3,001% les teneurs en cendre des glands de chênes sont nettement inférieures, alors qu'elles sont supérieures aux graines de céréales (1,50%).

I.12.2 Teneur en phosphore total

Les glands des différentes espèces de chênes étudiées se caractérisent par une teneur élevée en phosphore. L'espèce fourragère renferme une teneur importante estimée à 174mg /100g de M.S. comparée à l'espèce comestible estimée à 140,51mg /100g de M.S.

Les résultats représentés dans la figure 37, montrent que le taux de phosphore total des glands des trois espèces est similaire au chêne indien (170mg / 100g de M.S.) (Pal *et al.*, 1972), supérieur à celui du gland de chêne portugais (124mg / 100g de M.S.) (Ferreira et Vieira, 1966) et inférieur aux glands des deux chênes américains blanc et noir estimées respectivement à 228 et 217mg / 100g de M.S. (Manage-Wild, 1976). Comparés aux graines de légumineuses estimées à 77 mg / 100g de MS., les teneurs des glands de chêne sont relativement supérieures.

I.12.3 Teneur en calcium

Selon la figure 37, le chêne liège renferme des taux légèrement élevés (208,52mg /100g de M.S) comparés aux autres espèces de chêne : 164,65mg /100g de M.S pour le chêne vert et 122,25mg /100g de M.S pour le chêne kermès. La valeur moyenne du calcium des glands de différentes espèces de chêne étudiées est relativement supérieure à celle des populations portugaises estimée à 100mg / 100g de M.S. (Guaussein et Rouquette, 1949) et indiennes estimée à 110 mg / 100g de M.S. (Manage-Wild, 1976).

Comparés aux céréales (350mg / 100g de M.S) et aux légumineuses (470mg / 100g de M.S) (Sgarbieri, 1989), les glands présentent des teneurs inférieures.

I.12.4 Teneur en magnésium

La teneur en magnésium des glands de chêne est généralement mal connue. Jusqu'à un passé très récent, les chercheurs se sont contentés de déterminer les teneurs en calcium et en phosphore. Cependant, une meilleure connaissance de la teneur en magnésium est nécessaire

pour estimer la valeur énergétique de ce fruit. Le manque de données nous a contraints de comparer nos résultats avec ceux des populations marocaines estimés à 114ppm (Afratane, 1990).

D'après la figure 37, nos résultats sont relativement supérieurs à ceux des populations indiennes estimés à 134mg / 100g de M.S (Jung et Mahn-Jung, 1976).

Nous avons constaté lors de cette analyse que la teneur en cendre, calcium, phosphore et magnésium chez les glands est variable. Cette variabilité de teneur ne peut être due qu'aux conditions pédoclimatiques de la région, de l'espèce qui a fourni l'échantillon et de la maturité du gland (Bonner, 1976).

Par ailleurs des travaux antérieurs ont montré que le taux de magnésium varie dans un ordre décroissant avec la maturité du gland (Wainio-Walter et Forbes, 1941).

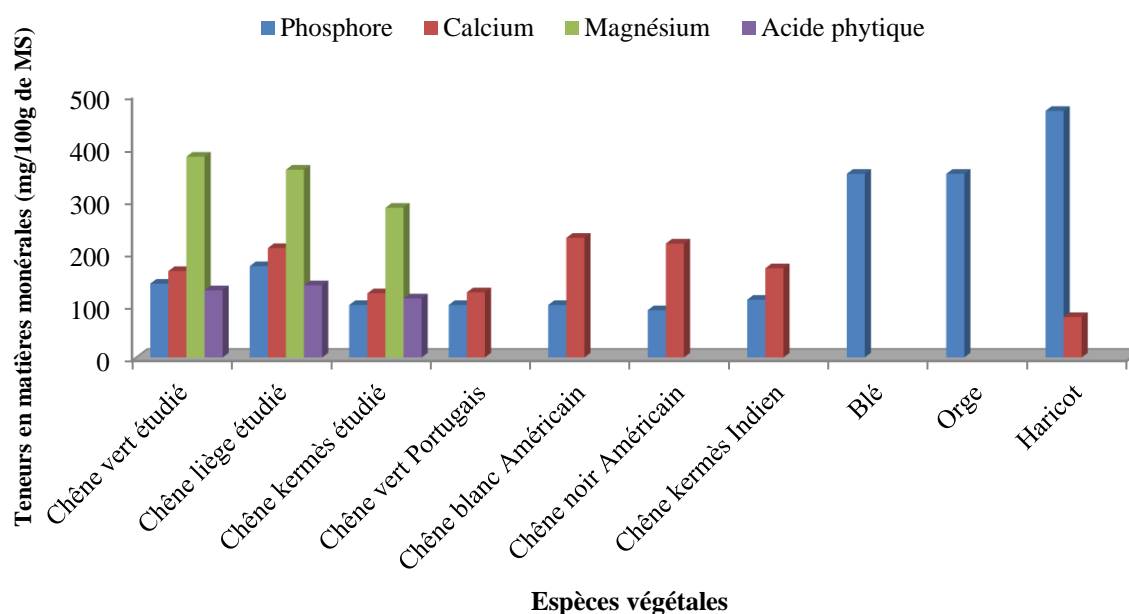


Figure 37. Teneur en calcium, phosphore, magnésium et acide phytique des différentes espèces végétales.

I.13 Teneur en matière minérale des glands de chêne traités

D'après la figure 38, les pertes d'éléments minéraux (cendres, calcium, phosphore, magnésium et l'acide phytique) sont produites par la dissolution et la diffusion dans l'eau utilisée au cours du traitement (cuisson et autoclavage). L'acidité du milieu favorise la mise en solution des sels minéraux.

D'après nos résultats, nous constatons que la cuisson ménagère entraîne une diminution assez importante en matière minérale par rapport à l'autoclavage.

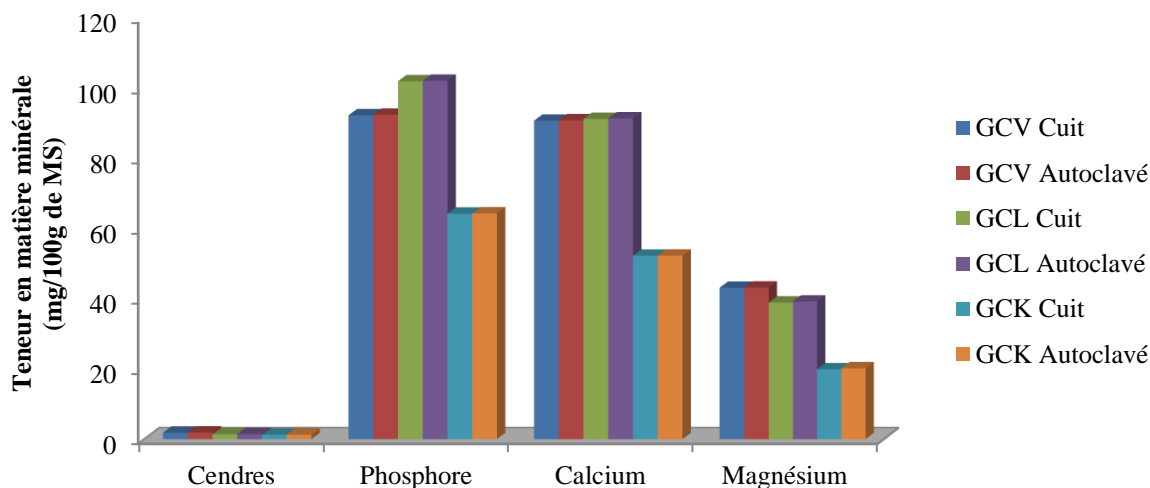


Figure 38. Teneurs en matière minérale des différentes espèces de glands de chênes cuits et autoclavés.

II. Composés antinutritionnels

II.1 Teneur en composés phénoliques des glands de chêne crus

Parmi les composés antinutritionnels, notons que seuls les tannins et l'acide phytique sont présents dans les glands de chêne.

L'inhibiteur de trypsine est pratiquement absent chez les espèces étudiées (Belarbi et *al.*, 2001).

II.1.1 Teneur en fraction phosphorée : Acide phytique

Les glands de chêne vert et liège présentent des teneurs similaires en acide phytique.

La figure 39 montre que la teneur en acide phytique des grains de céréales et des légumineuses est nettement supérieure à celle des glands (Lepen et Andrian, 1982 ; Ravindran, 1988). Par conséquent l'acide phytique n'est pas un facteur anti-nutritionnel comme chez les céréales.

En outre, les taux de magnésium sont élevés à ceux des céréales, on peut conclure que l'acide phytique est bien saturé par le magnésium comparé à celui des céréales.

Parmi les nombreux facteurs de variations de la teneur en acide phytique certains sont liés à la plante telle que l'environnement, le sol et le climat.

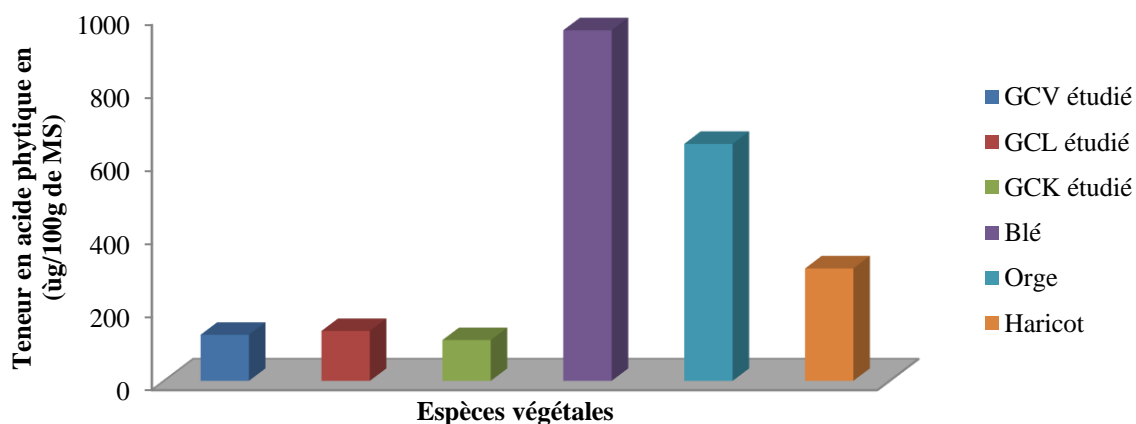


Figure 39. Teneurs en acide phytique des glands de chênes étudiés.

II.1.2 Teneur en phénols totaux

Les valeurs obtenues en phénols totaux montrent des faibles taux en particulier chez l'espèce comestible estimée à 0,631% comparés à ceux des glands de différentes espèces de chênes notamment *Quercus alba*, *Quercus rubera* et *Quercus valentina* estimées respectivement à 1,09%, 4,10% et 4,51% (Basden et Dalvi, 1987) (Figure 40). Les résultats des espèces étudiées sont peu représentatifs par rapport à la féverole qui montre un taux important de phénols (24,90%) (Brun et Jay, 1990).

II.1.3 Teneur en tannin total

D'après la figure 40, il existe une variabilité des valeurs obtenues chez les trois espèces de chênes. L'espèce comestible est la moins riche en tannins (0,295%). Le chêne liège (0,609%) et kermès (1,094%) sont plus riches.

Cependant les teneurs en tannins sont nettement inférieures à celles publiées par Vijjan et Katiyar, (1973) pour les glands indiens (8,82%) ; Ofcarcik et Burns, (1971) pour les glands américains de chêne blanc, rouge et noir (0,1 à 10%).

Ainsi, la teneur en tannins nous permet de distinguer entre les espèces comestibles et les espèces fourragères.

II.1.4 Teneur en tannin condensé

Il ressort de la figure 40, que l'espèce comestible possède le taux le plus faible en tannins condensés estimés à 0,289%, alors que les populations des espèces fourragères possèdent des taux plus élevés estimés à 0,522% pour le chêne liège et 0,995% pour le chêne kermès.

On peut déduire que les tannins condensés déterminés des différentes espèces étudiées constituent la majorité des tannins totaux.

En comparant nos espèces avec la féverole, nous constatons que nos résultats sont nettement inférieurs, et la différence est très significative par rapport à l'exemple de féverole estimée à 15,68% (Brun et Jay, 1990).

II.1.5 Teneur en tannin hydrolysable

Les résultats de notre analyse montrent que la population du chêne liège renferme un taux assez élevé (0,098%) par rapport à l'espèce comestible estimée à 0,009%.

Par contre, les valeurs obtenues pour la population de chêne kermès sont très proches de 0,1%. Cette variabilité montre que le chêne kermès est plus riche en tannins hydrolysables que les deux autres espèces citées.

La figure 40, montre que les teneurs en tannins hydrolysables sont peu représentatives par rapport à celles des tannins totaux.

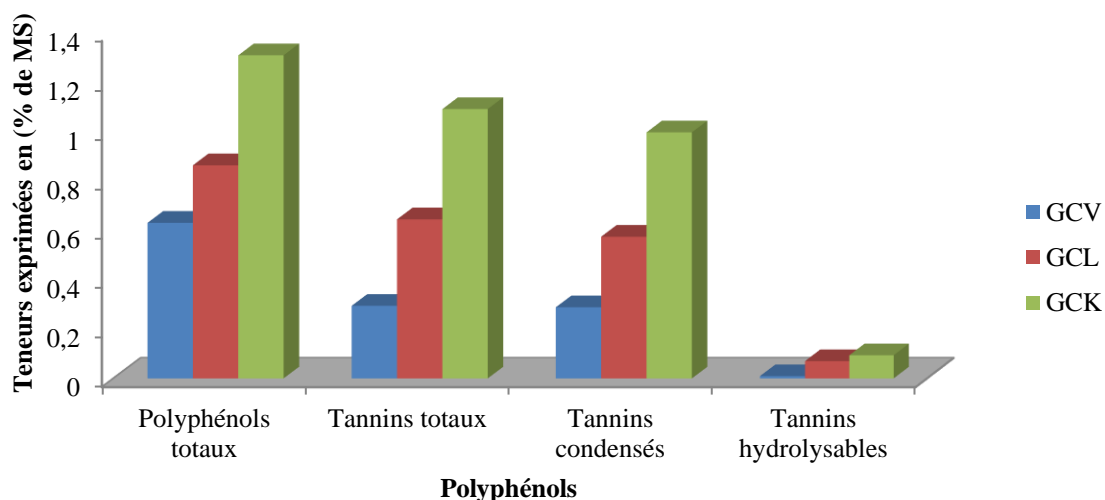


Figure 40. Teneurs en phénols totaux, tannins condensés et tannins hydrolysables des glands de chênes étudiés.

Pour l'espèce comestible, la différence est très significative par rapport à la féverole (2,8300%) (Brun et Jay, 1990).

Pour ce qui est des espèces fourragères, nous constatons que les valeurs de la féverole sont supérieures par rapport aux espèces fourragères étudiées.

La richesse en tannin des glands varie avec l'espèce végétale considérée, mais aussi avec l'état de maturité du fruit (Afraitane, 1990), parfois l'épaisseur ou le diamètre du tronc d'arbre peut influencer la variabilité de la teneur en tannins (Singh et Deol, 1985). En outre cette variation peut être due aux facteurs pédoclimatiques (Afraitane, 1990).

La faible teneur en tannin des glands de chêne vert prouve qu'ils ne sont pas toxiques et ils sont d'une douceur très appréciée par les consommateurs.

À ce propos, Hong Byung et *al.*, (1975) ont montré que les glands deviennent très toxiques et mortels s'ils contiennent un taux de tannin dépassant 1%.

II.2 Teneur en composés phénoliques des glands de chêne traités

II.2.1 Teneur en acide phytique

La figure 41 montre une diminution de la teneur en acide phytique des différentes espèces de glands de chêne après le traitement hydrothermique (cuisson et autoclavage), cette diminution est produite par la dissolution et la diffusion de l'acide phytique dans l'eau utilisée au cours de la cuisson et lors de l'autoclavage.

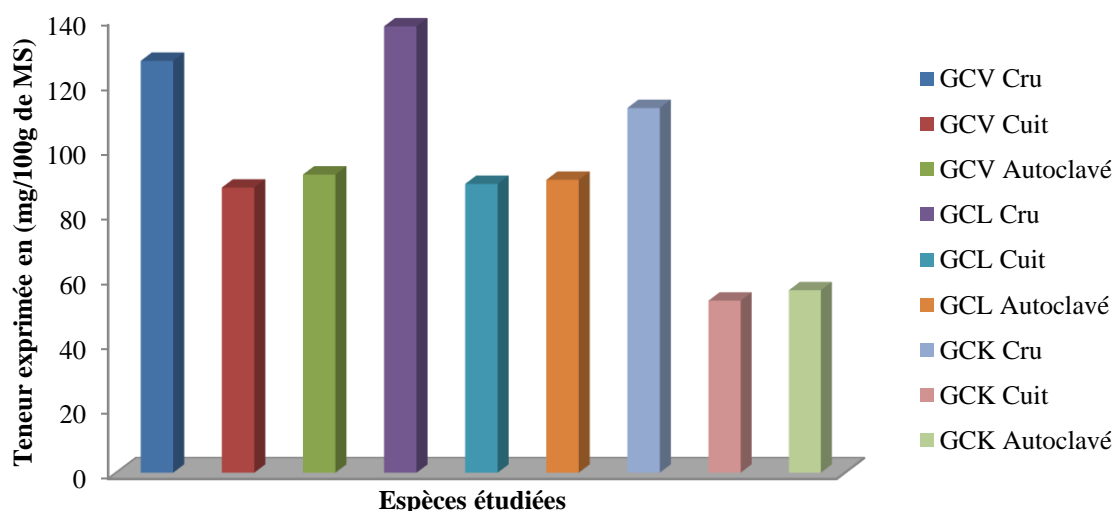
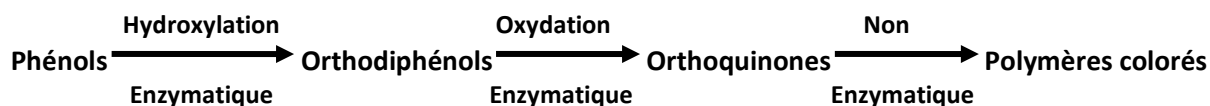


Figure 41. Teneurs en acide phytique des différentes espèces de glands de chênes cuits et autoclavés.

II.2.2 Teneur en phénols totaux, tannins condensés et tannins hydrolysables

D'après les résultats présentés dans la figure 42, on constate qu'il y a une dégradation de la teneur des composés phénoliques et des tannins. Les valeurs obtenues montrent qu'après le traitement hydrothermique il y a une diminution significative de la teneur phénolique ceci peut être expliqué par la transformation dans ses premières étapes, des composés phénoliques en polymères colorés, le plus souvent bruns lors de la cuisson et l'autoclavage, c'est ce qu'on appelle le brunissement enzymatique qui se déroule selon les étapes suivantes :



Les quinones formées peuvent réagir avec les groupements SH et NH₂ des protéines et des acides aminés ce qui explique leur diminution.

En ce qui concerne la diminution de la teneur des tannins condensés qui sont des substrats du brunissement enzymatique, ils possèdent la propriété de réagir avec les protéines, sous l'effet de la chaleur du traitement, ils subissent une oxydation avec perte d'eau, et sont transformés en anthocyanidol correspondant, ensuite en polymères (teinte vire au rouge).

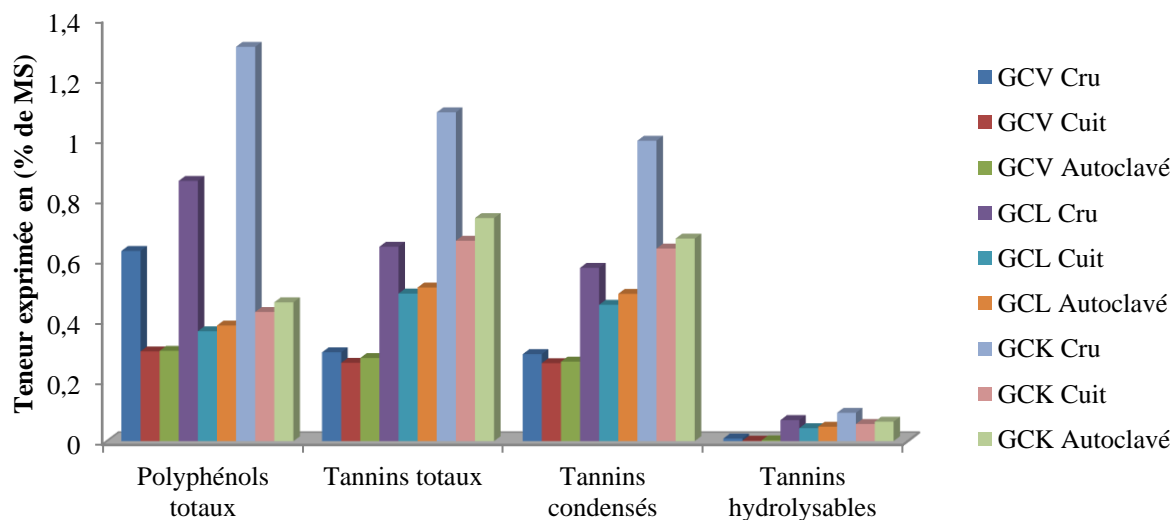


Figure 42. Teneurs en phénols totaux, tannins totaux, tannins condensés et tannins hydrolysables des différentes espèces de glands de chênes cuits et autoclavés.

Ainsi, les tannins hydrolysables sous l'effet du traitement hydrothermique (cuisson et autoclavage) se dégradent en ellagitannins et en acide gallique. Ces derniers s'oxydent pour se transformer en polymères bruns ce qui explique leur diminution. Il y a donc une perte de la richesse en tannins lors des traitements hydrothermiques.

Les diminutions en produits phénoliques (tannins) des fruits de chêne ; enregistrés lors des traitements hydrothermiques corroborent les résultats avancés par Mekaoucha, (1993) et Boudroua, (1995), qui notent que ce traitement est un moyen efficace pour détoxifier les glands.

D'après nos résultats, nous constatons que la cuisson ménagère entraîne une diminution assez importante en composés phénoliques par rapport à l'autoclavage.

II.3 Conclusion

Les glands crus de chêne vert, liège et kermès utilisés dans la présente étude renferment des teneurs relativement faibles en substances phénoliques, soit (0,295%), (0,645) et (1,09%) de la matière sèche en moyenne.

Les teneurs moyennes des glands traités (par cuisson et autoclavage) sont d'autant plus réduites comparativement aux glands crus ; des réductions significatives en produits phénoliques ont été enregistrées.

Il s'avère d'après nos résultats que le gland de chêne vert est d'une douceur plus appréciable par rapport au gland du chêne liège et du chêne kermès qui renferment un taux de composés phénoliques assez élevé, d'où l'intérêt de l'incorporer dans l'alimentation humaine et animale.

Tableau 18. Tableau récapitulatif présentant les teneurs en composés nutritionnels et antinutritionnels des trois espèces de glands de chênes étudiés.

Espèces Constituants	Chêne vert			Chêne liège			Chêne kermès		
	Cru	Cuit	Autoclavé	Cru	Cuit	Autoclavé	Cru	Cuit	Autoclavé
Azote total en % de MS	1,046	0,624	0,69	0,998	0,778	0,826	1,090	0,648	0,70
Protéines brutes en % de MS	6,265	4,56	4,68	7,18	5,13	5,295	6,235	4,42	4,65
Azote protéique en % de MS	0,93	0,59	0,62	0,9	0,58	0,67	0,935	0,58	0,64
Protéines pures en % de MS	6,06	4,23	4,47	5,625	4,37	4,56	5,84	3,98	4,08
Azote non protéique en % de MS	0,115	0,030	0,045	0,995	0,029	0,038	0,155	0,079	0,085
Albumine en % DE ms	0,32	0,020	0,024	0,155	0,011	0,019	0,165	0,014	0,018
Globuline en % de MS	0,105	0,036	0,40	0,33	0,010	0,014	0,34	0,161	0,169
Prolamine en % de MS	0,28	0,147	0,151	0,31	0,113	0,119	0,29	0,100	0,107
Glutéline en % de MS	0,30	0,132	0,139	0,215	0,091	0,098	0,2	0,080	0,086
Amidon en % de MS	50,95	40,16	40,49	41,18	32,70	32,92	47,96	36,25	36,69
Saccharose en % de MS	24,76	10,75	10,95	18,72	7,59	7,99	13,28	4,95	5,03
Sucres réducteurs en % de MS	5,68	2,14	2,20	5,91	2,31	2,38	6,57	2,83	2,89
Cellulose en % de MS	2,39	1,43	1,49	2,47	1,56	1,61	2,59	1,64	1,71
Lipides en % de MS	8,1	5,44	5,57	6,9	4,79	4,86	5,76	4,18	4,25
Cendres en % de MS	2,79	1,84	1,90	2,2	1,42	1,46	2,04	1,27	1,29
Calcium en mg/100g de MS	164,65	90,75	90,87	208,52	91,26	91,42	122,25	52,25	52,3
Phosphore en mg/100g de MS	140,55	92,30	92,45	174,07	102	102,13	100,02	64,25	64,32
Magnésium en mg/100g de MS	382,62	43,12	43,18	357,87	38,9	39,2	285,37	19,89	20,18
Acide phytique en mg/100g de MS	127	88	92	137,62	89,12	90,37	112,5	53,2	56,4
Phénols totaux en % de MS	0,631	0,298	0,3	0,863	0,365	0,384	1,307	0,429	0,461
Tannins totaux en % de MS	0,295	0,260	0,276	0,645	0,490	0,510	1,09	0,665	0,740
Tannins condensés en % de MS	0,289	0,259	0,264	0,575	0,453	0,489	0,996	0,639	0,672
Tannins hydrolysables en % de MS	0,009	0,0018	0,0028	0,07	0,043	0,048	0,094	0,057	0,0648

Conclusion générale et perspective

Conclusion générale et perspective

À l'issue de notre travail, il nous a été possible de mettre en évidence un certain nombre d'éléments.

Les glands de différentes espèces présentent d'une façon générale des teneurs élevées en amidon (50,95 % de MS) et en lipides (8,1 % de MS) ce qui les classe parmi les aliments énergétiques de premier ordre.

En revanche, on notera des teneurs plus ou moins faibles en protéines, qui ne dépassent guère 8% de la matière sèche.

Des taux de matière minérale sont faibles et le magnésium est l'élément le plus abondant suivi du calcium, acide phytique et du phosphore.

L'analyse des composés phénoliques, nous a permis de mettre en évidence deux types de tannins, condensé et hydrolysable. La détermination des taux de tannins révèle leur variation en fonction de l'espèce végétale considérée, mais aussi de l'état de maturité du fruit.

Les tannins condensés sont présents en quantités élevées chez l'espèce fourragère par rapport à l'espèce comestible. Il existe une corrélation entre les tannins condensés et la toxicité.

Les teneurs en tannins hydrolysables varient relativement avec l'espèce. Une faible teneur caractérise l'espèce comestible alors que les espèces fourragères en sont richement pourvues.

La présence de tannins ou d'autres substances toxiques non encore identifiées dans les glands crus sont vraisemblablement à l'origine de leur mauvaise efficacité nutritionnelle.

Par conséquent, la présence de tels composés dans un régime alimentaire non contrôlé pourrait avoir des conséquences fâcheuses lors d'une consommation volontaire et abusive de doses massives des glands d'espèces fourragères par le bétail.

Les variations qui se manifestent entre les différentes espèces de chêne concernant les teneurs en substances glucidiques, lipidiques, azotées et à un degré moindre les teneurs en tannins, en cellulose et en matière minérale peuvent être dues aux facteurs pédoclimatiques, mais aussi aux facteurs génétiques.

Dans la mesure où les végétaux représentent dans le futur une part croissante de l'alimentation humaine, l'attention aux facteurs antinutritionnels qu'elles contiennent constituera un aspect important de l'évaluation de ces ressources précieuses. L'analyse qualitative pourrait enlever le doute sur certaines hypothèses émises à l'égard de la qualité du gland et de sa valeur nutritive.

L'objectif serait de diminuer cette richesse en tannins par des traitements hydrothermiques en vue d'une amélioration et d'une consommation durable ou bien de procéder à l'extraction

des différentes fractions tanniques toxiques avant de nourrir les animaux. Ces dispositifs révéleront sans doute l'efficacité d'une telle procédure sur l'augmentation et l'amélioration de la valeur nutritionnelle du gland.

Le traitement hydrothermique : l'autoclavage à 105°C pendant 30 mn et la cuisson ménagère pendant 30 mn, permettent une réduction importante de ses facteurs antinutritionnels.

Néanmoins la cuisson ménagère entraîne une perte importante en principes nutritifs, alors que l'autoclavage apparaît le mieux adapté pour détoxifier les glands des substances phénoliques, sans entraîner de graves pertes en principes nutritifs. Il permet ainsi une réduction de l'effet anti-nutritionnel qu'exercent les tannins des glands crus au niveau du tractus digestif.

Selon nos données analytiques sur la composition chimique et la valeur nutritive, nous proposons une utilisation meilleure du gland dans l'alimentation animale comme adjuvant local en remplaçant une partie de l'orge et du maïs importé, et le faible apport protéique peut être compensé par une complémentation avec un autre produit riche en protéines.

La farine de gland est riche en acides aminés essentiels, en acides gras essentiels et en hydrates de carbone digestibles (saccharose et amidon). Elle peut être utilisée pour la consommation humaine et éventuellement pour la préparation d'aliments diététiques.

En fin, une mesure s'impose afin de pouvoir contrôler et diriger nos efforts pour éviter le péril de milliers d'arbres au profit des besoins économiques.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

A

- **Abgrall J.F., Soutrenon A., 1979.** La forêt et ses ennemis. Cemagref, Troisième édition. Grenoble, 270p.
- **Adrian J., Legrand G., Frangne R., 1981.** Dictionnaire de biochimie alimentaire et de nutrition. Edition Technique et Documentation, Volume 1. Paris, 65-73.
- **Afraitane K., 1990.** Contribution à l'étude biochimique du fruit du chêne liège (*Quercus suber. L*) de la suberaie de la Mamora. Maroc. Thèse du docteur de troisième cycle présenté à l'école nationale supérieure de Takaddoum. Rabat, Maroc, 125 p.
- **Aït Saada D., 1997.** Essais nutritionnels des farines de glands en alimentation du poulet de chair (caractérisation biochimiques et digestives). Mémoire de magister. Université de Mostaganem, 118p.
- **Allinson D.W., Osbourn D.F., 1970.** The cellulose-lignin complex in forages and its relationship to forage nutritive value. *J. Agr. Sci.*, Cambridge, 74:23-36.
- **Anderson R.A., Todd J.R., 1968.** Estimation of total tobacco plant phenols by their bonding to polyvinylpyrrolidone. *Tobacco Science*, 12: 107-111.
- **AOAC, 1997.** Official Methods of Analysis, 16th ed. Association of Official Analytical Chemists. Washington, DC.
- **AOAC, 2006.** Official Methods of Analysis, 18th ed. Association of Official Analytical Chemists. Washington, DC.
- **Arhelger R.B., Broom J.S., Boler R.K., 1965.** Ultrastructural hepatic alterations following tannic acid administration to rabbits. *American Journal of Pathology*, 46: 409-934.
- **Artigas P., 1985.** Cité par Salazar S.J., 1988. In : La suberaie et la production mondiale de liège. *Rev. Forêt. Méditerranéenne*. Tome X, N°1: 158 p.
- **Asano K., Sinagawa K., Hashimoto N., 1982.** Characterisation of haze-forming protein of beer and their roles in chill haze formation. *Americans Society of Brewing Chemists. Inc*, 40 (4): 147-154.
- **Audigie C.L., 1980.** Manipulation d'analyse biochimique. Doin Editeur, Paris, 254 p.
- **Audigie C.L Figarelle J., Zons Zani F., 1980.** Manipulation d'analyses biochimiques. Ed. Doin. Paris. pp: 88-97.

B

- **Badran A.M., Jones D.E., 1965.** Polyethylene glycols-tannins interaction in extracting enzymes. *Nature*, 206: 622-624.
- **Barbero M., Loisel R., 1980.** Le Chêne vert en régions méditerranéennes. *Revue forestière française*, vol. XXXII, n ° 6: 531-543.
- **Basaraba J., 1964.** Influence of vegetable tannins on nitrification in soil. *Plant and Soil*, 21: 8-16.
- **Basaraba J., 1966.** Effect of vegetable tannins on glucose oxidation by various microorganisms. *Canadian Journal of Microbiology*, 12: 787.
- **Basden K.W., Dalvi R.R., 1987.** Determination of total phenols in acorns from different species of oak trees in conjunction with acorn poisoning in cattle. *Vet. Hum. Toxicol.*, 29 (4): 305-306.
- **Bate-Smith E.C., 1954.** Flavonoid compounds in foods. *Advances in Food Research*, New York, 5: 261-300.
- **Bate-Smith E.C., 1972.** Detection and determination of ellagitannins. *Phytochemistry*, 11:1153-1156.
- **Bate-Smith E.C., 1973.** A haemanalysis of tannin: the concept of relative Astringency. *Phytochemistry*, 12: 907-912.
- **Batzer H., Weissenberger G., 1952.** Interaction of vegetable tannins with polyamides as proof of the dominant function of the peptide bond of collagen for its binding of tannins. *Makromolekular Chemic.*,7: 320.
- **Bavendamm W., 1928.** Über das Vorkommen und den Nachweis von Oxidasen bei holzzerstörenden Pilzen. *Z. Pflanzenkrank. Pflanzenschutz*; 38: 257-276.
- **Beauverie J., 1905.** Le bois. Tome 1. GAUTHIER-VILLARS. Imprimeur, librairie : 55 quais des grands Augustins. Paris, 703p.
- **Begovic S., 1962.** The effect of gallic acid, pyrogallol and vitamin B12 on the maturation of reticulocytes. *Folia Med (Napoli)*; 6: 402- 408.
- **Belarbi M., 1990.** Contribution à l'étude de la composition chimique des glands de chênes vert, liège et zéen. Mémoire de magister en biologie. Université de Tlemcen, 187p.
- **Belarbi M., Taleb Bendiab S.A., Mashev N., 2001.** Biochemical composition and antioxydant proprieties of oak acorns from an Algerian ecological region. Ecological

Problems of Agriculture. Fith National Scientific and Pratical conference with international participation. Agricultural university Plovdiv.

- **Belarbi M., 2003.** Etude des composés nutritionnels et anti-nutritionnels des glands de chêne et l'efficacité nutritionnelle de leurs protéines chez les rats Wistar en croissance. Thèse de doctorat en sciences naturelles. Université de Tlemcen, 156p.
- **Belarouci L.N., 1991.** Les reboisements en Algérie et leurs perspectives d'avenir. Vol.1. Ed. O.P.U. Alger, 1350.
- **Belkaid D., Bouchenak Khelladi L., 1993.** Contribution à l'étude de la composition chimique des glands de chêne : vert (*Quercus ilex*), liège (*Quercus suber*) et Kermès (*Quercus coccifera*) de la région de Tlemcen. Mémoire d'ingénieur en Biologie. Université de Tlemcen, 106p.
- **Bell T.A., Etchels J.L., Smart W.W.G., 1965.** Pectinase and cellulase inhibitor from *Sericea* and certain other plants. *Botanical gazette*, 126: 40-45.
- **Benchaiïb F., Mahi H., 1994.** Etude de l'efficacité nutritionnelle des protéines de mauve sauvage « *Malva Sylvestris* » sur le poids corporel, les bilans azotés et l'analyse de certains paramètres sanguins chez les rats « Wistar » en croissance. DES de Biochimie. Université de Tlemcen, 96p.
- **Benyelles othmane abdelhak, Bezzou abdelkader, 1993.** Contribution à l'étude du dosage de la matière minérale : Phosphore, fractions phosphorées (Acide phytique), calcium et magnésium chez les glands de chêne vert, chêne liège et chêne kermès. Mémoire de fin d'études supérieures en Biologie. Université de Tlemcen, 87p.
- **Benoit R.E., Starkey R.L., 1968.** Inhibition of decomposition of cellulose and some other carbohydrates by tannin. *Soil Science*, 105: 291- 296.
- **Berg H.W., Filipello F., Hinreiner E., Webb A.D., 1955.** Evaluation of thresholds and minimum difference concentration of various constituents of wines. *Food technology*, 9(1): 138-140.
- **Berset C., 1987.** Influence de la cuisson-extrusion sur les constituants alimentaires. *Rev. Industries Alimentaires et Agricoles*, 6 : 529-530.
- **Bessah R., Touzi A., 2001.** Production de protéines d'organismes unicellulaires (P.O.U) à partir des déchets de dattes. Production et valorisation – Biomasse. *Rev. Energ. Ren.*, 37-40.
- **Betts M.J., Brown B.R., 1967.** Effect of conditions on yield and products. *J. Chem. Soc.*, 1730.

- **B.N.E.D.E.R. (Bureau National des Etudes pour le Développement Rural), 1984.** Inventaire des terres et des forêts de l'Algérie du nord, plan de développement forestier à long terme, rapport de synthèse. Ed. OPU-Alger, Vol.1: 64p.
- **Boguslawska-Jaworska J., 1959.** Regeneration of protein from insoluble protein-tannin compounds. *Nature*, 184: 1799-1800.
- **Boler R.K., Broom J.S., Arhelger R.B., 1966.** Ultrastructural renal alterations following tannic acid administration to rabbits. *American Journal of Pathology*, 49(1): 15-32.
- **Bonner F.T., 1971.** Chemical contents of southern hard wood fruits and suds. Res. Note SO – 136. New Orleans, LA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service. *Southern Forest Experiment Station*, 3p.
- **Bonner F.T., 1976.** Maturation of Shumard and white oak acorns. *Forest Science*, 22: 149-154.
- **Booth A.N., Masri M.S., Robbins D.J., Emerson O.H., Jones F.T., De Eds F., 1959.** The metabolic fate of gallic acid and related compounds. *Journal of Biological Chemistry*, 234: 3014-3016.
- **Booth A.N., Robbins D.J., De Eds F., 1961.** Effect of dietary gallic acid and pyrogallol on choline requirements of rats. *Journal of Nutrition*, 75: 104-106.
- **Booth A.N., Bell T.A., 1968.** Physiological effects of sericea tannin in rats. *Proceedings of The Society For Experimental Biology and Medicine*, 128: 800- 803.
- **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, 107p.
- **Boudoumia D., 1985.** Valeur nutritive de quelques légumineuses locales chez *Gallus gallus*. Mémoire de magister en sciences agronomiques. INA, Alger, 116p.
- **Boudy P., 1950.** Economie forestière Nord-africaine. Tome 1. Fascicule 1. Edition Larousse, Paris V., 686p.
- **Boudy P., 1952.** Guide du forestier en Afrique du Nord. Edition La Maison Rustique, Paris, 513-525.
- **Boudy P., 1955.** Economie forestière Nord-africaine. Monographie et traitement des essences forestières de l'Algérie et de la Tunisie. Tome II, fascicule I. Edition Larousse. Paris V, 525p.

- **Boukhlet M., 1992.** Recherche des facteurs anti-nutritionnels des trois espèces locales de légumineuses *Cicer aritinum*, *Leus esculenta*, *Pisum sativum* mise en point de techniques permettant de les éliminer. Mémoire d'ingénieur, Institut National Agronomique (INA). El-Harrach, 85p.
- **Bourgeois C.M., Leveau J.Y., 1991.** Technique d'analyses et de contrôle dans les industries agroalimentaire. Vol III. Edition Lavoisier, collection *Tec et Doc*. Paris, 207-217.
- **Bradley D.G., Min D.B., 1992.** Singlet oxygen oxidation in foods CRC. *Critical Reviews in food Sci. and Nutr.*, 31(3): 211- 236.
- **Bressani R., Hernandez E., Braham J.E., 1988.** Relationship between content and intake of bean polyphenolics and protein digestibility in humans. *Plant foods human nutrition*, 38: 5-21.
- **Brun N., Jay M., 1990.** Tannins et phénols de la féverole. Quantification et évolution de leur pouvoir anti-nutritionnel. Laboratoire de Biologie *Micromoléculaire et phytochimie*. Université de Lyon, France.
- **Bucur U., Muller C., 1988.** No destructive approach for analysing the germinability of acorns ultrasonic. *Journal. Tree. Sci. vol.*, 26: 224-225.
- **Burns R.E., Craigmiles J.P., Cummins D.G., Marion J.E., 1967.** Oil content, fatty acid composition and other agronomic characteristics of sunflower introductions. *J. Am. Oil. Chem. Soc.*, 44(10): 581-582.
- **Buron Arias I., 1976.** Tesis doctorat. Escuela tecnica superior de ingenieros agronomes, Madrid, Espagne, 105p. Cité par Afraitane K., 1990. In : Contribution à l'étude biochimique du fruit du chêne liège (*Quercus suber L.*) de la suberaie de la Mamora-Maroc. Thèse Doctocat 3^{ème} cycle, option Biochimie, 125p.
- **Butler L.G., Mole S., 1988.** Salivary proline-rich tannin-binding proteins as a defence against dietary tannins, journées internationales du group polyphénols, St. Catharines, Ontario, Canada. *Bul.* N°14: 111-114.

C

- **Camp B.J., Steel E., Dollahite JW., 1967.** Certain biochemical changes in blood and livers of rabbits fed oak tannin. *American Journal of Veterinary Research*, 28: 290-292.

- **Camus A., 1938.** Les chênes. Monographie du genre *Quercus*, sous-genre *Cyclobalanopsis Euquarcus* (*sections Cerris et Mesobalanus*). Tome I. Edition Paul Lechevallier, Paris (France), 138p.
- **Camus A., 1954.** Les chênes. Monographie du genre *Quercus*, sous-genre *Euquercus* (*sections Protobalanus et Erythrobalanus*). Tome III. Edition Paul Lechevallier, Paris (France), 154p.
- **Carter W.J., Thomas L., Adkisson C.S., 1993.** Dietary circumvention of acorn tannins by blue jays. *Oecologia*, 94: 159-164.
- **Ceduli R., 1977.** Cité par Salazar S.J., 1988: In: La suberaie et la production mondiale de liège. *Rev. Forêt Méditerranéenne*. Tome X, N°1: 158 p.
- **C.E.I.P. (Comite d'Etude International Protecteur des Laboratoires de Bruxelles et Madrid), 1979.** « Copyright by aliments protector » S.A., Belgique.
- **Chalmers M.I., Cuthbertson D.P., Synge R.L.M., 1954.** Ruminal ammonia formation in the relation to protein requirement of sheep. I. Duodenal administration and heat processing as factors influencing fate of casein supplements. *Journal of Agriculture Science*, 44: 354-262.
- **Chang S.I., Fuller H.L., 1964.** Effect of tannin content of grain sorghums on their feeding value for growing chicks. *Poultry Science*, 43: 30-36.
- **Chapman H.H., Pratt P.C., 1961.** Methods of analysis for soils. Plants and water. Division of agricultural sciences. University of California Davis, 161- 175.
- **Cheftel J.C., 1980.** Introduction à la biochimie et à la technologie des aliments. Edition Lavoisier, collection *Technologie et documentation*, Paris. Vol 1: 329p.
- **Cheftel J.C., Cuq J.L., Lorient D., 1992.** Protéines alimentaires. Edition Lavoisier, collection *Tec et Doc*. Paris, 75-82.
- **Clarke E.G.C., Cotchin E., 1956.** A note on the toxicity of the acorn. *British Veterinary Journal*, 112:135-39.
- **Clatter Buck W.K., Bonner F.T., 1985.** Utilisation of food reserves in *Quercus* seed during storage. *Seed Science and Technology*. 13(2): 121-128.
- **Claudot M., 1974.** Indication pour la campagne 1974-1975 de récolte, de conservation et de semis de glands des chênes méditerranéens. CTGREF : Mémoire N°2 : 32 p.
- **C.N.R.S. (Centre National de la Recherche Scientifique), 1975.** La flore du bassin méditerranéen, 74-75.

- **Cockrill J.M., Beasley J.N., 1979.** Renal damage to cattle during acorn poisoning. *Vet. Med. Small Anim. Clin.*, ARKANSAS, 74 (82): 84-85.
- **Connor J.K., Hurwood I.S., Burton H.W., Fuelling D.E., 1969.** Some nutritional aspects of feeding sorghum grain of high tannin content to growing chickens. *Australian Journal of Experimental Agriculture and Animal Husbandry*, 9(40): 497- 501.
- **Courtois J.E., Perles R., 1972.** Précis de chimie biologique. Edition Masson et Cie. Collection de précis de pharmacie sous la direction de JANOT M.M. Tome 1, 150-200.
- **Craft C.C., 1961.** Polyphenolic compounds in *Elberta peaches* during storage and ripening. *Proceedings of the American Society for Horticultural Science*, 78: 119-131.
- **Creveu-Gabriel I., 1999.** Digestion des protéines végétales chez les monogastriques. Exemples des protéines de pois. *Revue Productions Animales*, INRA., 12(2) : 147-161.

Ⓓ

- **Dahmani M., 1984.** Contribution à l'étude des groupements à chêne vert (*Quercus roduntifolia L.*) des Monts de Tlemcen (ouest Algérien). Thèse de doctorat en sciences agronomiques. Université d'Alger, 238p.
- **Deshpande S.S., Cheryan M., Salunke D.K., 1986.** Tannin analysis of food product. *CRC Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 24(4): 401- 449.
- **Deshpande S.S., Damodaran S., 1989.** Effect of phytate on solubility, activity and conformation of trypsin and chymotrypsin. *J. Food Sci.*, 54: 695- 699.
- **Dessart A., Jodogne J., Paul J., 1985.** Chimie Organique. Ed. A. de Boek, 340-344.
- **Dixon P.M., Mc Pherson E.A., Rowland A.C., MacLennan W., 1979:** Acorn poisoning in cattle. *The Veterinary Record*, 104(13): 284-285.
- **Djinnit S., 1977.** Etude des facteurs limitant, la régénération naturelle par semis de *Quercus suber L.* dans la forêt domaniale de Guerrouch. Mémoire d'ingénieur en agronomie. Alger, 89p.
- **Dollahite J.W., Housholder G.T., Camp B.J., 1966.** Effect of calcium hydroxide on the toxicity of post oak (*Quercus stellata*) in calves. *J. Amer. Vet. Medical Association*, 148:908-912.
- **Donnelly E.D., 1954.** Some factors that affect palatability in sericea lespedeza. *Agronomy Journal*, 46: 96-97.
- **Donnelly E.D., Anthony W.B., 1970.** Effect of genotype and tannin on dry matter digestibility in *Sericea lespedeza*. *Crop Science*, 10: 200-202.

- **Duncan C.S., 1961.** Oak leaf poisoning in two horses. *Cornell Veterinarian*, 51: 159-162.

E

- **Edlin H., Nimmo M., 1981.** Les arbres. Préface de Jean Carlier. Encyclopédie visuelle. Bordas. Paris, 152p.
- **El mahi F.Z., 2005.** Contribution à l'étude de la composition chimique des glands de chênes vert (*Quercus ilex*), liège (*Quercus suber*) et kermès (*Quercus coccifera*) de la région de Tessala (Sidi Bel Abbés). Effets des traitements hydrothermiques. Mémoire de magister en biotoxicologie. Université de Sidi Bel Abbés. 145p.

F

- **F.A.O. (Food Agronomie Organisation), 1958.** Cité par Salazar S.J., (1988) : In : La suberaie et la production mondiale de liège. *Rev. Forêt. Méditerranéenne*, Tome X, N°1 : 158p.
- **Feeny P.P., Bostock H., 1968.** Seasonal change in the tannin content of oak leaves. *Phytochemistry*, 7: 871-880.
- **Feeny P.P., 1969.** Inhibitory effect of oak leaf tannins on the hydrolysis of proteins by trypsin. *Phytochemistry*, 8: 2119-2126.
- **Ferrao Mendes J.E., Ferrao Cruz A.M.B., 1988.** A bolota e a gland .Potencialiddes em óleo e farinha revista de Ciencias Agrarias Vol XI, 2, Lisboa Portugal.
- **Ferreira M.F., Vieira De Castro, 1966.** Acorn meal in the feeding of growing birds, *bol. Pecuar*, 34(3): 205-220.
- **Fettouche A., 1988.** Atlas des arbres. Institut national de recherche forestière, 110p.
- **Fiestas Ros de Urinos J.A., Ramos Ayerbe F., Mazuelos Vela Y., 1969.** Estudio Del Fruto de la Encina (*Quercus ilex*). V. Obtencion Industrial de la Harina de Bellota y Extraccion de Su Aceite. *Grasas y Aceites*, 20: 227-230.
- **Ford J.E., Batter J.N., 1966.** Analysis of enzymically digested food proteins by sephadex gel filtration. *Brit. J. Nutri.*, 20: 843-860.
- **Forsyth W.G.C., 1964.** Physiological roles of ethylene in plants. *Annual Review of plant Physiology*, 15: 443-450.

- **Foudhil M., 1990.** Contribution à l'étude de la valeur nutritionnelle du gland. Possibilité de son incorporation dans l'alimentation animale. Mémoire d'ingénieur en contrôle de qualité et analyse. INES de Biologie Tizi ouzou, 112p.
- **Fowler M.E., Richards W.P.C., 1965.** Acorn Poisoning in a Cow and a Sheep. *Journal of the American Veterinary Medical Association*, 147:1215.
- **Freudenberg K., 1921.** Stellungnahme zu der bemerkung von A. Küntzel. *Collegium Haltingen*, 353p.

G

- **Gaston Bonnier, 1987.** Flore complète de France, Suisse et Belgique. (Collection des nouvelles flores). Ed. Belin, Paris. Tome 10, 458p.
- **Glick Z., Joslyn M.A., 1970.** Effect of tannic acid and related compounds on the absorption and utilization of proteins in the rat. *Journal of Nutrition*, 100: 516-520.
- **Goldstein J.L., Swain T., 1963.** Changes in tannins in ripening fruits. *Phytochemistry*, 2: 371-383.
- **Griffiths D.W., 1981.** The polyphenolic content and enzyme inhibitory activity of testas from bean (*Vicia faba*) and (*Pisum spp.*) varieties. *J. Sci. Food Agric*, 32:797-804.
- **Guaussein H., Rouquette A., 1949.** Extrait du bulletin de la société d'histoire naturelle de Toulouse, 84p.
- **Gubergrits M.J., Paalme L.P., Kirso U.E., Priiman R.E., 1969.** Makrokinetika okisleniya kantserogennykh i toksichnykh soedineniya s aromatcheskoi osnovoi//Oxidation macrokinetics of carcinogenic and toxic compounds with aromatic base (in Russian). *Tez. Dokl. Vses. Koordinats. Soveshch. Po Okisleniyu Organ. Soed. V Zhidkoi Faze*, Moscow, 31p.
- **Guenadiev A., 1968.** Analyse des produits alimentaires. Sofia, Bulgarie, 242.
- **Gustavson K.H., Holm B., 1952.** Interaction of vegetable tannins with polyamides as proof of the dominant function of the peptide bond of collagen for its binding of tannins. *Journal of the American Leather Chemists Association*, 47: 700.
- **Gustavson K.H., 1954.** Interaction of vegetable tannins with polyamides as proof of the dominant function of the peptide bond of collagen for its binding of tannins. *Journal of Polymer Science*, 12(1): 317-324.
- **Gustavson K.H., 1956.** The chemistry of Tannin Processes. New York USA, Academic Press.

H

- **Hager D.F., 1984.** Effects of extrusion upon soja concentrate solubility. *J. Agric. Food. Chem.*, 32: 293-298.
- **Hagerman, A.E. (2002).** Tannin Chemistry (www.users.muohio.edu/hagermae).
- **Hand D.W., Sanford P.A., Smyth D.H., 1966.** Polyphenolic compounds and intestinal transfer. *Nature*, 209: 618.
- **Hanis Y., Tagair H., Volcain R., 1989.** Effects of dietary trans fatty acids on reproductive performance of wistar rats. *British Journal of Nutrition*, 61: 519-529.
- **Hart F.L., Fisher H.J., 1971.** Analisis moderno de los alimentos. Edicion Acribia. Zaragoza (Espana).
- **Haslam E., 1966.** Chemistry of Vegetable Tannins. London, UK; *Academic Press*, 14-65.
- **Hassine M., Graia F., 1996.** Etude de la farine de mauve associée à la farine de lentilles sur la croissance pondérale, bilans azotés et les paramètres plasmatiques chez les rats « Wistar » en croissance. Mémoire de magister. 148p.
- **Hawkins G.E. Jr., 1955.** Consumption and digestibility of *Lespedeza sericea* hay and alfalfa hay plus gallotannin. *Journal of Dairy Science*, 38: 237- 243.
- **Herman H.A., Graham G.W., Bower K.W., 1953.** Research Bulletin Agricultural Experiment Station, University of Missouri-U.S.A, 532p. Cité par Aït Saada D.(1997). In: Essais nutritionnels des farines de glands en alimentations du poulet de chair (Caractéristiques biochimiques et digestives). Mémoire de magister en Biologie cellulaire et moléculaire. Centre universitaire de Mostaganem, 121p.
- **Hernandez E., 1979.** Significado de la presenia de taninos y polifenole asociados en la digestibilidad de las proteins de frigol en humanos. Thesis CESNA / INCAP.
- **Hillis W.E., 1987.** Chemical feature in heartwood and tree exudates, Springer-Verlag, Berlin, 168.
- **Holliman A., 1985.** Acorn poisoning in ruminant. *Veterinary Record*, 116: 546.
- **Hong Byung J., Rhee J., Rhee Yong C., 1975.** Hanguk ch'uksan hakhoeche, S. Korea, 4: 423-431.
- **Horwood D.W. (Editor), 1970.** Rape and sunflower seeds meals as supplements far sheep fed oat straw. In "Feeding Protected Protein to Sheep and Cattle". *Australian Society of Animal production*, Sydney, 9-23.

I

- **Ilkay T., Aziz E., 2011.** «Brix degree and sorbitol/xylitol level of anthntic pomegranate (*Punica gramatum*) juice. *Food Chemistry* 127: 1404-1407.
- **I.N.R.A.(Institut National de Recherche Agronomique), 1984.** La conservation des glands. Bilan des essais menés entre 1976-1982. Stations d'amélioration des arbres forestiers.
- **I.N.R.F.(Institut National de Recherche Forestières), 1988.** Rapport annuel- Alger, 13p.
- **I.N.R.F.(Institut National de Recherche Forestières), 1995.** Annales de la recherche forestières en Algérie. Volume 1, CHERAGA, 32-47.
- **ISO 8968-1, 2001.** Détermination de la teneur en azote-Partie 1: Méthode Kjeldahl et calcul de la teneur en protéines brutes.
- **I.T.F. (Institut Technique des cultures Fourragères) de Batna, 1978.** Monographie forestière, 101p.

J

- **Jacquot C., 1938.** Le chêne. Edition Hermann et Paru Sorbonne. Paris, 245p.
- **Jones W.T., Anderson L.B., Ross M.D., 1973.** Bloat in cattle XXXIX. Detection of protein precipitants (flavolans) in legumes. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 16: 441-446.
- **Joslyn M.A., Goldstein J.L., 1964.** Astringency of fruits and fruit products in relation phenolic content, in *Advances in Food Research*, 13: 179.
- **Joslyn M.A., Nishira H., Ilo S., 1968.** Nutritional effects of tannins in animal feeds. *Journal of the science of food and agriculture*, 39: 145-149.
- **Jung OK., Mahn-Jung L., 1976.** Studies on some pjsyco-chemical properties of the acorn starch ; *Korean J. Food Sci. Technol.*, 8(4): 230-235.

K

- **Kaddik R., 1986.** Contribution à l'étude de pin d'Alep (*Pinus halepensis*) en Algérie, Ecologie, Dendrométrie, et Morphologie. Office de publication universitaire Ben Aknoun, Alger, 89p.

- **Kasmi M., 1990.** Contribution à l'étude de la fraction glucidique de quatre variétés de maïs. Mémoire d'ingénieur agronome. Option technologie alimentaire. Université de Tlemcen, 92p.
- **Kawamura Y., Funakoshi M., Kasahara Y., Yamamoto T., 1969.** A neurophysiological study on astringent taste. *Japanese Journal of Physiology*, 19: 851-865.
- **Kekos D., Kaukios E.G., 1985.** Acid hydrolysates of acorn polysaccharides as substrates for *Candida utilis* growth. *Biotechnology letters*. Anthens, Vol VII, 5: 345-348.
- **Kessler F.J., Blumenberg F.W., 1961.** Die Aufspaltung of gallotannins in Darm *Arzneimittel Forschung*, 11: 286-288.
- **Khana S.K., Viswanathan P.N., Tewari C.P., Krishnan P.S., Sanwal G.G., 1968.** Biochemical aspects of parasitism by the angiosperm. Parasites: phenolics in parasites and hots. *Physiol plant*, 21: 949-959.
- **Kjeldhal L., 1883.** Neue methode zur Bestimmung des Sticktoffs in organischem Korpen. *Z. Anal., Chem.*, 22: 366-382.
- **Koenig W.D., Heck M.K., 1988.** Ability of two species of oak woodland birds to subsist on acorns. *The condor*. 90: 705-708.
- **Koenig W.D., 1990:** The effects of tannins and lipids on digestion of acorns by acorn wood pekarars. *The Auk.*, 108. 79-88.

£

- **Langille A.R., Mc Kee G.W., 1968.** Seasonal variation in carbohydrate root reserves and crude protein and tannin in crownvetch forage, *Coronilla varia L.* *Agronomy Journal*, 60: 415-419.
- **Langley-Danysz P., 1998.** Polyphenols de demain, *R.I.A., FRA.*, 92-93.
- **Larbier M., Leclercq B., 1992.** Nutrition et alimentation des volailles. INRA Editions. Paris, 355p.
- **Laurena A.C., Garcia V.V., Mendoza E.T., 1984.** Effet of soaking in aqueous acidic and alkali solutions on removal of polyphenols and in vitro digestibility of pea. *Plant foods for human nutrition*, 36: 107-118.

- **Leclercq B., Blum J.C., Sauver B., Stevens P., 1984.** Alimentation et nutrition du poulet de chair à croissance rapide. In alimentation et nutrition des animaux monogastriques. Ed. INRA, 247p.
- **Lecoq R., 1965.** Manuel d'analyses alimentaires et d'expertises usuelles. Doin et Deren Editions, Paris, Tome II, 2001-2007.
- **Legoy M., 1986.** L'extrusion à sec en alimentation animale conventionnelle : intérêt technique et économique. Réalisations et perspectives in colloque de l'INRA, cuisson-extrusion. Nantes, 16-17 Sept. 1986. Ed. INRA. Paris. Vol.41, 527-552.
- **Lepen B., Adrian J., 1982.** L'acide phytique dans les céréales et ses conséquences nutritionnelles. Chaire de biochimie industrielle et agro- alimentaire. C.N.A.M. (75-003 Paris), 3.
- **Lepen B., Adrian J., 1985.** L'acide phytique dans les céréales et ses conséquences nutritionnelles. *Revue publiée par l'A.P.I.C* (association pour le progrès des industries céréalières), 16 : 3-8.
- **Leroy F., Zelter S.Z., Francois A.C., 1964.** Protection of alimentary proteins against bacterial desamination at the level of rumen. Studies in an artificial rumen. *Comptes rendu hebdomadaire des séances de l'Académie des sciences*, 259 : 1592-1595.
- **Liener I.E., 1980.** Protease inhibitors. In "Toxic constituents of plant foodstuffs", 2nd edition (Liener, I.E. ed). *Academic Press*, New-York, 57:1263.
- **Lindenberg J.B.G., 1949.** Svensk Botanisk Tidskrift. *Journal of Ecology*, 43: 438.
- **Lorthior J.P., 1973.** Intoxication par les glands. Thèse Doct. Vét., Toulouse, 296p.
- **Lowry O.H., Kosebrough N.J., Farr A.L., Randall R.J., 1951.** Protein measurement with the folinphenol reagent. *Journal of Biological Chemistry*, 193: 265-275.
- **Luque J.A., Murillio A., 1971.** Biological value of protein of some plant by product, bul.n°3:145-151.
- **Lyr H., 1965.** Modern fungicides and antifungal compounds. *Phytopathologische Zeitschrift*, 51: 291-310.

M

- **Maire R., 1961.** Flore de l'Afrique du Nord. Volume VII. Edition Paul Lechevalier, Paris, 700p.
- **Makkar, H.P.S. (2000).** Quantification of tannins in tree foliage : Working document. In: FAO/ IAEA, Vienna.

- **Manage Wild J., 1976.** Nutriments quality and digestibility of seeds and fruits from southern forest, 40(2): 283-289.
- **Mara J.C., 1978.** Annuaire statistique d'Algérie.
- **Marcellin P., 1974.** Conservation des fruits et légumes en atmosphère contrôlée à l'aide de membrane polymère. *Rev. Gen. Sur le froid.* Mars 1974. Cité par Claudot M. (1974). In : Indications pour la campagne 1974-1975 de récolte, de conservation et de semis de glands des chênes méditerranéens. CTGREF. N°2: 1-29.
- **Marion R., Cooper B.S.C., Anthony W., Johnson B.V.S.C., 1988.** Poisons in plants and fungi. International bureau for animal health. Werz- Bridg. London her majesty's stationery office, 51-52.
- **Mazuelos Vela F., Ramos Ayerbe F.Y., Fiestas J.A., 1967.** Le fruit du chêne (*Quercus ilex*). *Oléagineux*, 22 : 169 - 171.
- **Mc Donald I.W., 1964.** The extent of conversion of food protein to microbial protein in the rumen of the sheep. *Journal of the Biochemistry*, 56: 120-215.
- **McLeod M.N., 1974.** Plant Tannin-Their Role in Forage Quality. *Nutrition Abstracts and Reviews*, 44 (11): 803-812.
- **Mekaoucha N., 1993.** Evaluation biochimique et nutritionnelle de la farine du gland de chêne vert et du chêne liège cru et autoclavé à 110°C. Mémoire d'ingénieur. I.N.F.S.A. de Mostaganem, 65 p.
- **Melcion J.P., 1986.** Oléoprotéagineux et cuisson-extrusion. In : colloque de l'INRA « Cuisson-Extrusion », Nantes, le 16 et 17 Septembre 1986. Edition INRA, 41 p.
- **Meuret M., 1988.** How forage characteristics influence behavior and intake in small ruminants: A Review, Nutrition of sheep and goats, cooperative FAO- CIHEAM Network on sheep and goats, Subnetwork. *Reproduction, nutrition, développement*, **28**: 89 - 90.
- **Mexia, 1935.** Cité par Natividade J.V., 1956. In : Subériculture. Edition française de l'ouvrage portugais subériculture. Ecole nationale des eaux et des forêts. Nancy, 303p.
- **Meziane M., 1990.** Contribution à l'étude de la valeur nutritionnelle du gland, possibilité de son incorporation dans l'alimentation. Mémoire d'ingénieur en Biologie. Université de Tizi-Ouzou, 69p.
- **Milic B.L., Stojanovic S., 1972.** Metabolic fate of lucerne tannins in mice. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 23(10):1163-1167.

- **Miller E.L., Harley A.W., Thomas D.C., 1965.** Availability of sulphur amino acids in protein foods. III. Chemical and nutritional changes in heated cool muscle. *Brit. J. Nutr.* 19: 547-564.
- **Miocque M., Combet Farnoux C., Moskowitz H., 1986.** Abrégé de Chimie Organique « Généralités, fonction simples ». Tome I. Ed. Masson, 140p.
- **Mitjavila S., Carrera G., Derache P., 1971.** Etude de la toxicité de l'acide tannique administré avec les aliments. *Toxicologie Expérimentale*, 4: 300-309.
- **Mitjavila S., Gaillard D., Derache R., 1968.** Respiration of isolated epithelial cells of the rat intestine: inhibiting effect of tannin and protective effect of mucin. *Biologie et Gastro-Entérologie* (Paris), 2: 183-192.
- **Mitjavila S., Saint Blanquat G., Derache R., 1970.** Effect of tannic acid on intestinal absorption in the mouse. *Food and Cosmetics Toxicology*, Feb; 8(1): 27-33.
- **Mitsunage T., 1999.** Anti caries activity of bark proanthocyanidins. In "Plant polyphenols 2, chemistry, biology, pharmacology, medicine and ecology". New York; *Basic Life Sci.*, 66: 555-573.
- **Mole S et Waterman P.G., 1987.** A critical analysis of techniques for measuring tannins in ecological studies. II. Techniques for biochemically defining tannins. *Oecologia*, 72: 148 – 156.
- **Moncrieff R.W., 1951.** The Chemical Senses. 2ème Ed. L. Hill, London, 424p.
- **Muller C., Massimbert M., 1984.** La conservation des glands, bilan des essais menés entre 1976 et 1982. INRA (Station d'Amélioration des Arbres Forestières), 26p.
- **Muller C., 1986.** Le point sur la conservation des semences forestières et la levée de la dormance. *Rev. For. Fr.*(Nancy), 38 : 200-204.
- **Multon J.L., 1991.** Technique d'Analyse et de Contrôle des Industries Agro-Alimentaires. Analyse des constituants alimentaires. Vol 4. Ed. Lavoisier, collection *TEC et DOC.*, 371-373.
- **Murray E., Fowler M.E., 1965.** Acom poisoning in a cow and a sheep. *J. Am. Vet. Med. Assoc.*, 147 (11): 1215-1220.

N

- **Nachtomi E., Alumot E., 1963.** Tannins and polyphenols in carob pods (*Ceratonia siliqua*). *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 14: 464- 468.

- **Natividade J.V., 1955.** Subériculture. Edition Française de l'ouvrage, Ecole nationale des eaux et forêts. Nancy, 340p.
- **Natividade J.V., 1956.** Subériculture. Edition française de l'ouvrage portugais subériculture. Ecole nationale des eaux et des forêts. Nancy, 303p.
- **Nekachaloe I.Y., 1959.** Larkspur poisoning of livestock. *Farmakologiya i Toksikologiya (Moscow)*, 22: 457.

O

- **Ofcarcik R.P., Burns E.E., 1971.** Chemical and physical properties of selected acorns. *Journal of food Science*, 36: 576-578.
- **Oku H., 1960.** Biochemical studies on coehliobolus miyabeanus. VI. Break-down of disease resistance of rice plant by treatment with reducing. *Phytopathologische Zeitschrift*, 38: 342.
- **Osawa T., Lilley T.H., Haslam E., 1987.** Polyphenols interaction: astringency and the loss of astringency in reopening fruit, *Phytochemistry*, 26(11): 2937-2942.
- **Osborn D.F., Terry R.A., Cammell S.B., Band Outen G.E., 1971.** The effect of leuco-anthocyanins in sainfoin (*Onobrychis viciifolia* Scop.) on the availability of protein to sheep and upon the determination of the acid detergent fiber and lignin fractions. *Proceeding of the Nutrition Society*, 30 (1): 13-14.
- **Ouyahia M., 1982.** Etude de la multiplication et des rythmes de croissance de *Quercus ilex* L. Thèse d'ingénieur en agronomie. I.N.A. Alger, 3-9.

P

- **Pal R.N., Pachari V.C., Negi S.S., 1972.** Comparative nutritive value of oak kernels (*Quercus incana*) vis à vis maize of cattle. *Indian journal of animal sciences*, 42 (5): 341-345.
- **Peri C., Pompei C., 1971.** Vegetable tanning agents. *Phytochemistry*, 10: 2187.
- **Piccolo V., Dillela T. E., Nizza A., 1983.** Composizione chimica e caratteristiche nutritive di castagne e di ghiande fresh E sgussiale. Nutrizione e alimentazione de gli animali. *Agricoli, Edagricole, Bologna*, XIV, 499-501.
- **Pirie N.W., 1959.** Leaf proteins. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 10: 33-52.

- **Plaisance G., 1978.** Le chêne liège. *La forêt privée*, 119 : 49-63.
- **Potter D.K., Fuller H.L., 1968.** Metabolic fate of dietary tannins in chickens. *Journal of Nutrition*, 96: 187-191.
- **Price M.L., Vanscoyoc S., Butler G., 1978.** Evaluation of vanillinreaction as an assay for tannin in sorghum grain. *I- Agric.food.Chem.*, 26:1210-1218.
- **Pridham J.B. (Editor), 1960.** Enzyme Chemistry of Phenolic Compounds. *Pergamon Press*, Oxford, UK, 131.

Q

- **Quinzac Alain, 2003.** Les procédés de transformation des graines de soja. *Oléoscope*, 71 : 19-22.

R

- **Ramos Ayerbe F., Mazuelos Vela F.Y., Fistas Ros De Ursinos J.A., 1964.** « Estudio del fruto de la encina (*Quercus ilex*) ». I. Sorbe El Aceite y Harina de Bellota ». *Grasas y Aceites*, 15(4): 193-196.
- **Ramos Ayerbe F. Mazuelos Vela F.Y., Fistas Ros De Ursinos J.A., 1965.** Estudio Del Fruto de la Encina (*Quercus ilex*). II. características del fruto y de su aceite y harina ». *Grasas Y Aceites*, 17: 6-10.
- **Rao C.V., Pernollet J.C., 1981.** Comparaison of genotypes through different proteins extraction and electrophoretic procedure agronomic.
- **Ravindran V., Ravindran G., 1988.** Nutritional and antinutritional characteristics of Mucuna (*Mucuna utilis*) Bean seeds. *J.Sci Food Agri.* 46: 71- 79.
- **Reis P.J., Schinckel P.G., 1961.** Nitrogen utilization and wool production in sheep. *Australian Journal of Agricultural Research*, 12: 335-352.
- **Robbins C.T., Mole S., Hagerman A.E., Hanley T.A., 1987.** Role of tannin in defending plants against ruminants: reduction in dry matter digestion, *Ecology*, 68: 1606-1615.
- **Robbinson H.J., Graessle O.E., 1943.** Toxicity of tannic acid. *Journal of Pharmacology and Experimental Therapeutics*, 77: 63-69.
- **Rosenblatt M., Peluso J.V., 1941.** Determination of tannins by. photocolorimeter. *Journal of the Association of Official Analytical Chemists*, 24: 170- 181.

- **Roux D.G., Evelyn S.R., 1958.** Condensed tannins. I. A study of complex leucoanthocyanins present in condensed tannins *Biochem. J.*, 69 (4): 530-538.
- **Roux D.G., 1963.** Structural and chromatographic correlations of some flavonoid compounds. *Journal of Chromatography*, 10: 473-478.
- **Russel A.E., Shuttleworth S.G., Williams Wynn D.A., 1968 a.** Structure-activity relationships in the hydrophobic interactions of polyphenols with cellulose and collagen. *Journal of the Society of Leather Trades Chemists*, 52 (12): 459-486.
- **Russel A.E., Shuttleworth S.G., Williams Wynn D.A., 1968 b.** Vegetable tanning agents. *Journal of the Society of Leather Trades Chemists*, 52: 220.

S

- **Salazar S.J., 1988.** La suberaie et la production mondiale de liège. *Rev. Forêt. Méditerranéenne*. Tome X, N°1: 154-159.
- **Sanderson G.W., Perera B.P.M., 1966.** Removal of polyphenolic compounds interfering with carbohydrate determinations in plant extracts with an insoluble polyphenol adsorbent. *Analyst*, 91:335-336.
- **Scalbert A., Monties B., Faure J.M., 1988.** Polyphenols of *Quercus robur*: Adult tree and in vitro grow calli and shoots. *Phytochemistry*, 27: 3483-3488.
- **Schanderl S.H., 1970.** Vitamin Assay. In *Methods in Food Analysis*, Ed.2 (Joslyn M.A. Editor). *Academic press*, New York, 745-791.
- **Schofield, P., Mbugua, D.M., Pell, A.N. (2001).** Analysis of condensed tannins: a review. *Anim. Feed Sci. Technol.* 91, 21-40.
- **S.E.F.O.R., 1981.** Statistique du secteur forestier 2.
- **Seikel M.K., Hillis W.E., 1970.** Hydrolysable tannins of *Eucalyptus delegatensis* wood. *Phytochemistry*, 9: 1115-1128.
- **Sgarbieri V.C., 1989.** Composition and nutritive value of beans (*Phaseolus vulgaris L.*): Bourne GH (ed) : Nutritional value of cereal products, beans and starches. *World Rev. Nutr. Diet. Basel, Karger*, 60: 132-198.
- **Shen J.L., 1979.** Soy protein solubility: The effect of the solubility of soy proteins isolates. *Cereal. Chem.*, 53: 902-909.
- **Shi Z.C., 1997.** The important poisonous plants of prassland in china. Beijing : *China Culture Press*, 142-143.

- **Shuttleworth S.G., Cunningham C.E., 1948.** Die Chromatographie von Phenolen an Polyamiden. *Journal of the Society of Leather Trades Chemists*, 32: 183.
- **Singh U., 1984.** The inhibition of digestive enzymes by polyphenols of chickpea (*Cicer arietinum L.*) and Pigeonpea (*Cajanus cajan L.*). *Nutrition reports international*, 3: 745-753.
- **Singh B., Deol G.S., 1985.** Effect of locality and diameter on chemical composition of *Quercus leucotriphora*. *Indian Forester*, 301-304.
- **Singleton V.L., Rossi J.A., 1965.** Colorimetry of total phenolic with phosphomolibdic-phosphotungstic acid reagents. *American Journal of Enology and Viticulture*, 16: 144-158.
- **Singleton V.L., Kratzer F.H., 1969.** Toxicity and related. physiological activity of phenolic compounds of plant origins. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 17: 497- 512.
- **Somers T.C., 1967.** Resolution and analysis of total phenolic constituents of grape pigment. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 18: 193-196.
- **Somon E., 1988.** Arbres, arbustes et arbrisseaux en Algérie. Ed. O.P.U., Alger, 37- 41.
- **Steven L., Summers J.D., 1991.** Commercial poultry nutrition. University. Books, 9-24.
- **Suchorukow T.K., 1958.** Beitrage Zur Physiologie der Pflanzlichen Resistenz. Berlin; *German Federal Republic Academic*, 4: 75-79.
- **Swain T., 1965.** The tannins. In plant Biochemistry, Edited by J. Bonnet and J.E. Varner. *Academic Press, Inc.*, New York, 552-80.

T

- **Tagari H., Henis Y., Tamir M., Volacain R., 1965.** Effect of Carob pod extract on cellulolysis, proteolysis, deamination and protein biosynthesis in an artificial rumen. *Applied Microbiology*, 13: 437- 442.
- **Taleb Bendiab S.A., Benmahdi M, Mashev N., Vassilev G.N., 1990.** Contribution to the investigation of the chemical composition if the acorn of various *Quercus* species in Algeria; investigation the acorn of *Quercus ilex*. *Comptes rendus de l'Académie bulgare des sciences*. Tome 43(7): 83-85.

- **Taleb Bendiab S.A., Benmahdi M., Mashev N., Vassilev G.N., 1991.** A tribute to the study of the chemical composition of the acorn of different species of *Quercus* spread in Algeria. *Comptes rendus de l'Académie bulgare des sciences*. Tome 44(3): 85-88.
- **Tamir M., Alumot E., 1969.** Inhibition of digestive enzymes by condensed tannins from green and ripe carobs. *Journal of the Science of Food and Agricultural*, 20: 199-202.
- **Textl A., Konecny M., 1967.** Contribution to the hepatotoxic effect of tannin and rectobaryum. *Vnitr. Lek.* 13(10): 968-975.
- **Thivend P., 1981.** Préviation de la valeur nutritive des aliments des ruminants, *INRA pub*, 297-305.

ψ

- **Vidal C.L., Valera G., 1967.** Avances aliments. *Meyora animal*, 7.
- **Vidal C.L., Varela G., 1969.** Agronomica. *Revue Nutrition Animal*. Madrid, Espana, 6: 530-541.

ω

- **Wainio Walter W., Forbes E.B., 1941.** The chemical composition of forest fruits and nuts from Pennsylvania. *Journal of Agriculture Research*, 62(10): 627-635.
- **Warren C.G., Vaughan S.M., 1985.** Acorn poisoning. *Vet. Rec.*, 116(3): 82.
- **Weil J.H., 1981.** Biochimie générale. 6^{ème} édition Masson, 17- 441.
- **Weings K., Bahr W., Klass P., 1968.** Phenolische naturstoffe, X. phenolische inhaltsstoffe der Blätter des Ginkgo – Baumes (*Ginkgo biloba L.*). *Arzneimittelforschung*, 18(5): 539-543.
- **Wheeler E.L., Ferrel R.E., 1971.** A method for phytic acid determination in wheat and wheat fractions. *Cereal chem.*, 48: 312-316.
- **White T., 1957.** Tannins: their occurrence and significance. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 8: 377-385.
- **Whitfield F.B., 1992.** Volatiles from interactions of Maillard reactions and lipids. *Critical Reviews in food Sci. and Nutr.*, 31(1/2): 1- 58.
- **Williams R.T., 1959.** The metabolism of halogenated aromatic hydrocarbons. In: *Detoxication Mechanisms*, 2 nd Ed. New York, NY: John Wiley and Sons, 237-258.

- **Wiseman S.A., Thompson H., 1984.** Acorn poisoning. *Vet. Rec.*, 115(23): 605.
- **Wiseman S.A., Balentine D.A., Frei B., 1997.** Antioxydants in tea. *Crit. Rev. food Sci. Nutri.*, 37:705-718.
- **Wolf J.C., Thompson D.R., Warthesen J.J., Reineccius G.A., 1981.** Relative importance of food composition in free lysine and methionine losses during elevated temperature processing. *J. food Sci. vol.*, 46: 1074-1078.

Υ

- **Yasumatsu K., Nakayama T.O.M., Chichester C.O., 1965.** Fast atom bombardment mass spectrometry of polyphenols (Syn. Vegetable tannins), *Biological Mass Spectrometry*, 13(9): 449-468.
- **Yeo H.C.H., Shibamoto T., 1991.** Microwave-induced volatiles of the Maillard model system under different pH conditions, *J.Agric. food Chem.*, 39: 370-373.

Z

- **Zelter S.Z., Leroy F., 1966.** Schutz der Nahrungsproteine gegen mi-crobielle Desaminierung im Pansen. *Zeitschrift für Tierphysiologie, Tierernährung und Futtermittelkunde*, 22: 3.
- **Zelter S.Z., Leroy F., Tissier J.P., 1970.** Protection des protéines alimentaires contre la désamination bactérienne dans le rumen. *Annales de Biologie Animale, Biochimie, Biophysique*, 10 : 123-141.
- **Zeraia L., 1983.** Protection de la flore, liste et localisation des espèces assez rares, rares et rarissimes. Station centrale de recherche en écologie forestière, Alger. Résumé de thèse du docteur d'état Es-Science. Alger.
- **Zimmer N., Cordesse R., 1996.** Influence des tannins sur la valeur nutritive des aliments des ruminants. *INRA. Prod. Anim.*, 9(3) : 167-179.

Présentation des travaux

LISTE DES PUBLICATIONS ET DES COMMUNICATIONS

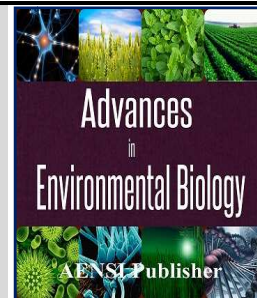
Les résultats obtenus lors de mes travaux de thèse ont été présentés dans des congrès nationaux et internationaux (09 communications) et ont fait l'objet de publications dans un journal scientifique international à facteur d'impact.

Publications dans une revue internationale à comité de lecture

Article 1 : EL MAHI F.Z., BENALI M., DIF M.M., BOUAZZA S., RIH A. (2016). First Phytochemical Analysis of the Anti-Nutritional Aspect of Holm Oak Acorn (*Quercus Ilex* L) of Tessala (Algeria NW) before and after Cooking. *Advances in Environmental Biology*, 10 (1), January 2016, Pages : 259-264. ISSN-1995-0756. EISSN-1998-1066.

Communications dans des congrès nationaux et internationaux à comité de lecture

- [1] EL MAHI F.Z., BENALI M., MOULESSEHOUL S., RIH A. Contribution à l'étude de la composition chimique des glands de chênes vert (*Quercus ilex*), liège (*Quercus ilex*) et kermès (*Quercus coccifera*) de la région de Sidi Bel Abbés. *Forum scientifique national de SNV*. 17-18 Avril 2007, Tlemcen, Algérie.
 - [2] EL MAHI F.Z., BENALI M. Evaluation biochimique et nutritionnelle de la farine de gland de chêne vert, liège et kermès de la région de Tessala, wilaya de Sidi Bel Abbés. *Bio Tech Word 2007*. 24-25 Novembre 2007, Oran, Algérie.
 - [3] EL MAHI F.Z., BENALI M., MOULESSEHOUL S., RIH A. Contribution à l'étude des facteurs antinutritionnels des glands de chênes vert (*Quercus ilex*), liège (*Quercus suber*) et kermès (*Quercus coccifera*). Effet des traitements hydrothermiques. *Workshop International sue la Biodiversité et Ecosystèmes Littoraux BELO1*. 27-28-29 Novembre 2007, Oran, Algérie.
 - [4] EL MAHI F.Z., BENALI M., MOULESSEHOUL S., RIH A. Caractéristiques biochimiques et valeurs nutritives des farines de glands de chêne vert, liège et kermès. Possibilités de valorisations de ces fruits oubliés. Effet des traitements hydrothermiques. *Workshop International sue la Biodiversité et Ecosystèmes Littoraux BELO1*. 27-28-29 Novembre 2007, Oran, Algérie.
 - [5] EL MAHI F.Z., BENALI M. Valeur alimentaire des différentes espèces de glands de chêne algérien. *Séminaire International « La Biotechnologie au service du secteur Agroalimentaire »*. 17-18 Juin 2008, Blida, Alger.
 - [6] EL MAHI F.Z., BENALI M. Recherche des facteurs antinutritionnels des trois espèces de glands de chênes algérien (*Quercus ilex*, *Quercus suber* et *Quercus coccifera*) et la mise au point de techniques permettant de les détoxifier (Autoclavage). *7èmes journées de Biotechnologie de l'Association Tunisienne de Biotechnologie*. 15-18 Décembre 2008, Hammamet, Tunisie.
 - [7] EL MAHI F.Z., BENALI M., MOULESSEHOUL S. Evaluation antinutritionnelle de la farine des glands de chêne vert (*Quercus ilex*) cru et autoclavé. *Séminaire National sur L'alimentation et Santé (SNAS)*. 13-14 Mai 2008, Sidi Bel Abbés, Algérie.
 - [8] EL MAHI F.Z., BENALI M. Efficacité du traitement hydrothermique (autoclavage) sur la détoxification des glands de chênes vert et liège, des substances allélochimiques (facteurs antinutritionnels). *2^{ème} Colloque Francophone en Environnement et Santé*. 16-17 et 18 Mai 2009, Annaba, Algérie.
 - [9] EL MAHI F.Z., BENALI M., RIH A. Contribution à l'étude des facteurs antinutritionnels des glands de chêne vert (*Quercus ilex*). Effets des traitements hydrothermiques. *27^{ème} Congrès international de l'Association Tunisienne des Sciences Biologiques (ATSB)*. 28-31 Mars 2016, Hammamet, Tunisie.
-



First Phytochemical Analysis of the Anti-Nutritional Aspect of Holm Oak Acorn (*Quercus Ilex L*) of Tessala (Algeria NW) before and after Cooking

¹Fatima Zohra El mahi, ²Mohamed Benali, ¹Mustapha Mahmoud DIF, ¹Sofiane Bouazza and ¹Aicha Rih

¹Biotoxicologie laboratory, department of biology, nature and life science faculty, Djilali Liabes university, SIDI BEL ABBES, Algeria 22000

²Écodeveloppement des espaces laboratory, nature and life science faculty, Djilali Liabes university, SIDI BEL ABBES, Algeria 22000

Address For Correspondence:

Fatima Zohra El mahi, Biotoxicologie Laboratory, Department Of Biology, Nature And Life Science Faculty, Djilali Liabes University, SIDI BEL ABBES, Algeria 22000

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

Received 12 February 2016; Accepted 12 March 2016; Available online 22 March 2016

ABSTRACT

The present study contributes to the development of the food potential of holm oak acorn like new resource to be exploited on an industrial scale for their use in animal feeds. Our study relates to the determination of the content of factors antinutritionnels before and after hydrothermal treatment of an edible species of oak, the holm oak (*Quercus ilex* known for its spontaneoucity and its very significant geographical distribution. The analysis of the phenolic compounds enabled us to highlight two types of tannins, condensed and hydrolysable. The determination of the tannin rates reveals their variation according to the vegetable species considered, but also of the state of fruit maturity. In the light of the results obtained, it arises that the contents tannins of the nipples of holm oaks are rather significant east accounts for 0,295%. The application of the hydrothermal treatments to 100°C during 30 minutes appears best adapted to detoxify the nipples of the alleochemic substances without involving serious losses in nutritive principles. It thus allows a reduction of the antinutritionnel effect which the tanins exert nipples believed in the level of the digestive tract. The objective would be to decrease this high content in tannins by heat treatments for an improvement and of a durable consumption or to carry out the extraction of different the toxic tannic fractions before nourishing the animals.

KEYWORDS: Acorn-holm oak - hydrothermal Factorsantinutritionnels- Treatments Detoxification - Food.

INTRODUCTION

The forage intensification is a major business organization for growers, Algeria has a deficit in forage production and livestock feed specifically. It devotes considerable effort to increase production and a lot of resources to deal with this deficit through imports as raw materials for the cattle food industry is \$ 209.646, including the different types of corn meal, soya bean and sunflower [1].

In order to play up the importance of the Algerian flora economically and in order to find new food animal and plant resources, which can immediately lead to the revitalization of the farming sector, biochemical research converge towards a current evaluation of natural meats that can provide carbohydrates, lipids and proteins.

This resurgence of interest of plant resources generally and forest products, particularly, it seemed interesting to design a new approach acorn in order to showcase the possibilities of selling this fruit.

The thought of highlighting the glans appeared in most countries with oak in order to capitalize on the potential of its food, pulp scale laboratory and Industry, to examine the economic viability of the transformation of acorn flour in its conservation as cattle feed and the obtaining of edible oil.

The purpose of this work is to detoxify these oakacorn of their allelochemical substances by hydrothermal treatment; in this setting, we performed biochemical analyzes to characterize the anti-nutritional compounds of two species of oak acorns with the intention of incorporating them in the food and feed. An edible, holm oak (*Quercus ilex*) from the region of Tessala (western Algeria)

MATERIAL AND METHODS

I.1. Collection:

Harvesting of acorns holm oak was carried away, since fruiting begins in October and ends in December. The acorns of oak were collected from different stations belonging to the mountains of Tessalawilaya of Sidi Bel Abbes (western Algeria).

I.2. Storage:

In the lab, the plant material is washed, open on the floor and left spontaneously dry away from illumination and passion. This prevents the germination of acorns or fermentation.

I.3. Preparation of flour raw acorns:

Whole acorns, raw, peeled, cut into small bits and dried in an oven heated to a temperature of 105 ° to constant weight and then are dry land and put in a very fine sieve (ϕ 1 mm) to obtain white flour as thin as possible.

The samples obtained are stored in tinted glass vials for future use.

I.4. preparation of flour treaties acorns:

I.4.1. By autoclaving:

Raw was autoclaving at a temperature of 100 ° C for 30 minutes. Then are peeled and dried in an oven heated to a temperature of 105 ° C to constant weight, then is cut into small pieces, mashed and placed in a very fine sieve (ϕ 1mm) to get a brownish flour also end as possible.

The samples are kept in tinted glass vials for future employment.

I.4.2. For household cooking:

Raw acorns have suffered a housewife cooking at a temperature of 100 ° C for 30 transactions. Then are peeled and dried in an oven heated to a temperature of 105 ° C to constant weight, then is cut into small pieces, mashed and placed in a very fine sieve (ϕ 1mm) to get a brownish flour also thin as possible.

The samples are kept in tinted glass vials for future employment.

Methods Of Analysis:

The flours obtained are analysed to determine water content; antinutrients comprising the total phenols, condensed tannins, the hydrolysable tannins and phytic acid.

II.1. Water content:

Determination of the water content is extended out by drying; the sample (5g) was inserted into a metal container is put in an oven at 105 ° C for 4 hours.

The capacity is specified by the following rule:

$$\% \text{ Moisture} = (\text{wet weight} - \text{dry weight}) \times 100 / \text{WW}.$$

II.2. Determination of phytic acid:

The determination of phytic acid is based on the properties of phytic substances related to ferric ions. Phytic acid is insoluble in water, but soluble in dilute hydrochloric acid. The optical density of the green solution thus formed is measured spectrophotometrically at 700 nm [9].

The rate of phytic acid is held and determined colorimetrically by referring to a calibration curve.

II.3. determination of total phenols:

II.3.1. Preparation of extract:

1 g of acorn flour are added to 50 ml of methanol. Allow to react for 24 hours at room temperature. The solution is filtered and the supernatant is recovered [2].

II.3.2. Spectrophotométrique Determination of Phenolic Compounds:

The total phenols are determined by the Prussian blue method. The intensity of the color reaction is the degree of oxidation and polymerization of the polyphenolic compounds [3]

Calculating the total phenol content is expressed in (%) of dry matter.

Total phenols content (%) = E.L.C

E (%) = 150.

L = 1cm: length of the tank.

C: Concentration of total phenols determined with reference to a calibration curve made with a tannic acid solution at concentrations ranging from (10 to 60 mg / ml) at 725 nm.

II.3.3. Determination of condensed tannin (CT) ferric sulphate:

This method of specific and sensitive assay is described by Bate-Smith [3]. It is based on the quantitative estimation of different proanthocyanidins.

The addition of ferric ions allows the degradation thereof. The optical density was measured spectrophotometrically at 530 nm.

The content is determined by the following formula:

$$TC (\%) = 5.2 \times 10^{-2} \times \frac{DO \times V}{P}$$

5.2×10^{-2} : Constant expressed in equivalent of cyanidin.

OD: Optical Density.

V: Volume of sample used (1 ml).

P: Sample weight (0.2 g).

II.3.4. Determination of hydrolysable tannin (TH) ferric chloride:

The principle is based on the reaction of tannin extract and the reagent $Cl_3 Fe / HCl$ (0.01 M $FeCl_3$ in 0.001 M HCl) causing the red color violet complex, thereby forming ions (Fe^{3+}) [2].

The optical density was measured spectrophotometrically at 660 nm.

RESULT AND DISCUSSION

Table 1: content of antinutritional compound of holm oak acorn before and after cooking.

	before cooking	After cooking
Phytic Acid (mg/100g DM)	127	88
Total phenols(%)	0.631	0.298
Total tannins (%)	0.295	0.260
Condensed tannins (%)	0.289	0.259
hydrolyzable Tannins(%)	0.009	0.0018

I. Water content:

The purpose of the water capacity is a very important parameter to judge the quality of acorns. A wet cork gives a low production of flour, in fact, Moisture accelerates germination and promotes the growth of micro-organisms DM during storage.

The comparison water content of holm oak of Tessala (25, 73%) and other studies; lower than that of the French population estimated (31.24%) [10], and Spanish (29, 36%) [17], although they are rather faithful to those of the Portuguese population with a mean value (26.3%) (Ferreira Vieira, 1966) and those of other Algerian populations estimated at (26, 64%) [4].

Thus, a comparison between acorn oak populations and other studies, our results are less than those of Portuguese and French populations reported by the bibliography and estimated respectively (34,20%) and (34.70%), as they are closer to those of the Spanish population estimated at (30,00%) [17].

The water content for fresh fish and edible population is within a range of 2 (4.75%) and (26.96%). So holm oak contains a low charge per unit compared to the cork oak.

This variability in the moisture values is primarily due to factors including:

- The sample preparation mode and particularly the red ink of water during grinding.
- The physiological state of the fruit.
- The source or place of harvest of the glans knowing the moisture layer is proportional to the altitude.

In addition, another important element, yet changes the moisture content, it is of the species or variety of producing the sample.

II. Anti-nutritional compounds:

II.1. Phenolic content of raw oak acorns:

II.1.1. Phosphoric fraction content: phytic acid:

This substance is low compared to cereal grains and legumes that are high in phytic acid with the protection levels of respectively (960 mg / 100g)DM and (310 mg / 100g/DM). Accordingly, phytic acid is not a demineralizing effect as in cereals.

II.1.2. Content of total phenols:

The values obtained in total phenols show particularly low levels in the edible species studied with a value compared to the forage species studied estimated (0.831%), and when it is in particular to those acorns of various species of oaks including *Quercus alba*, *Quercus* and *Quercusvalentinarudera* estimated respectively (1.09%) (4.10%) and (4.51%).

The outcomes of the studied species are secretive enough to other Algerian species estimated respectively (0.600%) and (0.790%). In summation, they may present with respect to fava beans which shows a high rate of phenol (24.90%).

II.1.3. Total tannin content:

we see that the edible species studied is less rich in tannins total compared to the estimated forage species (0.609%). Nevertheless, the total tannin levels are importantly more depressed than those published by Vision and Katiyar for Indian ocoorns (8.82%); Ofcarcik and Burns for US tassels (0.1 to 10%). This low tannin content of green acorns proves that they are non toxic and are a popular, smoothly by consumers. Incidentally, Byung Hong *et al.* showed that acorns become very toxic and fatal if they contain tannin rate exceeding 1%.

II.1.4. Content of condensed tannins:

The edible studied species have a low rate estimated condensed tannins compared to the forage species which bears a comparatively high rate assumed to be (0.580%); However, this content is much lower than that published by Vigan Katiyar, for Indian ocoorns (8.82%). Comparing our species with faba bean, we discover that our outcomes are much lower and the deviation is quite substantial compared to the example of Fabian estimated (15.68%). Therefore, it is clear from our analysis that determined condensed tannins make up the bulk of total tannins. The richness in tannin acorns varies with the plant species considered, but likewise the state of maturity of the fruit.

II.1.5. Hydrolysable tannins:

The results of our analysis show that the people of SCM contains a fairly high rate compared to the estimated edible species (0.009%). These results confirm the results obtained by Belarbi estimated (0.0063%) for the GCV and (0.060%) for the AHO. and the subscribers to those issued by El Mahi, we discover that our consequences are substantially similar, a difference of (0.001%) for the forage species, and (0.012%) for the edible species.

For our edible species studied, the deviation is quite substantial compared to the Fabian bean (2.8300%).

Our results indicates that the hydrolyzable tannin contents are unrepresentative compared to total tannins.

II.2. Phenolic content of the treaties acorns:

II.2.1. Phytic acid:

Decreasing the phytic acid content of the species studied after the hydrothermal treatment is produced by dissolution and diffusion of phytic acid in the water used during the cooking and retorting.

II.2.2. Content of total phenols:

We see that there is a degradation of the content of phenolics and tannins. The values show that after the hydrothermal treatment there is a significant decrease in phenolic content is (0.293%) for the AHO (acorn holm oak) and autoclaved (0.385%) for the cooked AHO, AHO compared to the crude estimate (0.633%)

II.2.3. Total tannins content:

There was a lessening of the total tannin content of the species studied after hydrothermal treatment (0.160%) for the AHO and autoclaved (0.212%) for the cooked AHO from the estimated flood AHO (0.295 %). This shows that the hydrothermal treatment is an efficient means to detoxify acorns.

II.2.4. Hydrolysable tannin content:

There is a reduction in the content of hydrolyzable tannins is (0.208%) for cooking and AHO (0.156%) for the AHO autoclaved.

The decrease in hydrolyzable tannins as a result of hydrothermal treatment is explained by their degradation in ellagitannins and last Gallic acid oxidize to turn into brown polymers, which shows their decline, so there is a loss of wealth tannin during hydrothermal treatment.

II.2.5. Condensed tannins content:

Regarding the AHO treated is set up to have a degradation of the condensed tannin content is more remarkable during treatment by autoclaving (0.4% reduction).

This reduction is due to enzymatic browning, because these centers cause the property of reacting with the protein under the result of the heat treatment; they undergo oxidation with loss of water, then are transformed into corresponding anthocyanidol polymers.

Conclusion:

Our results demonstrate a successful method to a further contribution in the knowledge of acorns and their potential role in animal feed.

The biochemical composition highlights the rich acorns in carbohydrates and lipids, which classes among energy food first rate.

Hence the present species represent a rising percentage of the human diet in the future, attention to anti-nutrients they contain will be an important aspect of the valuation of these valuable resources. Qualitative analysis could remove the doubt on certain assumptions regarding the character of the glans and its nutritional value

In the end, a bill is necessary in society to contain and guide our endeavors to avert the risk of thousands of trees for the benefit of economic demands.

REFERENCES

- [1] Basden, K.W., R.R. Dalvi, 1987. Determination of total phenols in acorns from different species of oak trees in conjunction with acorn poisoning in cattle. *Vet.Hum.Toxicol.*, 29(4): 305-306.
- [2] Bate-Smith, E.C., 1972. Detection and determination of ellagitannins. *Phytochemistry*, 11: 1153-1156.
- [3] Bate-Smith, E.C., 1973. A haemanalysis of tannin: the concept of relative astringency. *Phytochemistry*, 12: 907-912.
- [4] Belarbi, M., S.A. TalebBendiab, N. Mashev, 2001. Biochimical composition and antioxidant proprieties of oak acorns from an Algerien ecological region. EcologicalProbleDM of Agriculture. Fith National Scientific and Pratical conference with international participation. Agricultural University Plovdiv.
- [5] Belarbi, M., 2003. Etude des composés nutritionnels et anti-nutritionnels des glands de chêne et l'efficacité nutritionnelle de leurs protéines chez les rats Wistar en croissance. Thèse de doctorat en sciences naturelles. Université de Tlemcen, 156.
- [6] Boudroua, K., 1995. Caractéristiques biochimiques et aptitudes nutritionnelles des farines de glands de chêne vert et du chêne liège en alimentation du poulet de chaire. Mémoire de magister en sciences agronomiques, Institut National Agronomique (INA), EL-Harrach. Alger, 107.
- [7] Brun, N., M. Jay, 1990. Tannins et phénols de la féverole. Quantification et évolution de leur pouvoir anti-nutritionnel. Laboratoire de Biologie Micromoléculaire et phytochimie. Université de Lyon, France.
- [8] Burns, R.E., J.P. Craigmiles, D.G. Cummins, J.E. Marion, 1967. Oil content, fatty acid composition and other agronomic characteristics of sunflower introductions. *J.Am.Oil.Chem.Soc.*, 44(10): 581-582.
- [9] Ferreira, M.F., Vieira De Castro, 1966. Acorn meal in the feeding of growing birds. *Bol.Pecuar*, 34(3): 205-220.
- [10] Guaussein, H., A. Rouquette, 1949 : Extrait du bulletin de la société d'histoire naturelle de Toulouse, 84p.
- [11] Hong Byung, J., J. Rhee, C. Rhee Yong, 1975. Hangukch'uksanhakhoeche, S.Korea, 4: 423-431.
- [12] Kaysi, Y., J.P. Melcion, 1992. Traitements technologiques des protéagineux pour les monogastriques, exemple d'application à la graine de féverole. INRA Prod. Anim., 5(1) : 3-17.
- [13] Lepen, B., J. Adrian, 1985. L'acide phytique dans les céréales et ses conséquences nutritionnelles. Chaire de biochimie industrielle et agroalimentaire. Ed. C.N.A.M. (75-003 Paris), 3.
- [14] Longstoff, M., J.M. Mc Nab, 1991. The inhibitory effects on hull polysaccharides and tannins of field beans (*Vicia faba L.*) on the digestion of amino acids starch and on digestive enzymes activities on young chicks. *Br.J.Nutr.*, 65: 199-216.
- [15] Ofcarcik, R.P., E.E. Burns, 1971. Chemical and physical properties of selected acorns. *Journal of food Science*, 36: 576-578.
- [16] Ravindran, V., G. Ravindran, 1988. Nutritional and antinutritional characteristics of *Mucuna (Mucuna utilis)* Bean seeds. *J. Sci. Food Agri.*, 46: 71-79.
- [17] Vidal, C.L., G. Varela, 1969. Agronomica. *Revue Nutrition Animal*. Madrid, Espana, 6: 530-541.

- [18] Vigan K., R.C. Katiyar, 1973. Types of tannins in deoiled seed meal and oak kernels and their metabolic behaviour in sheep. *Indian J. Anim. Sci.*, 43: 398–401.
- [19] Wheeler E.L., R.E. Ferrel, 1971. A method for phytic acid determination in wheat and wheat fractions. *Cereal chem.*, 48: 312-316.

Annexes

Annexe 1

Dosage de l'azote total selon la méthode de Kjeldahl

La teneur en protéines a été déterminée selon la norme internationale ISO 8968-1 (ISO, 2001), en utilisant un appareil de Kjeldahl. La détermination a été effectuée en trois étapes :

- **Mode opératoire de la minéralisation (digestion de l'échantillon)**

Une quantité de 5g d'échantillon est introduite dans un matras de 250ml avec 2g de catalyseur à partir du mélange (15g de sulfate de potassium + 5g de sulfate de cuivre + 5g de sélénium) et 10 ml d'acide sulfurique concentré, puis on applique un chauffage progressif ; d'abord une attaque à froid pendant 15 mn jusqu'à l'apparition de vapeur blanche d'anhydride sulfurique, puis le chauffage est rendu plus énergique, attaque à chaud pendant 4 à 5 heures.

Le matras est chauffé jusqu'à décoloration du liquide en vert stable ; il est ensuite complété dans une fiole de 100 ml avec de l'eau distillée.

- **Mode opératoire de la distillation**

10ml du contenu de la fiole sont traversés dans l'appareil de distillation aux quels sont ajoutés 10ml de soude. Le distillat est ensuite recueilli dans 10ml d'acide sulfurique composé de quelques gouttes d'indicateur coloré (le réactif de TACHIRO) (10ml de méthyle rouge à 0,03% dans l'éthanol à 70% et 1,5ml de bleu de méthylène à 0,1% aqueux).

- **Titration**

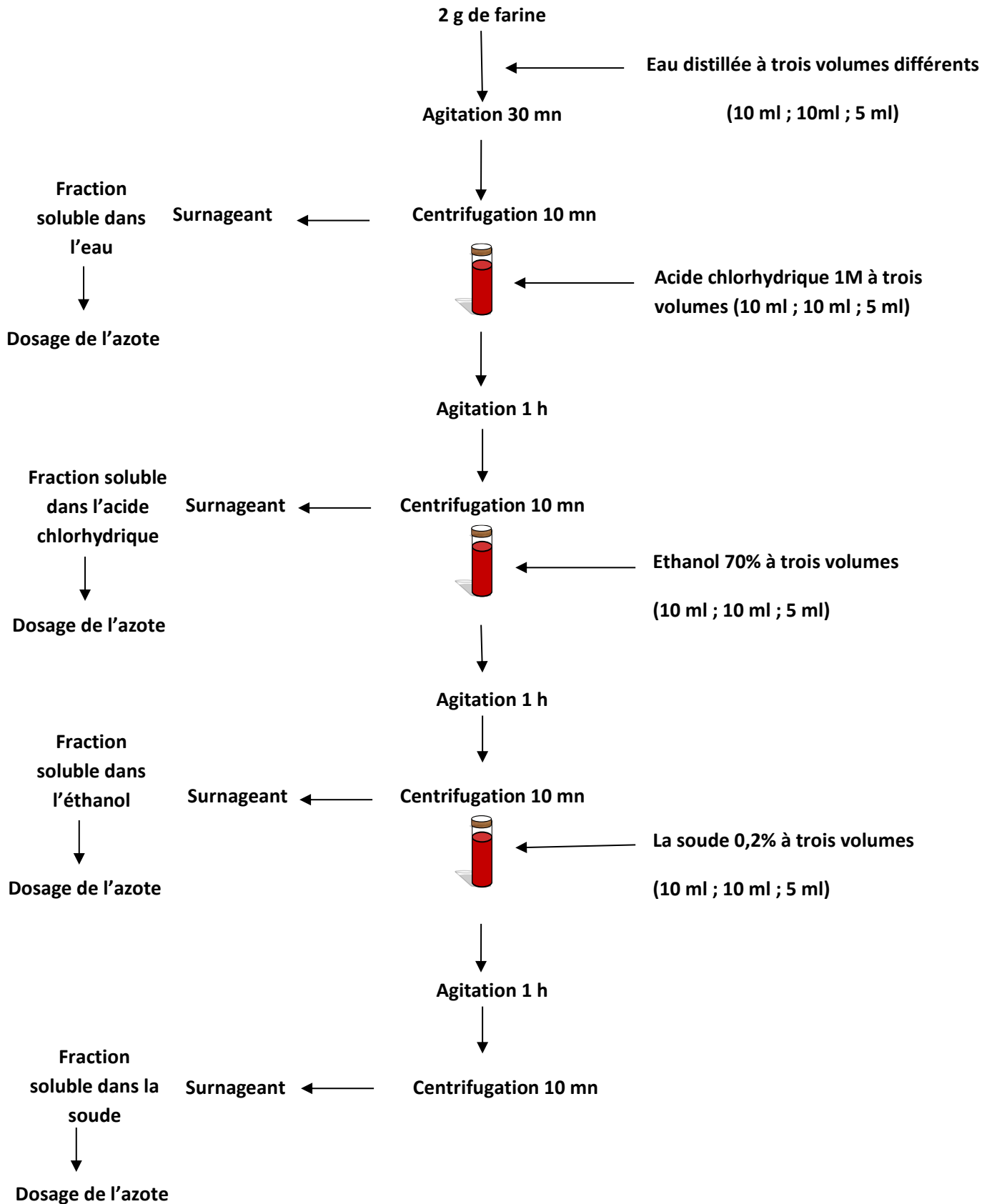
Le recueilli est titré par l'acide sulfurique à 0,1N, après avoir ajouter quelques gouttes d'indicateur coloré (rouge de méthylène 0,1%). La coloration passe du jaune au rose pâle persistant, cela veut dire que NH_3^+ est neutralisé par l'acide sulfurique (H_2SO_4).

- **Expression des résultats**

La teneur en protéines est calculée en multipliant le taux d'azote total N (%) par le coefficient 6,25 selon l'équation 2.

Annexe 2

Protocole du fractionnement d'Osborn (Osborn et *al.*, 1971).



La quantité de sucre est exprimée en glucose, d'après la formule suivante :

$$X = \frac{A \cdot V \cdot 100}{B \cdot J \cdot 1000}$$

A : Quantité de sucre en mg selon le tableau.

V : Volume initial (100 ml) pour l'obtention d'extrait pour la détermination du sucre.

B : Volume pris pour la détermination des sucres réducteurs.

J : Masse de l'échantillon.

100 : Pourcentage.

1000 : Conversion en mg.

Annexe 4

Détermination des disaccharides (saccharose)

- **Mode opératoire**

On prend 5ml de la solution analysée, on la place dans un tube à essai puis on ajoute 0,8 ml de solution acide (0,75 N). Le tube à essai à l'aide d'un dispositif métallique est plongé dans un bain marie bouillant, l'hydrolyse du saccharose nécessite 3 mn.

Après les solutions sont neutralisées avec 10% de bicarbonate de sodium, on effectue ensuite la manipulation comme s'il s'agissait d'un dosage de solution des sucres réducteurs.

Volume des solutions utilisées pour les sucres totaux – Volume des solutions utilisées pour la détermination des sucres réducteurs = Volume du saccharose.

La valeur obtenue est multipliée par 0,95 étant donné qu'à partir d'1g de sucre réducteur on obtient 0,95 g de saccharose.

Annexe 5

Dosage de la teneur en cellulose

- **Mode opératoire**

La première hydrolyse se fait dans un milieu acide avec 200 ml d'une solution d'acide sulfurique à 12,5 g/l durant 30 mn après l'ébullition.

Alors que la deuxième hydrolyse da fait dans un milieu basique avec 200 ml d'une solution de soude à 12,5g /l durant 30m, après l'ébullition.

Les résidus sont récupérés dans un creuset à filtre, puis placés dans une capsule à 100°C pendant 24h.

L'hydrolyse acide solubilise l'azote, les polyholosides simples et certaines hémicelluloses.

L'hydrolyse basique solubilise les composés pectiques, la plupart des hémicelluloses et une partie de la lignine.

- **Expression des résultats**

Les résultats sont exprimés en pourcentage de matière sèche selon l'équation 4.

Annexe 6

Dosage des lipides

- **Mode opératoire**

Une prise d'essai de 10 g d'échantillon (M) est introduite dans une cartouche préalablement tarée qui est ensuite placée dans un extracteur.

Un ballon contenant 300 ml d'éther de pétrole (P₀) est connecté au système chauffé sur une calotte. Huit heures après, le ballon est retiré du Soxhlet et le solvant est chassé à l'évaporateur rotatif. Le ballon est ensuite séché à l'étuve à 80°C pendant 24 heures puis pesé (P₁). La teneur en matière grasse est calculée selon l'équation 5. La teneur en matière grasse est exprimée en g pour 100 g base sèche.

- **Expression des résultats**

Les résultats sont exprimés en pourcentage de matière sèche selon l'équation 5.

Annexe 7

Détermination de l'acidité grasse (NA 1182 / 1990)

- **Mode opératoire**

La méthode utilisée pour la détermination de l'acidité titrable est décrite par Ilkay et Aziz ,2011 ; le titrage de l'acidité se fait avec une solution de NaOH (0.1N) en présence de phénolphtaléine comme indicateur de couleur.

On pèse 10 g dans une fiole conique puis on ajoute 50ml d'ED récemment bouillis et refroidis, puis on mélange jusqu'à l'obtention d'un liquide homogène.

On chauffe le contenu au bain marie pendant 30 minutes, après refroidissement, on verse le mélange dans une fiole jaugé de 100 ml en complétant jusqu'au trait de jauge avec l'ED.

Après filtration on prélève 10 ml du filtrat dans 10 ml d'ED, on ajoute des gouttes de phénolphtaléine et on titre avec NaOH (0.1N) jusqu'à l'obtention d'une couleur rose persistante pendant 30 secondes.

- **Essai à blanc**

Titre l'acidité apportée par l'alcool, en opérant sur 20ml d'éthanol.

- **Expression des résultats**

La teneur en acidité grasse est calculée selon l'équation 6.

Annexe 8

Dosage des cendres

- **Mode opératoire**

5 grammes d'échantillon sont pesés dans des creusets en porcelaine préchauffés. Les creusets sont ensuite placés pendant 5 heures dans un four à moufle à 550°C. A la sortie du four, les creusets sont refroidis dans un dessiccateur, avant d'être pesés.

- **Expression des résultats**

Le pourcentage de teneur en cendres est déterminé selon l'équation 7.

Annexe 9

Courbe d'étalonnage de phosphore

On Construire la courbe d'étalonnage de la teneur en phosphore à l'aide d'une solution mère (1,0967g de dihydrogénophosphate de potassium (KH_2PO_4) dans 250 ml d'eau distillée, cette solution comprend 1mg de phosphore par ml) à partir de cette solution on prélève 5ml dans une fiole de 500 ml qu'on ajuste avec de l'eau distillée c'est la solution fille. Cette solution est à 0,01mg de phosphore par ml.

- **Préparation des solutions standards**

Pipeter 1ml, 2ml, 4ml, 6ml, 8ml, et 10ml de la solution fille dans une fiole de 50 ml. Ajouter 8ml de Sulfate d'hydrazine et 2 ml de Molybdate de sodium, amener à 50 ml avec de l'eau distillée. Mettre au bain marie bouillant pendant 15 mn, laisser refroidir, lire l'absorbance à 650 nm et tracer la courbe .

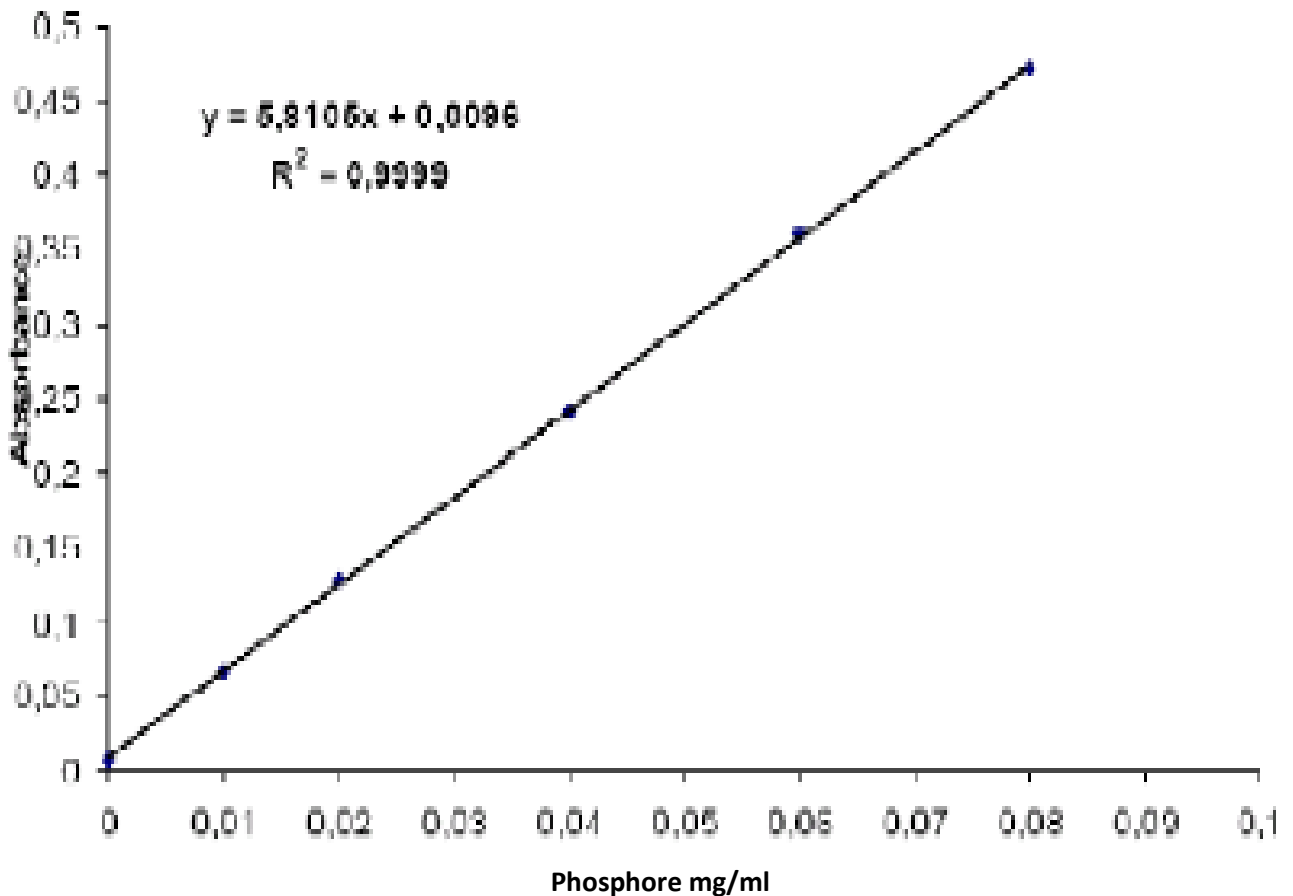


Figure 44. Courbe d'étalonnage de phosphore.

Annexe 10

DOSAGE DU CALCIUM

- **Principe**

L'échantillon est incinéré, les cendres sont traitées par l'acide chlorhydrique et le calcium est précipité sous forme d'oxalate de calcium. Après dissolution du précipité dans l'acide sulfurique, l'acide oxalique formé est titré par une solution de permanganate de potassium.

- **Mode opératoire**

Peser, à 1 mg près, 5 g environ de l'échantillon (ou plus si nécessaire), les calciner à 550 °C et transvaser les cendres dans un bécher de 250 ml. Ajouter 40 ml d'acide chlorhydrique (3.1), 60 ml d'eau et quelques gouttes d'acide nitrique (3.2). Porter à ébullition et maintenir celle-ci pendant trente minutes. Refroidir, transvaser la solution dans un ballon jaugé de 250 ml. Rincer, compléter le volume jusqu'au trait de jauge avec de l'eau, homogénéiser et filtrer.

Prélever à la pipette, selon la teneur présumée en calcium, une quantité aliquote contenant de 10 à 40 mg de calcium et l'introduire dans un bécher de 250 ml. Ajouter 1 ml de solution d'acide citrique (3.6) et 5 ml de solution de chlorure d'ammonium (3.7). Compléter le volume à 100 ml environ avec de l'eau. Porter à ébullition, ajouter 8 à 10 gouttes de solution de vert de bromocrésol (3.8) et 30 ml de solution chaude d'oxalate d'ammonium (3.5). Si un précipité apparaît, dissoudre celui-ci par addition de quelques gouttes d'acide chlorhydrique (3.1).

Neutraliser ensuite très lentement par l'ammoniaque (3.4), en agitant constamment, jusqu'à obtention d'un pH de l'ordre de 4,4 à 4,6 (virage de l'indicateur). Placer le bécher dans un bain d'eau bouillante, maintenir durant trente minutes pour laisser déposer le précipité formé. Retirer le bécher du bain d'eau. Laisser reposer durant une heure et filtrer dans un creuset filtrant G4.

Laver le bécher et le creuset à l'eau jusqu'à élimination de l'excès d'oxalate d'ammonium (l'absence de chlorure dans les eaux de lavage indique que le lavage a été suffisant).

Dissoudre le précipité sur le filtre par 50 ml d'acide sulfurique (3.3) chaud. Rincer le creuset à l'eau chaude et amener le filtrat à 100 ml environ. Amener la température à 70-80

°C et titrer goutte à goutte par la solution de permanganate de potassium (3.9) jusqu'à obtention d'une coloration rose persistant pendant 1 minute.

- **Expression des résultats**

Le résultat est exprimé en pourcentage d'échantillon selon l'équation 8.

Annexe 11

Dosage de la fraction phosphorée

(Acide phytique)

- **Mode opératoire**

- On prend 5g de chaque échantillon que l'on met dans 100 ml d'HCl à 0,5N pendant 2 heures.
- L'extrait est filtré.
- On prend 40 ml du filtrat qu'on neutralise avec une solution de NaOH à 0,5N à l'aide d'un indicateur, la phénophtaléine.
- La solution est ensuite acidifiée avec du HCl (1N) jusqu'à disparition de la couleur, puis on dilue la solution avec de l'eau distillée jusqu'à 50ml.
- Dans les tubes de la centrifugeuse sont ajoutés 10 ml de la solution et 2 ml de FeCl.
- Mettre dans un bain marie bouillant pendant 15 min, réfrigérer et centrifuger.
- Le culot est lavé avec 5 ml d'HCl à 1/6 N et centrifuger à nouveau.
- On ajoute au culot 2 ml d'eau distillée, mélanger et chauffer dans un bain marie bouillant pendant 5mn. On ajoute 2 ml de NaOH à 0,5N, puis on chauffe la solution dans un bain marie bouillant pendant 15 min.
- On filtre la solution, le culot est lavé à l'eau distillée bouillante.
- Le filtrat et le culot dans une fiole, on y ajoute 1 ml de H₂SO₄ plus 1 ml d'acide perchlorique à 65%. La fiole est chauffée pendant une heure dans un bain marie et ceci à l'intérieur d'une hôte. On laisse refroidir les fioles.
- Les solutions sont diluées jusqu'à 20 ml avec l'eau distillée et sont neutralisées avec du NaOH à 40%.
- On transvase la solution dans des fioles de 200 ml et on dilue jusqu'à 100 ml.
- On procède à la lecture de la DO à 700 nm.



- **Etablissement de la gamme d'étalonnage**

Elle s'effectue selon la méthode de FISQUE et SBOVOW.

N° de tube à essai	0	1	2	3	4	5
Solution de KH_2PO_4 (ml)	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
H_2SO_4 (16%) (ml)	5	5	5	5	5	5
H_2O distillée	3,0	12,9	12,8	12,7	12,6	12,5
Molybdate d'ammonium (2,5%) (ml)	1	1	1	1	1	1
Acide ascorbique (5%)	1	1	1	1	1	1

- Homogénéiser les tubes et les porter au bain marie bouillant pendant 10mn.
 - Après refroidissement, compléter chaque tube jusqu'à 25 ml avec l'eau distillée.
- On note l'obtention d'une couleur bleue.
- Effectuer la lecture de la DO à 700 nm.

L'établissement de la gamme ou de la courbe d'étalonnage $\text{DO} = f(\text{C})$ nous permet de déterminer la concentration X en acide phytique des différents échantillons.

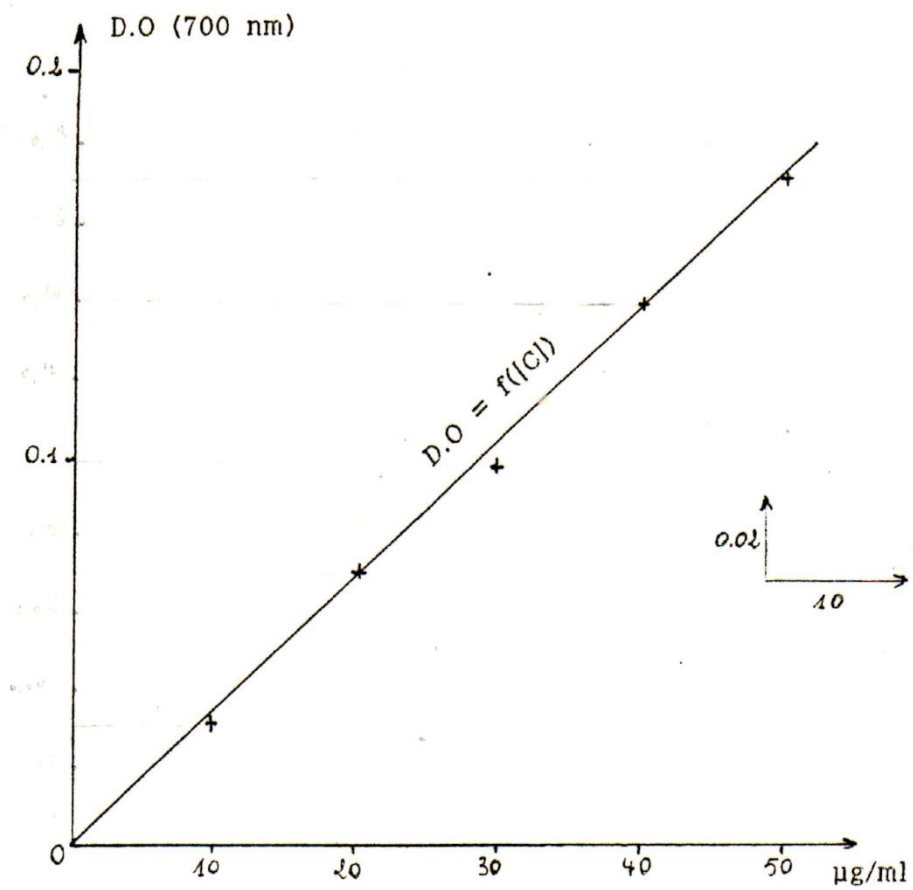
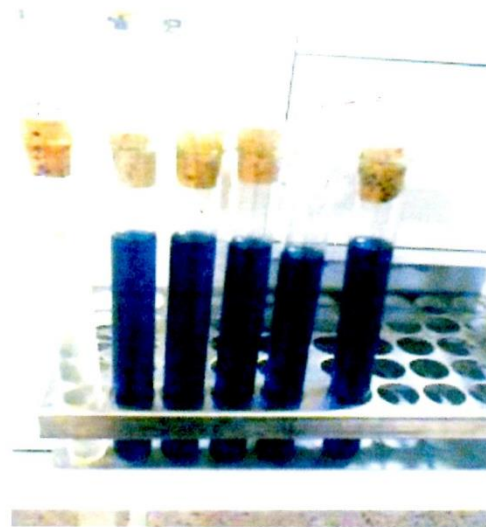
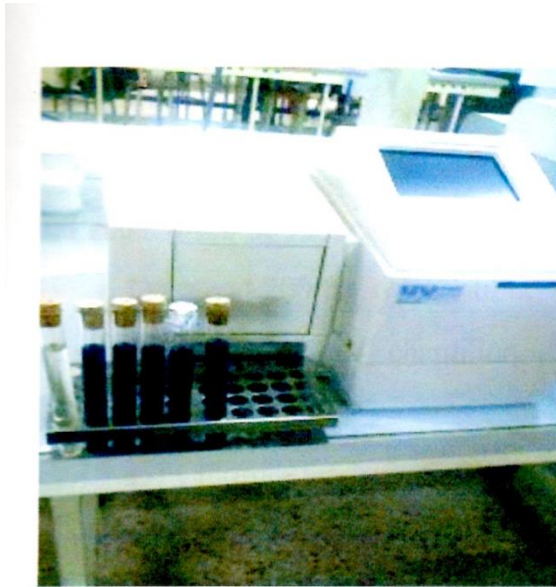


Figure 45. Courbe d'étalonnage de l'acide phytique.

Annexe 12

Dosage des phénols totaux

- **Préparation de l'extrait**

On prend 200 mg d'échantillon (farine de gland) avec 10 ml de méthanol, laisser réagir pendant 18 heures (Echantillon + Méthanol = Solution A).

- **Réactif**

E : Chlorure ferrique FeCl_3 0,1M dans L'HCl 0,1N.

F : Hexacyanoferrate de potassium $\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$ 0,008M dans H_2O .

- **Matériel**

Becher, Erlenmeyer, Entonnoir, Papier filtre, Spectrophotomètre.

- **Mode opératoire**

- On prend 7 ml de la solution A.
- On ajoute 10 ml d'eau distillée.
- On ajoute 1 ml du réactif E.
- On ajoute 1 ml du réactif F.

Laisser réagir 10 mn à une température ambiante et à l'obscurité puis lire l'absorbance à 725 nm.

- **Expression des résultats**

Le calcul de la teneur en phénols totaux est exprimé en (%) de matière sèche selon l'équation 10.



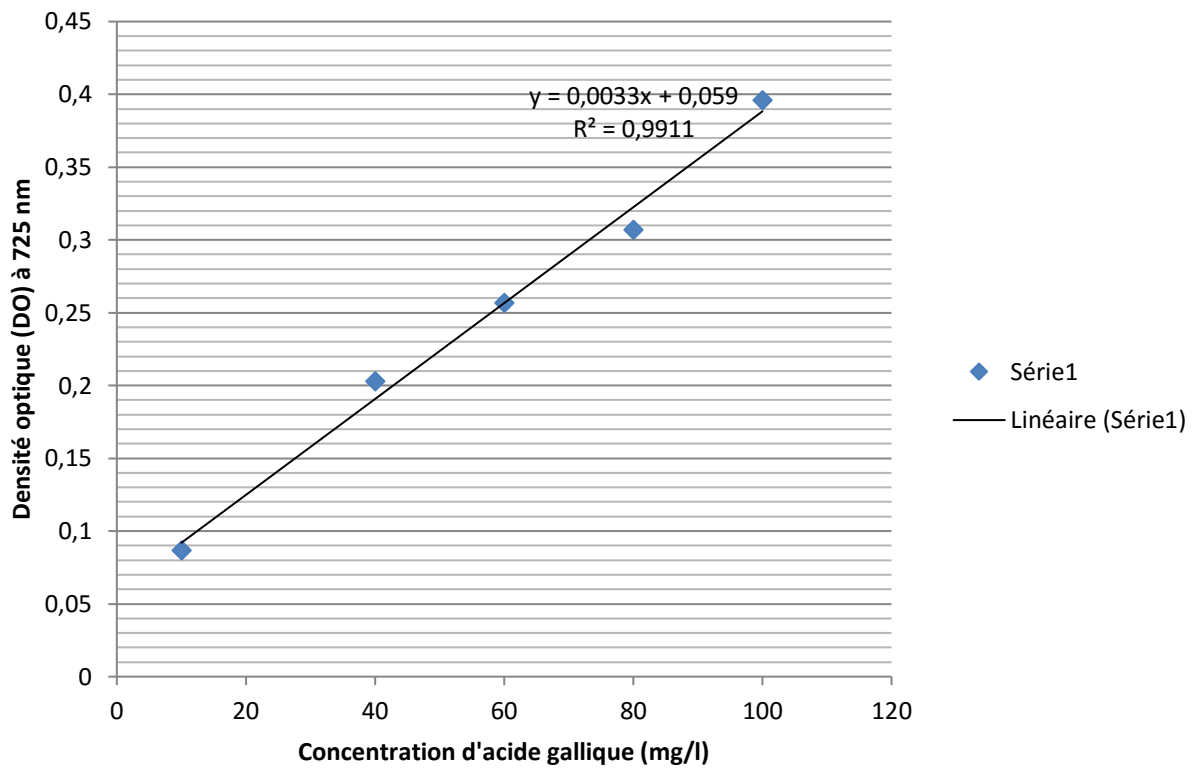


Figure 46. Courbe d'étalonnage des phénols totaux réalisée par l'acide tannique.

Annexe 13

Dosage des tannins condensés

(Test de vanilline avec H_2SO_4)

La méthode à la vanilline est très utilisée dans les études en nutrition. Cette méthode dépend de la réaction de la vanilline avec le groupement flavonoïde terminal des TCs et la formation de complexes colorés (Makkar, 2000; Schofield et al., 2001. Cependant cette réaction n'est pas spécifique aux TCs mais, de manière générale aux flavanols (Hagerman, 2002).

- **Matériel**

- Spectrophotomètre, pipette, bécher.
- Solution B (vanilline 1% dans H_2SO_4 70%).
- Solution A ((Echantillon + Méthanol).

- **Mode opératoire**

- Solution B (vanilline à 1% dans 70% d' H_2SO_4).
- Prendre 2ml de la solution B + 1ml de solution A, mettre le tube dans un bain marie pendant 15 mn à 20°C.
- Lire l'absorbance à 500 nm

- **Expression des résultats**

Le calcul de la teneur en tannins condensés est exprimé en (%) de matière sèche selon l'équation 12.



Annexe 14

Dosage des tannins hydrolysables au chlorure ferrique

- **Mode opératoire**

- Fe Cl_3 à 0,01M dans l'acide sulfurique à 0,001M (réactif C)
- Prendre 1 ml de la solution A.
- Ajouter dans chaque tube 3,5 ml de réactif C.
- Lire l'absorbance à 660 nm, 15 secondes après l'addition de réactif C.

- **Expression des résultats**

Le calcul de la teneur en tannins hydrolysables est exprimé en (%) de matière sèche selon l'équation 13.



Résumé

La présente étude contribue à la mise en valeur du potentiel alimentaire des glands de chêne comme nouvelle ressource susceptible d'être exploitée à l'échelle industrielle en vue de leur utilisation en alimentation animale afin de diminuer le coût d'importation du système maïs-soja qui présente un problème économique accru pour notre pays.

Notre étude porte sur la détermination de la composition chimique avant et après traitement hydrothermique (cuisson et autoclavage) de trois espèces de chêne, une comestible, le chêne vert et deux fourragères, le chêne liège et le chêne kermès.

À la lumière des résultats obtenus, il ressort que les fractions d'une part glucidiques, représentées particulièrement par l'amidon (50,95 % de la matière sèche) et d'autre part lipidiques (8,10 % de la matière sèche) constituent la majeure partie des réserves des glands crus de chêne vert, liège et kermès.

Les teneurs en matière minérale, protéines et cellulose brute sont relativement faibles pour les trois espèces de chêne, et représentent respectivement 2,79%, 7,18% et 2,59% de la matière sèche.

De faibles teneurs en tannins ont été mises en évidence (0,295% pour le gland de chêne vert, 0,645 % pour le gland de chêne liège et 1,09 % pour le gland de chêne kermès).

Les traitements hydrothermiques, occasionnent une diminution des teneurs protéiques et une baisse de leur solubilité. Des observations analogues ont été enregistrées pour l'amidon et les lipides.

Ainsi, l'application de l'autoclavage semble être bien adaptée pour la détoxification des glands, sans entraîner de graves pertes en principes nutritifs.

L'objectif serait de diminuer cette richesse en facteurs antinutritionnels par des traitements hydrothermiques en vue d'une amélioration et d'une consommation durable ou bien de procéder à l'extraction des différentes fractions tannique toxiques avant de nourrir les animaux.

Mots clé : Glands de chêne, Composition chimique, Traitement hydrothermique, Détoxification, Facteurs antinutritionnels.