

N° d'ordre...

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE



UNIVERSITÉ DJILLALI LIABES DE SIDI BEL ABBES
FACULTÉ DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE
Département des Sciences de l'Environnement

THESE DE DOCTORAT EN SCIENCES

Présentée par :

Mr. HAZEM Zouaoui

Spécialité : Environnement

Option : Eco-biochimie

Intitulé

**Etude écologique et nutritionnelle des co-produits de
Ceratonia siliqua L., *Gleditsia triacanthos* L. et *Quercus ilex* L.:
valorisation et usages**

Soutenue le

Devant l'honorable jury composé de :

<i>Président du jury</i>	: Mr M. BENALI	Professeur. Université de Sidi Bel-Abbès
<i>Examineurs</i>	: Mr M. BELKHODJA	Professeur. Université d'Es-senia. Oran
	: Mr. K. BOUDEROUA	Professeur. Université de Mostaganem
<i>Promoteur</i>	: Mr. H. BENHASSAINI	Professeur. Université de Sidi Bel-Abbès

REMERCIEMENTS

Le travail qui a fait l'objet de cette thèse de Doctorat, a été réalisé au laboratoire de recherche : conservation et biodiversité végétale, Faculté des Sciences de la nature et de la vie. Université de Sidi Bel-Abbés.

Mes vifs remerciements vont :

Au Professeur H. BENHASSAINI qui m'a fait l'honneur de guider et orienter judicieusement ce travail. Son accueil toujours attentif et bienveillant, ses précieux conseils et son aide efficace ont été des encouragements décisifs pour mener à bien cette étude. Qu'il soit assuré de ma profonde gratitude et de ma reconnaissance.

Au Professeur M. BENALI, pour le grand honneur qu'il m'a fait en présidant ce jury.

Au Professeur K. BOUDEROUA, d'avoir accepté d'examiner et de juger ce travail. Je lui exprime ma gratitude et ma reconnaissance pour l'honneur qu'il m'a ainsi fait.

Au Professeur M. BELKHODJA, d'avoir accepté d'être membre du jury. Son esprit scientifique et sa compétence ont toujours suscité ma grande admiration.

Au Docteur BELMAHDI, ex directeur du centre vétérinaire de Mostaganem, pour son aide et d'avoir mis à ma disposition tous les moyens nécessaires pour mener à bien ce travail.

Au Professeur Z. MEHDADI, pour m'avoir aidé à concrétiser ce travail par son aide et ses conseils incessants.

Je remercie également tous mes collègues pour leurs encouragements durant la réalisation de ce travail.

Je remercie enfin et avec gratitude tous ceux et celles qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de cette thèse dans les meilleures conditions.

DEDICACES

Je dédie ce travail de thèse :

A la mémoire de mes chers regrettés parents

A mes frères et sœurs,

A ma petite famille (ma femme et ma fille **ABIR**),

A tous et à toutes mes ami(e)s.

Résumé

Le présent travail consiste à évaluer l'influence de l'incorporation de deux types de régimes alimentaires: l'un à base de farine de gland de chêne vert (*Quercus ilex*) seul (RI) ou en substitution partielle du gluten de maïs (RII) et l'autre, à base de légumineuses (*Ceratonia siliqua* (RIII) et *Gleditsia triacanthos* (RIV)) utilisés séparément ou combinés (RV) dans l'aliment des rats sur l'évolution pondérale, les paramètres plasmatiques, histologiques et immunochimiques. Des rats mâles de race Wistar de vingt et un jour (21) ont été élevés ensemble et alimentés avec un même régime de démarrage jusqu'à l'obtention d'un poids idéal (80 ± 5 g) ; sevrés et répartis dans des cages métaboliques à raison de cinq rats par lot. La distribution des régimes expérimentaux est effectuée au moment du sevrage jusqu'au sacrifice (60 jours). Le régime RI, montre une évolution pondérale négative et des paramètres plasmatiques non équilibrés. Par contre, l'addition du gluten de maïs à la farine de gland de chêne vert dénote une évolution pondérale avec une moyenne importante (1,5 g/j), qui reste inférieure à celle du témoin (3g/j) et des paramètres plasmatiques satisfaisants. Les régimes RIII et RIV montrent une évolution pondérale irrégulière atteignant une valeur maximale durant la sixième semaine et une chute vers la fin de l'expérimentation. Tandis que, le mélange de ces deux espèces (RV) dénote une croissance pondérale régulière qui atteint 1,7g/j en moyenne. Les rats nourris par ce régime présentent une légère hyperglycémie (134,14 mg/dl) et un taux nettement élevé de triglycérides dépassant la norme (346,26 mg/dl) au niveau du lot RIV. Un taux de glucose légèrement élevé (121,95 mg/dl) et un effet hypercholestérolémiant (247,36 mg/dl) est enregistré au niveau du lot RV.

Du point de vue histologique, aucune anomalie structurale ni fonctionnelle du foie n'est enregistrée chez les rats soumis aux régimes RI, RII et RV et ce, contrairement aux rats soumis aux régimes RIII et RIV où des anomalies ont été constatées. Pour les reins et les testicules, des malformations tissulaires sont constatées avec tous les régimes à l'exception du régime témoin et le régime RII. Le taux d'albumine sérique (marqueur de la malnutrition) chez les rats témoins (RI) et ceux recevant le régime supplémenté (RII) est de 50g/l et de 47g/l respectivement. Ces valeurs sont à des taux physiologiques équilibrés, confirmant ainsi l'état nutritionnel adéquat chez ces mêmes rats.

À la lumière des résultats obtenus, il est intéressant d'entrevoir l'utilisation des produits étudiés dans le domaine de l'alimentation animale.

Mots clés : régimes alimentaires, farine de gland de chêne vert, légumineuses, évolution pondérale, paramètres plasmatiques, histologie, immunochimie, rats Wistar.

Abstract

This study is to evaluate the influence of the incorporation of two types of diet, one based on oak acorn flour (*Quercus ilex*) alone (RI) or partial substitution with the maize gluten (RII) and the other based on leguminous species (*Ceratonia siliqua* (RIII), *Gleditsia triacanthos* (IV)), use separately or combined (RV) in the food of rats on ponderal evolution, plasma and immunochemical parameters. Wistar male rats race of twenty-one days old (21) were raised together and feeded with the same reference diet until obtaining an ideal weight (80 ± 5 g); weaned and distributed in metabolic cages with five rats per batch. The distribution of the experimental diets based on fagaceae and leguminous is performed at weaning until sacrifice (60 days). The RI diet shows a negative pondered evolution with not equilibrate plasmatic parameters. However, the addition of maize gluten with the oak acorn flour show the high pondered evolution average (1.5g/day) which is less than that of the control (3g/d) and satisfied plasmatic parameters. Diets RIII and RIV, show an irregular pondered evolution reaching a maximum value during the sixth week, and decrease at the end of the experiment. In contrast, the mixture of these two species (RV) denotes a regular ponderal evolution with a significant average (1.7g/d). The Rats fed by this diet represent mild hyperglycemia (134,14mg/dl) and high levels of triglycerides above the standard (346,26mg/dl) at the level of batch RIV. A slightly elevated glucose level (121, 95 mg/dl) and an hypercholesterol effect (247,36mg/dl) is recorded in the batch receiving the RV regime.

In point of view of the histology, no structural and functional abnormality of liver is recorded in rats subjected to diets RT, RII and RV and that, unlike the rats subjected to diets RI, RIII and RIV where deficiencies have been recorded. For the kidneys and testicular, the tissues malformation are found with the all regime except the control and the RII diets. The rats receiving the supplemented regime (RIII) and the control diet (RI) respectively show a serum rate of albumin of 50g/l and of 47g/l. These securities show physiological rates normal, thus confirming the nutritional state balanced in the witness rats (RI) and the supplemented rats (RIII).

In the light of the obtained results, it is interesting to envisage the use of the studied product in the field of animal alimentation.

Keywords: pondered evolution, plasmatic parameters, immunochemistry, flour of oak acorn green, leguminous, Wistar rats, Maize gluten, albumin.

ملخص

تركز هذه الدراسة إلى تقديم تأثير الإدراج نوعين من النظم الغذائية (الحمية) الأولى تتكون من طحين حشقة البلوب الأخرى و RI حده أو بالاستبدال الجزئي لعلوتين الذرة (RII) والإخرى تتكون من الباقوليات (*Ceratonia Siliqua* (RII) et *Gleditsia Triacanthos* (R IV)) المستعملة بشكل منفصل أو مجتمع (RV) في عذاء الفاران لمنابعة تغيرات الوزن، الثوابت البلازمية والمناعة الكيميائية، لقد تم تربية الفاران الذكور من سلالة وستار ذات 21 يوم بنفس النظام البدائي حتى الحصول على وزن مثالي (80 ± 5 غ) فطمها وتوزيعها في أقفاص خاصة بمعدل 5 فاران لكل حصة. لقد تم توزيع النظام الغذائي على أساس الباقوليات ابتداء من الفطم إلى التشريح (60 يوم) بين النظام الغذائي (R 1) تغيير سلبي في تطور الوزن وثوابت بلازمية غير متوازنة. عكس إضافة العلوئين الذرة إلى طحين حشقة البلوب الأخرى تشير إلى تغير الوزن بمعدل مهم 1.5 غ/يوم ولكي يبقى أدنى من الشاهد (RT) 3 غ/يوم وثوابت بلازمية مرضية. تبين النظم الغذائية (R III) (R IV). تغير غير منتظم في الوزن حتى تبلغ القيمة القسوة أثناء الأسبوع السادس وتراجع في نهاية التجربة بالمقابل يشير المريخ من هذين النوعين من النباتات (RV) إلى تغيير منتظم في الوزن وبمعدل هام 1.7 غ/يوم. الفاران المتناولة للحمية (R IV) بينت ارتفاع طفيف بنسبة السكر في الدم 134.14 ملغ/دسل وقيمة مرتفعة من الترغسلين نفوق المعايير 346.26 ملغ/دسل نسبة للغلوكوز مرتفعة قليلا 121.95 ملغ/دسل وارتفاع نسبة الكليسترونول سجلت على مستوى الفص المتحصل على الحمية (R V) فيما يخص دراسة الأنسجة لم يتم تسجيل أي تشوه بنوي وظيفي للكبد على مستوى النظم الغذائية R I, R II, RV وهذا عكس النظم الغذائية RII, RIV, RI التي تم تنازلها من طرف الفاران أين لوحث التشوهات على مستوى الكليتين والخصيتين لوحظت تشوهات نسجية مع جميع الحميات باستثناء الشاهد والحمية R II, RT على ضوء النتائج المتحصل عليها من الأجدد استخدام المواد النباتية المتطرق إليها في هذه الدراسة في ميدان التغذية الحيوانية.

كلمة المفتاح: النظم الغذائية - طحين حشقة البلوب الأخرى - الباقوليات - تطورات الوزن - الثوابت البلازمية - علم الأنسجة - المناعة الكيميائية - فاران وستار.

LISTE DES TABLEAUX

	Pages
1 Teneurs en méthionine et lysine de quelques aliments.....	8
2 Principaux éléments affectant la qualité des fourrages	11
3 Principales essences forestières de chênes et leurs superficies (ha).....	14
4 Teneurs en cendres des glands entiers de chêne vert (en % de la MS).....	19
5 Teneurs en éléments minéraux du gland de chêne vert.....	19
5 Synthèse de la classification classique et phylogénétique du caroubier	26
7 la composition chimique des caroubes selon le pays de culture	28
8 la composition moyenne de la pulpe de caroubier	30
9 Superficie occupée par le caroubier.....	30
10 Production mondiale de caroube.....	30
11 Principaux produit de la caroube et leur utilisation majeurs.....	33
12 Utilisations de la gomme de caroube et ses applications techniques	33
13 Classification classique et phylogénétique de <i>Gleditsia triacanthos</i>	35
14 Les différents cultivars de <i>Gleditsia triacanthos</i>	39
15 Exemples de rations intégrant des coproduits.....	50
16 Appréciation de la teneur en énergie et en azote d'un affinent pour bovins.....	51
17 Critères d'analyses utiles pour juger de l'intérêt alimentaire d'un aliment.....	54
18 Méthodes utilisables pour déterminer la valeur nutritive d'un aliment pour les ruminants.....	55
19 Poids des différents organes (foie, testicules, reins) des rats soumis aux régimes RI, RII, RIII (en g du poids corporel) après 2 mois d'expérimentation.....	67
20 Poids des différents organes (foie, testicules, reins) des rats soumis aux régimes à base de légumineuses (en g du poids corporel) après 2 mois d'expérimentation.....	74
21 Concentration massique de chaque étalon et leur diamètre correspondant en mm ² ...	78

ABREVIATIONS UTILISEES

AFNOR: Association Française de Normalisation

NA : Norme Algérienne

INRA : Institut National de Recherche Agronomique

GCV : Glands de Chêne Vert

GCL : Glands de Chêne Liège

MS : Matière Sèche

PPM : Partie par million

UF : Unité fourragère

Ha : Hectare

Cal : Calorie

J : jour

FGM : Farine de gluten de maïs

R : Régime

FPC : Farine de pulpe de la caroube

Table des matières

Introduction.....	1
-------------------	---

PARTIE I : APERÇUS BIBLIOGRAPHIQUES

Chapitre I : les fourrages à base de plantes

I. Espèces de plantes fourragères.....	3
II. Mélanges fourragers	3
III. Valeur biologique des plantes fourragères.....	4
III. Ligneux Nord Africain.....	5
IV. Cas du gland de chêne vert.....	5
V. Cas des légumineuses.....	5
IV.2.1. Le caroubier.....	6
V.II.2.2. Le févier d'Amérique.....	7
V. Filières des productions animales.....	7
VI. Critères d'évaluation multi-objectifs de la valeur des fourrages.....	8
VII - Réponses des animaux aux régimes alimentaires.....	9
VIII. Choix des espèces : une question de rendement.....	10
IX. Valeur énergétique et son expression dans les unités d'alimentation.....	11
IX.1. La valeur azotée.....	12
IX.2. Les unités d'encombrement (UE).....	12

Chapitre II : Ligneux à potentiel fourrager

Le chêne vert

I- Présentation et répartition.....	14
I.1. Importance et diversité du patrimoine algérien.....	14
I.2. Classification.....	16
I.3. Dénomination vernaculaire.....	16
I.4. Biologie et écologie.....	16
II. Composition biochimique du gland.....	17
II.1. Humidité.....	17
II.2. Composés nutritionnels.....	17
II.2.1. Glucides.....	17

Introduction

Depuis que l'homme a domestiqué les animaux, leur alimentation est constituée tant de fourrages herbacés que de ligneux. Les arbres et arbustes constituent toujours une ressource fourragère non négligeable dans les régions méditerranéennes, arides, semi-arides ou encore montagneuses. Leur importance est de plus en plus reconnue dans le monde d'aujourd'hui et des travaux de plus en plus nombreux y sont consacrés dans diverses disciplines.

En Afrique du nord en général et en Algérie en particulier, le scénario est tout autre puisque depuis l'indépendance, l'exploitation de fourrages ligneux a pratiquement disparu des systèmes de production animale. Pourtant, les fourrages ligneux présentent un intérêt pour l'alimentation des animaux et la prévention de certains parasites (Vandermeulen, 2012). Leurs intérêts majeurs sont de fournir des protéines, des vitamines et souvent des éléments minéraux qui font défaut dans les pâturages herbacés pendant la saison sèche et/ou la saison froide (Lehouerou, 1995). Elles permettent ainsi de créer des réserves fourragères sur pied permettant aux troupeaux de traverser sans dommages les périodes critiques. De plus, les espèces fourragères ligneuses sont un moyen efficace de mise en valeur des terres marginales ou l'agronomie classique reste impuissante en raison des contraintes climatiques, topographiques ou édaphiques. Elles présentent divers intérêts agronomiques, écologiques, paysagers et patrimoniaux tels que la diversification des revenus pour l'agriculteur, l'abri que procurent les ligneux aux animaux contre les intempéries et leur rôle primordial dans le maintien de la biodiversité.

En raison de l'accroissement de la population mondiale et des contraintes bioclimatiques drastiques puis d'un déficit en ressources alimentaires ; la malnutrition est devenue une préoccupation majeure de la communauté internationale. Les pays du Sud et ceux en voie de développement connaissent actuellement un déficit dans la production fourragère qui impacte la malnutrition animale et par conséquent humaine. Ceci se traduit par une balance négative en termes d'apport protéique dans l'alimentation de la population. Ceci pousse nos décideurs politiques et scientifiques vers la recherche de nouveaux coproduits

naturels pouvant être utilisés dans le domaine de l'alimentation animale et d'épargner notre pays les prix exorbitants des produits naturels importés qui atteignent 40 millions de Dollars/an.

Par sa richesse et sa diversité, la flore Algérienne (autochtones et allochtones), offre énormément de possibilité dans ce domaine. Tel est le cas des espèces objet de la présente thèse et qui sont : *Quercus ilex*, *Ceratonia siliqua* et *Gleditsia triacanthos* appartenant à la famille des fagacées et des fabacées respectivement. Ces espèces occupent de vastes étendues et sont facilement accessibles. Plusieurs études ont montré l'effet positif de la qualité nutritionnelle des coproduits de plantes. Nous citons à titre d'exemple les travaux de Boudroua et Selselet –Attou (2003), sur l'utilisation du gland de chêne vert dans l'alimentation du poulet de chair sans que les performances de croissance et la composition corporelle ne soient altérées. Chellig (1992) montre que les brebis recevant la caroube (30% de son de blé et 70% de caroube entière (pulpe + graines), présentent des taux de fécondité et de prolificité comparables à ceux enregistrés par les brebis témoins (30% de son de blé et 70% d'orge). *Gleditsia triacanthos* est considérée par certains auteurs comme une plante capable de fournir de haute nutrition fourragère pour le bétail (Shadow, 2003). Il nous est donc apparu intéressant de mettre en valeur et de concevoir une nouvelle approche quant à l'utilisation des coproduits et de mettre en exergue les possibilités de leurs valorisations dans le domaine de l'alimentation animale. La présente thèse qui est une suite logique des travaux entamés lors du Magister a pour objectif d'effectuer des essais nutritionnels sur des rats Wistars soumis à différents régimes, utilisant de la farine issue des fruits des trois espèces sus-citées en analysant leurs composés biochimiques pour ensuite montrer la qualité et l'effet de ces régimes sur l'évolution pondérale, les paramètres plasmatiques et immunochimiques.

La thèse s'articule sur plusieurs volets qui sont gérés de la manière suivante :

Chapitre I : Les fourrages à base de plantes

Chapitre II : ligneux à potentiel fourrager

Chapitre III : Notions de coproduits

Chapitre IV : Matériel biologique et méthodes d'études

Chapitre V : Résultats et discussion.

Chapitre VI : Conclusion et perspectives.

Partie I

APERÇUS BIBLIOGRAPHIQUES

Chapitre I

LES FOURRAGES A BASE DE

DE AUTEUR

I. Espèces de plantes fourragères

Contrairement aux cultures de maïs, de soya ou bien des quelques espèces de céréales cultivées en Europe, les plantes fourragères englobent généralement un très grand nombre d'espèces : des légumineuses, des graminées et d'autres. Cet état de fait résulte de la nature de ce que sont les plantes fourragères, dont la définition générale regroupe toutes les espèces dont les parties végétatives servent à l'alimentation des animaux. L'utilisation de différentes espèces fourragères au Europe, et ailleurs, dépend de plusieurs facteurs reliés aux expériences, bonnes ou mauvaises, aux performances, aux traditions et à l'attrait du nouveau (Gallard et *al.*, 1998).

II. Mélanges fourragers

Dans le cadre d'une exploitation laitière, il n'existe pas de plante qui, à elle seule, pourrait répondre de façon adéquate à tous les besoins nutritionnels des animaux. Les rations combinent différentes espèces fourragères et d'autres aliments. Les légumineuses et les graminées fourragères possèdent des caractéristiques complémentaires.

- Au niveau de l'alimentation, les légumineuses possèdent des concentrations en protéines plus élevées, de même qu'en calcium et en magnésium.
 - Au niveau de la récolte et de la conservation, les graminées sont plus facilement ensilables (plus de sucres fermentescibles). Elles sont aussi plus faciles à faire sécher au champ et moins sujettes à l'effeuillage.
 - Au niveau de la production de matière sèche, les légumineuses ont des rendements généralement plus élevés ; leur production est répartie plus uniformément durant la saison de végétation. Elles tolèrent mieux les températures plus chaudes de juillet et la sécheresse que les graminées qui, pour leur part, sont plus tolérantes à l'hiver et croissent plus tôt en début de saison et plus tard à l'automne.
 - Au niveau agronomique, les légumineuses fixent l'azote atmosphérique. De leur côté, les graminées supportent mieux la paissance et protègent plus le sol contre l'érosion. Un mélange de graminées et de légumineuses permet ainsi de profiter des avantages de l'une et de l'autre. Il est également avantageux au niveau de la production au champ :
- les graminées utilisent l'azote laissé dans le sol par les légumineuses ;

- les graminées, grâce au tallage, peuvent combler les espaces laissés libres par les plants de légumineuses qui n'auront pas survécu à l'hiver ;
- les racines de graminées explorent le sol surtout en surface alors que les légumineuses présentent une meilleure répartition dans leur exploration des différentes profondeurs de sol. De plus, leurs capacités d'échange cationique diffèrent : les graminées ont plus de facilité à extraire le potassium du sol alors que les légumineuses extraient le calcium et le magnésium plus facilement ;

La majorité des avantages reliés à un mélange légumineuses-graminées pour des considérations d'alimentation, de récolte et conservation, de production de matière sèche et au niveau agronomique seront obtenus en utilisant un mélange simple, c'est-à-dire une seule espèce de légumineuses avec une seule espèce de graminées. La décision d'augmenter le nombre d'espèces dans un mélange est difficilement justifiable ; il y a très peu d'avantages supplémentaires à en obtenir. Il est erroné de croire qu'un mélange de plusieurs espèces permettra d'obtenir un bon rendement dans toutes les conditions (Gallard et *al.*, 1998).

Les cultures fourragères peuvent être classées comme temporaires ou permanentes. Les premières sont pratiquées et récoltées comme n'importe quelle autre culture. Les cultures fourragères permanentes correspondent à des terres occupées en permanence (c'est-à-dire pendant cinq ans ou plus) par des plantes fourragères herbacées, qu'elles soient cultivées ou sauvages (prairies sauvages ou terres de pacage), et peuvent comprendre certaines parties de terres forestières si elles sont utilisées comme pâturages (webmaster 1).

III. Valeur biologique des plantes fourragères

Les arbres et les arbustes participent à l'entretien aussi bien des animaux domestiques que des troupeaux transhumants. Les feuilles sont les parties les plus consommées des ligneux. Elles peuvent être utilisées vertes ou sèches en fonction de la période de l'année. Les fleurs et les fruits de certaines espèces sont aussi utilisés dans l'alimentation du bétail. Ces ligneux entretiennent ainsi la quasi-totalité des troupeaux, surtout ceux des petits ruminants par leurs feuillages, fleurs et fruits particulièrement en saison sèche. Dans la zone du sahel, plusieurs espèces sont appréciées par le bétail dont la plupart des individus du genre *Acacia* (*Acacia macrostachya*, *Acacia seyal*, etc). Cela montre que les ligneux interviennent de façon particulière dans l'affouragement des animaux notamment pendant la saison sèche, puisque plus de 75% des arbres et arbustes de l'Afrique de l'Ouest sont fourragers (Kabore-Zoungrouna, 1995).

IV. Ligneux Nord Africain

IV.1. Cas du gland de chêne vert

La valeur protéique d'un aliment correspond à son aptitude à satisfaire les besoins du consommateur en azote et en acides aminés, à assurer une croissance et un entretien convenables. Cette aptitude dépend de la teneur et de la qualité des protéines ainsi que la disponibilité des acides aminés (Cheftel *et al.*, 1992).

Une étude comparative a permis de classer les protéines du gland de chêne vert par rapport aux céréales. Elle montre que ces deux produits présentent une valeur biologique semblable (Belarbi, 1990).

Plusieurs auteurs rapportent la possibilité d'utilisation du gland et de sa farine en matière d'alimentation humaine (Fiestaros de Ursinos *et al.*, 1969 ; Timenez *et al.*, 1977). Les glands crus décortiqués sont consommés par la population algérienne et marocaine. La farine de gland est utilisée par les gens de Tazrout (Cherchell) (INRF, 1988) et aussi par ceux de Montados au Portugal pour fabriquer du pain (Boudy, 1955).

D'autre part, Afraitane (1990) rapporte que le gland constitue une grande source nutritionnelle pour beaucoup d'animaux (mouton, bœufs, oies, dindons et volailles). Sa valeur alimentaire serait comparable à un mélange de maïs et d'avoine. A partir de la farine de gland, on extrait de l'huile comestible et les tourteaux obtenus servent à la nutrition animale. Selon Boudroua et Selselet (2003), le régime à base de gland de chêne vert a un effet inhibiteur sur la croissance des poulets avec une augmentation du taux de matière grasse abdominale.

L'engraissement des porcs et des brebis représente un complément important de l'exploitation des chênes (Murray *et al.*, 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, de la fin d'octobre à la fin janvier ou début d'octobre à la fin décembre. Les résultats montrent qu'un porc pesant 45kg s'engraisse fortement pour peser 105 à 120kg après trois mois (Murray et Fowler, 1965)

IV.2. Cas des légumineuses

Une augmentation de l'utilisation et de consommation de légumes est indispensable pour réduire l'incidence des carences nutritionnelles. Ces espèces par leurs teneurs en

nutriments, leurs activités antioxydantes et leurs caractères agronomiques occupent une place prépondérante parmi les végétaux à potentiel nutritionnel.

De nombreuses études s'accordent sur l'effet sanitaire protecteur des légumineuses (Jeannequin et al (2005). Citons à titre d'exemple, la réduction de risque de certains cancers, le rôle dans la digestion "élimination des toxines, la régulation de la tension artérielle, le ralentissement de la perte de calcium sur le statut osseux, la lutte contre le vieillissement et l'équilibre pondéral, richesse en fibres, vitamines et minéraux.

D'autres études ont montré que la consommation régulière de légumineuse comme le niébé permet de combattre l'obésité dans la mesure où ces dernières procurent un sentiment de satiété, contribuer à une réduction du taux de triglycérides et du cholestérol dans le sérum et augmenter l'apport en fibres, en protéines, en acide folique, vitamine C et éléments minéraux (Calcium, Sodium, Fer, Zinc, Potassium) (Ordonnier, 2009 in Amari, 2014).

IV.2.1. Le caroubier

Le fruit du caroubier (*Ceratonia siliqua* L.) est abondamment utilisés en alimentation humaine comme en alimentation animale, cependant, la pulpe n'a presque d'emploi que pour les ruminants. La pulpe de caroube, produit autochtone, se caractérise par son prix d'achat raisonnable, son pouvoir énergétique élevée du à sa richesse en sucres hydrosolubles, et par sa faible teneur en protéines dont les graines en sont plus pourvues. Elle peut servir dans l'engraissement des agneaux. La caroube entière (pulpe et graine), elle pourrait constituer un concentré énergétique alternatif à l'orge et aux céréales souvent utilisée mais importée (Mebirouk-Boudechiche et al., 2014). Le caroubier a été utilisé dans l'alimentation humaine et animale pendant des siècles. Aujourd'hui, il est principalement exploité pour la fabrication de la gomme de caroube (additif alimentaire E-410). Pendant le processus d'extraction de la gomme, quelques sous-produits comme la farine de germes ou la pulpe sont obtenus. La farine de germes est très riche en protéines (50%) et principalement utilisée dans les aliments pour les enfants. La pulpe est très utilisée soit comme aliment diététique, soit comme remplaçant du chocolat, soit encore en alimentation animale. Elle est très riche en sucres (40-60%) en particulier, saccharose (27-40%), fructose (3-8%) et glucose (3-5%) mais pauvre en lipides (0,4-0,6%) ou protéines (2-6% ; Leroy, 1929 ; Avallone et al., 1997). Par ailleurs, la pulpe présente également une teneur très élevée en fibres (27-50%) et une quantité non négligeable de tanins (Saura-Calixto, 1988). Assez souvent, la pulpe est toastée et broyée donnant une poudre de couleur marron à arôme de chocolat (farine de caroube; FPC). À part son utilisation en alimentation humaine, celle-ci semble particulièrement

adaptée à l'alimentation du porc. Le remplacement du dextrose, de la poudre de lait ou des céréales par de la FPC permet d'obtenir des performances de croissance similaires chez le porcelet (Piva et al. 1978; Santi et al., 1987) aussi bien que chez le porc en croissance-finition (Lanza et al., 1983). Les sucres apportés par la FPC contribuent très probablement à la palatabilité des régimes et aucun effet antinutritionnel des tanins sur les paramètres mesurés n'est observé. Les tanins de la caroube présentent d'importantes propriétés anti-diarrhéiques (Würsch, 1987) et sont largement utilisés dans le combat des diarrhées chez l'enfant (Loeb et al. 1989).

IV.2.2. Le févier d'Amérique

Les cultivars de *G. triacanthos* sont plantés pour former des haies brise-vent, ou pour fournir un aliment de haute valeur nutritionnelle fourragère pour le bétail. Ses gousses sont riches en sucres et sont appréciés par les personnes et le bétail. Le bois est tendre, mais peut être utilisé en menuiserie (Sanchez et al., 2010). Cette espèce peut être aussi utilisée dans le contrôle de l'érosion, ou elle est actuellement testée dans plusieurs zones tempérées, méditerranéennes et tropicales des régions montagneuses du monde.

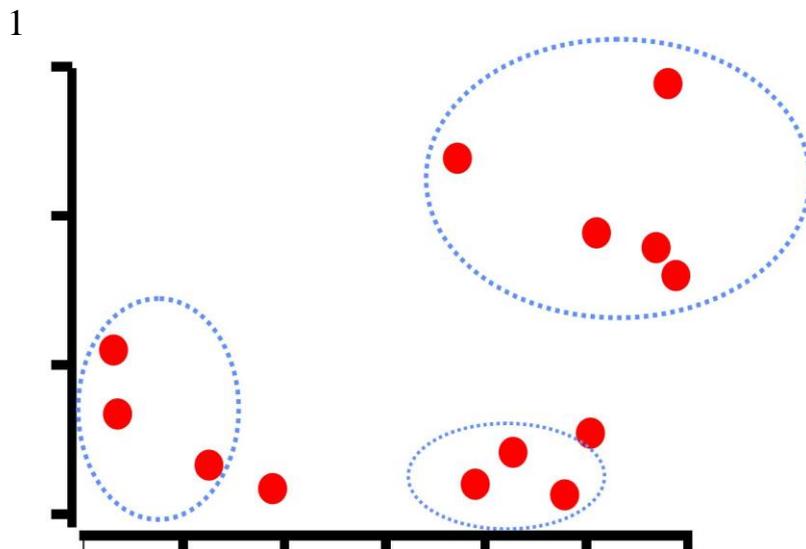
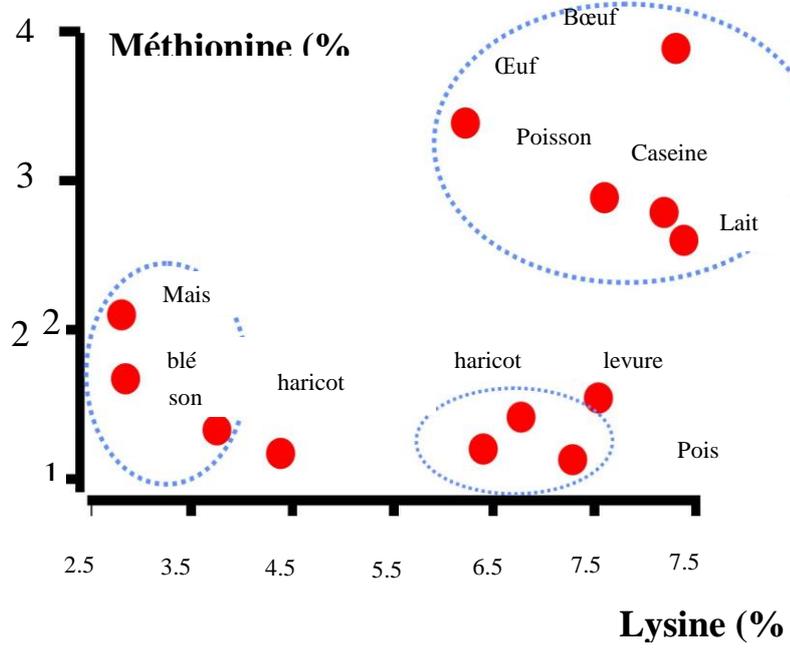
Dans le domaine médical, la pulpe du fruit est utilisée pour les maladies pulmonaires. Le thé d'écorce traite la coqueluche. Le genre *Gleditsia* comprend 14 espèces d'arbres à feuilles caduques qui peut atteindre une hauteur de 20-30 m (Huxley et al., 1992). Les fruits et les épines sont utilisés pour le traitement de l'apoplexie, les maux de tête, les toux productives, l'asthme et les maladies de peau suppurées (Zhong Yao Da Ci Dian, 1979). Il a été rapporté que les extraits de graines de *Gleditsia* peuvent être utilisés en tant que source naturelle de composés phénoliques et des antioxydants. les extraits de la plante *Gleditsia* possèdent aussi des activités pharmacologiques importantes dans le traitement de la polyarthrite rhumatoïde, comme anti-mutagènes, anti-cancer. ils ont une activité cytotoxique significative contre différent lignées cellulaires (Miguel et al., 2010).

V. Filières des productions animales

La production animale correspond à une activité de transformation de ressources alimentaires, qui sont pour la plupart des végétaux non valorisables directement par l'homme, en produits animaux qui se caractérisent par des valeurs nutritives énergétique et surtout azotée élevées pour l'homme. Ainsi, les protéines des produits animaux contiennent de 30 à 40% d'acides aminés essentiels alors que la plupart des protéines végétales en contiennent moins de 30, voire de 20 % (Tableau 1). L'avancée des connaissances scientifiques, de l'accumulation des observations de terrain et de la résolution des problèmes rencontrés ont

permis une rationalisation croissante des pratiques alimentaires. (Sauvant, 2005).

Tableau 1 : Teneurs en méthionine et lysine de quelques aliments (Sauvant, 2005)



lité des
 te dans
 essaie
 ninant.
 rumen
 risques
 ne par
 dans le
 le pH
 se. Les
 cipaux

aliments concentrés utilisés dans l'alimentation des ruminants (INRA-AFZ, 2002). La compilation des nombreuses données de cinétiques de dégradation dans le rumen des fourrages devrait permettre de caractériser les paramètres de leur dégradation par grande classe de fourrages et de proposer une prévision de ces paramètres à partir de l'analyse de la composition chimique. Par ailleurs, l'étude des **effets associatifs** sur la digestion et l'ingestion entre constituants des plantes fourragères, en particulier les métabolites secondaires, constitue une piste pour rechercher des associations fourragères permettant une meilleure valorisation par les animaux et réduction des rejets (Niderkorn et Baumont, 2009).

VII - Réponses des animaux aux régimes alimentaires

Il faut pouvoir comprendre et connaître les réponses des animaux à ces pratiques alimentaires. Ces réponses des animaux aux régimes alimentaires se déclinent en termes d'efficacité de la transformation, de qualité des produits, d'impact sur l'environnement, sur le bien-être et la santé des animaux (Figure 1). Par exemple, la question se pose de savoir quelle quantité d'aliments concentrés doit être apportée aux vaches laitières. Compte tenu de l'ancienneté de cette question, il est possible de trouver dans la littérature scientifique bon nombre d'expérimentations dans lesquelles l'apport de concentré représentait le facteur étudié. Un rassemblement et un traitement statistique adapté (méta-analyse) de ces données indiquent qu'un accroissement de l'apport de concentré à des vaches laitières se traduit simultanément par une baisse de l'ingestion du fourrage et du taux butyreux du lait et une augmentation de l'ingestion de l'ensemble de la ration, de la production du lait et de sa teneur en protéines et en lactose. Ces aspects représentent un exemple de réponses multiples à une pratique alimentaire. Cette façon de considérer les réponses multiples des animaux/troupeaux aux pratiques/systèmes alimentaires constitue le nouveau paradigme de l'alimentation animale (Baumont et *al.* 2007a).

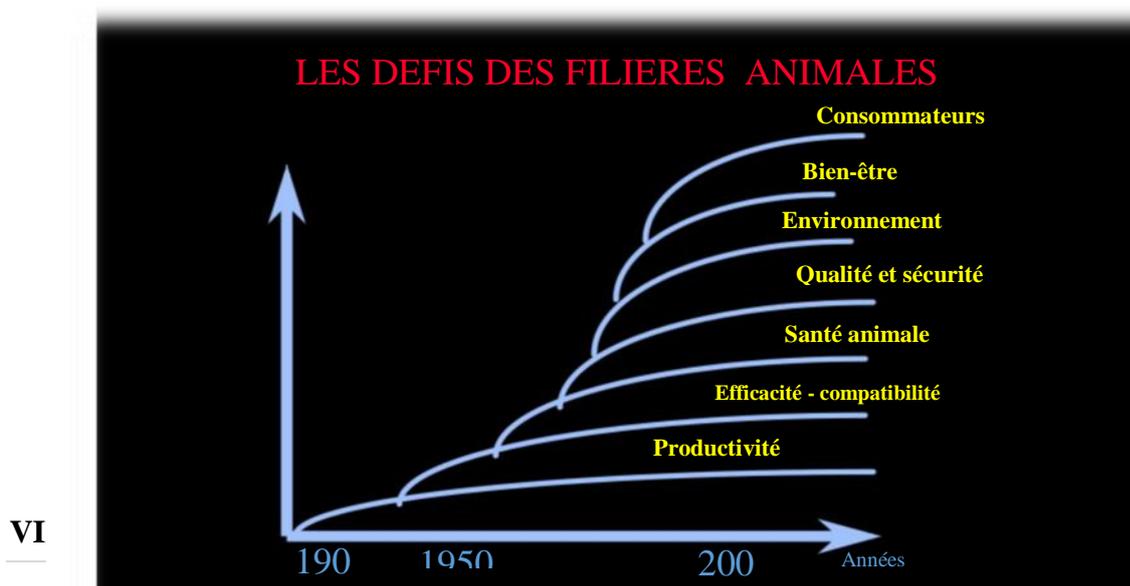


Figure 1: déficit et contraintes des filières animales (D. Sauvant, 2005).

La plupart des agriculteurs aimeraient bien connaître la recette magique leur indiquant l'espèce à semer afin de récolter un maximum de fourrages. Malheureusement, les choses ne sont pas si simples. Du point de vue des herbivores, ce qui compte est d'offrir un fourrage appétant, contenant tous les nutriments essentiels au bon fonctionnement du rumen (fibres, énergie, protéines et minéraux) et à la production du lait et de viande. De fait, si on évalue la qualité du fourrage sans tenir compte du rendement, la maturité représente le facteur le plus important dans la détermination de la valeur alimentaire (tableau 2). En conséquence, le producteur averti adoptera un plan de culture comprenant des espèces qui atteignent la maturité à des dates différentes. Cela lui permettra d'allonger la période propice à la récolte, tout en tenant compte des autres facteurs tels que le rendement, le type de sol et le climat ainsi que le système d'entreposage utilisé. Si ce même producteur opte pour l'ensilage, il devra également tenir compte de l'ensilabilité des plantes choisies.

Tableau 2 : Principaux éléments affectant la qualité des fourrages Source : Cherney et Cherney, 1993

Facteur de qualité	Importance relative (%)
Maturité	50
Composants anti-nutritionnels	15
Récolte & entreposage	15
Climat	10
Fertilité du sol	5
Espèce/cultivar	3
Autres	2

IX. Valeur énergétique et son expression dans les unités d'alimentation

La valeur énergétique des fourrages s'exprime par leur teneur en énergie nette dans le système des unités fourragères (UFL, UFV). Le principal facteur de variation de la teneur en énergie nette des aliments est la digestibilité de l'énergie brute qu'ils contiennent et qui est très étroitement liée à la digestibilité de la matière organique. Ainsi que nous l'avons rappelé récemment (Baumont *et al.*, 2008), la dMO d'une plante fourragère dépend essentiellement de sa teneur en parois végétales et de leur digestibilité. En effet, la digestibilité des constituants intracellulaires est totale (sucres, fructosanes) ou très élevée (lipides, matières azotées), alors que celle des parois cellulaires varie entre 40 et 90% selon qu'elles sont plus ou moins

incrustées de lignine. Ce raisonnement s'applique également aux céréales fourragères, puisque la digestibilité du grain est très élevée et constante (85%). Des liaisons très étroites ont pu être établies d'une part pour le maïs (Andrieu *et al.*, 1993) et d'autre part pour les graminées et les légumineuses fourragères (Baumont *et al.*, 2007a) entre la quantité de parois indigestibles présentes dans un fourrage et sa digestibilité et, par conséquent, sa valeur énergétique. Quelle que soit la famille de la plante fourragère, une augmentation de la teneur en parois indigestibles de 10 g/kg de MS entraîne une diminution de la digestibilité de 1 point et de la valeur UFL de 0,02 unité. Rappelons que la teneur en parois végétales augmente avec la croissance de la plante, et que la digestibilité des parois diminue avec le vieillissement des tissus (Duru *et al.*, 2008). On comprend donc aisément la diminution de la valeur énergétique avec l'âge de la plante ou le stade de végétation au cours des cycles reproducteurs. Lente tant que la plante est végétative, la diminution de la valeur énergétique s'accélère pour les graminées à partir de la montaison. Elle est plus linéaire pour les légumineuses. Pour les céréales comme le maïs, l'enrichissement de la plante en grain et donc en amidon vient compenser la diminution de la digestibilité des tiges et des feuilles. En conséquence, la valeur énergétique du maïs augmente légèrement avec le stade de végétation à la récolte.

IX.1. La valeur azotée

La **valeur azotée** des fourrages s'exprime par leur teneur en protéines digestibles dans l'intestin (PDI) afin d'intégrer les remaniements importants des protéines dans le rumen. On distingue la valeur PDIN qui représente la valeur PDI de l'aliment s'il est inclus dans une ration déficitaire en azote dégradable, et la valeur PDIE qui représente la valeur PDI s'il est inclus dans une ration où l'énergie est le facteur limitant des synthèses microbiennes. La valeur PDIN est directement liée à la teneur en matières azotées dégradables dans le rumen et même plus simplement à la teneur en MAT ; la valeur PDIE est liée à la digestibilité. Les fourrages dont la teneur en MAT dégradables est inférieure à 100 g/kg, ce qui correspond à une teneur en MAT de l'ordre de 130 g/kg, sont généralement déficitaires en PDIN par rapport à leur valeur PDIE. C'est le cas des graminées récoltées à un stade tardif ou peu fertilisées et du maïs. En revanche, les graminées exploitées à un stade précoce et plus encore les légumineuses sont excédentaires en PDIN par rapport à leur valeur PDIE. Pour les graminées et les légumineuses fourragères, la valeur azotée augmente avec la valeur énergétique. A même valeur énergétique, les légumineuses ont une valeur azotée supérieure à celle des graminées, particulièrement en PDIN, du fait de leur teneur en MAT plus élevée. A

l'inverse, la valeur azotée du maïs est plus faible, en particulier pour la valeur PDIN, du fait de sa faible teneur en MAT (Andrieu *et al.*, 1993).

IX.2. Les unités d'encombrement (UE)

Elles expriment l'ingestibilité des fourrages, c'est-à-dire leur capacité à être ingérés en plus ou moins grande quantité lorsqu'ils sont distribués à volonté. Plus un fourrage est encombrant, moins il est ingestible. L'encombrement d'un fourrage est proportionnel à son temps de séjour dans le rumen qui dépend du temps nécessaire à sa digestion par les micro-organismes et à sa réduction en petites particules pouvant être évacuées dans la suite du tube digestif. Ce temps de séjour est lié à la teneur en parois végétales du fourrage (Baumont *et al.*, 2000) et la valeur d'encombrement des fourrages augmente avec celle-ci. Au sein d'une même famille botanique, la valeur d'encombrement est négativement liée à la valeur énergétique car les fourrages de valeur énergétique élevée ont des teneurs en parois végétales faibles. Ainsi, les fourrages dont la valeur UFL est supérieure à 0,9 sont également très ingestibles et leur densité énergétique (UF/UE) est élevée ($> 0,9$). A même valeur énergétique, les légumineuses sont moins encombrantes que les graminées car leur teneur en parois végétales est plus faible. Toutes choses égales par ailleurs, la valeur d'encombrement d'un fourrage dépend aussi de sa teneur en matière sèche, l'ingestibilité augmentant avec celle-ci. Cela a été montré pour les fourrages verts (Cabrera *et al.* 2004) et c'est ce qui peut expliquer la variation relativement importante de l'ingestibilité du maïs avec sa teneur en matière sèche à la récolte alors que la valeur énergétique varie peu.

Pour les **éléments minéraux majeurs**, phosphore (P), calcium (Ca), magnésium (Mg), potassium (K), sodium (Na) et chlore (Cl), les besoins des animaux et l'apport alimentaire s'expriment désormais en **éléments absorbables**, notion qui recouvre la teneur en éléments minéraux (résultat de l'analyse) et le coefficient d'absorption réelle (CAR), la valeur minérale d'un fourrage résultant du produit des deux (Meschy, 2007). Des valeurs de CAR sont désormais affectées aux aliments. Selon les éléments minéraux, la quantité de données expérimentales disponible autorise une plus ou moins grande précision ; ainsi, pour le phosphore, les valeurs de CAR varient selon la famille botanique et le mode de conservation du fourrage alors que, pour le calcium, seul l'effet de la famille botanique a pu être pris en compte. La **teneur minérale des fourrages** varie fortement avec la famille botanique. La liaison positive avec la valeur énergétique pour le phosphore traduit les effets du stade de végétation. Les valeurs de CAR du magnésium ne sont pas disponibles car elles sont fortement et négativement liées à la teneur en potassium de la ration ; pour cette raison, une

correction globale basée sur la teneur en K de la ration totale a été proposée (Meschy et Corrias, 2005). Pour les électrolytes (K, Na et Cl), le CAR est toujours élevé et varie peu, et la valeur unique de 90% a été adoptée ; les valeurs en électrolytes absorbables ne figurent pas dans les tables 2007. Les teneurs en oligoéléments, qui ont également été actualisées, sont toujours exprimées comme les besoins des animaux en concentrations brutes.

Chapitre II

LIGNEUX A POTENTIEL

LE CHÊNE VERT



I- Présentation et répartition

Le chêne pousse naturellement dans les endroits chauds et ensoleillés, on le trouve dans le sud de la France, en Espagne, au Portugal, en Italie, en Grèce, en Tunisie et même en Inde (Boudy, 1950).

Les forêts de chêne en Algérie sont situées au centre et à l'Est du pays compte tenu des conditions climatiques favorables et aux altitudes convenables. Les plus importantes chênaies sont localisées dans les régions de Tiaret, Freneda et Saïda. Ces chênaies font suite aux vieilles futaies de la région de Tlemcen.

En Kabylie, le chêne vert (*Quercus ilex*) est toujours associé au chêne liège (*Quercus suber*), jusqu'à une altitude de 800m. A l'est du pays, l'espèce est représentée par des taillis dégradés en voie de régression (Boudy, 1950).

Sur les plateaux constantinois et dans les Aurès, *Quercus ilex* est rencontré le plus souvent en association avec le pin d'Alep (Boudy, 1955). Selon Kazi Aoul (1982), la plupart des botanistes admettent que *Quercus ilex* de la variété ballotta est l'espèce la plus retrouvée en Algérie (Carte 1).

I.1. Importance et diversité du patrimoine algérien

Actuellement, le couvert forestier global en Algérie est de 4,15 millions ha, mais seuls 1,3 millions représentent la vraie forêt naturelle, le reste étant constitué par les reboisements, les maquis, les garrigues, les matorrals ou des terres improductives aux potentialités forestières (khlefi, 2002).

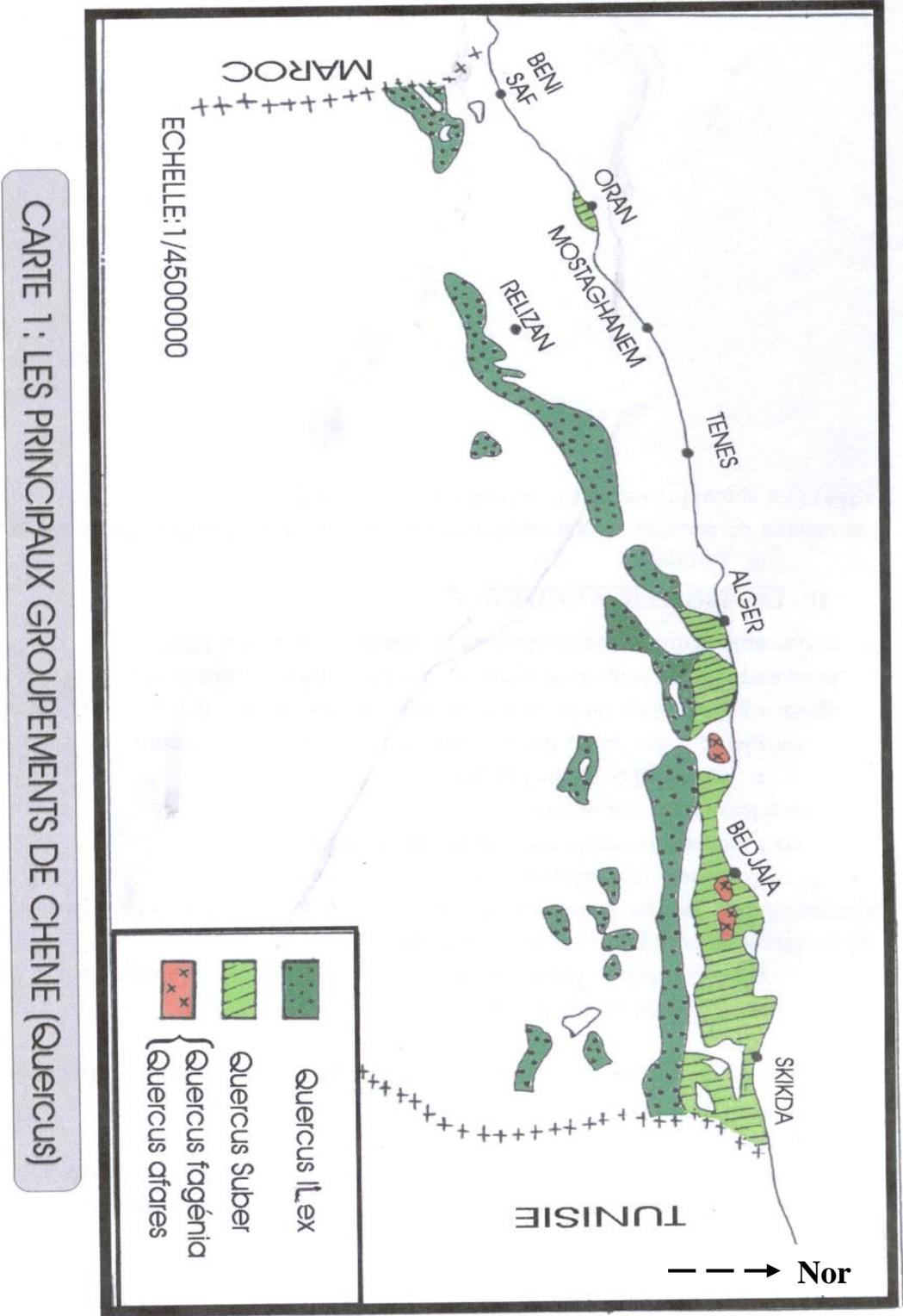
Sur la base des différents travaux de (Boudy, 1955) les superficies des principales essences forestières de chêne sont mentionnées sur le tableau 3 (Khelifi, 2002).

Tableau 3 : Principales essences forestières de chênes et leurs superficies (ha).

Essence forestière	1955	1985	1997	2000	2002
Chêne liège	426.000	440.000	463.000	229.000	358.048
Chêne vert	679.000	680.000	354.000	219.000	433.312
Chêne Zen et Afares	-	67.000	65.000	48.000	47.286

Les chênes représentent une essence remarquable, ils sont considérés à la fois comme des arbres forestiers industriels et Fruitiers. Si les potentialités des chênaies algériennes sont diversifiées et occupant d'importantes superficies (tableau 3), leur mise en valeur et leur

exploitation sont loin d'être rationnelles et satisfaisantes car il ressort des enquêtes menées à ce sujet que l'Algérie est loin de tirer la meilleure partie de ces chênaies (INRF, 1998).



I.2. Classification

Régne : Plantae

S/régne : tracheobionta ou plantes vasculaires.

Enbranchement : Magnoliophyta ou spermaphytes Angiospermes.

Classe : Magnoliopsida ou dicotyledones.

S/Classe : Hamamélidae.

Ordre : Fagales.

Famille : Fagacéae.

Genre : Quercus.

Espèce : *Quercus ilex* (Quezel et santa, 1963).

I.3. Dénomination vernaculaire

Le Chêne vert (*Quercus ilex* L.) prend le nom vernaculaire ci-dessous et ce, selon le pays dans lequel on le trouve:

« Encina » en Espagnol.

« Azembeira » en Portugal.

« Holm Oak » en Anglais.

« Prinas » en Grec.

« Leccio » en Italie.

« Herroch » en Berbère.

« Steineiche » en Allemand.

« Ballout » en Arabe, (Kazi Aoul, 1982)

I.4. Biologie et écologie

Le chêne vert (*Quercus ilex*) de la variété ballotta est une espèce de la famille des Fagacées (Crété, 1965), caractérisée par des feuilles persistantes et coriaces lui permettant de s'adapter à la sécheresse (Patrick, 1999 ; Marcel, 2002) (figure3). Son fruit est un gland, de forme ovoïde, comestible et poussant à l'état spontané (Belarbi, 1990). C'est un végétale autotrophe par photosynthèse chlorophyllienne, la pollinisation est assurée par le vent (espèce aménogame) et les insectes (espèce entomogame), la dissémination des semences (glands) se fait par les animaux (Zoochorie).

Le chêne vert est une espèce robuste qui s'accommode aux conditions écologiques les plus variées et est très plastique (Plaisance, 1978). C'est un arbre typiquement méditerranéen, de soleil (espèce héliophile) de lumière et de chaleur (thermophile), qui résiste à la sécheresse de l'été (xérophile). Il est capable de croître sur les sols calcaires arides. Il pousse aussi sur les

sols siliceux, peu pyrophile, il résiste au feu et repousse de souches après incendie ou aux coupes, sa croissance est lente. Son bois est un excellent bois de chauffage (webmaster 2). 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).



Figure 2: Fruit du gland de

II. Composition biochimique du gland

II.1. Humidité

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%, toutefois selon Natividade (1955), le gland doux décortiqué renferme une teneur d'environ 36%.

II.2. Composés nutritionnels

II.2.1. Glucides

Les glucides constituent le groupe le plus important des substances entrant dans la composition chimique des végétaux. Comme l'eau, ils sont indispensables à la vie végétale. Ils constituent donc des substances de réserve comme 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 (Kekos et Koukios, 1985).

II.2.2. Teneur en fractions glucidiques

II.2.2.1 Teneur en amidon

Selon les données de certains auteurs (Leclercq et *al.*, 1984 ; Picollo et *al.*, 1983 et Kekos et Koukios, 1985), il ressort que la farine du gland est un aliment énergétique par excellence, riche en amidon. Selon Boudroua (1994), la plupart des auteurs notent que la teneur en cellulose brute ne dépasse guère 3% de la matière sèche. Les valeurs obtenues par certains auteurs montrent que les glands de chêne vert renferment un taux élevé en saccharose lui conférant ainsi un goût appréciable (Belarbi, 1990).

II.2.3. Matières azotées

II.2.3.1. Protéines totales

D'une façon générale, le taux de matières azotées dans la farine du gland de chêne vert est faible, elle est l'ordre de 4 à 5% (Boudroua, 1994).

a) Acides aminés

Les acides glutamiques et aspartique sont prépondérants et représentent respectivement 13,5% et 10,93% dans les protéines totales, alors que la méthionine est l'acide aminé limitant, sa valeur est estimée à 2% en moyenne (Belarbi, 1990).

b) Valeur biologique

La valeur protéique d'un aliment correspond à son aptitude à satisfaire les besoins du consommateur en azote et en acides aminés, à assurer une croissance et un entretien convenables. Cette aptitude dépend de la teneur et de la qualité des protéines ainsi que la disponibilité des acides aminés (Cheftel et *al.*, 1992).

Une étude comparative a permis de classer les protéines du gland de chêne vert par rapport aux céréales. Elle montre que ces deux produits présentent une valeur biologique semblable (Belarbi, 1990).

II.2.4. Les lipides

Les lipides alimentaires présentent 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 (ex: acide linoléique) que l'organisme ne peut synthétiser, des vitamines liposolubles (Afraitane, 1990). La majorité des acide gras dans le gland est représentée par l'acide oléique (66,8%), l'acide palmitique (18,4%), l'acide linoléique (13,5%) et seulement 0,6% d'acide linoléique comparé à 0,9% dans les grains de céréales.

II.2.4.1. Les matières grasse totales

Les teneurs en matières grasses du gland de chêne rapportées par les littératures sont très variables, de 4,50% à 14,7% (Picollo et *al.*, 1983 ; Buron Arias, 1976). D'une façon générale, le gland de chêne vert est plus riche en lipides totaux par rapport aux autres espèces de chêne (Ferrao et *al.*, 1988).

II.2.5. Matière minérale

Plusieurs auteurs notent que le gland de chêne renferme de faibles teneurs en cendres, environ 2% de la matière sèche (tableau 4) (Buron Arias, 1976).

Tableau 4 : Teneurs en cendres des glands entiers de chêne vert (en % de la MS)

Cendres	Sources
1,20	Feriera et Vieira (1966)
2,02	Picollo et al. (1983)
2,25	Afraitane (1990)
1,92	Belarbi (1990)
1,65	Bouderoua (1995)

Le potassium est l'élément dominant dans le gland 1,19 % de la matière sèche en moyenne (Picollo et *al.* 1983). Par contre, le calcium et le phosphore sont présents en faibles quantités (Belarbi, 2003). Comparé au maïs, le gland renferme plus de calcium et de potassium, mais demeure pauvre en magnésium et en phosphore (Picollo et *al.*, 1983) (tableau 5).

Tableau 5 : Teneurs en éléments minéraux du gland de chêne vert

Eléments minéraux	Chêne vert	Maïs	
Ca	0,07 (%MS)	0,01(%MS)	0,01(%MS)
Mg	0,05 (%MS)	0,13 (%MS)	0,15(%MS)
P	0,10 (%MS)	0,31 (%MS)	0,31 (%MS)
Na	0,05 (%MS)	0,01 (%MS)	0,05 (%MS)
K	1,19 (%MS)	0,38 (%MS)	0,38 (%MS)
Zn	11,49 (PPM)	Ind	29 (mg /kg)
Cu	6,76 (PPM)	Ind	03 (mg /kg)
Fe	24,6 (PPM)	Ind	30 (mg /kg)
Mn	13,24 (PPM)	Ind	04 (mg / kg)
Sources	Piccolo <i>et al.</i> (1983)	Larbier et Leclercq (1992)	Steven et Summers (1991)

II.3. Composés antinutritionnels

Des substances naturelles de toute nature inhibent d'une façon ou d'une autre l'utilisation digestive ou métabolique des nutriments, tandis que d'autres éléments ont la propriété de dégrader et de détruire des nutriments par voie chimique ou enzymatique. L'ensemble de ces substances naturelles est réuni sous l'appellation de facteurs antinutritionnels (Adrian *et al.* 1998).

II.3.1. Les polyphénols

Ils sont largement distribués dans les végétaux, ils ne sont pas directement impliqués dans le processus métabolique et ils sont considérés comme des métabolites secondaires. Se sont principalement des acides phénoliques libres ou liés sous formes d'esters. Les flavonoides dérivés des polyphénols monomères (flavane 4-ol) appelés aussi anthocyanidine et les tannins sont des polymères résultant de la condensation des flavanes 3-ol (Crevieu et Gabriel, 1999).

II.3.1.1. Les tannins

Les tannins sont des substances qui entrent dans la texture des parois cellulaires. 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.

Les tannins se rencontrent dans les feuilles, les fruits, les écorces et le bois de la plupart des chênes (Cheftel, 1992; Scalbert *et al.*, 1988).

II.3.1.2. Les phytates

Ils constituent la forme de réserve du phosphore de la plante, ils représentent 0,5% à 3,4 % de matière sèche des principales matières végétales utilisées en alimentation, on le dénomme l'ionisatol hexaphosphorique ($C_6H_{18}O_{24}P_6$) (Crevieu, 1999).

Les phytates ont des propriétés chélatantes et forment des complexes avec les minéraux et les protéines. La plupart des complexes phytates-métal sont insolubles au pH physiologique et rendent par conséquent plusieurs minéraux biologiquement indisponibles pour les animaux monogastriques et les humains. Les phytates ont un effet sur la protéolyse in vitro, cet effet pouvant être inhibiteur (Knuckle et *al.*, 1989).

L'excès de phytates peut affecter l'utilisation du calcium, du fer, du magnésium et du Zinc, rendant ainsi carencée une ration qui paraissait être convenable (Lepen et Adrian, 1985)

III. Facteurs de variation de la composition chimique du gland de chêne

Parmi les facteurs de variations qui ont une influence remarquable sur la composition chimique du gland, on cite souvent l'espèce, le stade de développement et la méthode de conservation.

III.1. L'espèce

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

III.2. La croissance et maturité du gland

Pour toutes les espèces, c'est durant la fin d'Août que le gland accumule les hydrates de carbone d'une façon spectaculaire alors qu'en parallèle son taux d'humidité diminue. Plusieurs auteurs s'accordent à confirmer que le niveau d'hydrates de carbone reste le meilleur indice de maturité du gland (Bonner, 1971). A partir d'octobre, le taux de la matière grasse remonte rapidement alors que la teneur en azote soluble et protéique tend à rester stable ou à diminuer (Menage Wild, 1976). Concernant les éléments minéraux, Bonner (1976) a observé que la concentration du phosphore, du Magnésium et du calcium diminue dans la plupart des glands de chêne pendant la phase de croissance.

III.3. Conservation du gland

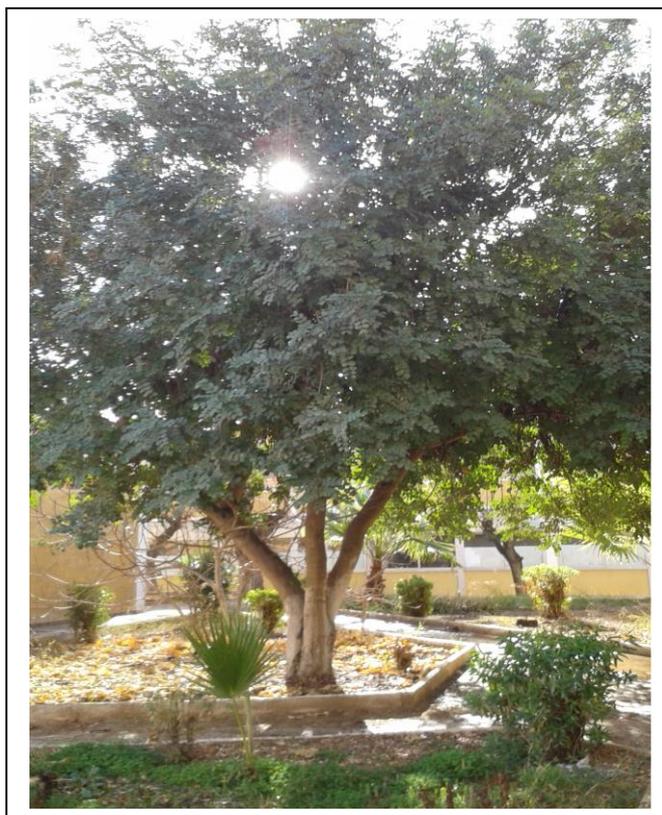
Diverses techniques de stockage ont été adaptées au cours du temps pour la conservation du gland. Il semble que la méthode au sulfure de carbone à 2% s'est avérée la

meilleure et la plus économique (Natividad, 1956). Selon Muller (1986), le moyen le plus efficace consiste à une lutte chimique contre les champignons, suivie d'une thermothérapie, trempage dans l'eau chaude à 41°C pendant 3 heures puis ressuyage jusqu'à une teneur en eau de 42%-45% avant conditionnement et stockage à -1°C.

IV. 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. Les glands de chêne sont inexploitable en Algérie, présentent actuellement un grand intérêt dû essentiellement à leur large disponibilité (27% de la surface des forêts) et leur résistance à la sécheresse. Ils sont aussi connus pour leur source d'énergie (40%-60%) d'amidon, (4,4%-7%) de lipides, quelques acides gras insaturés similaires à ceux d'huile d'olive. Le chêne vert est considéré comme plante méditerranéenne. En matière d'ethnopharmacologie, ses feuilles par simple décoction sont prescrites contre les troubles gastriques et les diarrhées. Les polyphénols contenus dans cette plante sont considérés comme un principe actif, plusieurs polyphénols tels que les acides tanniques, élagiques, les flavones, flavanols et quercetins sont connus pour leur inhibition de la sécrétion d'acide gastrique et aussi la protection de l'estomac contre les agents nécrosants (Martin, 1996 ; Maurakami *et al* ; 1992).

LE CAROUBIER



I. présentation

I.1. Introduction

Le caroubier (*Ceratonia siliqua* L.) est une espèce à plasticité écologique intéressante. Il est dit sclérophylle, thermo-xérophile, héliophile et calcicole. Il est originaire des zones arides et semi-arides de la méditerranée et de la péninsule arabique. C'est un arbre qui sur le plan socio-économique et écologique peut jouer un rôle des plus intéressants particulièrement dans les contrées sèches et dans les zones où les processus de désertification prennent des ampleurs de plus en plus alarmantes, notamment dans le bassin méditerranéen (Mahdad, 2013). C'est une espèce pérenne, à feuillage persistant et pouvant croître tant qu'arbrisseau ou arbre. C'est un composant important de la végétation méditerranéenne qui s'adapte aux sols marginaux (Konaté, 2007).

La production mondiale est estimée à environ 310 000 t / an avec des rendements très variables selon le cultivar, la région et la pratique culturale. L'Espagne est le premier producteur de caroube avec une moyenne de 135 000 t / an, suivie par l'Italie, le Portugal, le Maroc, la Grèce, Chypre, la Turquie, l'Algérie et certains autres pays (Tous et *al.*, 1996). Le caroubier présente un intérêt de plus en plus grandissant en raison non seulement de sa rusticité, de son indifférence vis-à-vis de la nature du sol, de son bois de qualité, de sa valeur ornementale et paysagère, mais surtout pour ses graines qui font l'objet de transactions commerciales dont la valeur dépasse de loin celle de la production ligneuse (Ait Chitt et *al.*, 2007).

I. 2. Nomenclature et taxonomie

Scientifiquement, le caroubier est appelé *Ceratonia siliqua* L. Ce nom dérive du grec *keras* et du latin *siliqua*, faisant allusion à la forme de son fruit qui ressemble à la 'corne' de bouc (Bolonos, 1955). Par ailleurs, le nom dialectal *kharouv*, originaire d'hébreu, a donné lieu à plusieurs dérivés tels *Kharroub* en arabe, *algarrobo* en espagnol, *carroubo* en italien, *caroubier* en français (Batlle et Tous, 1997). Dans certains cas, le caroubier prend une terminologie commune selon la croyance que Saint Jean-Baptiste s'alimenta du fruit de cet arbre durant son séjour dans le désert, lequel a donné origine à la dénomination "pain de Saint Jean-Baptiste" (Albanell et *al.*, 1991). En raison de leur uniformité, les graines du caroubier sont appelées "carats" et ont pendant longtemps servi aux joailliers comme unité de poids pour la pesée des diamants, des perles et d'autres pierres précieuses (1 carat = 205,3 mg) (Rejeb, 1995).

Le genre *Ceratonia* appartient à la famille des *Légumineuses* de l'ordre des *Rosales*,

sous famille des *Cesalpinoïdæ*, tribu des *Cassieae*. Cependant, des doutes restent tout au tour de l'authenticité de cette organisation taxonomique. En effet, certains auteurs ont considéré le genre *Ceratonia* comme étant l'un des genres les plus archaïques des légumineuses et qui est isolé morphologiquement des autres genres de *Cassieae* (Hillcoat et al., 1980 ; Tucker, 1992 a et b) et de ce fait, il doit être exclu de la tribu des *Cassieae* (Irwin et Barneby, 1981 ; Tucker, 1992 b). Par ailleurs, des études cytologiques ont révélé que le genre *Ceratonia* possède un nombre total du chromosome $2n=24$ est donc éloigné des autres membres des *Cassieae* dont le nombre du chromosome est $2n=28$ (Goldblatt, 1981; Bures et al., 2004).

La seconde espèce du genre, *Ceratonia oreothauma* décrite par Hillcoat et al., (1980), contient selon leurs origines deux sous-espèces distinctes: la sous-espèce *oreothauma* qui est native d'Arabie (Oumane) et la sous-espèce *somalensis* qui est native du nord de la Somalie (Batlle et Tous, 1997). *Ceratonia oreothauma* est morphologiquement très distincte de *C. siliqua*. En outre, son pollen est plus petit que celui de *C. siliqua* car il est tricolporé au lieu d'être tetracolporé (Ferguson, 1980). Vu que les graines de pollen de *C. siliqua* sont plus évoluées tetracolporé) que les graines tricolporées, il a été suggéré que *C. oreothauma* est l'ancêtre sauvage de l'espèce cultivée *C. siliqua* (Hillcoat et al., 1980).

I.3. Caractères morphologiques principaux

C'est un arbre de grande hauteur pouvant atteindre 20 m. Parfois de dimensions gigantesques, Le caroubier possède un tronc épais et tortueux avec une écorce rugueuse et brune. Il possède une cime très étalée, à feuilles persistantes, alternes, imparipennées, ayant de 3 à 5 paires de folioles ovales, entières, coriaces, luisantes. Son feuillage apporte une ombre appréciée dans les pays chauds. Le caroubier rentre en floraison d'août à septembre. Ses fleurs sont petites dioïques ou polygames en grappe auxiliaires, de couleur rouge. La gousse est épaisse, coriace, indéhiscente, arquée, à sutures épaisses, longue de 10 à 20 cm, sur 2 à 3 cm de largeur, pendante contenant de 10 à 16 graines ovoïdes, comprimées, brunes, séparées par des cloisons pulpeuses (Figure 3).

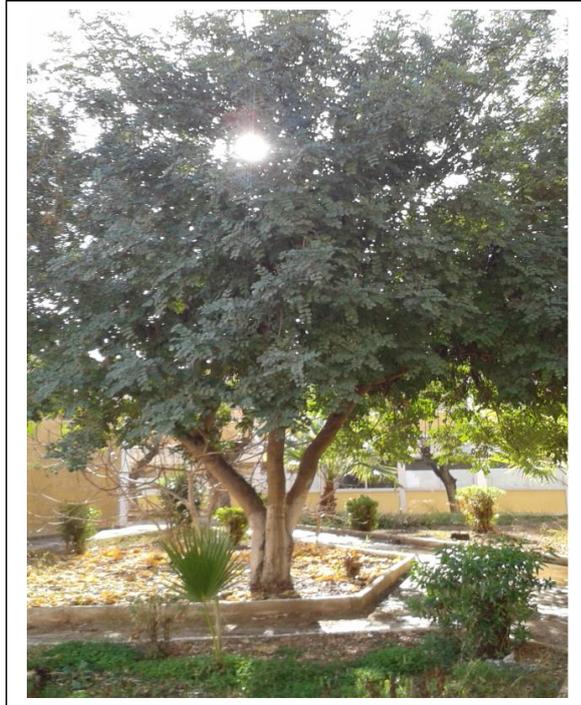


Figure 3 : Habitus du caroubier (*Ceratonia siliqua* L.) (Hazem, 2013)



Figure 3.1 : Inflorescence du caroubier



Figure 3.4: Fruit vert et mûre du caroubier



Figure 3.3: feuille, gousse et graine du caroubier

I.4. Classification

Tableau 6. Synthèse de la classification classique et phylogénétique du caroubier

Classification classique CRONQUIST (1981)		Classification phylogénétique APGII (2003)	
Règne	Plantae	Règne	Plantae
S-règne	Tracheobionta	S-règne	Tracheobionta
Embranchement	Spermatophyte	phylum	Magnoliophyta
S- embranchement	Magnoliophyta (Angiosperme)	S-phylum	Eu-Angiosperme
Classe	Magnolopsida (dicotylédone)	Classe	Eu-dicotylédone Triaperturées
S-classe	Rosidae	ordre	Rosidés
Ordre	Rosales	S-ordre	Rosidés (hypogyne dialycarpique)
Famille	Leguminosae	Famille	fabaceae
S- Famille	Caesalpinioideae	S- Famille	caesalpinioideae
Genre	Ceratonia	Genre	Ceratonia
Espèce	<i>Ceratonia siliqua</i> L.	Espèce	<i>Ceratonia siliqua</i> L.

I.5. Noms commun et vernaculaire

Caroubier (le), Carouge, Pain de saint Jean-Baptiste, figuier d'Égypte, fève de Pythagore (en Français), *alkharroube* (en arabe), *tislighwa* en tamazight, Carob (en Anglais).

II. Origine et répartition géographique

11. 1. Origine

Les différentes hypothèses émanant de plusieurs auteurs sur l'origine du caroubier sont incohérent. En effet, De Candolle (1983) et Vavilov (1951) signalent qu'il serait native de la région Est de la méditerranée (Turquie, Syrie et Palestine). Par ailleurs, le caractère thermophile de cette espèce et sa présence sur les hauts plateaux du Yémen donne à penser que son origine peut être située dans la région Sud de l'Arabie (Liph schitz , 1987). Cette proposition est appuyer par Schweinfurth (1894), qui a insinué qu'il est originaire des pays montagneux du Sud d'Arabie (Yémen). On le trouve à l'état naturel principalement en Espagne, Portugal, Greece, Maroc, Italie, Turquie, Algérie, Tunisie, Egypte, Chypre (Figure 4). Tardivement, il a été considéré, par Zohary (1973), comme originaire de la flore d'Indo-Malaisie, groupé avec *Olea*, *Laurus*, *Myrtus* et d'autres plantes.

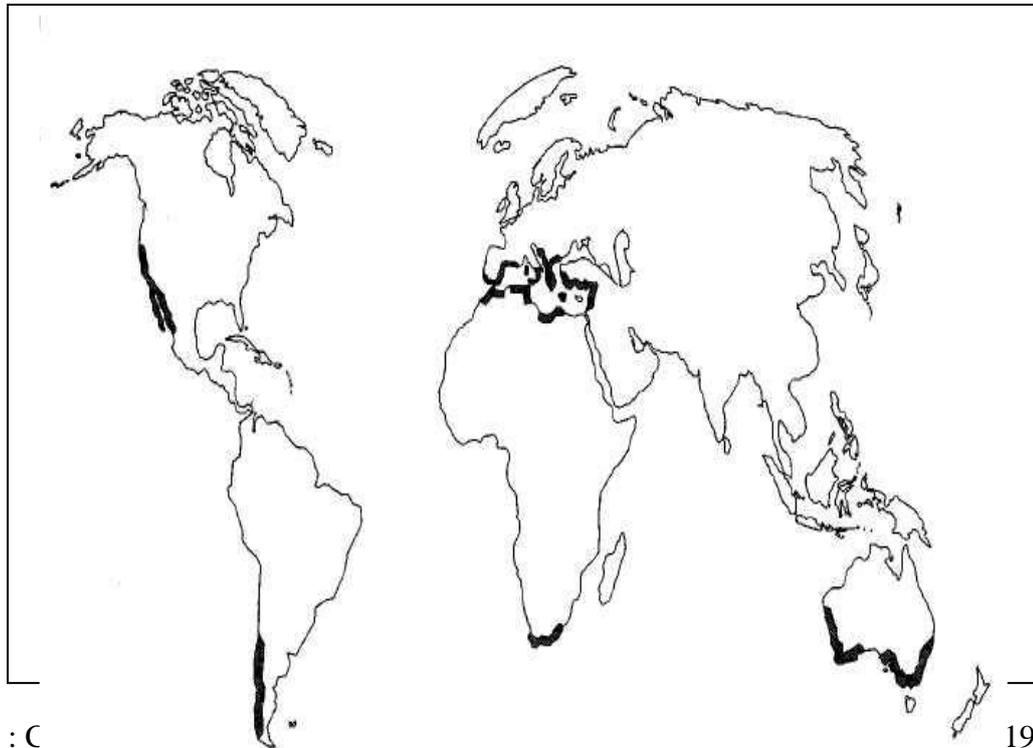


Figure 4 : C

1997)

II.2. Distribution géographique

Le caroubier a une aire de répartition qui s'étend de l'Asie mineure, à l'Afrique du Nord en passant par l'Europe méridionale et la péninsule Ibérique (Boudy, 1950 ; Gharnit, 2003 ; Rejeb, 1995). Il a été disséminé par les grecs en Grèce et en Italie, par les arabes le long de la cote Nord de l'Afrique et au Sud et à l'Est de l'Espagne, ce qui par la suite a permis sa distribution dans le Sud du Portugal et dans le Sud-est de la France (Hillcoat et al ; 1980). Il a été introduit avec réussite dans d'autres pays, notamment en Australie, en Afrique du Sud, aux Etas-Unis, aux Philippines, ainsi qu'en Iran (Estrada et *al.* 2006., Gaouar Naila, 2011).

III. Exigences

Actuellement on trouve le caroubier dans plusieurs pays, de l'Europe et de l'Afrique du Nord à l'état sauvage en association avec, l'oléastre, le thuya, le pin, le chêne vert... (Aafi, 1996; Batlle et Tous, 1997). La distribution des espèces arborescentes, telle que *C. siliqua* est limitée par des stress liés aux froids (Mitrakos, 1981). En Algérie, le caroubier est fréquemment cultivé dans l'Atlas Saharien et il est commun dans le tell (Quezel et Santa, 1962). On le trouve à l'état naturel en association avec *Prunus amygdalus*, *Olea europea* et *Pistacia atlantica* dans les étages semi-aride chaud, subhumide et humide, avec une altitude allant de 100m à 1300m dans les vallons frais qui le protègent de la gelée ; avec une

température de 5°C jusqu'à 20°C et une pluviométrie de 80 mm à 600 mm/an (Rebour, 1968).

Le caroubier réussit surtout dans des terrains profonds, riches en chaux, perméables. Il redoute les terrains compacts, imperméables, humides. Il supporte fort bien les terrains salins, jusqu'à 3 % de Na Cl. Les terrains caillouteux arides des versants du midi lui conviennent bien, pourvu que le pourcentage du calcaire soit élevé. Cette légumineuse préfère surtout les conditions climatiques méditerranéennes qui se caractérisent par un hiver doux avec une moyenne en janvier de 4°C avec des gelées rares et faibles, des précipitations abondantes, surtout en automne, avec faible humidité de l'air, un été chaud, sec. Cependant le caroubier supporte fort bien des conditions climatiques beaucoup plus rudes, notamment des froids de -11° à conditions que ces derniers ne soit pas de long durée. Il préfère aussi une exposition aérée et en même temps abritée des vents du Nord.

IV. Rendement de l'arbre

Le rendement du caroubier est périodique et généralement il porte des fruits tous les deux ans. Cependant dans les plantations bien conduites de Chypre, de la Sicile, de la Sardaigne et des Etats Unis avec des soins culturaux appropriés, ils ont réussi à obtenir un rendement régulier chaque année. Le rendement varie énormément avec l'âge de l'arbre. Les jeunes arbres de 5-6 ans donnent à peine 4-5 kg. C'est vers sa 20^e année qu'il commence à produire beaucoup et donne jusqu'à 40 kg par pied. Un arbre en pleine production donne 300 kg.

V. Composition chimique des caroubes

Les caroubes sont très riches en matières nutritives, notamment en sucres et en albumines, cependant leur composition chimique varie beaucoup selon le pays de culture. Le tableau suivant d'après Moniouszko, le montre avec évidence.

Tableau 7: la composition chimique des caroubes selon le pays de culture (%)

Composition chimique	Lieux de culture					
	Chypre	Crète	Sicile	Grèce	Portugal	Algérie
Eau	11,00	12,00	9,20	10,80	11,80	13,00
Cendre	2,10	2,08	2,20	1,96	2,00	2,35
Cellulose	8,10	7,85	10,50	9,50	9,15	9,10
Graisse	0,40	0,35	0,55	0,50	0,50	0,50
Saccharose	28,55	8,20	21,74	29,40	17,56	30,10
Glucose	14,53	26,04	21,36	10,28	19,20	
Matières non azotées	29,70	37,74	28,43	30,70	34,05	39,87
Matières azotées	5,60	5,74	6,02	6,36	5,74	5,08
	100	100	100	100	100	100

V.1.1. Propriétés biochimiques de la pulpe

La pulpe et les graines sont les deux composants majeurs de la gousse du caroubier et représentent respectivement 90% et 10% de son poids total. Selon plusieurs auteurs, la composition chimique de la pulpe dépend du cultivar, de son origine, de l'époque de la récolte, de l'environnement et des conditions de stockage (Orphanos et Papaconstantinou, 1969; Albanell *et al.*, 1991; Avallone *et al.*, 1997; Ayaz *et al.*, 2007; Iipumbu, 2008). La pulpe de la caroube (tableau 7) possède une teneur élevée en sucre (48-56%) et peut même atteindre 72% (Ayaz *et al.*, 2007). En outre, elle contient environ 18% de cellulose et d'hémi cellulose (Batlle et Tous, 1997). L'analyse de la composition en sucre de la pulpe de plusieurs variétés Algériennes a révélé une richesse en sucre totaux de 37,5 à 45,3% (Gaouar, 2011). La composition minérale (en mg/100g du poids sec) est la suivante : K = 970 ; Ca = 300 ; P = 71 ; Mg = 60 ; Fe = 1,88, Mn 1,29 ; Cu = 0,85 ; Zn = 0,75 (Ayaz *et al.*, 2007). Notons la richesse de la pulpe en potassium et calcium qui est très intéressante pour la nutrition humaine et animale (Plus du double du Ca du lait entier qui est de 119 mg/100 g). Les gousses contiennent de faibles quantités de matières grasses ($0,6 \pm 0,1\%$) et une quantité importante de protéines ($3 \pm 2\%$) (Avallone *et al.* 1997). Aya

z *et al.* (2007), ont pu déceler la présence dans les extraits de gousses de 18 acides aminés, principalement de l'acide aspartique et glutamique, l'alanine, la valine et la leucine. Les gousses matures du caroubier contiennent une grande quantité de tanins condensés (1620% du poids sec). En valeur alimentaire, les caroubes sont similaires à la plupart des graines de céréales (NAS, 1979). La graine est composée de 30 à 33 % de tégument, 42 à 46 % d'albumen et 23 à 25% d'embryon (Neukom, 1988). L'épisperme est considéré comme une source naturelle pour la production de polyphénols antioxydants (Makris et Kefalas, 2004). L'endosperme est constitué essentiellement d'une gomme nommée galactomannane. C'est une molécule de polysaccharide composée de deux unités de sucre : le mannose et le galactose dans un rapport de 4 : 1. La propriété principale de ce polysaccharide naturel est la viscosité élevée qu'il procure à la solution une fois mélangé à l'eau, et cela dans une large gamme de température et de pH (García-Ochoa et Casas, 1992). La farine du germe (embryon) obtenue à partir des cotylédons a une teneur en protéines de 50% ; 27% d'hydrates de carbone ; 8% de lipides (neutre), 7% d'eau et 6% de cendres ; cette farine est recommandable pour l'alimentation humaine et animale (Puhan et Wielinga, 1996 dans Batlle et Tous, 1997).

Tableau 8 : La composition moyenne de la pulpe du caroubier (Puhan et Wielinga (1996) mentionné dans (Batlle et Tous, 1997).

constituants	%
Sucres totaux	48-56
Saccharose	32-38
Glucose	5-6
fructose	5-7
Pinnitol	5-7
Tannin condensés	18-20
Polysaccharose non amylacés	18
Cendres	2-3
lipides	0.2-0.6

VI. Production

Selon les données du FAO. STAT (2010), l'aire totale de la production mondiale du caroubier est estimée à 102939ha (Tableau 6). La production mondiale de caroube est estimée à 191355.64 tonnes. La plus grande superficie, 83574 ha, est celle de l'Europe, contre une superficie estimée à 1000 ha pour l'Algérie et 13460 ha pour les pays d'Afrique du Nord. Elle est essentiellement concentrée en Espagne, Italie, Maroc, Portugal, Grèce, Turquie, suivie de Chypre, Algérie, Liban, et en dernier la Tunisie (Tableau 9).

Tableau 9 : Superficie occupée par le caroubier (F.A.O. STAT 2010)

Pays	Superficie (ha) en 2004	Superficie (ha) en 2008
Algérie	1066	1000
Afrique du Nord	13526	13460
Europe	92218	83574
Monde	112711	102939

Tableau 10 : Production mondiale de caroube (F.A.O. STAT 2010)

Pays	Production en tonnes (2004)	Production en tonnes (2008)
Espagne	67000	72000
Italie	24000	31224
Maroc	40000	25000
Portugal	20000	23000
Grèce	19000	15000
Turquie	14000	12100
Chypre	7000	3915
Algérie	4600	3600
Liban	3200	2800
Tunisie	1000	1000
Monde	182680	191167

VII. Fragilités, maladies et ravageurs

C. siliqua est normalement libre de ravageurs et de maladies graves et est traditionnellement une culture qui n'est pas pulvérisée. En Espagne, l'insecte le plus nuisible est la larve *polyphage* du *Zeuzère du poirier* [la traduction anglaise littérale donne « *la pyrale léopard* », en anglais « *the polyphagous larva of the leopard moth* »] (*Zeuzera pyrina*), qui attaque le bois du tronc et des branches, causant de graves dommages aux jeunes arbres. Les gousses de nombreux cultivars peuvent être infestées par la petite larve polyphage du « *ver de l'ombilic* » [la traduction anglaise littérale donne « *teigne du caroubier* », en anglais « *the small and polyphagous larva of the carob moth* »] (*Myelois ceratoniae*), durant le mûrissement ou avant que la récolte soit terminée. À Chypre, les attaques de la Cécidomyie [moucheron] de la caroube (*Asphondylia spp.*) sur les gousses à un stade précoce ont causé des retards de croissance. Les pucerons noirs attaquent principalement les pousses terminales des jeunes arbres. La maladie du mildiou, causée par *Oidium ceratoniae*, attaque les gousses, les feuilles et les brindilles, à différentes périodes de l'année. D'autres organismes nuisibles qui parfois causent de graves dommages aux vergers de caroubiers sont de petits rongeurs comme le Campagnol souterrain [la traduction anglaise littérale donne « *les rats des sables* »] (*Pitymys spp.*) et les rats (*Rattus spp.*). Les spermophiles peuvent gravement endommager le système racinaire de jeunes arbres. Les rats peuvent écorcer non seulement des jeunes pousses mais aussi des pousses plus âgés et même des grosses branches, et, par *annélation* de ces branches, peut tuer la plante (webmaster3).

VIII. Utilisations

Cette espèce se présente comme une essence à la fois forestière et arboricole. Elle est d'une grande importance économique, écologique et sociale. Son utilisation est multiple.

VIII.1. Arbre

L'arbre isolé peut être utilisé comme plante ornementale ou pour son ombre au bord des routes, c'est le cas en Californie, Australie et ailleurs. Les pieds mâles, qui ne fournissent pas de gousses sont les plus préférés dans le domaine d'ornementation (Batlle et Tous, 1997). Il peut être également utilisé en verger comme plantation homogène destinée à la production commerciale (Espagne, Portugal et Grèce). Basé sur sa faible exigence en culture, sa grande tolérance vis-à-vis des sols pauvres, le caroubier est de plus en plus recommandé pour la reforestation des zones côtières dégradées sous l'effet d'érosion ou de désertification (Batlle et Tous, 1997). Actuellement, il est considéré comme l'un des arbres fruitiers et forestiers le plus performant; puisque toutes ses parties (feuilles, fleurs, fruits, bois, écorces et racines) sont utiles

et ont des valeurs dans plusieurs domaines (Aafi, 1996).

VIII. 2. Fruit

Dans les pays producteurs, les gousses de caroube ont été, traditionnellement, utilisées non seulement en alimentation des animaux ruminants (Louca et Papas, 1973) ou non ruminants (Sahle et *al.*, 1992), mais aussi en alimentation humaine. Après l'écrasement des gousses et séparation de pulpe et des graines, les produits dérivés de ces deux éléments sont principalement utilisés dans plusieurs domaines (Tableau 8).

VIII. 2. 1. Pulpe

La farine issue de pulpe peut servir comme ingrédient de certains menus de pâtisseries : gâteau, pain, bonbon, crème glacée, boisson (NAS, 1979; Vidal, 1985) ou utiliser comme substituant du cacao dans le chocolat, car elle est moins calorifique et ne contient ni caféine ni théobromine (Whiteside, 1981; Craig et Nguyen, 1984). Par ailleurs, la pulpe a été le premier produit d'horticulture utilisé en fermentation dans plusieurs pays méditerranéens, pour la production d'alcool industriel (Merwin, 1981). En Egypte, les sirops à base de fruits de caroube constituent une boisson populaire (Batlle et Tous, 1997). La pulpe issue de la gousse est très sucrée, nutritive, rafraichissante et très appréciée par les peuples de la région méditerranéenne. Une partie de la récolte est distillée. Ce mode d'utilisation des caroubes est très ancien ; le grand pourcentage de sucres donne la possibilité d'avoir un alcool remarquable, on obtient 20-25 litres d'alcool pur avec 100 kg de fruits, soit 55 litres d'eau de vie pour 100 kg de caroubes fraîches. En comparaison, la betterave donne à peine 5 litres d'alcool pur, soit environ 10 litre d'eau de vie pour 100 kg de betteraves, donc cette utilisation de la caroube est la plus intéressante au point de vue industriel et économique (Tableau 11 et 12).

Tableau 11 - Principaux produits de la caroube (*pulpe et graines*) et leurs utilisations majeures (Batlle et Tous, 1997)

Produits	Traitement reçu	utilisation
Pulpe Brute	aucun	Alimentation animale (cheval, ruminants)
	Moulage	Alimentation humaine et animale
	Extraction et purification	Sucres et mélasse
	Fermentation et distillation	Alcool et produits de protéines microbiennes
	Extraction	Tannins comme anti diarrhéique
	Lavage, séchage	Ingrédients alimentaires; substituant de cacao
Poudre	Torréfaction et moulage	Préparation de produits diététiques
Graines Endosperme	Moulage	E410 ; additif alimentaire ; fibres diététiques ; aliment pour mascotte.
	Moulage	Farine de germe. alimentation humaine et animale
Embryon	Extraction	Tannins pour le tannage de cuirs
Episperme		

V.1. 2. 2.2. Graines

Les graines de caroube sont très appréciées et recherchées pour leurs qualités et multiples usages industriels. Vu son énorme intérêt économique (tableau 12), la gomme reste le produit le plus important parmi ceux (polyphénols antioxydants ; farine du germe) dérivés de la graine. Elle constitue le tiers (1/3) du poids total de la graine ; 100 kg de graines produisent une moyenne de 20 kilos de gomme pure et sèche (Jones, 1953). Cette gomme mucilagineuse connue sous le code E-410 est utilisée dans l'industrie agroalimentaire comme épaississant, stabilisant, liant et gélifiant ou comme agent dispersant. Elle est aussi utilisée dans le domaine de l'impression, la photographie, le textile, la pharmacie et le cosmétique (Batlle et Tous, 1997).

Tableau 12 : Utilisations de la gomme de caroube et ses applications techniques (Droste, 1993 in Batlle et Tous, 1997).

Utilisations industrielles	Applications
Pharmaceutiques	Produits anticœliaques, pommades, comprimés, dentifrice
Cosmétiques	Emulsions et mousses, mousse à raser
Textiles	Epaississant de coloration
Papier	Produit de flottation pour matériel de couverture ; épaississant pour traitement de surface
Chimiques	Colles, coloriage, polissage, teinture, allumettes, pesticides
Pétrole	Adjuvant de floculation pour augmenter la stabilité
Mines	Produit de flottation
Béton	Renforcement de la solidification
Explosifs	Liant d'eau pour les explosifs

LE FEVIER D'AMERIQUE



I. Présentation

Le févier d'Amérique (*Gleditsia triacanthos* L.) appelé aussi, févier épineux, févier à trois épines, Carouge à miel ou Épine du Christ, est un grand arbre étalé à feuilles caduques, au port léger qui porte des gousse couleur acajou très décoratives et parfois de très longues épines acérées (webmaster 1), originaire de l'est de l'Amérique du Nord, appartenant à la famille des Fabacées, ou légumineuses. Il est bien connu comme arbre d'ornement et pourtant il n'est pas largement utilisé dans ce domaine en raison de ses grandes et dangereuses épines (Hoffmann, 1995). Il a été largement préconisé comme aliment du bétail au début du 20^{ème} siècle. Le développement de cultivars sylvopastoral a commencé dans les années 1930 à la vallée de Tennessee aux états unis d'Amérique, parce qu'il peut fournir une source de fourrage, de protéine et d'énergie métabolique et peut être utilisé pour la lutte contre l'érosion. *Gleditsia* est actuellement testé dans les régions tempérées, la méditerranée et les régions tropicales (Gold, 1997). L'arbre a été introduit en Europe en 1700 où il est devenu courant dans les régions occidentales, centrales et méridionales (Lieutaghi, 2004), et a été introduit par les colons en Algérie en 1949 (Putod, 1982). Le genre est dédié à Johann Gleditsch (1714-1786), botaniste, directeur du jardin botanique de Berlin et ami du naturaliste suédois Linné. Le nom d'espèce, triacanthos, fait référence aux épines regroupées par trois (Lieutaghi, 2004).

I.1. Taxonomie

Le févier d'Amérique (*Gleditsia triacanthos* L.), appartient au genre *Gleditsia* et à la famille des Fabacées, ou Légumineuses (sous-famille des *Caesalpinioideae*). La sous-famille des *Caesalpinioideae* regroupe 150 à 180 genres et 2200 à 3000 espèces réparties en zones tropicales. Le genre *Gleditsia* regroupe de nombreuses espèces et variétés existant dans le monde. Environ 16 espèces ont été citées en Chine, Sud-est asiatique, nord et sud-américain (Dezhao et al., 2010 in Benhamiche, 2016). Le févier d'Amérique a de larges variations génétiques (nombre chromosomique de base, $x = 14$. $2n = 28$.) qui ont permis son amélioration par sélection (Tableau 13).

Tableau 13 : Classification classique et phylogénétique de *Gleditsia triacanthos* L. selon le système de Cronquist (1988) et APG II (2003).

Classification classique cronquist (1981)		Classification phylogénétique APGII (2003)	
Règne	Plantae	Règne	Plantae
S-règne	Tracheobionta	S-règne	Tracheobionta
Embranchement	Spermaphyte	phylum	Magnoliophyta
S- embranchement	Magnoliophyta (Angiosperme)	S-phylum	Eu-Angiosperme
Classe	Magnolopsida (dicotylédone)	Classe	Eu-dicotylédone Triaperturées
S-classe	Rosidae	Ordre	Rosidés
Ordre	Fabales	S-ordre	Rosidés (hypogyne dialycarpique)
Famille	Cesalpiniaceae	Famille	fabaceae
S- Famille	Caesalpinoideae	S- Famille	caesalpinoideae
Genre	Gleditsia	Genre	Gleditsia
Espèce	<i>Gleditsia triacanthos</i> L.	Espèce	<i>Gleditsia triacanthos</i> L.

Un certain nombre de formes horticoles a été développé et sont largement cultivées, particulièrement pour l'ombre et l'ornement (Blair, 1990).

- Le févier inerme (*Gleditsia triacanthos* var. *inermis* Willd.) est une variété sans épines, ou presque ainsi, et a habitus mince.
- Le févier touffu (*G. triacanthos* var. *elegantissima* [Grosdemangel Rehd.] est nonarmé et en masse touffu
- le févier de Bujot (*G. triacanthos* var. *bujotii* [Neuml Rehd.] a les branches pendantes minces et les feuillettes étroits
- Le févier nain (*G. triacanthos* var. *nana* [fort.] A. Henry) est un arbuste ou petit arbre compact.
- Le févier du Texas *Gleditsia texana* Sarg., est considéré comme étant un hybride de *G. aquatica* Marsh et *G. triacanthos* L. (Blair, 1990).
- Ruby Lace a été obtenue en 1961. Elle se caractérise par un jeune feuillage rouge foncé qui vire au bronze. Les fleurs sont discrètes et blanches.
- Skyline' à un feuillage plus réduit, d'un vert frais, et la floraison est blanche. Le port est pyramidal et sa taille est réduite d'un tiers, ce qui la rend utile dans les petits jardins.

I.2. Noms communs

- **Anglais:** Common honey-locust, Honey-shucks Locust, Honeylocust, Sweet Locust, Three torted-acacia, Thorn tree, Thorny Locust, Sweet-bean (Shadow, 2003).
- **Français :** Févier d'Amérique, févier à trois épines, carouge à miel, févier épineux, épine du Christ
- **Allemand:** Dreidornige Gledischie (Web master1).
- **Italien:** gledischia, spino di Cristo, spino di Giuda
- **Espagnol :** espina de Cristo, acacias de tres espinas
- **Nom commercial :** miel acridienne (Web master 4).

I.3. Description botanique

Gleditsia triacanthos atteint une hauteur normale de 15-25 m et 0,5-1 m (max. 1,8) de diamètre (figure 5). Les arbres présentent un port étalé avec une couronne irrégulière, ouverte et étroite, l'écorce de couleur brun rougeâtre au noir, écailleuse, striée, souvent couvertes de grappes de grandes épines ramifiées. Il a une racine pivotante et un système racinaire très ramifié (Orwa et *al.*, 2009).



Figure 5 : Habitus de *Gleditsia triacanthos* L. (cliché Hazem, 2015)



← **Figure 5.1** : Feuilles de *G. triacanthos* L. (cliché Hazem, 2015)

⇒ **Figure 5.2** : Ecorce de *G. triacanthos* L. (cliché Hazem, 2015)



Feuilles caduques, alternes, composées pennés ou bipennées. Composées de 26 à 32 petites folioles ovales et minces sur une tige centrale de 14 à 20 cm de long. Feuillage d'aspect léger ; verte en été et jaune d'orée en automne (Gold, 1997).



← **Fig 5.3** : Fleurs de *G. triacanthos* L. (Cliché Hazem, 2013)

⇒ **Fig 5.4** : Fruits de *G. triacanthos* L. (Cliché Hazem, 2013)



Fleurs blanc-verdâtre, régulières, petites, d'environ 5 mm de diamètre. Les fleurs mâles et femelles sont sur le même arbre, souvent sur des branches séparées. Discrètes et non voyant. Dotées d'un parfum agréable (Edward et *al.*, 1993).

De longues gousses mesurant 15 à 40 cm forment le fruit, plat et courbé, brunâtre, pourvue d'une enveloppe coriace; tombant en hiver sans ouverture. La graine comme l'haricot, porte un tégument dur, imperméable. D'une longueur de 0,5 à 1,5 cm, lisse et brun foncé (Nessom, 2003).

I.4. Ecologie

I.4.1. Ecologie du févier d'Amérique dans son aire naturelle.

Dans la gamme naturelle, une grande quantité de variation existe à la fois des conditions climatiques et de sol. Le *G. triacanthos* se produit naturellement dans les régions climatiques humides et subhumides ; il pousse naturellement à 760 m, mais il a été planté au dessus du niveau de la mer à 1500 m dans les latitudes tempérées et va croître à plus de 2500 m dans les hautes terres subtropicales. Il est intolérant à l'ombre et se développa difficilement dans des espaces ouverts. Le *G. triacanthos* bien qu'exigeant en eau pour présenter une grande croissance, il est très résistant à la fois à la sécheresse et à la salinité. Il tolère les sols compactés, sols mal aérés et les inondations pour une période de temps (putod, 1982).

I.4.2. Habitat préféré

G. triacanthos pousse mieux dans les sites perturbés en plein soleil, comme des lacunes dans une forêt, les lisières de forêt et les zones perturbées par les incendies. Sa croissance est beaucoup plus lente dans l'ombre (Sullivan, 1994). Son habitat préféré est humide, fertile (alluvions) sol associé avec des plaines riches en alimentation et les rives de cours d'eau (Csurhes et Kriticos 1994; National Academy of Sciences 1980). Tout au long du Midwest des États-Unis, il se produit dans les pâturages et les champs. Elle coexiste souvent avec *Maclura pomifera* (Osage orange) dans les zones boisées (Schnabel et al 1991; Schnabel et Hamrick 1990). Le *G. triacanthos* préfère un climat tempéré chaud. La plante est aussi bien adaptée aux hivers très froids où les températures descendent à -34 ° C, comme dans la partie nord de son aire de répartition naturelle (Blair non daté). Les précipitations annuelles dans son aire d'origine sont comprises entre 500 mm et 1500 mm (National Academy of Sciences 1983).

I.5. Répartition géographique

G. triacanthos est originaire de l'Est et le centre de l'Amérique du Nord (mauvaises herbes Australie 2010). Il se trouve dans la zone du centre de la Pennsylvanie vers l'ouest du Dakota du Sud sud-est, au sud vers le centre et le sud-est du Texas, jusqu'au sud de l'Alabama, puis vers le nord-est à travers l'Alabama à l'ouest du Maryland. Populations périphériques existent dans le nord-ouest de la Floride, à l'ouest du Texas et l'ouest du centre de l'Oklahoma (Skerman 1977). En Amérique du Nord, *G. triacanthos* a naturalisé à l'est des Appalaches, depuis la Caroline du Sud au nord de la Pennsylvanie, de New York, la Nouvelle-Angleterre et la Nouvelle-Écosse, Canada (Blair non datée; National Academy of Sciences 1983).

cette espèce a été introduite à des parties de l'Afrique, l'Europe, le Moyen-Orient, l'Asie centrale, la Russie, l'Inde, la Chine, l'Argentine, la Nouvelle-Zélande et en Australie (Base de données internationale des légumineuses et Service d'information 2009; Global Biodiversity Information Facility non daté) (figure 6).

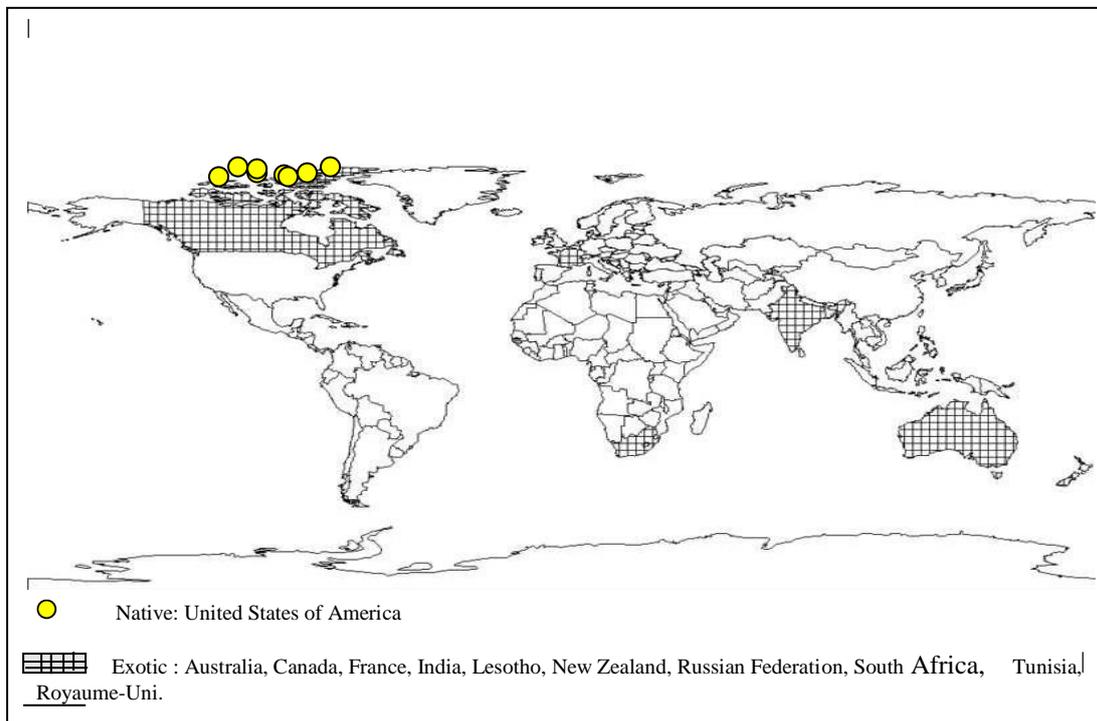


Figure 6 : répartition géographique du *Gleditsia triacanthos* L. dans le monde (National Academy of Sciences, 1983).

I.6. Espèces et variétés du févier d'Amérique

Il existe des *cultivars* de *Gleditsia triacanthos* sélectionnés pour leur fruit dont on consomme la pulpe mais très peu diffusés (Tableau 14).

Tableau 14: les différents cultivars de *Gleditsia triacanthos* (NAS, 1983).

Type	Variété	Végétation	Fructification	Qualités
Espèce type	Févier d'Amérique (<i>Gleditsia triacanthos</i>)	Arbre vigoureux de 15 à 25 m de haut sur 8 m de large. Feuillage de fougère vert clair puis jaune d'or à l'automne.	Nombreuses gousses spiralées rougeâtres en été, de 25 cm, brunes et coriaces en hiver.	Port gracile, épines intéressantes pour former une haie défensive. Croissance rapide. Grande rusticité (40 °C).
Cultivars ornementaux	<i>Gleditsia triacanthos</i> f. <i>inermis</i>	Arbre de 15 m, à port gracile, avec très peu d'épines.	Pas de gousses.	Arbre de moyenne vigueur à croissance rapide. Ombre légère.

	<i>Gleditsia triacanthos</i> 'Elegantissima'	Arbuste à touffe compacte de 4-5 m de haut sur 3-4 m de large. Feuillage dense.	Produit des gousses de 40 cm environ.	Croissance lente. Convient en haie, en isolé, car son port est élégant. Peut se conduire sur une seule tige.
	<i>Gleditsia triacanthos</i> 'Rubylace'	Arbre de 5 à 15 m. Très beau feuillage rouge rubis en naissant, brun pourpre puis vert foncé. Vire au bronze à l'automne. Peu épineux.	Pas de gousses.	Peut se conduire en cépée.
	<i>Gleditsia triacanthos</i> 'Skyline' (syn. <i>G. t.</i> 'Arrowhead')	Port conique à pyramidal, 15 m de haut sur 5 de large. Feuilles rouge bronze en naissant puis vert sombre, jaune d'or à l'automne. Peu d'épines.	Pas de gousses.	Variété américaine. Très belles couleurs automnales.
	<i>Gleditsia triacanthos</i> 'Sunburst'	Arbre de 5 à 10 m sur 8 de large. Jeunes feuilles dorées puis vert clair.	Pas de gousses.	Feuillage lumineux.
	<i>Gleditsia triacanthos</i> 'Shademaster'	Arbre à port étalé de 15 m de haut sur 7 m de large. Feuilles d'un vert foncé éclatant. Peu épineux.	Gousses rares.	Croissance rapide.
	<i>Gleditsia triacanthos</i> 'Emerald Cascade'	Arbre pleureur jusqu'au sol, de 4 m de haut sur 3 de large. Feuillage dense vert foncé. Pas d'épine.	Produit des gousses de 25 cm environ.	Très beau sujet en isolé. Pour tous sols. Superbes couleurs automnales.
Essences fruitières	<i>Gleditsia triacanthos</i> 'Calhoun'	Grand arbre de 20 m de haut.	Larges gousses très riches en sucres (39 %) jusqu'à 15 kg par arbre à l'âge de 5 ans.	Cultivé en Pennsylvanie, au Massachusetts, au sud du Michigan. Découvert en Alabama en 1934.
	<i>Gleditsia triacanthos</i> 'Millwood'	Arbre sans épine, vigoureux de 30 à 40 m de haut à l'âge de 5 ans.	Larges gousses épaisses à pulpe sirupeuse (37 % de sucre), 28 kg par arbre âgé de 5 ans.	Très productif. Découvert en Caroline du Nord près du lac Junaluka en 1934.

II. Reproduction et dispersion

La reproduction se fait par graines. La floraison a lieu en Octobre et Novembre ; il commence entre 3 et 5 ans. La plupart des graines tombent sous l'arbre mère. Cependant, les graines peuvent être dispersées sur des distances considérables par bovins et des chevaux ou par l'eau (Schnabel et al 1991 ; Wikipedia 2009). Les gousses persistent une partie de l'hiver sur l'arbre (Biosecurity Queensland 2007). Les graines sous forme de disques et peuvent rester viables pendant au moins 20 ans (Biosecurity Queensland, 2007). La germination est améliorée lorsque les graines passent à travers le système digestif d'un animal. Les graines sont généralement produites chaque année, avec de grandes cultures se produisant tous les 2 ans (Sullivan, 1994 ; Weeds Australie 2010). Des débits allant jusqu'à 14 000 graines par an de production ont été enregistrés (Marco et Páez 2000).

En Amérique du Nord, le *G. triacanthos* est naturalisé à l'est des Appalaches, depuis la Caroline du Sud au nord de la Pennsylvanie, de New York, la Nouvelle-Angleterre et la Nouvelle-Écosse, Canada (National Academy of Sciences 1983).

G. triacanthos a été introduit dans des parties de l'Afrique, de l'Europe, du Moyen-Orient, de l'Asie centrale, de la Russie, de l'Inde, de la Chine, de l'Argentine, de la Nouvelle-Zélande et en Australie (Base de données internationale des légumineuses et Service d'information 2009; Global Biodiversity Information Facility non daté).

III. Plantation

Cette plante s'adapte bien comme un arbre de la rue de la ville et est tolérant aux petites fosses de plantation dans le béton. Il est sensible à la casse dans les tempêtes de verglas. Cependant, il est recommandé de planter avec modération cette espèce pour éviter une catastrophe si les insectes ou les maladies l'envahissent. Selon Edward et al (1993), Il pourrait être préférable de planter Pistacia, Taxodium, Quercus ou un autre arbre difficilement urbaine éprouvée à la place du févier d'Amérique pour éviter les insectes potentiel, la maladie et les problèmes de défoliation précoce dans certains régions.

IV. Problèmes phytosanitaires

IV.1. Parasites

La Mimosa tisseuse est devenu un ravageur important sur le févier d'Amérique dans certaines communautés. C'est un insecte xylophage peut être largement évité avec une fertilisation régulière en gardant les arbres sains. Elle attaque généralement les arbres stressés.

La combinaison de la punaise et la cicadelle de l'alimentation provoque la tombée des feuilles. Les punaises peuvent être plus fréquent sur le cultivar à feuilles jaune 'Sunburst' que sur les types à feuilles vertes. Les deux insectes sont de couleur verte de sorte qu'ils seront difficiles à détecter.

La cécidomyie des gousses provoque une rougeâtre inhabituelle, galle sur les extrémités des branches. Les galle apparaissent à la fin du printemps et peuvent être le plus commun sur les épines et les cultivars sans pépins. Ceux-ci sont devenus un problème dans de nombreux domaines.

Les acariens provoquent en l'automne un jaunissement des feuilles. Le diagnostic de ce problème est difficile en raison de la petite taille de l'insecte et des folioles. On peut citer aussi, la Mineuses, la bagworm et les infestations de pucerons qui peuvent être gênantes pour la l'arbre.

IV.2. Maladies.

Parmi les maladies les plus fréquentes, les champignons responsables de chancre qui sont particulièrement dommageables ou les bactéries qui attaquent les branches et les troncs. Ces agents provoquent le dépérissement des parties ou l'ensemble de l'arbre. Et pour le garder sain, il faut éviter les blessures inutiles (Edward, 1993).

V. Perturbations écologiques dues au févier d'Amérique

G. triacanthos est une espèce envahissante et concurrente en Argentine, où il a envahi les prairies de la pampa, ainsi que les zones riveraines et les routes et des lacunes qui sont créés pour le pâturage du bétail (Ghersa et al 2002;. Speroni et de Viana 2001). Il est devenu un envahisseur commun des forêts de montagne du centre de l'Argentine, et est le remplacement de l'espèce dominante *Lithraea ternifolia* natif. Il est considéré comme ayant le potentiel de nuisibilité élevé en raison de sa croissance rapide, sa courte période juvénile et sa production élevée de semences (Marco et Páez 2000). En Californie, *G. triacanthos* a envahi les forêts dans la rivière Cosumnes Préserve (California envahissantes Plant Council, 2005). Dans certaines parties de son aire d'origine, il a envahi les pâturages et est considéré comme un ravageur (Sullivan, 1994). Sargent (1965) a indiqué qu'il «couvre occasionnellement des zones considérables sur les sols humides et fertiles, excluant la plupart des autres espèces». Il est aussi considéré comme une mauvaise herbe dans certaines parties de l'Europe, l'Afrique du Sud et le Chili (Holm et al 1991; Wells et al 1986; National Academy of Sciences 1980).

VI. Usage

Les cultivars de *G. triacanthos* sont populaires comme plantes ornementales de jardin. L'espèce est également plantée pour former des haies brise-vent brise-vent. Le bois est tendre, mais peut être utilisé en menuiserie (Sanchez, 1999). Un type de caoutchouc de semences extrait de l'endosperme, peut être utilisé pour des crèmes en cosmétique et des crèmes glacées (Resico, 2001). Cette espèce peut être aussi utilisée dans le contrôle de l'érosion, dont elle est actuellement testé dans plusieurs zones tempérées, méditerranéennes et tropicales des régions montagneuses du monde.

Dans le domaine médical, la pulpe du fruit est utilisée pour les maladies pulmonaires. Les graines en poudre sont utilisées comme le tabac contre les rhumes. Les grains des gousses sont un remède populaire pour la dyspepsie et la rougeole, les rhumes et les fièvres chez les Indiens des États-Unis; Indiens Delaware utilisaient l'écorce pour les troubles sanguins et la toux. Le thé d'écorce traite la coqueluche. Le Genre *Gleditsia* comprend 14 espèces d'arbres à feuilles caduques qui peut atteindre une hauteur de 20-30 m (Huxley et *al.*, 1992). La *Gleditsia* c'est une espèce qui a été largement utilisés dans la médecine traditionnelle chinoise. Les fruits et les épines sont utilisés pour le traitement de l'apoplexie, des maux de tête, toux productive, l'asthme et les maladies de peau suppurées (Zhong Yao Da Ci Dian, 1979). Il a été rapporté que les extraits de graines de *Gleditsia* peuvent être utilisés en tant que source naturelle de composés phénoliques et d'antioxydants, des extraits aussi de plante de *Gleditsia* possèdent des activités pharmacologiques importantes dans le traitement de la polyarthrite rhumatoïde, comme anti-mutagènes, anti-cancer et ils ont une activité cytotoxique significative contre différent lignées cellulaires (Miguel et *al.*, 2010). Des études phytochimiques ont été effectuées sur des fruits de *Gleditsia* qui ont indiqué la présence de saponines triterpenoidal qui possèdent une activité anti-inflammatoire. (Yamahara et *al.*, 1975, Ha et *al.*, 2008.). Il est aussi considéré comme une couverture, ou pour fournir une haute nutrition fourragère pour le bétail. Ses gousses sont riches en sucres et sont appréciés par les personnes et le bétail (National Academy of Sciences 1983; Plant.NET 2009; Wikipedia 2009).

Chapitre III

NOTIONS DE COPRODUITS

Les sous-produits d'animaux sont utilisés depuis longtemps dans l'alimentation des animaux d'élevage (The BSE Inquiry Report, 2000). Ces sous-produits animaux sont obtenus par le traitement des rebuts d'abattoir et des carcasses d'animaux morts empruntant la voie de l'équarrissage. L'utilisation des coproduits par les animaux d'élevage implique, pour chaque coproduit, toute une filière dont il ne faut négliger aucun maillon sous peine d'aller à l'échec ; chaque maillon doit être sensibilisé à l'utilisation du coproduit en alimentation animale, car qui dit alimentation animale dit forcément qualité de l'aliment pour une qualité du produit fini, viande ou lait ; le terme de **coproduit** se mérite, c'est un peu un "label" sans l'obtention duquel on serait en droit de douter de sa valeur alimentaire, hygiénique et sanitaire. Dans cette filière, on trouve d'abord l'agriculteur qui produit sur son exploitation la matière première, le transformateur qui séparera par un procédé bien défini et connu ce qui revient à l'homme et ce qui peut aller à l'animal, le négociant en coproduits, le transporteur et puis l'éleveur entouré de ses conseillers techniques et de son vétérinaire... et pourquoi pas enfin, le consommateur qui aimera savoir comment aura été produit le lait ou la viande qu'il consomme (Besancenot, 2000).

I. Terminologie : coproduit, sous-produit, déchet.

Les coproduits, sous-produits et déchets sont des termes communément utilisés en production industrielle pour désigner des productions «induites», celles qui accompagnent plus ou moins inéluctablement les productions commerciales majeures des entreprises (Besancenot, 2000).

On passe de produits nobles aux produits secondaires puis aux produits déchus, voire douteux, dangereux, toxiques. Au plan juridique et réglementaire, le déchet, par les contraintes de gestion et de responsabilité qu'il fait peser sur son producteur, ne bénéficie pas d'une reconnaissance spontanée. Une filière de valorisation a pour objectif de donner de la valeur aux produits, de leur conférer un vrai statut de coproduits, statut qui leur vaudra d'être de plus en plus prisés et donc d'entrer dans une dynamique de valorisation. L'effet inverse peut aussi se produire et le coproduit d'aujourd'hui deviendra le déchet de demain.

Est considéré comme **déchet** « tout résidu d'un processus de production, de transformation ou d'utilisation, toute substance, matériau ou produit que son détenteur destine à l'abandon » (Ivamer, 2002).

La différence entre coproduits, sous-produits et déchets peut s'énoncer de la façon suivante :

- Pour un **coproduit**, la «valorisation», au sens strictement économique du terme, est totale : les coproduits disposent d'un marché et d'une cotation. Souvent, des agents économiques spécialisés, différents du producteur, interviennent pour assurer leur distribution auprès d'une véritable clientèle. Le producteur de coproduits tire bénéfice de leur vente.
- Le **sous-produit** ne connaît qu'une valorisation partielle, spécifique ou locale. Quand elle existe, la valorisation économique reste de faible valeur ajoutée, soumise aux aléas économiques, et ne permet souvent l'intervention que d'un unique opérateur intermédiaire. Le sous-produit répond à un ou plusieurs usages possibles reconnus.
- Le **déchet** correspond à une matière dont le producteur cherche, avant tout, à se défaire ou qu'il souhaite éliminer (mise en décharge, incinération, retour au sol, etc.).

I.2. Panorama des grandes familles de coproduits d'intérêt zootechnique

Le gisement des coproduits représente un total estimé de l'ordre de 60 millions de tonnes bruts, soit 25 millions de tonnes de matière sèche (MS). Si l'on exclut la paille, le gisement global tombe à 7 millions de tonnes de MS, dont 25 % sont représentés par les coproduits de la betterave sucrière (pulpe essentiellement). On s'intéresse plus particulièrement aux herbivores car le système d'élevage et le fonctionnement polygastrique de leur système digestif leur confèrent un réel avantage à valoriser des produits végétaux en l'état (Dumonthier, 1994).

I.2.1. Coproduits d'origines végétales

Dans les rations toutes végétales, l'apport protéique est souvent amené par l'ajout de tourteaux.

Le tourteau est le sous-produit solide résultant de l'extraction de la partie huileuse des grains. Les plus connus sont les tourteaux de soya et de canola. Le tourteau de soya est le plus populaire et contient entre 44 et 50% de protéines brutes (Brookes, 2000 ; Brookes, 2001). Les tourteaux sont très riches en protéines brutes, soit autour de 34,8% pour le canola et 48% pour le soya (National Research Council, 1994). Celui de soya est utilisé en plus grande quantité dans l'alimentation des mono gastriques au Québec.

Le canola est en fait le produit d'une série de sélections génétiques faite au Canada à partir d'une variété de colza (Santé Canada, 2003). Il est encore recommandé de limiter l'inclusion à 3% pour la diète des poules brunes (Canola Council of Canada, 2009).

Le blé moulu contient entre 15.3 et 16.5% de PB, dépendant du taux d'inclusion en son (National Research Council, 1994). Toutefois, celui-ci est riche en ANSP (polysaccharides

solubles non amylacés), un composé qui se lie avec l'eau et forme un gel, rendant le bol alimentaire moins digestible.

Le riz quant à lui est surtout utilisé sous la forme de gru, le son. Il contient en moyenne 12.8%) de PB (National Research Council, 1994). Sous cette forme, c'est la partie fibreuse qui est utilisée alors si son inclusion est trop haute dans la ration, il en suivra une diminution des performances.

A. Coproduits lignocellulosiques

Les pailles de céréales, de pois protéagineux, et les cannes de maïs représentent près de 90 % du gisement de coproduits exprimé en matière sèche (MS). En réalité, le tiers de ce gisement n'est pas récolté mais souvent enfoui (environ 8 millions de tonnes de pailles de céréales, la majeure partie des pailles de pois et de canne de maïs). Les pailles sont des aliments assez pauvres, qui conviennent à des animaux dont les besoins alimentaires sont modérés. Incorporés en faible quantité dans les rations, ils remplacent d'autres fourrages grossiers. En année sèche, lorsque le fourrage manque, la paille redevient un aliment recherché : lors de la sécheresse de 1976, les quantités consommées par les animaux se sont élevées à 6 millions de tonnes, contre 2 millions de tonnes en année normale. Le traitement de la paille à l'ammoniac permet d'améliorer la qualité nutritionnelle du produit et peut être une bonne solution de dépannage en année sèche, ou même s'intégrer en routine dans le système fourrager de l'éleveur. Les pailles de céréales ont surtout d'autres utilisations que l'alimentation animale : litière pour les animaux (environ la moitié de la paille produite), production d'énergie, support à la culture de champignons, etc (Dumonthier, 1994).

B. Coproduits de l'industrie sucrière

Les pulpes de betteraves sont issues de la production de sucre à partir de betteraves sucrières et représentent un tonnage de 15 millions de tonnes brutes. Signalons dès à présent qu'il s'agit d'un aliment riche en énergie, de composition régulière, recherché par les éleveurs et totalement valorisé en alimentation animale (directement ou par la fabrication d'aliments composés) (Besancenot, 2000).

C. Coproduits de la filière lait

Le lactosérum, ou «petit lait» provient de la fabrication du fromage. C'est un produit liquide (7 % de MS), riche en énergie et pauvre en azote. Il y a une trentaine d'années, l'élimination du lactosérum, agressif vis-à-vis du milieu naturel, posait des problèmes. Alors

que la production de lactosérum natif a doublé de 1964 à 1990, le taux de récupération du produit est passé, lui, de 88 à 97 %. 80 % de la production est valorisée industriellement, en alimentation animale ou humaine et, plus marginalement, en chimie et en pharmacie. Depuis une trentaine d'années, les grands groupes laitiers ont investi dans des unités de déshydratation. Avec 1 000 personnes et 2 milliards de francs de chiffre d'affaires, cette filière représente un poids considérable. La part valorisée directement en élevage, essentiellement porcin, atteint aujourd'hui environ 17 %. Signalons que le babeurre (507 000 t), coproduit obtenu après le barattage de la crème, et le lait produit au-delà du quota autorisé, peuvent également être donnés comme aliments aux porcs (Besancenot, 2000).

E. Coproduits des filières fruits et légumes

Avec environ 7 millions de tonnes produites par an, la filière fruits et légumes génère des coproduits nombreux et très divers. La grande majorité d'entre eux est théoriquement utilisable pour nourrir les ruminants, mais avec un intérêt alimentaire très variable. Par rapport aux filières précédentes, l'utilisation de ces coproduits par les ruminants est moins bien connue. IL s'agit en effet souvent de valorisations de proximité, avec un nombre restreint d'éleveurs, qui échappent aux enquêtes économiques. Les résidus laissés au champ correspondent aux parties non-consommées par l'homme (feuilles de choux-fleurs, gousses de petits pois, etc). Ces coproduits sont très partiellement valorisés en élevage. A titre d'exemple, la racine d'endives était traditionnellement utilisée dans les élevages du Nord de la France. Concentrés dans des bassins de production où l'élevage a régressé, les endiviers trouvent difficilement acquéreurs pour leurs racines (IAA, 1995).

F. Coproduits de la pomme de terre

La filière pomme de terre génère de l'ordre de 130 000 t de MS d'écarts de triage, pour la filière frais, et 70 000 t de MS de coproduits pour la filière industrie en plein développement.

Cette dernière comprend deux secteurs: la transformation pour l'industrie humaine (fabrication de purée, de chips...) et la féculerie. Il en résulte des types de coproduits très différents : pelures, pulpes crues, amidon cru, purée, etc. Ces coproduits sont recherchés par les éleveurs de bovins et de porcins et semblent assez largement valorisés en alimentation animale : soit directement du producteur à l'éleveur, soit par l'intermédiaire de négociants. Plus rarement, ils entrent dans la fabrication d'aliments composés. En année de production

exceptionnelle, des retraits peuvent être organisés par l'interprofession et, pour une partie, trouver un débouché dans les élevages (Morel d'Arleux, 1990).

G. Coproduits de la filière vitivinicole

Le marc de raisin épuisé (dont on a retiré l'alcool par distillation) n'est presque plus utilisé en alimentation animale (5 % de la production). Son intérêt alimentaire est très limité (faible digestibilité) et il est produit essentiellement dans des régions où l'élevage est peu présent. Le compost, la transformation en huile ou l'utilisation comme combustible d'appoint sont aujourd'hui les principales voies de valorisation (Ivamer, 2002).

H. Coproduits de la transformation des céréales, oléagineux et protéagineux

Ces coproduits sont souvent utilisés dans la fabrication d'aliments composés et cotés sur le marché mondial comme des matières premières à part entière. Utilisés sous forme humide ou sèche, il s'agit des tourteaux de colza, de soja, de tournesol et de lin, obtenus après extraction de l'huile ; des coproduits d'amidonnerie (corn gluten feed, etc.) ; des drêches de blé et des solubles de distillerie de maïs, obtenus lors de la production d'éthanol ; des coproduits de meunerie (son et remoulage de blé, générés lors de la fabrication de la farine) ; et des coproduits de séchage et tri des céréales (grain de maïs notamment). Notons que certains éleveurs de porcs utilisent directement ces matières premières pour fabriquer leur propre aliment (Theobald et Wiard, 1994).

II.1.1. Le cheptel et ses besoins en alimentation

II.2.1. La production fourragère, base de l'alimentation des herbivores

Les fourrages sont les productions végétales utilisées dans l'alimentation des herbivores. Au sens strict, les fourrages ne comprennent que les productions herbacées. Au sens large, on y associe des cultures annuelles comme le maïs ensilé, le chou fourrager, la betterave fourragère, etc.

Les surfaces toujours en herbe (STH) correspondent à des prairies naturelles et permanentes, sur des terres difficilement labourables.

Les prairies temporaires sont régulièrement semées par les éleveurs. Elles sont constituées de graminées, parfois associées à des légumineuses (luzerne, trèfle). Ces prairies sont pâturées au printemps et en été, et permettent également aux éleveurs de constituer des stocks pour l'hiver. L'ensilage d'herbe (conservation d'herbe hachée et tassée en silo Bache) s'est beaucoup développé depuis une vingtaine d'années car il facilite la récolte et valorise mieux

les repousses de printemps. Plus récemment, l'enrubannage (balle ronde enrobée sous un film plastique) a encore accentué la mécanisation des récoltes. Le foin, plus traditionnel, reste dominant dans Les zones de montagnes pour des raisons climatiques et topographiques.

Les fourrages annuels sont surtout constitués par le maïs ensilage (environ 1 500 000 ha) et d'autres cultures secondaires (colza, chou fourrager...). La culture du maïs ensilage est l'un des principaux éléments de l'intensification de l'élevage laitier au cours des 30 dernières années. IL représente environ 20 % de l'alimentation des herbivores et est principalement consommé par les bovins laitiers. Son haut rendement fourrager, sa richesse en énergie, et les progrès dans la mécanisation de sa culture et sa distribution expliquent notamment son succès (Besancenot, 2000).

III. Connaître et savoir utiliser les coproduits

III.1. Quelques notions d'alimentation animale

III.1.1. De l'aliment au produit final

L'activité d'élevage peut être schématisée comme une activité de transformation d'aliments en produits : lait, œufs ou muscle qui, après abattage, donnera la viande. C'est au niveau du tube digestif qu'un aliment est dégradé en éléments simples (phase de digestion). Les nutriments, seuls éléments capables de traverser la paroi du tube digestif, entrent alors dans un ensemble de processus chimiques (métabolisme) qui visent à répondre aux besoins physiologiques de l'organisme. A travers des réactions chimiques complexes, certains nutriments contribuent à la production d'énergie permettant à l'organisme d'assurer les fonctions de base (respiration, maintien d'une température interne constante...) et d'utiliser d'autres nutriments pour synthétiser de la matière vivante et développer la production de lait ou de tissus musculaires et adipeux (Dumonthier, 1994).

III.1.2. Une ration doit être équilibrée

Les animaux ont besoin d'une alimentation équilibrée en énergie, en azote et en minéraux. En pratique, un éleveur établit des rations qui doivent répondre aux besoins des animaux. Les chercheurs ont défini des unités d'alimentation qui permettent de déterminer à la fois les besoins des animaux et la valeur nutritionnelle des différents aliments : ce sont les U.F. (unités fourragères), P.D.I. (protéines digestibles dans l'intestin), énergie métabolisable, etc., Les besoins varient en fonction du niveau de production de l'animal. On parle d'animaux à besoins élevés pour les vaches laitières ou les vaches nourrices en période d'allaitement. A l'inverse, les broutards, les vaches ou les brebis taries ont des besoins faibles. Pour constituer

une ration équilibrée, les coproduits doivent être associés à d'autres aliments, comme le montrent les exemples du tableau 15.

Tableau 15 : Exemples de rations intégrant des coproduits

	(RATION OUMIDIENNE, EN KG DE PRODUIT BRUT)
VACHES LAITIÈRES PRODUISANT 20 KG DE LAIT PAR JOUR	
Pommes de terre en l'état à 20% de MS	15
Ensilage de maïs à 27% de MS	35
Paille ou foin	à volonté
Complément azoté à 42% de MAT	2,3
Carbonate de calcium	0,18
Complément minéral vitaminique type 10-20 P Ca	0,1
BREBIS DE 60 KG ALLAITANT UN AGNEAU, EN DÉBUT LACTATION	
Pulpe de tomate à 30% de MS	3,5
Foin	0,5
Paille	0,3
Céréales	0,2
Complément minéral vitaminique	0,03
PORCS À L'ENGRASSEMENT (À PARTIR DE 60 KG)	
Maïs grain	1,6
Tourteaux de soja ⁴⁸	0,45
Drêches de brasseries	1,10
Minéraux	0,07

III.1.3. La valeur nutritive d'un aliment chez les herbivores

Chaque matière première possède une valeur énergétique, exprimée chez les herbivores en Unité Fourragère (UF), et une valeur azotée (les protéines, composés essentiels de la matière vivante, constituant la principale source azotée) qui s'exprime pour l'élevage

bovin, ovin et caprin en Protéines Digestibles dans l'Intestin (PDI), et chez les équins en Matières Azotées Digestibles Cheval (MADC) (Besancenot, 2000).

- **Les UF expriment la valeur énergétique**

En fait, chez le ruminant, l'énergie est utilisée différemment par l'organisme selon qu'il y a production prépondérante de lait ou croissance et développement musculaire. C'est la raison pour laquelle un même aliment a une valeur UF lait (UFL), et une valeur UF viande (UFV). Pour les chevaux, on emploie les UFC (Unité Fourragère Cheval).

- **La MAT : l'azote total**

La MAT (matière azotée totale) exprime la quantité d'azote contenue dans chaque aliment. Elle est relativement facile à déterminer par des analyses, mais n'exprime pas la quantité de matière azotée qui peut être réellement fixée par l'animal : pour cela, on a recours au PDI.

- **Les PDI : protéines digestibles dans l'intestin ou azote utilisable**

Les PDI traduisent la quantité de protéines effectivement disponible pour l'animal. On parle de PDIA et PDIM, ou de PDIN et PDIE, ces deux dernières expressions étant les plus fréquemment employées pour caractériser un aliment. La synthèse des protéines par les micro-organismes au niveau du rumen est limitée par deux facteurs principaux. Lorsque le facteur limitant est l'azote biodégradable, la valeur azotée est dans ce cas exprimée en PDIN. Lorsqu'il s'agit de l'énergie, la valeur azotée de l'aliment est alors exprimée en PDIE. Un aliment se caractérise ainsi par ses deux valeurs PDIN et PDIE. La valeur PDIN d'une ration est la somme pondérée des PDIN apportées par chaque aliment (idem pour les PDIE). La plus faible de ces deux valeurs, PDIN ou PDIE (facteur limitant), détermine donc la valeur nutritive l'aliment.

Tableau 16 : Appréciation de la teneur en énergie et en azote d'un affinent pour bovins

	Energie (UFL/KG MS)	Matières Azotées Totales (% MS)
Pauvre	< 0,60	<12
Moyenne	0,60 À 0,80	12 À 20
Rich e	0,80 À 0,90	21 À 30
Très riche	> 0,90	> 30

UFL : Unité Fourragère Lait (quantité d'énergie nette de lactation contenue dans 1 kg d'orge de référence).

III.2. Les caractéristiques générales des coproduits et de leur utilisation

Par rapport aux aliments classiques, les coproduits présentent des particularités de composition et de disponibilité.

III.2.1. Des produits riches en eau

A quelques exceptions près (pailles de céréales, coproduits de séchage des céréales, etc.) les coproduits sont plutôt riches en eau, et donc pauvres en matière sèche. Cette faible teneur en matière sèche (de 6 à 30 %) présente plusieurs inconvénients. Parmi ces inconvénients, on peut tout d'abord citer la faible valeur nutritive du kg de produit brut. Même si cette valeur est intéressante au kilo de matière sèche, les volumes d'aliments que peuvent ingérer les animaux sont limités. De plus, le fait de véhiculer une grande quantité d'eau rend le transport sur de longues distances assez onéreux. La conservation du produit frais peut également poser problème, surtout en été, car elle est souvent limitée à 2-3 jours (certains produits comme les écarts de salade peuvent évoluer très vite). Pour une conservation plus longue, l'ensilage s'impose. Or la manutention du produit est délicate, et, de par leur structure ou leur texture, certains coproduits ne peuvent s'ensiler que sur de faibles hauteurs : 1 m à 1 m 50 (purée, pelures de pommes de terre, coproduits de conserve de haricots verts...) et ne peuvent pas être tassés avec un tracteur. Pour pallier ces inconvénients, des industriels appliquent des traitements qui permettent de réduire la teneur en eau de ces produits. Parmi ces traitements, on peut citer le surpressage, qui est pratiqué sur environ 90 % de la production de pulpes de betterave, et permet de passer de 10 (pulpes fraîches) à 20-30 % de MS (pulpes sur-pressées). On peut également citer le pressage-broyage, utilisé pour les coproduits de maïs doux, La concentration, utilisée pour le lactosérum, et enfin la déshydratation (marc de pomme, pulpe d'agrumes, pulpe de betterave, drêche de blé), qui reste un mode de traitement coûteux, et ne présente un intérêt que pour des coproduits de bonne valeur alimentaire (Ademe, 1998).

III.2.2. La transformation peut modifier la composition chimique

La composition chimique d'un coproduit dépend bien sûr des matières premières d'origine. Certains coproduits se caractérisent par une teneur élevée en cellulose (paille, cannes de maïs...), d'autres sont riches en matière grasse (pulpes de tomates), en minéraux

(lactosérum), en matières azotées (drêches de brasserie) ou en amidon (coproduits de la pomme de terre).

Des traitements chimiques peuvent être spécialement mis en œuvre pour augmenter la valeur alimentaire et la digestibilité de certains aliments, ce qui n'est pas sans intérêt pour des fourrages pauvres, comme la paille de céréales ou les cannes de maïs. Après traitement à l'ammoniac, les quantités de paille de céréales ingérées par les animaux peuvent en effet augmenter de 30 à 40 % et la teneur en MAT de cette paille peut être multipliée par trois (Dumonthier, 1994).

III.2.3. Les coproduits sont disponibles à certaines périodes

Certains coproduits sont disponibles toute l'année, avec toutefois des variations saisonnières, ce qui permet à l'éleveur de s'approvisionner régulièrement et d'utiliser le produit en frais. D'autres ne sont disponibles que sur des périodes brèves. Dans ce cas, l'éleveur peut les utiliser en l'état ou les ensiler pour reporter leur utilisation à une période qui correspond mieux aux besoins du troupeau (Besancenot, 2000).

III.3. Déterminer l'intérêt alimentaire d'un coproduit

Pour bien connaître un aliment et ses possibilités d'utilisation en alimentation animale, on doit respecter une succession d'étapes.

III.3.1 Bien le définir : le «typage»

Le typage permet de caractériser un coproduit sans confusion possible avec un autre. Pour cela, il est souvent nécessaire de préciser :

- le produit d'origine ;
- Le processus de transformation dont il est issu ;
- les composants du produit d'origine qui le constituent.

L'industrie de la pomme de terre de féculerie engendre par exemple de nombreux coproduits (crus, cuits, en purée ou en pulpe, sous forme fraîche, sur-pressée, déshydratée). On définit la pulpe sur-pressée de pomme de terre de féculerie comme «un coproduit humide, obtenu après extraction d'une grande partie de l'amidon et des protéines de la pomme de terre de féculerie, se présentant sous forme de purée crue, composée de parois cellulaires, d'amidon et de protéines résiduels» (Ivamer, 2002)..

III.3.2. Analyser la composition chimique

Dans chaque département, plusieurs laboratoires privés ou dépendant d'organismes publics réalisent des analyses. Voici quelques recommandations pour leur réalisation, et la liste des principaux critères d'analyse possibles (tableau 17).

A. Prélever un échantillon représentatif

L'échantillon, d'un poids moyen de 1 kg brut, doit être issu de plusieurs prises effectuées dans le produit à analyser et stocké dans un sac plastique à fermer hermétiquement après en avoir chassé l'air. Il convient ensuite d'identifier cet échantillon à l'aide d'une étiquette (nom de l'expéditeur, le type de produit, etc.) et de l'accompagner d'une fiche commémorative décrivant succinctement le processus dont il est issu ou d'autres informations utiles. L'échantillon peut être stocké dans un congélateur (au cas où l'on voudrait grouper les envois au laboratoire). Sinon, il doit être expédié le plus rapidement possible.

La composition du produit de base pouvant varier dans l'année, il ne faut pas hésiter à réaliser trois ou quatre analyses (Ademe, 1998).

Tableau 17 : Critères d'analyses utiles pour juger de l'intérêt alimentaire d'un aliment

CRITÈRES	RUMINANTS	CHEVAUX
MATIERE SECHE (MS)	oui	oui
MATIERES AZOTES TOTALES (MAT)	oui	oui
CELLULOSE BRUTE (CE)	oui	oui
LIGNINE (ADL)	oui	Non
MATIERE GRASSE (MG)	oui	oui
AMIDON	oui	oui
SUCRES SOLUBLES	oui	Non
CENDRES	oui	oui
CALCIUM (CA)-PHOSPHORE (P)	oui	oui
DEGRADABILITE ENZYMATIQUE 1 Heure (DE1)	oui	Non
LYSINE	non	oui
ACIDE AMINE SOUFRE (METHIONINE. CYSTINE)	non	non
ENERGIE BRUTE (EB)	oui	oui

C. Pour des déterminations plus fines

En plus des constituants précédemment cités, il peut être nécessaire de demander les analyses de certains paramètres dont les valeurs peuvent être utilisées pour la prédiction des valeurs alimentaires, notamment :

- Les constituants pariétaux (NDF, ADF, ADL) mesurés par la méthode Van Soest ;
- la fraction d'azote soluble (ruminants) ;
- certains autres acides aminés comme le tryptophane ou la thréonine;
- et enfin les macros ou micro-éléments (potassium, cuivre, sodium, soufre, aluminium soluble), surtout s'ils sont rajoutés ou utilisés dans le processus industriel.

L'analyse de la composition chimique est une étape nécessaire, mais elle ne suffit pas : il faut connaître la valeur nutritive d'un aliment pour pouvoir l'intégrer dans une ration équilibrée. On connaît déjà la valeur nutritive de plus de 40 coproduits. Si le type et la composition chimique du coproduit étudié sont proches d'un coproduit dont on connaît déjà la valeur nutritive, on peut, par analogie, approcher la valeur de cet aliment. Il est alors nécessaire de procéder à une détermination de la valeur énergétique et azotée des aliments. Le calcul de ces valeurs dans les systèmes des unités d'alimentation proposés par l'INRA de France repose sur la détermination *in vivo* ou *in situ* de certains paramètres de l'utilisation digestive des aliments. Ces méthodes «reconnues» sont cependant lourdes et coûteuses à mettre en œuvre et les paramètres correspondants peuvent éventuellement être estimés par les modèles de prédiction à partir de méthodes de laboratoire plus simples (chimiques, enzymatiques, *in vitro*, physiques...). Les valeurs ainsi prédites peuvent être différentes selon les modèles utilisés et sont généralement entachées d'une incertitude plus grande. Pour les porcs, des modèles de prédiction des valeurs énergétiques des aliments ont été mis au point (Noblet et *al.*, 1989, 1993, 1994) pour les aliments complets ainsi que pour les matières premières. Pour les ruminants, les méthodes sont présentées dans le tableau 18.

Tableau 18 : Méthodes utilisables pour déterminer la valeur nutritive d'un aliment pour les ruminants (Besancenot, 2000).

DÉTERMINATION DE LA VALEUR ÉNERGÉTIQUE
1) Mesure de la valeur Énergétique Brute (EB) à la bombe calorimétrique ou estimation à partir de La composition chimique.
2) Mesure de la digestibilité <i>in vivo</i> de la matière organique (dM0) ou estimation à partir de différents critères (par ordre de fiabilité) : <ul style="list-style-type: none">• Méthodes enzymatiques (digestibilité à la pepsine cellulase, ...).

<ul style="list-style-type: none"> • Méthodes enzymatiques (digestibilité à la pepsine cellulase, ...) • Méthodes in vitro (gaz-test, digestibilité in vitro en jus de rumen, ...). • Composition chimique dans ce cas, il est recommandé d'utiliser les modèles de prédiction les plus appropriés à l'aliment étudié.
3) Calcul de la valeur UFL et UFV pour les ruminants à partir de la composition chimique, la valeur EB et la dM0 de L'aliment
DÉTERMINATION DE LA VALEUR AZOTÉE
1) Mesure in situ de la dégradabilité théorique (DT) par la méthode des sachets de Nylon sur animaux fistules ou estimation à partir de la dégradabilité enzymatique de l'azote (DE1).
2) Calcul des valeurs PDI à partir de la teneur en MAT et des valeurs DT et dM0

III.3.3. Influence du coproduit sur les performances des animaux

Les essais zootechniques ne permettent pas de déterminer la valeur nutritive de l'aliment. Ils mesurent l'influence du coproduit sur les performances des animaux (ingestion, production de viande et de lait, composition du lait, etc.) et comparent les performances de lots d'animaux soumis à divers régimes alimentaires. Ces essais sont menés dans des établissements spécialisés (Besancenot, 2000).

Partie II

ETUDE EXPERIMENTALE

REMERCIEMENTS

Le travail qui a fait l'objet de cette thèse de Doctorat, a été réalisé au laboratoire de recherche : conservation et biodiversité végétale, Faculté des Sciences de la nature et de la vie, Université de Sidi Bel-Abbès.

Mes vifs remerciements vont :

Au Professeur H. BENHASSAINI qui m'a fait l'honneur de guider et orienter judicieusement ce travail. Son accueil toujours attentif et bienveillant, ses précieux conseils et son aide efficace ont été des encouragements décisifs pour mener à bien cette étude. Qu'il soit assuré de ma profonde gratitude et de ma reconnaissance.

Au Professeur M. BENALI, pour le grand honneur qu'il m'a fait en présidant ce jury.

Au Professeur K. BOUDEROUA, d'avoir accepté d'examiner et de juger ce travail. Je lui exprime ma gratitude et ma reconnaissance pour l'honneur qu'il m'a ainsi fait.

Au Professeur M. BELKHODJA, d'avoir accepté d'être membre du jury. Son esprit scientifique et sa compétence ont toujours suscité ma grande admiration.

Au Docteur BELMAHDI, ex directeur du centre vétérinaire de Mostaganem, pour son aide et d'avoir mis à ma disposition tous les moyens nécessaires pour mener à bien ce travail.

Au Professeur Z. MEHDADI, pour m'avoir aidé à concrétiser ce travail par son aide et ses conseils incessants.

Je remercie également tous mes collègues pour leurs encouragements durant la réalisation de ce travail.

Je remercie enfin et avec gratitude tous ceux et celles qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de cette thèse dans les meilleures conditions.

DEDICACES

Je dédie ce travail de thèse :

A la mémoire de mes chers regrettés parents

A mes frères et sœurs,

A ma petite famille (ma femme et ma fille **ABIR**),

A tous et à toutes mes ami(e)s.

Résumé

Le présent travail consiste à évaluer l'influence de l'incorporation de deux types de régimes alimentaires; l'un à base de farine de gland de chêne vert (*Quercus ilex*) seul (RI) ou en substitution partielle du gluten de maïs (RII) et l'autre, à base de légumineuses (*Ceratonia siliqua* (RIII) et *Gleditsia triacanthos* (RIV)) utilisés séparément ou combinés (RV) dans l'aliment des rats sur l'évolution pondérale, les paramètres plasmatiques, histologiques et immunochimiques. Des rats mâles de race Wistar de vingt et un jour (21) ont été élevés ensembles et alimentés avec un même régime de démarrage jusqu'à l'obtention d'un poids idéal (80 ± 5 g) ; sevrés et répartis dans des cages métaboliques à raison de cinq rats par lot. La distribution des régimes expérimentaux est effectuée au moment du sevrage jusqu'au sacrifice (60 jours). Le régime RI, montre une évolution pondérale négative et des paramètres plasmatiques non équilibrés. Par contre, l'addition du gluten de maïs à la farine de gland de chêne vert dénote une évolution pondérale avec une moyenne importante (1.5 g/j), qui reste inférieure à celle du témoin (3g/j) et des paramètres plasmatiques satisfaisants. Les régimes RIII et RIV montrent une évolution pondérale irrégulière atteignant une valeur maximale durant la sixième semaine et une chute vers la fin de l'expérimentation. Tandis que, le mélange de ces deux espèces (RV) dénote une croissance pondérale régulière qui atteint 1,7g/j en moyenne. Les rats nourris par ce régime présentent une légère hyperglycémie (134,14 mg/dl) et un taux nettement élevé de triglycérides dépassant la norme (346,26 mg/dl) au niveau du lot RIV. Un taux de glucose légèrement élevé (121,95 mg/dl) et un effet hypercholestérolémiant (247,36 mg/dl) est enregistré au niveau du lot RV.

Du point de vue histologique, aucune anomalie structurale ni fonctionnelle du foie n'est enregistrée chez les rats soumis aux régimes RT, RII et RV et ce, contrairement aux rats soumis aux régimes RI, RIII et RIV où des anomalies ont été constatées. Pour les reins et les testicules, des malformations tissulaires sont constatées avec tous les régimes à l'exception du régime témoin et le régime RII. Le taux d'albumine sérique (marqueur de la malnutrition) chez les rats témoins (RT) et ceux recevant le régime supplémenté (RII) est de 50g/l et de 47g/l respectivement. Ces valeurs sont à des taux physiologiques équilibrés, confirmant ainsi l'état nutritionnel adéquat chez ces mêmes rats.

À la lumière des résultats obtenus, il est intéressant d'entrevoir l'utilisation des produits étudiés dans le domaine de l'alimentation animale.

Mots clés : régimes alimentaires, farine de gland de chêne vert, légumineuses, évolution pondérale, paramètres plasmatiques, histologie, immunochimie, rats Wistar.

Abstract

This study is to evaluate the influence of the incorporation of two types of diet, one based on oak acorn flour (*Quercus ilex*) alone (RI) or partial substitution with the maize gluten (RII) and the other based on leguminous species (*Ceratonia siliqua* (RIII), *Gleditsia triacanthos* (IV)), use separately or combined (RV) in the food of rats on ponderal evolution, plasma and immunochemical parameters. Wistar male rats race of twenty-one days old (21) were raised together and feeded with the same reference diet until obtaining an ideal weight (80 ± 5 g); weaned and distributed in metabolic cages with five rats per batch. The distribution of the experimental diets based on fagaceae and leguminous is performed at weaning until sacrifice (60 days). The RI diet shows a negative pondered evolution with not equilibrate plasmatic parameters. However, the addition of maize gluten with the oak acorn flour show the high pondered evolution average (1.5g/day) which is less than that of the control (3g/d) and satisfied plasmatic parameters. Diets RIII and RIV, show an irregular pondered evolution reaching a maximum value during the sixth week, and decrease at the end of the experiment. In contrast, the mixture of these two species (RV) denotes a regular ponderal evolution with a significant average (1.7g/d). The Rats fed by this diet represent mild hyperglycemia (134,14mg/dl) and high levels of triglycerides above the standard (346,26mg/dl) at the level of batch RIV. A slightly elevated glucose level (121, 95 mg/dl) and an hypercholesterol effect (247,36mg/dl) is recorded in the batch receiving the RV regime.

In point of view of the histology, no structural and functional abnormality of liver is recorded in rats subjected to diets RT, RII and RV and that, unlike the rats subjected to diets RI, RIII and RIV where deficiencies have been recorded. For the kidneys and testicular, the tissues malformation are found with the all regime except the control and the RII diets. The rats receiving the supplemented regime (RIII) and the control diet (RI) respectively show a serum rate of albumin of 50g/l and of 47g/l. These securities show physiological rates normal, thus confirming the nutritional state balanced in the witness rats (RI) and the supplemented rats (RIII).

In the light of the obtained results, it is interesting to envisage the use of the studied product in the field of animal alimentation.

Keywords: pondered evolution, plasmatic parameters, immunochemistry, flour of oak acorn green, leguminous, Wistar rats, Maize gluten, albumin.

ملخص

ترتكز هذه الدراسة إلى تقديم تأثير الإدراج نوعين من النظم الغذائية (الحمية) الاولى تتكون من طحين حشفة البلوط الأخضر و RI حده أو بالاستبدال الجزئي لعلوتين الذرة (RII) والآخرى تتكون من الباقوليات (*Cerantonia Siliqua* (RIII) et *Gleditshia Triacanthos* (R IV)) المستعملة بشكل منفصل أو مجتمع (RV) في غذاء الفاران لمتابعة تغيرات الوزن، الثوابت البلازمية والمناعة الكيميائية، لقد تم تربية الفاران الذكور من سلالة وستار ذات 21 يوم بنفس النظام البدائي حتى الحصول على وزن مثالي (80 ± 5 غ) . فطمها وتوزيعها في أقفاص خاصة بمعدل 5 فارات لكل حصة. لقد تم توزيع النظام الغذائي على أساس الباقوليات ابتداء من الفطم إلى التشريح (60 يوم) بين النظام الغذائي (R 1) تغيير سلبي في تطور الوزن وثوابت بلازمية غير متوازنة. عكس إضافة الغلوتين الذرة إلى طحين حشفة البلوط الأخضر نشير إلى تغير الوزن بمعدل مهم 1.5 غ/يوم ولكي يبقى أدنى من الشاهد (RT) 3 غ/يوم وثوابت بلازمية مرضية. تبين النظم الغذائية (RIV) (R III) . تغير غير منتظم في الوزن حتى تبلغ القيمة القسوة أثناء الأسبوع السادس وتراجع في نهاية التجربة بالمقابل يشير المزيج من هذين النوعين من النباتات (RV) إلى تغيير منتظم في الوزن وبمعدل هام 1.7 غ/يوم . الفاران المتناولة للحمية (R IV) بينت ارتفاع طفيف بنسبة السكر في الدم 134.14 ملغ/دسل وقيمة مرتفعة من الترغسلين تفوق المعايير 346.26 ملغ/دسل. نسبة للغلوكوز مرتفعة قليلا 121.95 ملغ/دسل وارتفاع نسبة الكليسترول سجلت على مستوى القفص المتحصل على الحمية (R V) فيما يخص دراسة الأنسجة لم يتم تسجيل أي تشوه بنيوي وظيفي للكبد على مستوى النظم الغطائية RV II. R T.R و هذا عكس النظم الغذائية RIII.RIV.RI التي تم تنازلها من طرف الفاران أين لوحث التشوهات على مستوى الكليتين والخصيتين لوحظت تشوهات نسيجية مع جميع الحميات باستثناء الشاهد والحمية R II.RT على ضوء النتائج المتحصل عليها من الأجر استخدام المواد النباتية المتطرق إليها في هذه الدراسة في ميدان التغذية الحيوانية.

كلمة المفتاح : النظم الغذائية - طحين حشفة البلوط الأخضر- الباقوليات - تطورات الوزن - الثوابت البلازمية - علم الأنسجة - المناعة الكيميائية - فاران وستار.

LISTE DES TABLEAUX

	Pages
1 Teneurs en méthionine et lysine de quelques aliments.....	8
2 Principaux éléments affectant la qualité des fourrages	11
3 Principales essences forestières de chênes et leurs superficies (ha).....	14
4 Teneurs en cendres des glands entiers de chêne vert (en % de la MS).....	19
5 Teneurs en éléments minéraux du gland de chêne vert.....	19
5 Synthèse de la classification classique et phylogénétique du caroubier	26
7 la composition chimique des caroubes selon le pays de culture	28
8 la composition moyenne de la pulpe de caroubier	30
9 Superficie occupée par le caroubier.....	30
10 Production mondiale de caroube.....	30
11 Principaux produit de la caroube et leur utilisation majeurs.....	33
12 Utilisations de la gomme de caroube et ses applications techniques	33
13 Classification classique et phylogénétique de <i>Gleditsia triacanthos</i>	35
14 Les différents cultivars de <i>Gleditsia triacanthos</i>	39
15 Exemples de rations intégrant des coproduits.....	50
16 Appréciation de la teneur en énergie et en azote d'un affinent pour bovins.....	51
17 Critères d'analyses utiles pour juger de l'intérêt alimentaire d'un aliment.....	54
18 Méthodes utilisables pour déterminer la valeur nutritive d'un aliment pour les ruminants.....	55
19 Poids des différents organes (foie, testicules, reins) des rats soumis aux régimes RI, RII, RIII (en g du poids corporel) après 2 mois d'expérimentation.....	67
20 Poids des différents organes (foie, testicules, reins) des rats soumis aux régimes à base de légumineuses (en g du poids corporel) après 2 mois d'expérimentation.....	74
21 Concentration massique de chaque étalon et leur diamètre correspondant en mm ² ...	78

ABREVIATIONS UTILISEES

AFNOR: Association Française de Normalisation

NA : Norme Algérienne

INRA : Institut National de Recherche Agronomique

GCV : Glands de Chêne Vert

GCL : Glands de Chêne Liège

MS : Matière Sèche

PPM : Partie par million

UF : Unité fourragère

Ha : Hectare

Cal : Calorie

J : jour

FGM : Farine de gluten de maïs

R : Régime

FPC : Farine de pulpe de la caroube

Table des matières

Introduction.....	1
-------------------	---

PARTIE I : APERÇUS BIBLIOGRAPHIQUES

Chapitre I : les fourrages à base de plantes

I. Espèces de plantes fourragères.....	3
II. Mélanges fourragers	3
III. Valeur biologique des plantes fourragères.....	4
III. Ligneux Nord Africain.....	5
IV. Cas du gland de chêne vert.....	5
V. Cas des légumineuses.....	5
IV.2.1. Le caroubier.....	6
V.II.2.2. Le févier d'Amérique.....	7
V. Filières des productions animales.....	7
VI. Critères d'évaluation multi-objectifs de la valeur des fourrages.....	8
VII - Réponses des animaux aux régimes alimentaires.....	9
VIII. Choix des espèces : une question de rendement.....	10
IX. Valeur énergétique et son expression dans les unités d'alimentation.....	11
IX.1. La valeur azotée.....	12
IX.2. Les unités d'encombrement (UE).....	12

Chapitre II : Ligneux à potentiel fourrager

Le chêne vert

I- Présentation et répartition.....	14
I.1. Importance et diversité du patrimoine algérien.....	14
I.2. Classification.....	16
I.3. Dénomination vernaculaire.....	16
I.4. Biologie et écologie.....	16
II. Composition biochimique du gland.....	17
II.1. Humidité.....	17
II.2. Composés nutritionnels.....	17
II.2.1. Glucides.....	17

Introduction

Depuis que l'homme a domestiqué les animaux, leur alimentation est constituée tant de fourrages herbacés que de ligneux. Les arbres et arbustes constituent toujours une ressource fourragère non négligeable dans les régions méditerranéennes, arides, semi-arides ou encore montagneuses. Leur importance est de plus en plus reconnue dans le monde d'aujourd'hui et des travaux de plus en plus nombreux y sont consacrés dans diverses disciplines.

En Afrique du nord en général et en Algérie en particulier, le scénario est tout autre puisque depuis l'indépendance, l'exploitation de fourrages ligneux a pratiquement disparu des systèmes de production animale. Pourtant, les fourrages ligneux présentent un intérêt pour l'alimentation des animaux et la prévention de certains parasites (Vandermeulen, 2012). Leurs intérêts majeurs sont de fournir des protéines, des vitamines et souvent des éléments minéraux qui font défaut dans les pâturages herbacés pendant la saison sèche et/ou la saison froide (Lehouerou, 1995). Elles permettent ainsi de créer des réserves fourragères sur pied permettant aux troupeaux de traverser sans dommages les périodes critiques. De plus, les espèces fourragères ligneuses sont un moyen efficace de mise en valeur des terres marginales ou l'agronomie classique reste impuissante en raison des contraintes climatiques, topographiques ou édaphiques. Elles présentent divers intérêts agronomiques, écologiques, paysagers et patrimoniaux tels que la diversification des revenus pour l'agriculteur, l'abri que procurent les ligneux aux animaux contre les intempéries et leur rôle primordial dans le maintien de la biodiversité.

En raison de l'accroissement de la population mondiale et des contraintes bioclimatiques drastiques puis d'un déficit en ressources alimentaires ; la malnutrition est devenue une préoccupation majeure de la communauté internationale. Les pays du Sud et ceux en voie de développement connaissent actuellement un déficit dans la production fourragère qui impacte la malnutrition animale et par conséquent humaine. Ceci se traduit par une balance négative en termes d'apport protéique dans l'alimentation de la population. Ceci pousse nos décideurs politiques et scientifiques vers la recherche de nouveaux coproduits

naturels pouvant être utilisés dans le domaine de l'alimentation animale et d'épargner notre pays les prix exorbitants des produits naturels importés qui atteignent 40 millions de Dollars/an.

Par sa richesse et sa diversité, la flore Algérienne (autochtones et allochtones), offre énormément de possibilité dans ce domaine. Tel est le cas des espèces objet de la présente thèse et qui sont : *Quercus ilex*, *Ceratonia siliqua* et *Gleditsia triacanthos* appartenant à la famille des fagacées et des fabacées respectivement. Ces espèces occupent de vastes étendues et sont facilement accessibles. Plusieurs études ont montré l'effet positif de la qualité nutritionnelle des coproduits de plantes. Nous citons à titre d'exemple les travaux de Boudroua et Selselet –Attou (2003), sur l'utilisation du gland de chêne vert dans l'alimentation du poulet de chair sans que les performances de croissance et la composition corporelle ne soient altérées. Chellig (1992) montre que les brebis recevant la caroube (30% de son de blé et 70% de caroube entière (pulpe + graines), présentent des taux de fécondité et de prolificité comparables à ceux enregistrés par les brebis témoins (30% de son de blé et 70% d'orge). *Gleditsia triacanthos* est considérée par certains auteurs comme une plante capable de fournir de haute nutrition fourragère pour le bétail (Shadow, 2003). Il nous est donc apparu intéressant de mettre en valeur et de concevoir une nouvelle approche quant à l'utilisation des coproduits et de mettre en exergue les possibilités de leurs valorisations dans le domaine de l'alimentation animale. La présente thèse qui est une suite logique des travaux entamés lors du Magister a pour objectif d'effectuer des essais nutritionnels sur des rats Wistars soumis à différents régimes, utilisant de la farine issue des fruits des trois espèces sus-citées en analysant leurs composés biochimiques pour ensuite montrer la qualité et l'effet de ces régimes sur l'évolution pondérale, les paramètres plasmatiques et immunochimiques.

La thèse s'articule sur plusieurs volets qui sont gérés de la manière suivante :

Chapitre I : Les fourrages à base de plantes

Chapitre II : ligneux à potentiel fourrager

Chapitre III : Notions de coproduits

Chapitre IV : Matériel biologique et méthodes d'études

Chapitre V : Résultats et discussion.

Chapitre VI : Conclusion et perspectives.

Partie I

APERÇUS BIBLIOGRAPHIQUES

Chapitre I

LES

SE DE

I. Espèces de plantes fourragères

Contrairement aux cultures de maïs, de soya ou bien des quelques espèces de céréales cultivées en Europe, les plantes fourragères englobent généralement un très grand nombre d'espèces : des légumineuses, des graminées et d'autres. Cet état de fait résulte de la nature de ce que sont les plantes fourragères, dont la définition générale regroupe toutes les espèces dont les parties végétatives servent à l'alimentation des animaux. L'utilisation de différentes

espèces fourragères en Europe, et ailleurs, dépend de plusieurs facteurs reliés aux expériences, bonnes ou mauvaises, aux performances, aux traditions et à l'attrait du nouveau (Gallard et al., 1998).

II. Mélanges fourragers

Dans le cadre d'une exploitation laitière, il n'existe pas de plante qui, à elle seule, pourrait répondre de façon adéquate à tous les besoins nutritionnels des animaux. Les rations combinent différentes espèces fourragères et d'autres aliments. Les légumineuses et les graminées fourragères possèdent des caractéristiques complémentaires.

– Au niveau de l'alimentation, les légumineuses possèdent des concentrations en protéines plus élevées, de même qu'en calcium et en magnésium.

– Au niveau de la récolte et de la conservation, les graminées sont plus facilement ensilables (plus de sucres fermentescibles). Elles sont aussi plus faciles à faire sécher au champ et moins sujettes à l'effeuillage.

– Au niveau de la production de matière sèche, les légumineuses ont des rendements généralement plus élevés ; leur production est répartie plus uniformément durant la saison de végétation. Elles tolèrent mieux les températures plus chaudes de juillet et la sécheresse que les graminées qui, pour leur part, sont plus tolérantes à l'hiver et croissent plus tôt en début de saison et plus tard à l'automne.

– Au niveau agronomique, les légumineuses fixent l'azote atmosphérique. De leur côté, les graminées supportent mieux la paissance et protègent plus le sol contre l'érosion. Un mélange de graminées et de légumineuses permet ainsi de profiter des avantages de l'une et de l'autre.

Il est également avantageux au niveau de la production au champ :

– les graminées utilisent l'azote laissé dans le sol par les légumineuses ;

– les graminées, grâce au tallage, peuvent combler les espaces laissés libres par les plants de légumineuses qui n'auront pas survécu à l'hiver ;

– les racines de graminées explorent le sol surtout en surface alors que les légumineuses présentent une meilleure répartition dans leur exploration des différentes profondeurs de sol. De plus, leurs capacités d'échange cationique diffèrent : les graminées ont plus de facilité à extraire le potassium du sol alors que les légumineuses extraient le calcium et le magnésium plus facilement ;

La majorité des avantages reliés à un mélange légumineuses-graminées pour des considérations d'alimentation, de récolte et conservation, de production de matière sèche et au niveau agronomique seront obtenus en utilisant un mélange simple, c'est-à-dire une seule

espèce de légumineuses avec une seule espèce de graminées. La décision d'augmenter le nombre d'espèces dans un mélange est difficilement justifiable ; il y a très peu d'avantages supplémentaires à en obtenir. Il est erroné de croire qu'un mélange de plusieurs espèces permettra d'obtenir un bon rendement dans toutes les conditions (Gallard et *al.*, 1998).

Les cultures fourragères peuvent être classées comme temporaires ou permanentes. Les premières sont pratiquées et récoltées comme n'importe quelle autre culture. Les cultures fourragères permanentes correspondent à des terres occupées en permanence (c'est-à-dire pendant cinq ans ou plus) par des plantes fourragères herbacées, qu'elles soient cultivées ou sauvages (prairies sauvages ou terres de pacage), et peuvent comprendre certaines parties de terres forestières si elles sont utilisées comme pâturages (webmaster 1).

III. Valeur biologique des plantes fourragères

Les arbres et les arbustes participent à l'entretien aussi bien des animaux domestiques que des troupeaux transhumants. Les feuilles sont les parties les plus consommées des ligneux. Elles peuvent être utilisées vertes ou sèches en fonction de la période de l'année. Les fleurs et les fruits de certaines espèces sont aussi utilisés dans l'alimentation du bétail. Ces ligneux entretiennent ainsi la quasi-totalité des troupeaux, surtout ceux des petits ruminants par leurs feuillages, fleurs et fruits particulièrement en saison sèche. Dans la zone du sahel, plusieurs espèces sont appréciées par le bétail dont la plupart des individus du genre *Acacia* (*Acacia macrostachya*, *Acacia seyal*, etc). Cela montre que les ligneux interviennent de façon particulière dans l'affouragement des animaux notamment pendant la saison sèche, puisque plus de 75% des arbres et arbustes de l'Afrique de l'Ouest sont fourragers (Kabore-Zoungrouna, 1995).

IV. Ligneux Nord Africain

IV.1. Cas du gland de chêne vert

La valeur protéique d'un aliment correspond à son aptitude à satisfaire les besoins du consommateur en azote et en acides aminés, à assurer une croissance et un entretien convenables. Cette aptitude dépend de la teneur et de la qualité des protéines ainsi que la disponibilité des acides aminés (Cheftel et *al.*, 1992).

Une étude comparative a permis de classer les protéines du gland de chêne vert par rapport aux céréales. Elle montre que ces deux produits présentent une valeur biologique semblable (Belarbi, 1990).

Plusieurs auteurs rapportent la possibilité d'utilisation du gland et de sa farine en matière d'alimentation humaine (Fiestaros de Ursinos *et al.*, 1969 ; Timenez *et al.*, 1977). Les glands crus décortiqués sont consommés par la population algérienne et marocaine. La farine de gland est utilisée par les gens de Tazrout (Cherchell) (INRF, 1988) et aussi par ceux de Montados au Portugal pour fabriquer du pain (Boudy, 1955).

D'autre part, Afraitane (1990) rapporte que le gland constitue une grande source nutritionnelle pour beaucoup d'animaux (mouton, bœufs, oies, dindons et volailles). Sa valeur alimentaire serait comparable à un mélange de maïs et d'avoine. A partir de la farine de gland, on extrait de l'huile comestible et les tourteaux obtenus servent à la nutrition animale. Selon Boudroua et Selselet (2003), le régime à base de gland de chêne vert a un effet inhibiteur sur la croissance des poulets avec une augmentation du taux de matière grasse abdominale.

L'engraissement des porcs et des brebis représente un complément important de l'exploitation des chênes (Murray *et al.*, 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, de la fin d'octobre à la fin janvier ou début d'octobre à la fin décembre. Les résultats montrent qu'un porc pesant 45kg s'engraisse fortement pour peser 105 à 120kg après trois mois (Murray et Fowler, 1965)

IV.2. Cas des légumineuses

Une augmentation de l'utilisation et de consommation de légumes est indispensable pour réduire l'incidence des carences nutritionnelles. Ces espèces par leurs teneurs en nutriments, leurs activités antioxydantes et leurs caractères agronomiques occupent une place prépondérante parmi les végétaux à potentiel nutritionnel.

De nombreuses études s'accordent sur l'effet sanitaire protecteur des légumineuses (Jeannequin *et al.* (2005). Citons à titre d'exemple, la réduction de risque de certains cancers, le rôle dans la digestion "élimination des toxines, la régulation de la tension artérielle, le ralentissement de la perte de calcium sur le statut osseux, la lutte contre le vieillissement et l'équilibre pondéral, richesse en fibres, vitamines et minéraux.

D'autres études ont montré que la consommation régulière de légumineuse comme le niébé permet de combattre l'obésité dans la mesure où ces dernières procurent un sentiment de satiété, contribuer à une réduction du taux de triglycérides et du cholestérol dans le sérum

et augmenter l'apport en fibres, en protéines, en acide folique, vitamine C et éléments minéraux (Calcium, Sodium, Fer, Zinc, Potassium) (Ordonnier, 2009 in Amari, 2014).

IV.2.1. Le caroubier

Le fruit du caroubier (*Ceratonia siliqua* L.) est abondamment utilisés en alimentation humaine comme en alimentation animale, cependant, la pulpe n'a presque d'emploi que pour les ruminants. La pulpe de caroube, produit autochtone, se caractérise par son prix d'achat raisonnable, son pouvoir énergétique élevée du à sa richesse en sucres hydrosolubles, et par sa faible teneur en protéines dont les graines en sont plus pourvues. Elle peut servir dans l'engraissement des agneaux. La caroube entière (pulpe et graine), elle pourrait constituer un concentré énergétique alternatif à l'orge et aux céréales souvent utilisée mais importée (Mebirouk-Boudechiche et *al.*, 2014). Le caroubier a été utilisé dans l'alimentation humaine et animale pendant des siècles. Aujourd'hui, il est principalement exploité pour la fabrication de la gomme de caroube (additif alimentaire E-410). Pendant le processus d'extraction de la gomme, quelques sous-produits comme la farine de germes ou la pulpe sont obtenus. La farine de germes est très riche en protéines (50%) et principalement utilisée dans les aliments pour les enfants. La pulpe est très utilisée soit comme aliment diététique, soit comme remplaçant du chocolat, soit encore en alimentation animale. Elle est très riche en sucres (40-60%) en particulier, saccharose (27-40%), fructose (3-8%) et glucose (3-5%) mais pauvre en lipides (0,4-0,6%) ou protéines (2-6% ; Leroy, 1929 ; Avallone et *al.*, 1997). Par ailleurs, la pulpe présente également une teneur très élevée en fibres (27-50%) et une quantité non négligeable de tanins (Saura-Calixto, 1988). Assez souvent, la pulpe est toastée et broyée donnant une poudre de couleur marron à arôme de chocolat (farine de caroube; FPC). À part son utilisation en alimentation humaine, celle-ci semble particulièrement adaptée à l'alimentation du porc. Le remplacement du dextrose, de la poudre de lait ou des céréales par de la FPC permet d'obtenir des performances de croissance similaires chez le porcelet (Piva et *al.* 1978; Santi et *al.*, 1987) aussi bien que chez le porc en croissance-finition (Lanza et *al.*, 1983). Les sucres apportés par la FPC contribuent très probablement à la palatabilité des régimes et aucun effet antinutritionnel des tanins sur les paramètres mesurés n'est observé. Les tanins de la caroube présentent d'importantes propriétés anti-diarrhéiques (Würsch, 1987) et sont largement utilisés dans le combat des diarrhées chez l'enfant (Loeb et *al.* 1989).

IV.2.2. Le févier d'Amérique

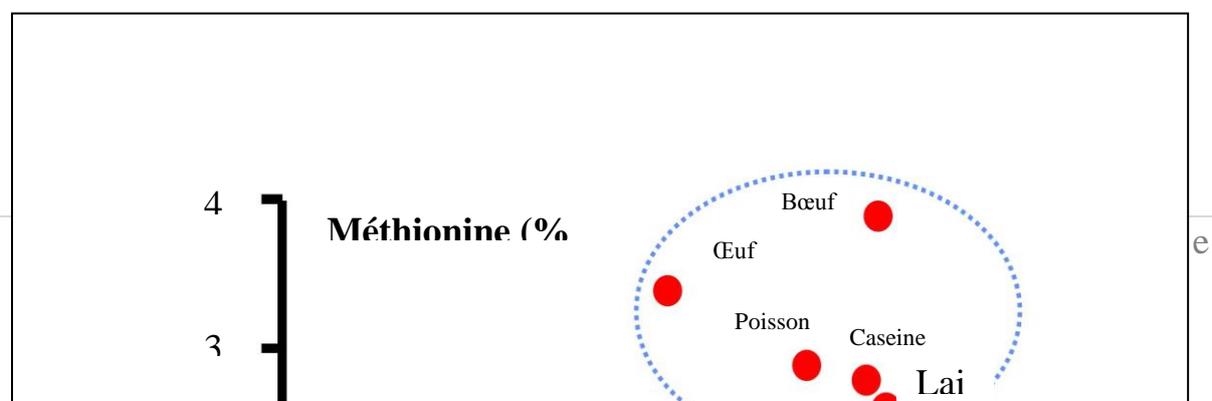
Les cultivars de *G. triacanthos* sont plantés pour former des haies brise-vent, ou pour fournir un aliment de haute valeur nutritionnelle fourragère pour le bétail. Ses gousses sont riches en sucres et sont appréciés par les personnes et le bétail. Le bois est tendre, mais peut être utilisé en menuiserie (Sanchez et *al.*, 2010). Cette espèce peut être aussi utilisée dans le contrôle de l'érosion, ou elle est actuellement testée dans plusieurs zones tempérées, méditerranéennes et tropicales des régions montagneuses du monde.

Dans le domaine médical, la pulpe du fruit est utilisée pour les maladies pulmonaires. Le thé d'écorce traite la coqueluche. Le genre *Gleditsia* comprend 14 espèces d'arbres à feuilles caduques qui peut atteindre une hauteur de 20-30 m (Huxley et *al.*, 1992). Les fruits et les épines sont utilisés pour le traitement de l'apoplexie, les maux de tête, les toux productives, l'asthme et les maladies de peau suppurées (Zhong Yao Da Ci Dian, 1979). Il a été rapporté que les extraits de graines de *Gleditsia* peuvent être utilisés en tant que source naturelle de composés phénoliques et des antioxydants. les extraits de la plante *Gleditsia* possèdent aussi des activités pharmacologiques importantes dans le traitement de la polyarthrite rhumatoïde, comme anti-mutagènes, anti-cancer. ils ont une activité cytotoxique significative contre différent lignées cellulaires (Miguel et *al.*, 2010).

V. Filières des productions animales

La production animale correspond à une activité de transformation de ressources alimentaires, qui sont pour la plupart des végétaux non valorisables directement par l'homme, en produits animaux qui se caractérisent par des valeurs nutritives énergétique et surtout azotée élevées pour l'homme. Ainsi, les protéines des produits animaux contiennent de 30 à 40% d'acides aminés essentiels alors que la plupart des protéines végétales en contiennent moins de 30, voire de 20 % (Tableau 1). L'avancée des connaissances scientifiques, de l'accumulation des observations de terrain et de la résolution des problèmes rencontrés ont permis une rationalisation croissante des pratiques alimentaires. C'est dans ce contexte qu'est née la zootechnie définie comme l'interaction de plusieurs sciences appliquées et techniques (nutrition, génétique, reproduction, pathologie...) en vue d'améliorer les conditions et la rentabilité des activités d'élevage (Sauvant, 2005).

Tableau 1 : Teneurs en méthionine et lysine de quelques aliments (Sauvant, 2005)



VI. Critères d'évaluation multi-objectifs de la valeur des fourrages

Les questions relatives à l'impact de l'alimentation sur la santé animale, la qualité des produits animaux et les rejets émis dans l'environnement doivent être prises en compte dans l'évaluation des fourrages.

Mieux connaître la cinétique de dégradation des aliments dans le rumen est nécessaire pour aller vers une meilleure prévision des flux d'ingestion et de digestion chez le ruminant. En effet cette cinétique conditionne, d'une part, le temps de séjour des aliments dans le rumen et donc leur digestibilité et, d'autre part, l'orientation des fermentations et donc les risques d'acidose ruminale, l'équilibre des nutriments absorbés, voire les rejets de méthane par l'animal. Ainsi, Peyraud (2000) a montré que la quantité de matière sèche dégradée dans le rumen au bout de 4 heures de présence était étroitement liée au temps pendant lequel le pH ruminal est inférieur à une valeur de 6 qui est un critère caractérisant le risque d'acidose. Les paramètres de la cinétique de dégradation ont déjà été caractérisés pour les principaux aliments concentrés utilisés dans l'alimentation des ruminants (INRA-AFZ, 2002). La compilation des nombreuses données de cinétiques de dégradation dans le rumen des fourrages devrait permettre de caractériser les paramètres de leur dégradation par grande classe de fourrages et de proposer une prévision de ces paramètres à partir de l'analyse de la composition chimique. Par ailleurs, l'étude des **effets associatifs** sur la digestion et l'ingestion entre constituants des plantes fourragères, en particulier les métabolites secondaires, constitue une piste pour rechercher des associations fourragères permettant une meilleure valorisation par les animaux et réduction des rejets (Niderkorn et Baumont, 2009).

VII - Réponses des animaux aux régimes alimentaires

Il faut pouvoir comprendre et connaître les réponses des animaux à ces pratiques alimentaires. Ces réponses des animaux aux régimes alimentaires se déclinent en termes d'efficacité de la transformation, de qualité des produits, d'impact sur l'environnement, sur le bien-être et la santé des animaux (Figure 1). Par exemple, la question se pose de savoir quelle quantité d'aliments concentrés doit être apportée aux vaches laitières. Compte tenu de

l'ancienneté de cette question, il est possible de trouver dans la littérature scientifique bon nombre d'expérimentations dans lesquelles l'apport de concentré représentait le facteur étudié. Un rassemblement et un traitement statistique adapté (méta-analyse) de ces données indiquent qu'un accroissement de l'apport de concentré à des vaches laitières se traduit simultanément par une baisse de l'ingestion du fourrage et du taux butyreux du lait et une augmentation de l'ingestion de l'ensemble de la ration, de la production du lait et de sa teneur en protéines et en lactose. Ces aspects représentent un exemple de réponses multiples à une pratique alimentaire. Cette façon de considérer les réponses multiples des animaux/troupeaux aux pratiques/systèmes alimentaires constitue le nouveau paradigme de l'alimentation animale (Baumont et *al.* 2007a).

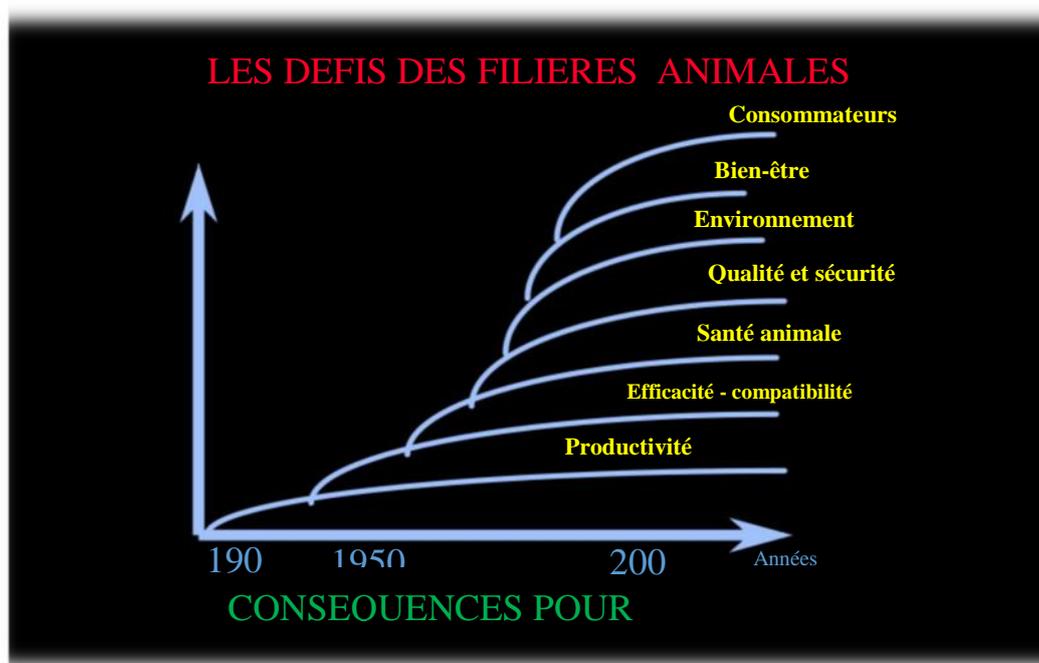


Figure 1: déficit et contraintes des filières animales (D. Sauvant, 2005).

VIII. Choix des espèces : une question de rendement

La plupart des agriculteurs aimeraient bien connaître la recette magique leur indiquant l'espèce à semer afin de récolter un maximum de fourrages. Malheureusement, les choses ne

sont pas si simples. Du point de vue des herbivores, ce qui compte est d'offrir un fourrage appétant, contenant tous les nutriments essentiels au bon fonctionnement du rumen (fibres,

Facteur de qualité	Importance relative (%)
Maturité	50
Composants anti-nutritionnels	15
Récolte & entreposage	15
Climat	10
Fertilité du sol	5
Espèce/cultivar	3
Autres	2

énergie, protéines et minéraux) et à la production du lait et de viande. De fait, si on évalue la qualité du fourrage sans tenir compte du rendement, la maturité représente le facteur le plus important dans la détermination de la valeur alimentaire (tableau 2). En conséquence, le producteur averti adoptera un plan de culture comprenant des espèces qui atteignent la maturité à des dates différentes. Cela lui permettra d'allonger la période propice à la récolte, tout en tenant compte des autres facteurs tels que le rendement, le type de sol et le climat ainsi que le système d'entreposage utilisé. Si ce même producteur opte pour l'ensilage, il devra également tenir compte de l'ensilabilité des plantes choisies.

Tableau 2 : Principaux éléments affectant la qualité des fourrages Source : Cherney et Cherney, 1993

IX. Valeur énergétique et son expression dans les unités d'alimentation

La valeur énergétique des fourrages s'exprime par leur teneur en énergie nette dans le

système des unités fourragères (UFL, UFV). Le principal facteur de variation de la teneur en énergie nette des aliments est la digestibilité de l'énergie brute qu'ils contiennent et qui est très étroitement liée à la digestibilité de la matière organique. Ainsi que nous l'avons rappelé récemment (Baumont *et al.*, 2008), la dMO d'une plante fourragère dépend essentiellement de sa teneur en parois végétales et de leur digestibilité. En effet, la digestibilité des constituants intracellulaires est totale (sucres, fructosanes) ou très élevée (lipides, matières azotées), alors que celle des parois cellulaires varie entre 40 et 90% selon qu'elles sont plus ou moins incrustées de lignine. Ce raisonnement s'applique également aux céréales fourragères, puisque la digestibilité du grain est très élevée et constante (85%). Des liaisons très étroites ont pu être établies d'une part pour le maïs (Andrieu *et al.*, 1993) et d'autre part pour les graminées et les légumineuses fourragères (Baumont *et al.*, 2007a) entre la quantité de parois indigestibles présentes dans un fourrage et sa digestibilité et, par conséquent, sa valeur énergétique. Quelle que soit la famille de la plante fourragère, une augmentation de la teneur en parois indigestibles de 10 g/kg de MS entraîne une diminution de la digestibilité de 1 point et de la valeur UFL de 0,02 unité. Rappelons que la teneur en parois végétales augmente avec la croissance de la plante, et que la digestibilité des parois diminue avec le vieillissement des tissus (Duru *et al.*, 2008). On comprend donc aisément la diminution de la valeur énergétique avec l'âge de la plante ou le stade de végétation au cours des cycles reproducteurs. Lente tant que la plante est végétative, la diminution de la valeur énergétique s'accélère pour les graminées à partir de la montaison. Elle est plus linéaire pour les légumineuses. Pour les céréales comme le maïs, l'enrichissement de la plante en grain et donc en amidon vient compenser la diminution de la digestibilité des tiges et des feuilles. En conséquence, la valeur énergétique du maïs augmente légèrement avec le stade de végétation à la récolte.

IX.1. La valeur azotée

La **valeur azotée** des fourrages s'exprime par leur teneur en protéines digestibles dans l'intestin (PDI) afin d'intégrer les remaniements importants des protéines dans le rumen. On distingue la valeur PDIN qui représente la valeur PDI de l'aliment s'il est inclus dans une ration déficitaire en azote dégradable, et la valeur PDIE qui représente la valeur PDI s'il est inclus dans une ration où l'énergie est le facteur limitant des synthèses microbiennes. La valeur PDIN est directement liée à la teneur en matières azotées dégradables dans le rumen et même plus simplement à la teneur en MAT ; la valeur PDIE est liée à la digestibilité. Les fourrages dont la teneur en MAT dégradables est inférieure à 100 g/kg, ce qui correspond à une teneur en MAT de l'ordre de 130 g/kg, sont généralement déficitaires en PDIN par

rapport à leur valeur PDIE. C'est le cas des graminées récoltées à un stade tardif ou peu fertilisées et du maïs. En revanche, les graminées exploitées à un stade précoce et plus encore les légumineuses sont excédentaires en PDIN par rapport à leur valeur PDIE. Pour les graminées et les légumineuses fourragères, la valeur azotée augmente avec la valeur énergétique. A même valeur énergétique, les légumineuses ont une valeur azotée supérieure à celle des graminées, particulièrement en PDIN, du fait de leur teneur en MAT plus élevée. A l'inverse, la valeur azotée du maïs est plus faible, en particulier pour la valeur PDIN, du fait de sa faible teneur en MAT (Andrieu *et al.*, 1993).

IX.2. Les unités d'encombrement (UE)

Elles expriment l'ingestibilité des fourrages, c'est-à-dire leur capacité à être ingérés en plus ou moins grande quantité lorsqu'ils sont distribués à volonté. Plus un fourrage est encombrant, moins il est ingestible. L'encombrement d'un fourrage est proportionnel à son temps de séjour dans le rumen qui dépend du temps nécessaire à sa digestion par les micro-organismes et à sa réduction en petites particules pouvant être évacuées dans la suite du tube digestif. Ce temps de séjour est lié à la teneur en parois végétales du fourrage (Baumont *et al.*, 2000) et la valeur d'encombrement des fourrages augmente avec celle-ci. Au sein d'une même famille botanique, la valeur d'encombrement est négativement liée à la valeur énergétique car les fourrages de valeur énergétique élevée ont des teneurs en parois végétales faibles. Ainsi, les fourrages dont la valeur UFL est supérieure à 0,9 sont également très ingestibles et leur densité énergétique (UF/UE) est élevée ($> 0,9$). A même valeur énergétique, les légumineuses sont moins encombrantes que les graminées car leur teneur en parois végétales est plus faible. Toutes choses égales par ailleurs, la valeur d'encombrement d'un fourrage dépend aussi de sa teneur en matière sèche, l'ingestibilité augmentant avec celle-ci. Cela a été montré pour les fourrages verts (Cabrera *et al.* 2004) et c'est ce qui peut expliquer la variation relativement importante de l'ingestibilité du maïs avec sa teneur en matière sèche à la récolte alors que la valeur énergétique varie peu.

Pour les **éléments minéraux majeurs**, phosphore (P), calcium (Ca), magnésium (Mg), potassium (K), sodium (Na) et chlore (Cl), les besoins des animaux et l'apport alimentaire s'expriment désormais en **éléments absorbables**, notion qui recouvre la teneur en éléments minéraux (résultat de l'analyse) et le coefficient d'absorption réelle (CAR), la valeur minérale d'un fourrage résultant du produit des deux (Meschy, 2007). Des valeurs de CAR sont désormais affectées aux aliments. Selon les éléments minéraux, la quantité de données expérimentales disponible autorise une plus ou moins grande précision ; ainsi, pour le

phosphore, les valeurs de CAR varient selon la famille botanique et le mode de conservation du fourrage alors que, pour le calcium, seul l'effet de la famille botanique a pu être pris en compte. La **teneur minérale des fourrages** varie fortement avec la famille botanique. La liaison positive avec la valeur énergétique pour le phosphore traduit les effets du stade de végétation. Les valeurs de CAR du magnésium ne sont pas disponibles car elles sont fortement et négativement liées à la teneur en potassium de la ration ; pour cette raison, une correction globale basée sur la teneur en K de la ration totale a été proposée (Meschy et Corrias, 2005). Pour les électrolytes (K, Na et Cl), le CAR est toujours élevé et varie peu, et la valeur unique de 90% a été adoptée ; les valeurs en électrolytes absorbables ne figurent pas dans les tables 2007. Les teneurs en oligoéléments, qui ont également été actualisées, sont toujours exprimées comme les besoins des animaux en concentrations brutes.

Chapitre II

LIGNEUX A POTENTIEL

FORMES

LE CHÊNE VERT



I- Présentation et répartition

Le chêne pousse naturellement dans les endroits chauds et ensoleillés, on le trouve dans le sud de la France, en Espagne, au Portugal, en Italie, en Grèce, en Tunisie et même en Inde (Boudy, 1950).

Les forêts de chêne en Algérie sont situées au centre et à l'Est du pays compte tenu des conditions climatiques favorables et aux altitudes convenables. Les plus importantes chênaies sont localisées dans les régions de Tiaret, Freneda et Saïda. Ces chênaies font suite aux vieilles futaies de la région de Tlemcen.

En Kabylie, le chêne vert (*Quercus ilex*) est toujours associé au chêne liège (*Quercus suber*), jusqu'à une altitude de 800m. A l'est du pays, l'espèce est représentée par des taillis dégradés en voie de régression (Boudy, 1950).

Sur les plateaux constantinois et dans les Aurès, *Quercus ilex* est rencontré le plus souvent en association avec le pin d'Alep (Boudy, 1955). Selon Kazi Aoul (1982), la plupart des botanistes admettent que *Quercus ilex* de la variété ballotta est l'espèce la plus retrouvée en Algérie (Carte 1).

I.1. Importance et diversité du patrimoine algérien

Actuellement, le couvert forestier global en Algérie est de 4,15 millions ha, mais seuls 1,3 millions représentent la vraie forêt naturelle, le reste étant

constitué par les reboisements, les maquis, les garrigues, les matorrals ou des terres improductives aux potentialités forestières (khlefi, 2002).

Sur la base des différents travaux de (Boudy, 1955) les superficies des principales essences forestières de chêne sont mentionnées sur le tableau 3 (Khelifi, 2002).

Tableau 3 : Principales essences forestières de chênes et leurs superficies (ha).

Essence forestière	1955	1985	1997	2000	2002
Chêne liège	426.000	440.000	463.000	229.000	358.048
Chêne vert	679.000	680.000	354.000	219.000	433.312
Chêne Zen et Afares	-	67.000	65.000	48.000	47.286

Les chênes représentent une essence remarquable, ils sont considérés à la fois comme des arbres forestiers industriels et Fruitiers. Si les potentialités des chênaies algériennes sont diversifiées et occupant d'importantes superficies (tableau 3), leur mise en valeur et leur exploitation sont loin d'être rationnelles et satisfaisantes car il ressort des enquêtes menées à ce sujet que l'Algérie est loin de tirer la meilleure partie de ces chênaies (INRF, 1998).

CARTE 1 : LES PRINCIPAUX GROUPEMENTS DE CHENE (QUERCUS)



I.2. Classification

Régne : Plantae

S/régné : tracheobionta ou plantes vasculaires.

Enbranchement : Magnoliophyta ou spermaphytes Angiospermes.

Classe : Magnoliopsida ou dicotyledones.

S/Classe : Hamamélidae.

Ordre : Fagales.

Famille : Fagacéae.

Genre : Quercus.

Espèce : *Quercus ilex* (Quezel et santa, 1963).

I.3. Dénomination vernaculaire

Le Chêne vert (*Quercus ilex* L.) prend le nom vernaculaire ci-dessous et ce, selon le pays dans lequel on le trouve:

« Encina » en Espagnol.

« Azembeira » en Portugal.

« Holm Oak » en Anglais.

« Prinas » en Grec.

« Leccio » en Italie.

« Herroch » en Berbère.

« Steineiche » en Allemand.

« Ballout » en Arabe, (Kazi Aoul, 1982)

I.4. Biologie et écologie

Le chêne vert (*Quercus ilex*) de la variété ballotta est une espèce de la famille des Fagacées (Crété, 1965), caractérisée par des feuilles persistantes et coriaces lui permettant de s'adapter à la sécheresse (Patrick, 1999 ; Marcel, 2002) (figure3). Son fruit est un gland, de forme ovoïde, comestible et poussant à l'état spontané (Belarbi, 1990). C'est un végétale autotrophe par photosynthèse chlorophyllienne, la pollinisation est assurée par le vent (espèce aménogame) et les insectes (espèce entomogame), la dissémination des semences (glands) se fait par les animaux (Zoochorie).

Le chêne vert est une espèce robuste qui s'accommode aux conditions écologiques les plus variées et est très plastique (Plaisance, 1978). C'est un arbre typiquement méditerranéen, de soleil (espèce héliophile) de lumière et de chaleur (thermophile), qui résiste à la sécheresse de l'été (xérophile). Il est capable de croître sur les sols calcaires arides. Il pousse aussi sur les sols siliceux, peu pyrophile, il résiste au feu et repousse de souches après incendie ou aux coupes, sa croissance est lente. Son bois est un excellent bois de chauffage (webmaster 2). 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).



Figure 2: Fruit du gland de

II. Composition biochimique du gland

II.1. Humidité

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%,

toutefois selon Natividade (1955), le gland doux décortiqué renferme une teneur d'environ 36%.

II.2. Composés nutritionnels

II.2.1. Glucides

Les glucides constituent le groupe le plus important des substances entrant dans la composition chimique des végétaux. Comme l'eau, ils sont indispensables à la vie végétale. Ils constituent donc des substances de réserve comme 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 (Kekos et Kaukios, 1985).

II.2.2. Teneur en fractions glucidiques

II.2.2.1 Teneur en amidon

Selon les données de certains auteurs (Leclercq *et al.*, 1984 ; Picollo *et al.*, 1983 et Kekos et Koukios, 1985), il ressort que la farine du gland est un aliment énergétique par excellence, riche en amidon. Selon Boudroua (1994), la plupart des auteurs notent que la teneur en cellulose brute ne dépasse guère 3% de la matière sèche. Les valeurs obtenues par certains auteurs montrent que les glands de chêne vert renferment un taux élevé en saccharose lui conférant ainsi un goût appréciable (Belarbi, 1990).

II.2.3. Matières azotées

II.2.3.1. Protéines totales

D'une façon générale, le taux de matières azotées dans la farine du gland de chêne vert est faible, elle est l'ordre de 4 à 5% (Boudroua, 1994).

a) Acides aminés

Les acides glutamiques et aspartique sont prépondérants et représentent respectivement 13,5% et 10,93% dans les protéines totales, alors que la

méthionine est l'acide aminé limitant, sa valeur est estimée à 2% en moyenne (Belarbi, 1990).

b) Valeur biologique

La valeur protéique d'un aliment correspond à son aptitude à satisfaire les besoins du consommateur en azote et en acides aminés, à assurer une croissance et un entretien convenables. Cette aptitude dépend de la teneur et de la qualité des protéines ainsi que la disponibilité des acides aminés (Cheftel et *al.*, 1992).

Une étude comparative a permis de classer les protéines du gland de chêne vert par rapport aux céréales. Elle montre que ces deux produits présentent une valeur biologique semblable (Belarbi, 1990).

II.2.4. Les lipides

Les lipides alimentaires présentent 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 (ex: acide linoléique) que l'organisme ne peut synthétiser, des vitamines liposolubles (Afratane, 1990). La majorité des acide gras dans le gland est représentée par l'acide oléique (66,8%), l'acide palmitique (18,4%), l'acide linoléique (13,5%) et seulement 0,6% d'acide linoléique comparé à 0,9% dans les grains de céréales.

II.2.4.1. Les matières grasse totales

Les teneurs en matières grasses du gland de chêne rapportées par les littératures sont très variables, de 4,50% à 14,7% (Picollo et *al.*, 1983 ; Buron Arias, 1976). D'une façon générale, le gland de chêne vert est plus riche en lipides totaux par rapport aux autres espèces de chêne (Ferrao et *al.*, 1988).

II.2.5. Matière minérale

Plusieurs auteurs notent que le gland de chêne renferme de faibles teneurs en cendres, environ 2% de la matière sèche (tableau 4) (Buron Arias, 1976).

Tableau 4 : Teneurs en cendres des glands entiers de chêne vert (en % de la MS)

Cendres	Sources
1,20	Feriera et Vieira (1966)
2,02	Picollo <i>et al.</i> (1983)
2,25	Afraitane (1990)
1,92	Belarbi (1990)
1,65	Bouderoua (1995)

Le potassium est l'élément dominant dans le gland 1,19 % de la matière sèche en moyenne (Picollo *et al.* 1983). Par contre, le calcium et le phosphore sont présents en faibles quantités (Belarbi, 2003). Comparé au maïs, le gland renferme plus de calcium et de potassium, mais demeure pauvre en magnésium et en phosphore (Picollo *et al.*, 1983) (tableau 5).

Tableau 5 : Teneurs en éléments minéraux du gland de chêne vert

Eléments minéraux	Chêne vert	Maïs	
Ca	0,07 (%MS)	0,01(%MS)	0,01(%MS)
Mg	0,05 (%MS)	0,13 (%MS)	0,15(%MS)
P	0,10 (%MS)	0,31 (%MS)	0,31 (%MS)
Na	0,05 (%MS)	0,01 (%MS)	0,05 (%MS)
K	1,19 (%MS)	0,38 (%MS)	0,38 (%MS)
Zn	11,49 (PPM)	Ind	29 (mg /kg)
Cu	6,76 (PPM)	Ind	03 (mg /kg)
Fe	24,6 (PPM)	Ind	30 (mg /kg)
Mn	13,24 (PPM)	Ind	04 (mg / kg)
Sources	Picollo <i>et al.</i> (1983)	Larbier et Leclercq (1992)	Steven et Summers (1991)

II.3.

Composés antinutritionnels

Des substances naturelles de toute nature inhibent d'une façon ou d'une autre l'utilisation digestive ou métabolique des nutriments, tandis que d'autres éléments ont la propriété de dégrader et de détruire des nutriments par voie

chimique ou enzymatique. L'ensemble de ces substances naturelles est réuni sous l'appellation de facteurs antinutritionnels (Adrian et *al.* 1998).

II.3.1. Les polyphénols

Ils sont largement distribués dans les végétaux, ils ne sont pas directement impliqués dans le processus métabolique et ils sont considérés comme des métabolites secondaires. Se sont principalement des acides phénoliques libres ou liés sous formes d'esters. Les flavonoides dérivés des polyphénols monomères (flavane 4-ol) appelés aussi anthocyanidine et les tannins sont des polymères résultant de la condensation des flavanes 3-ol (Crevieu et Gabriel, 1999).

II.3.1.1. Les tannins

Les tannins sont des substances qui entrent dans la texture des parois cellulaires. 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.

Les tannins se rencontrent dans les feuilles, les fruits, les écorces et le bois de la plupart des chênes (Cheftel, 1992; Scalbert et *al.*, 1988).

II.3.1.2. Les phytates

Ils constituent la forme de réserve du phosphore de la plante, ils représentent 0,5% à 3,4 % de matière sèche des principales matières végétales utilisées en alimentation, on le dénomme l'ionisatol hexaphosphorique ($C_6H_{18}O_{24}P_6$) (Crevieu, 1999).

Les phytates ont des propriétés chélatantes et forment des complexes avec les minéraux et les protéines. La plupart des complexes phytates-métal sont insolubles au pH physiologique et rendent par conséquent plusieurs minéraux biologiquement indisponibles pour les animaux monogastriques et les humains. Les phytates ont un effet sur la protéolyse *in vitro*, cet effet pouvant être inhibiteur (Knuckle et *al.*, 1989).

L'excès de phytates peut affecter l'utilisation du calcium, du fer, du magnésium et du Zinc, rendant ainsi carencée une ration qui paraissait être convenable (Lepen et Adrian, 1985)

III. Facteurs de variation de la composition chimique du gland de chêne

Parmi les facteurs de variations qui ont une influence remarquable sur la composition chimique du gland, on cite souvent l'espèce, le stade de développement et la méthode de conservation.

III.1. L'espèce

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

III.2. La croissance et maturité du gland

Pour toutes les espèces, c'est durant la fin d'Août que le gland accumule les hydrates de carbone d'une façon spectaculaire alors qu'en parallèle son taux d'humidité diminue. Plusieurs auteurs s'accordent à confirmer que le niveau d'hydrates de carbone reste le meilleur indice de maturité du gland (Bonner, 1971). A partir d'octobre, le taux de la matière grasse remonte rapidement alors que la teneur en azote soluble et protéique tend à rester stable ou à diminuer (Menage Wild, 1976). Concernant les éléments minéraux, Bonner (1976) a observé que la concentration du phosphore, du Magnésium et du calcium diminue dans la plupart des glands de chêne pendant la phase de croissance.

III.3. Conservation du gland

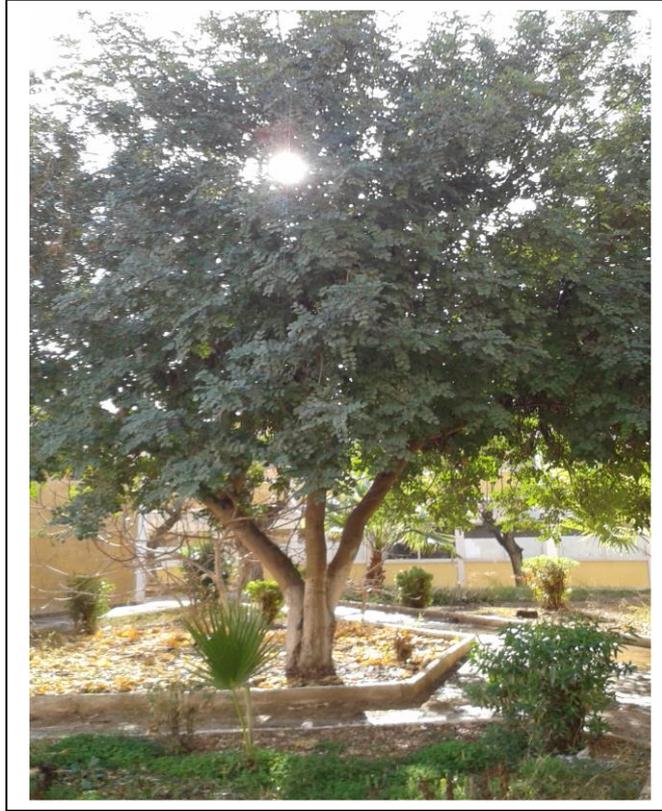
Diverses techniques de stockage ont été adaptées au cours du temps pour la conservation du gland. Il semble que la méthode au sulfure de carbone à 2% s'est avéré la meilleure et la plus économique (Natividad, 1956). Selon Muller (1986), le moyen le plus efficace consiste à une lutte chimique contre les champignons, suivie d'une thermothérapie, trempage dans l'eau chaude à 41°C

pendant 3 heures puis ressuyage jusqu'à une teneur en eau de 42%-45% avant conditionnement et stockage à -1°C .

IV. 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. Les glands de chêne sont inexploitable en Algérie, présentent actuellement un grand intérêt dû essentiellement à leur large disponibilité (27% de la surface des forêts) et leur résistance à la sécheresse. Ils sont aussi connus pour leur source d'énergie (40%-60%) d'amidon, (4,4%-7%) de lipides, quelques acides gras insaturés similaires à ceux d'huile d'olive. Le chêne vert est considéré comme plante méditerranéenne. En matière d'ethnopharmacologie, ses feuilles par simple décoction sont prescrites contre les troubles gastriques et les diarrhées. Les polyphénols contenus dans cette plante sont considérés comme un principe actif, plusieurs polyphénols tels que les acides tanniques, élagiques, les flavones, flavanols et quercetins sont connus pour leur inhibition de la sécrétion d'acide gastrique et aussi la protection de l'estomac contre les agents nécrosants (Martin, 1996 ; Maurakami et *al* ; 1992).

LE CAROUBIER



I. présentation

I.1. Introduction

Le caroubier (*Ceratonia siliqua* L.) est une espèce à plasticité écologique intéressante. Il est dit sclérophylle, thermo-xérophile, héliophile et calcicole. Il est originaire des zones arides et semi-arides de la méditerranée et de la péninsule arabique. C'est un arbre qui sur le plan socio-économique et écologique peut jouer un rôle des plus intéressants particulièrement dans les contrées sèches et dans les zones où les processus de désertification prennent des ampleurs de plus en plus alarmantes, notamment dans le bassin méditerranéen (Mahdad, 2013). C'est une espèce pérenne, à feuillage persistant et pouvant croître tant qu'arbrisseau ou arbre. C'est un composant important de la végétation méditerranéenne qui s'adapte aux sols marginaux (Konaté, 2007).

La production mondiale est estimée à environ 310 000 t / an avec des rendements très variables selon le cultivar, la région et la pratique culturale. L'Espagne est le premier producteur de caroube avec une moyenne de 135 000 t / an, suivie par l'Italie, le Portugal, le Maroc, la Grèce, Chypre, la Turquie, l'Algérie et certains autres pays (Tous et *al.*, 1996). Le caroubier présente un intérêt de plus en plus grandissant en raison non seulement de sa rusticité, de son indifférence vis-à-vis de la nature du sol, de son bois de qualité, de sa valeur ornementale et paysagère, mais surtout pour ses graines qui font l'objet de transactions commerciales dont la valeur dépasse de loin celle de la production ligneuse (Ait Chitt et *al.*, 2007).

I. 2. Nomenclature et taxonomie

Scientifiquement, le caroubier est appelé *Ceratonia siliqua* L. Ce nom dérive du grec *keras* et du latin *siliqua*, faisant allusion à la forme de son fruit qui ressemble à la 'corne' de bouc (Bolonos, 1955). Par ailleurs, le nom dialectal *kharouv*, originaire d'hébreu, a donné lieu à plusieurs dérivés tels *Kharroub* en arabe, *algarrobo* en espagnol, *carroubo* en italien, *caroubier* en français (Batlle et Tous, 1997). Dans certains cas, le caroubier prend une terminologie commune selon la croyance que Saint Jean-Baptiste s'alimenta du fruit de cet arbre durant son séjour dans le désert, lequel a donné origine à la dénomination "pain de Saint Jean-Baptiste" (Albanell et *al.*, 1991). En raison de leur uniformité, les graines du caroubier sont appelées "carats" et ont pendant longtemps servi aux joailliers comme unité de poids pour la pesée des diamants, des perles et d'autres pierres précieuses (1 carat = 205,3 mg) (Rejeb, 1995).

Le genre *Ceratonia* appartient à la famille des *Légumineuses* de l'ordre des *Rosales*, sous famille des *Cesalpinoïdæ*, tribu des *Cassieae*. Cependant, des doutes restent tout au tour de l'authenticité de cette organisation taxonomique. En effet, certains auteurs ont considéré le

genre *Ceratonia* comme étant l'un des genres les plus archaïques des légumineuses et qui est isolé morphologiquement des autres genres de *Cassieae* (Hillcoat et al., 1980 ; Tucker, 1992 a et b) et de ce fait, il doit être exclu de la tribu des *Cassieae* (Irwin et Barneby, 1981 ; Tucker, 1992 b). Par ailleurs, des études cytologiques ont révélé que le genre *Ceratonia* possède un nombre total du chromosome $2n=24$ est donc éloigné des autres membres des *Cassieae* dont le nombre du chromosome est $2n=28$ (Goldblatt, 1981; Bures et al., 2004).

La seconde espèce du genre, *Ceratonia oreothauma* décrite par Hillcoat et al., (1980), contient selon leurs origines deux sous-espèces distinctes: la sous-espèce *oreothauma* qui est native d'Arabie (Oumane) et la sous-espèce *somalensis* qui est native du nord de la Somalie (Batlle et Tous, 1997). *Ceratonia oreothauma* est morphologiquement très distincte de *C. siliqua*. En outre, son pollen est plus petit que celui de *C. siliqua* car il est tricolporé au lieu d'être tetracolporé (Ferguson, 1980). Vu que les graines de pollen de *C. siliqua* sont plus évoluées tetracolporé que les graines tricolporées, il a été suggéré que *C. oreothauma* est l'ancêtre sauvage de l'espèce cultivée *C. siliqua* (Hillcoat et al., 1980).

I.3. Caractères morphologiques principaux

C'est un arbre de grande hauteur pouvant atteindre 20 m. Parfois de dimensions gigantesques, Le caroubier possède un tronc épais et tortueux avec une écorce rugueuse et brune. Il possède une cime très étalée, à feuilles persistantes, alternes, imparipennées, ayant de 3 à 5 paires de folioles ovales, entières, coriaces, luisantes. Son feuillage apporte une ombre appréciée dans les pays chauds. Le caroubier rentre en floraison d'août à septembre. Ses fleurs sont petites dioïques ou polygames en grappe auxiliaires, de couleur rouge. La gousse est épaisse, coriace, indéhiscente, arquée, à sutures épaisses, longue de 10 à 20 cm, sur 2 à 3 cm de largeur, pendante contenant de 10 à 16 graines ovoïdes, comprimées, brunes, séparées par des cloisons pulpeuses (Figure 3).

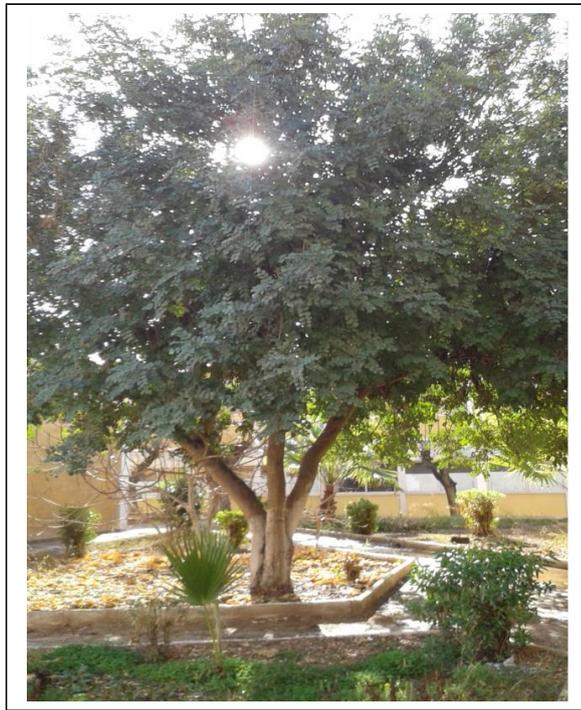


Figure 3 : Habitus du caroubier (*Ceratonia siliqua* L.) (Hazem, 2013)



Figure 3.1 : Inflorescence du caroubier

Figure 3.4: Fruit vert et mûre du caroubier



Figure 3.3: feuille, gousse et graine du caroubier

I.4. Classification

Tableau 6. Synthèse de la classification classique et phylogénétique du caroubier

Classification classique CRONQUIST (1981)		Classification phylogénétique APGII (2003)	
Règne	Plantae	Règne	Plantae
S-règne	Tracheobionta	S-règne	Tracheobionta
Embranchement	Spermatophyte	phylum	Magnoliophyta
S- embranchement	Magnoliophyta (Angiosperme)	S-phylum	Eu-Angiosperme
Classe	Magnolopsida (dicotylédone)	Classe	Eu-dicotylédone Triaperturées
S-classe	Rosidae	ordre	Rosidés
Ordre	Rosales	S-ordre	Rosidés (hypogyne dialycarpique)
Famille	Leguminosae	Famille	fabaceae
S- Famille	Caesalpinoideae	S- Famille	caesalpinoideae
Genre	Ceratonia	Genre	Ceratonia
Espèce	<i>Ceratonia siliqua</i> L.	Espèce	<i>Ceratonia siliqua</i> L.

I.5. Noms commun et vernaculaire

Caroubier (le), Carouge, Pain de saint Jean-Baptiste, figuier d'Égypte, fève de Pythagore (en Français), *alkharroube* (en arabe), *tislighwa* en tamazight, Carob (en Anglais).

II. Origine et répartition géographique

11. 1. Origine

Les différentes hypothèses émanant de plusieurs auteurs sur l'origine du caroubier sont incohérent. En effet, De Candolle (1983) et Vavilov (1951) signalent qu'il serait native de la région Est de la méditerranée (Turquie, Syrie et Palestine). Par ailleurs, le caractère thermophile de cette espèce et sa présence sur les hauts plateaux du Yémen donne à penser que son origine peut être située dans la région Sud de l'Arabie (Liph schitz , 1987). Cette proposition est appuyer par Schweinfurth (1894), qui a insinué qu'il est originaire des pays montagneux du Sud d'Arabie (Yémen). On le trouve à l'état naturel principalement en Espagne, Portugal, Greece, Maroc, Italie, Turquie, Algérie, Tunisie, Egypte, Chypre (Figure 4). Tardivement, il a été considéré, par Zohary (1973), comme originaire de la flore d'Indo-Malaisie, groupé avec *Olea*, *Laurus*, *Myrtus* et d'autres plantes.

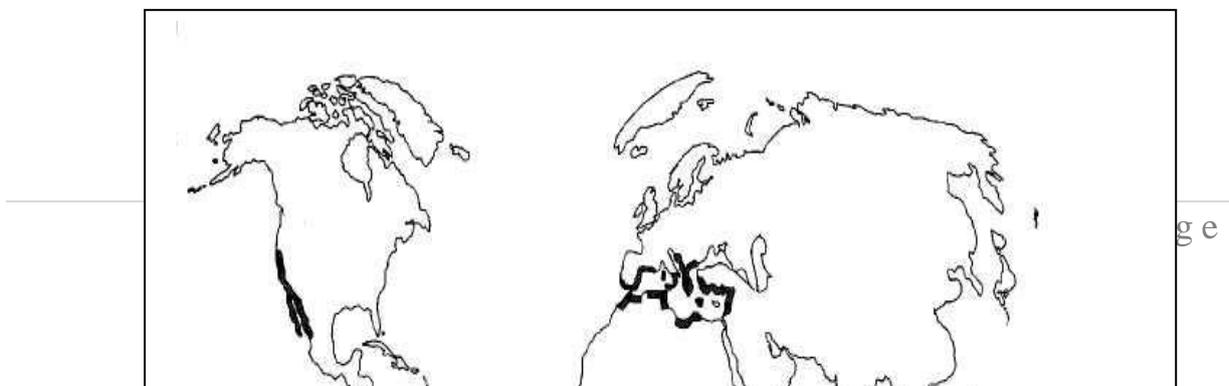


Figure 4 : Centre d'origine et distribution du caroubier dans le monde (Batlle et Tous, 1997)

II.2. Distribution géographique

Le caroubier a une aire de répartition qui s'étend de l'Asie mineure, à l'Afrique du Nord en passant par l'Europe méridionale et la péninsule Ibérique (Boudy, 1950; Gharnit, 2003; Rejeb, 1995). Il a été disséminé par les grecs en Grèce et en Italie, par les arabes le long de la cote Nord de l'Afrique et au Sud et à l'Est de l'Espagne, ce qui par la suite a permis sa distribution dans le Sud du Portugal et dans le Sud-est de la France (Hillcoat et al ; 1980). Il a été introduit avec réussite dans d'autres pays, notamment en Australie, en Afrique du Sud, aux Etas-Unis, aux Philippines, ainsi qu'en Iran (Estrada et *al.*, 2006., Gaouar Naila, 2011).

III. Exigences

Actuellement on trouve le caroubier dans plusieurs pays, de l'Europe et de l'Afrique du Nord à l'état sauvage en association avec, l'oléastre, le thuya, le pin, le chêne vert... (Aafi, 1996; Batlle et Tous, 1997). La distribution des espèces arborescentes, telle que *C. siliqua* est limitée par des stress liés aux froids (Mitrakos, 1981). En Algérie, le caroubier est fréquemment cultivé dans l'Atlas Saharien et il est commun dans le tell (Quezel et Santa, 1962). On le trouve à l'état naturel en association avec *Prunus amygdalus*, *Olea europea* et *Pistacia atlantica* dans les étages semi-aride chaud, subhumide et humide, avec une altitude allant de 100m à 1300m dans les vallons frais qui le protègent de la gelée; avec une température de 5°C jusqu'à 20°C et une pluviométrie de 80 mm à 600 mm/an (Rebour, 1968).

Le caroubier réussit surtout dans des terrains profonds, riches en chaux, perméables. Il redoute les terrains compacts, imperméables, humides. Il supporte fort bien les terrains salins,

jusqu'à 3 % de Na Cl. Les terrains caillouteux arides des versants du midi lui conviennent bien, pourvu que le pourcentage du calcaire soit élevé. Cette légumineuse préfère surtout les conditions climatiques méditerranéennes qui se caractérisent par un hiver doux avec une moyenne en janvier de 4°C avec des gelées rares et faibles, des précipitations abondantes, surtout en automne, avec faible humidité de l'air, un été chaud, sec. Cependant le caroubier supporte fort bien des conditions climatiques beaucoup plus rudes, notamment des froids de -11° à conditions que ces derniers ne soit pas de long durée. Il préfère aussi une exposition aérée et en même temps abritée des vents du Nord.

IV. Rendement de l'arbre

Le rendement du caroubier est périodique et généralement il porte des fruits tous les deux ans. Cependant dans les plantations bien conduites de Chypre, de la Sicile, de la Sardaigne et des Etats Unis avec des soins culturaux appropriés, ils ont réussi à obtenir un rendement régulier chaque année. Le rendement varie énormément avec l'âge de l'arbre. Les jeunes arbres de 5-6 ans donnent à peine 4-5 kg. C'est vers sa 20^e année qu'il commence à produire beaucoup et donne jusqu'à 40 kg par pied. Un arbre en plein production donne 300 kg.

V. Composition chimique des caroubes

Les caroubes sont très riches en matières nutritives, notamment en sucres et en albumines, cependant leur composition chimique varie beaucoup selon le pays de culture. Le tableau suivant d'après Moniouszko, le montre avec évidence.

Tableau 7: la composition chimique des caroubes selon le pays de culture (%)

Composition chimique	Lieux de culture					
	Chypre	Crète	Sicile	Grèce	Portugal	Algérie
Eau	11,00	12,00	9,20	10,80	11,80	13,00
Cendre	2,10	2,08	2,20	1,96	2,00	2,35
Cellulose	8,10	7,85	10,50	9,50	9,15	9,10
Graisse	0,40	0,35	0,55	0,50	0,50	0,50
Saccharose	28,55	8,20	21,74	29,40	17,56	30,10
Glucose	14,53	26,04	21,36	10,28	19,20	
Matières non azotées	29,70	37,74	28,43	30,70	34,05	39,87
Matières azotées	5,60	5,74	6,02	6,36	5,74	5,08
	100	100	100	100	100	100

V.1.1. Propriétés biochimiques de la pulpe

La pulpe et les graines sont les deux composants majeurs de la gousse du caroubier et représentent respectivement 90% et 10% de son poids total. Selon plusieurs auteurs, la composition chimique de la pulpe dépend du cultivar, de son origine, de l'époque de la récolte, de l'environnement et des conditions de stockage (Orphanos et Papaconstantinou, 1969; Albanell *et al.*, 1991; Avallone *et al.*, 1997; Ayaz *et al.*, 2007; Iipumbu, 2008). La pulpe de la caroube (tableau 7) possède une teneur élevée en sucre (48-56%) et peut même atteindre 72% (Ayaz *et al.*, 2007). En outre, elle contient environ 18% de cellulose et d'hémi cellulose (Batlle et Tous, 1997). L'analyse de la composition en sucre de la pulpe de plusieurs variétés Algériennes a révélé une richesse en sucre totaux de 37,5 à 45,3% (Gaouar, 2011). La composition minérale (en mg/100g du poids sec) est la suivante : K = 970 ; Ca = 300 ; P = 71 ; Mg = 60 ; Fe = 1,88, Mn 1,29 ; Cu = 0,85 ; Zn = 0,75 (Ayaz *et al.*, 2007). Notons la richesse de la pulpe en potassium et calcium qui est très intéressante pour la nutrition humaine et animale (Plus du double du Ca du lait entier qui est de 119 mg/100 g). Les gousses contiennent de faibles quantités de matières grasses ($0,6 \pm 0,1\%$) et une quantité importante de protéines ($3 \pm 2\%$) (Avallone *et al.*, 1997). Ayaz *et al.* (2007), ont pu déceler la présence dans les extraits de gousses de 18 acides aminés, principalement de l'acide aspartique et glutamique, l'alanine, la valine et la leucine. Les gousses matures du caroubier contiennent une grande quantité de tanins condensés (1620% du poids sec). En valeur alimentaire, les caroubes sont similaires à la plupart des graines de céréales (NAS, 1979). La graine est composée de 30 à 33 % de tégument, 42 à 46 % d'albumen et 23 à 25% d'embryon (Neukom, 1988). L'épisperme est considéré comme une source naturelle pour la production de polyphénols antioxydants (Makris et Kefalas, 2004). L'endosperme est constitué essentiellement d'une gomme nommée galactomannane. C'est une molécule de polysaccharide composée de deux unités de sucre : le mannose et le galactose dans un rapport de 4 : 1. La propriété principale de ce polysaccharide naturel est la viscosité élevée qu'il procure à la solution une fois mélangé à l'eau, et cela dans une large gamme de température et de pH (García-Ochoa et Casas, 1992). La farine du germe (embryon) obtenue à partir des cotylédons a une teneur en protéines de 50% ; 27% d'hydrates de carbone ; 8% de lipides (neutre), 7% d'eau et 6% de cendres; cette farine est recommandable pour l'alimentation humaine et animale (Puhan et Wielinga, 1996 dans Batlle et Tous, 1997).

Tableau 8: La composition moyenne de la pulpe du caroubier (Puhan et Wielinga (1996) mentionné dans (Batlle et Tous, 1997).

VI. Production

Selon les données du FAO. STAT (2010), l'aire totale de la production mondiale du caroubier est estimée à 102939ha (Tableau 6). La production mondiale de caroube est estimée à 191355.64 tonnes. La plus grande superficie, 83574 ha, est celle de l'Europe, contre une superficie estimée à 1000 ha pour l'Algérie et 13460 ha pour les pays d'Afrique du Nord. Elle est essentiellement concentrée en Espagne, Italie, Maroc, Portugal, Grèce, Turquie, suivie de Chypre, Algérie, Liban, et en dernier la Tunisie (Tableau 9).

constituants	%
Sucres totaux	48-56
Saccharose	32-38
Glucose	5-6
fructose	5-7
Pinnitol	5-7
Tannin condensés	18-20
Polysaccharose non amylacés	18
Cendres	2-3
lipides	0.2-0.6

Tableau 9 : Superficie occupée par le caroubier (F.A.O. STAT 2010)

Pays	Superficie (ha) en 2004	Superficie (ha) en 2008
Algérie	1066	1000
Afrique du Nord	13526	13460
Europe	92218	83574
Monde	112711	102939

Tableau 10 : Production mondiale de caroube (F.A.O. STAT 2010)

Pays	Production en tonnes (2004)	Production en tonnes (2008)
Espagne	67000	72000
Italie	24000	31224
Maroc	40000	25000
Portugal	20000	23000
Grèce	19000	15000
Turquie	14000	12100
Chypre	7000	3915
Algérie	4600	3600
Liban	3200	2800
Tunisie	1000	1000
Monde	182680	191167

VII. Fragilités, maladies et ravageurs

C. siliqua est normalement libre de ravageurs et de maladies graves et est traditionnellement une culture qui n'est pas pulvérisée. En Espagne, l'insecte le plus nuisible est la larve *polyphage* du *Zeuzère du poirier* [la traduction anglaise littérale donne « *la pyrale léopard* », en anglais « *the polyphagous larva of the leopard moth* »] (*Zeuzera pyrina*), qui attaque le bois du tronc et des branches, causant de graves dommages aux jeunes arbres. Les gousses de nombreux cultivars peuvent être infestées par la petite larve *polyphage* du « *ver de l'ombilic* » [la traduction anglaise littérale donne « *teigne du caroubier* », en anglais « *the small and polyphagous larva of the carob moth* »] (*Myelois ceratoniae*), durant le mûrissement ou avant que la récolte soit terminée. À Chypre, les attaques de la Cécidomyie

[moucheron] de la caroube (*Asphondylia spp.*) sur les gousses à un stade précoce ont causé des retards de croissance. Les pucerons noirs attaquent principalement les pousses terminales des jeunes arbres. La maladie du mildiou, causée par *Oidium ceratoniae*, attaque les gousses, les feuilles et les brindilles, à différentes périodes de l'année. D'autres organismes nuisibles qui parfois causent de graves dommages aux vergers de caroubiers sont de petits rongeurs comme le Campagnol souterrain [la traduction anglaise littérale donne « *les rats des sables* »] (*Pitymys spp.*) et les rats (*Rattus spp.*). Les spermophiles peuvent gravement endommager le système racinaire de jeunes arbres. Les rats peuvent écorcer non seulement des jeunes pousses mais aussi des pousses plus âgés et même des grosses branches, et, par *annélation* de ces branches, peut tuer la plante (webmaster3).

VIII. Utilisations

Cette espèce se présente comme une essence à la fois forestière et arboricole. Elle est d'une grande importance économique, écologique et sociale. Son utilisation est multiple.

VIII.1. Arbre

L'arbre isolé peut être utilisé comme plante ornementale ou pour son ombre au bord des routes, c'est le cas en Californie, Australie et ailleurs. Les pieds mâles, qui ne fournissent pas de gousses sont les plus préférés dans le domaine d'ornementation (Batlle et Tous, 1997). Il peut être également utilisé en verger comme plantation homogène destinée à la production commerciale (Espagne, Portugal et Grèce). Basé sur sa faible exigence en culture, sa grande tolérance vis-à-vis des sols pauvres, le caroubier est de plus en plus recommandé pour la reforestation des zones côtières dégradées sous l'effet d'érosion ou de désertification (Batlle et Tous, 1997). Actuellement, il est considéré comme l'un des arbres fruitiers et forestiers le plus performant; puisque toutes ses parties (feuilles, fleurs, fruits, bois, écorces et racines) sont utiles et ont des valeurs dans plusieurs domaines (Aafi, 1996).

VIII. 2. Fruit

Dans les pays producteurs, les gousses de caroube ont été, traditionnellement, utilisées non seulement en alimentation des animaux ruminants (Louca et Papas, 1973) ou non ruminants (Sahle et *al.*, 1992), mais aussi en alimentation humaine. Après l'écrasement des gousses et séparation de pulpe et des graines, les produits dérivés de ces deux éléments sont principalement utilisés dans plusieurs domaines (Tableau 8).

VIII. 2. 1. Pulpe

La farine issue de pulpe peut servir comme ingrédient de certains menus de pâtisseries:

gâteau, pain, bonbon, crème glacée, boisson (NAS, 1979; Vidal, 1985) ou utiliser comme substituant du cacao dans le chocolat, car elle est moins calorifique et ne contient ni caféine ni théobromine (Whiteside, 1981; Craig et Nguyen, 1984). Par ailleurs, la pulpe a été le premier produit d'horticulture utilisé en fermentation dans plusieurs pays méditerranéens, pour la production d'alcool industriel (Merwin, 1981). En Egypte, les sirops à base de fruits de caroube constituent une boisson populaire (Batlle et Tous, 1997). La pulpe issue de la gousse est très sucrée, nutritive, rafraichissante et très appréciée par les peuples de la région méditerranéenne. Une partie de la récolte est distillée. Ce mode d'utilisation des caroubes est très ancien ; le grand pourcentage de sucres donne la possibilité d'avoir un alcool remarquable, on obtient 20-25 litres d'alcool pur avec 100 kg de fruits, soit 55 litres d'eau de vie pour 100 kg de caroubes fraîches. En comparaison, la betterave donne à peine 5 litres d'alcool pur, soit environ 10 litre d'eau de vie pour 100 kg de betteraves, donc cette utilisation de la caroube est la plus intéressante au point de vue industriel et économique (Tableau 11 et 12). Outre la consommation à l'état frais ou sec, le gros de la production de la caroube présente pour certains pays un précieux fourrage voir le seul fourrage possible pour le bétail, les chevaux et les mulets, il est très recherché par les agriculteurs de toute de la région (Evreinoff, 1947).

Tableau 11 - Principaux produits de la caroube (*pulpe et graines*) et leurs utilisations majeures (Batlle et Tous, 1997)

Produits	Traitement reçu	utilisation
Pulpe Brute	aucun	Alimentation animale (cheval, ruminants)
	Moulage	Alimentation humaine et animale
	Extraction et purification	Sucres et mélasse
	Fermentation et distillation	Alcool et produits de protéines microbiennes
	Extraction	Tannins comme anti diarrhéique
	Lavage, séchage	Ingrédients alimentaires; substituant de cacao
Poudre	Torréfaction et moulage	Préparation de produits diététiques
Graines Endosperme	Moulage	E410 ; additif alimentaire ; fibres diététiques ; aliment pour mascotte.
	Moulage	Farine de germe. alimentation humaine et animale
	Extraction	Tannins pour le tannage de cuirs
Episperme		

V.1. 2. 2.2. Graines

Les graines de caroube sont très appréciées et recherchées pour leurs qualités et multiples

usages industriels. Vu son énorme intérêt économique (tableau 12), la gomme reste le produit le plus important parmi ceux (polyphénols antioxydants ; farine du germe) dérivés de la graine. Elle constitue le tiers (1/3) du poids total de la graine ; 100 kg de graines produisent une moyenne de 20 kilos de gomme pure et sèche (Jones, 1953). Cette gomme mucilagineuse connue sous le code E-410 est utilisée dans l'industrie agroalimentaire comme épaississant, stabilisant, liant et gélifiant ou comme agent dispersant. Elle est aussi utilisée dans le domaine de l'impression, la photographie, le textile, la pharmacie et le cosmétique (Batlle et Tous, 1997).

Tableau 12 : Utilisations de la gomme de caroube et ses applications techniques (Droste, 1993 in Batlle et Tous, 1997).

Utilisations industrielles	Applications
Pharmacie	
Cosmétique	
Textiles	Épaississant de coloration
Papier	Produit de flottation pour matériel de couverture ; épaississant pour traitement de surface
Chimiques	Colles, coloriage, polissage, teinture, allumettes, pesticides
Pétrole	Adjuvant de floculation pour augmenter la stabilité
Mines	Produit de flottation
Béton	Renforcement de la solidification
Explosifs	Liant d'eau pour les explosifs



I. Présentation

Le févier d'Amérique (*Gleditsia triacanthos* L.) appelé aussi, févier épineux, févier à trois épines, Carouge à miel ou Épine du Christ, est un grand arbre étalé à feuilles caduques, au port léger qui porte des gousse couleur acajou très décoratives et parfois de très longues épines acérées (webmaster 1), originaire de l'est de l'Amérique du Nord, appartenant à la famille des Fabacées, ou légumineuses. Il est bien connu comme arbre d'ornement et pourtant il n'est pas largement utilisé dans ce domaine en raison de ses grandes et dangereuses épines (Hoffmann, 1995). Il a été largement préconisé comme aliment du bétail au début du 20^{ème} siècle. Le développement de cultivars sylvopastoral a commencé dans les années 1930 à la vallée de Tennessee aux états unis d'Amérique, parce qu'il peut fournir une source de fourrage, de protéine et d'énergie métabolique et peut être utilisé pour la lutte contre l'érosion. *Gleditsia* est actuellement testé dans les régions tempérées, la méditerranée et les régions tropicales (Gold, 1997). L'arbre a été introduit en Europe en 1700 où il est devenu courant dans les régions occidentales, centrales et méridionales (Lieutaghi, 2004), et a été introduit par les colons en Algérie en 1949 (Putod, 1982). Le genre est dédié à Johann Gleditsch (1714-1786), botaniste, directeur du jardin botanique de Berlin et ami du naturaliste suédois Linné. Le nom d'espèce, triacanthos, fait référence aux épines regroupées par trois (Lieutaghi, 2004).

I.1. Taxonomie

Le févier d'Amérique (*Gleditsia triacanthos* L.), appartient au genre *Gleditsia* et à la famille des Fabacées, ou Légumineuses (sous-famille des *Caesalpinioideae*). La sous-famille des *Caesalpinioideae* regroupe 150 à 180 genres et 2200 à 3000 espèces réparties en zones tropicales. Le genre *Gleditsia* regroupe de nombreuses espèces et variétés existant dans le monde. Environ 16 espèces ont été citées en Chine, Sud-est asiatique, nord et sud-américain (Dezhao et al., 2010 in Benhamiche, 2016). Le févier d'Amérique a de larges variations génétiques (nombre chromosomique de base, $x = 14$. $2n = 28$.) qui ont permis son amélioration par sélection (Tableau 13).

Tableau 13 : Classification classique et phylogénétique de *Gleditsia triacanthos* L. selon le système de Cronquist (1988) et APG II (2003).

Classification classique cronquist (1981)		Classification phylogénétique APGII (2003)	
Règne	Plantea	Règne	Plantea
S-règne	Tracheobionta	S-règne	Tracheobionta
Embranchement	Spermaphyte	phylum	Magnoliophyta
S- embranchement	Magnoliophyta (Angiosperme)	S-phylum	Eu-Angiosperme
Classe	Magnolopsida (dicotylédone)	Classe	Eu-dicotylédone Triaperturées
S-classe	Rosidae	Ordre	Rosidés
Ordre	Fabales	S-ordre	Rosidés (hypogyne dialycarpique
Famille	Cesalpiniaceae	Famille	fabaceae
S- Famille	Caesalpinoideae	S- Famille	caesalpinoideae
Genre	Gleditsia	Genre	Gleditsia
Espèce	<i>Gleditsia triacanthos</i> L.	Espèce	<i>Gleditsia triacanthos</i> L.

Un certain nombre de formes horticoles a été développé et sont largement cultivées, particulièrement pour l'ombre et l'ornement (Blair, 1990).

- Le févier inerme (*Gleditsia triacanthos* var. *inermis* Willd.) est une variété sans épines, ou presque ainsi, et a habitus mince.
- Le févier touffu (*G. triacanthos* var. *elegantissima* [Grosdemangel Rehd.] est nonarmé et en masse touffu
- le févier de Bujot (*G. triacanthos* var. *bujotii* [Neuml Rehd.] a les branches pendantes minces et les feuillettes étroites
- Le févier nain (*G. triacanthos* var. *nana* [fort.] A. Henry) est un arbuste ou petit arbre compact.
- Le févier du Texas *Gleditsia texana* Sarg., est considéré comme étant un hybride de *G. aquatica* Marsh et *G. triacanthos* L. (Blair, 1990).
- Ruby Lace a été obtenue en 1961. Elle se caractérise par un jeune feuillage rouge foncé qui vire au bronze. Les fleurs sont discrètes et blanches.
- Skyline' à un feuillage plus réduit, d'un vert frais, et la floraison est blanche. Le port est pyramidal et sa taille est réduite d'un tiers, ce qui la rend utile dans les petits jardins.

I.2. Noms communs

- **Anglais:** Common honey-locust, Honey-shucks Locust, Honeylocust, Sweet Locust, Three torded-acacia, Thorn tree, Thorny Locust, Sweet-bean (Shadow, 2003).
- **Français :** Févier d'Amérique, févier à trois épines, carouge à miel, févier épineux, épine du Christ
- **Allemand:** Dreidornige Gledischie (Web master1).
- **Italien:** gledischia, spino di Cristo, spino di Giuda
- **Espagnol :** espina de Cristo, acacias de tres espinas
- **Nom commercial :** miel acridienne (Web master 4).

I.3. Description botanique

Gleditsia triacanthos atteint une hauteur normale de 15-25 m et 0,5-1 m (max. 1,8) de diamètre (figure 5). Les arbres présentent un port étalé avec une couronne irrégulière, ouverte et étroite, l'écorce de couleur brun rougeâtre au noir, écailleuse, striée, souvent couvertes de grappes de grandes épines ramifiées. Il a une racine pivotante et un système racinaire très ramifié (Orwa et al., 2009).



Figure 5 : Habitus de *Gleditsia triacanthos* L. (cliché Hazem, 2015)



Figure 5.1 : Feuilles de *G. triacanthos* L. (cliché Hazem, 2015)

Figure 5.2 : Ecorce de *G. triacanthos* L. (cliché Hazem, 2015)



Feuilles caduques, alternes, composées pennés ou bipennées. Composées de 26 à 32 petites folioles ovales et minces sur une tige centrale de 14 à 20 cm de long. Feuillage d'aspect léger ; verte en été et jaune d'orée en automne (Gold, 1997).



Fig 5.3 : Fleurs de *G. triacanthos* L. (Cliché Hazem, 2013)



Fig 5.4 : Fruits de *G. triacanthos* L. (Cliché Hazem, 2013)



Fleurs blanc-verdâtre, régulières, petites, d'environ 5 mm de diamètre. Les fleurs mâles et femelles sont sur le même arbre, souvent sur des branches séparées. Discrètes et non voyant. Dotées d'un parfum agréable (Edward et *al.*, 1993).

De longues gousses mesurant 15 à 40 cm forment le fruit, plat et courbé, brunâtre, pourvue d'une enveloppe coriace; tombant en hiver sans ouverture. La graine comme l'haricot, porte un tégument dur, imperméable. D'une longueur de 0,5 à 1,5 cm, lisse et brun foncé (Nessom, 2003).

I.4. Ecologie

I.4.1. Ecologie du févier d'Amérique dans son aire naturelle.

Dans la gamme naturelle, une grande quantité de variation existe à la fois des conditions climatiques et de sol. Le *G. triacanthos* se produit naturellement dans les régions climatiques humides et subhumides; il pousse naturellement à 760 m, mais il a été planté au dessus du niveau de la mer à 1500 m dans les latitudes tempérées et va croître à plus de 2500 m dans les hautes terres subtropicales. Il est intolérant à l'ombre et se développa difficilement dans des espaces ouverts. Le *G. triacanthos* bien qu'exigeant en eau pour présenter une grande croissance, il est très résistant à la fois à la sécheresse et à la salinité. Il tolère les sols compacté, sols mal aérés et les inondations pour une période de temps (putod, 1982).

I.4.2. Habitat préféré

G. triacanthos pousse mieux dans les sites perturbés en plein soleil, comme des lacunes dans une forêt, les lisières de forêt et les zones perturbées par les aliments. Sa croissance est beaucoup plus lente dans l'ombre (Sullivan, 1994). Son habitat préféré est humide, fertile (alluvions) sol associé avec des plaines riche en alimentation et les rives de cours d'eau

(Csurhes et Kriticos 1994; National Academy of Sciences 1980). Tout au long du Midwest des États-Unis, il se produit dans les pâturages et les champs. Elle coexiste souvent avec *Maclura pomifera* (Osage orange) dans les zones boisées (Schnabel et al 1991; Schnabel et Hamrick 1990). Le *G. triacanthos* préfère un climat tempéré chaud. La plante est aussi bien adaptée aux hivers très froids où les températures descendent à -34 ° C, comme dans la partie nord de son aire de répartition naturelle (Blair non daté). Les précipitations annuelles dans son aire d'origine sont comprises entre 500 mm et 1500 mm (National Academy of Sciences 1983).

I.5. Répartition géographique

G. triacanthos est originaire de l'Est et le centre de l'Amérique du Nord (mauvaises herbes Australie 2010). Il se trouve dans la zone du centre de la Pennsylvanie vers l'ouest du Dakota du Sud sud-est, au sud vers le centre et le sud-est du Texas, jusqu'au sud de l'Alabama, puis vers le nord-est à travers l'Alabama à l'ouest du Maryland. Populations périphériques existent dans le nord-ouest de la Floride, à l'ouest du Texas et l'ouest du centre de l'Oklahoma (Skerman 1977). En Amérique du Nord, *G. triacanthos* a naturalisé à l'est des Appalaches, depuis la Caroline du Sud au nord de la Pennsylvanie, de New York, la Nouvelle-Angleterre et la Nouvelle-Écosse, Canada (Blair non datée; National Academy of Sciences 1983). cette espèce a été introduite à des parties de l'Afrique, l'Europe, le Moyen-Orient, l'Asie centrale, la Russie, l'Inde, la Chine, l'Argentine, la Nouvelle-Zélande et en Australie (Base de données internationale des légumineuses et Service d'information 2009; Global Biodiversity Information Facility non daté) (figure 6).

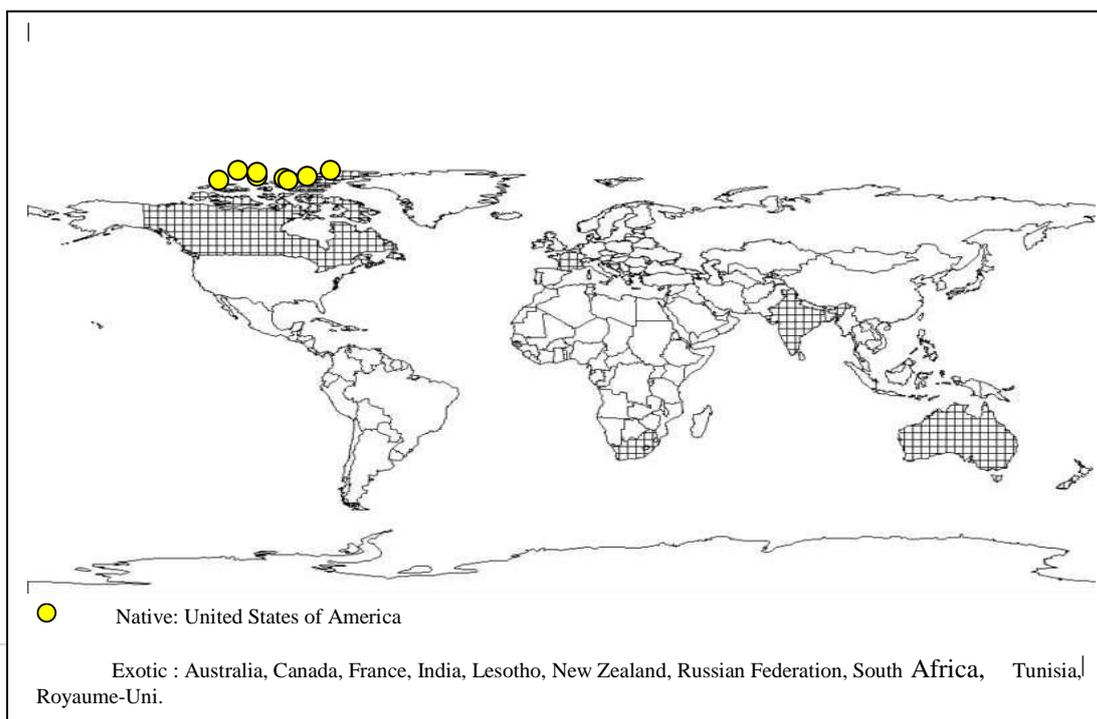




Figure 6 : répartition géographique du *Gleditsia triacanthos* L. dans le monde (National Academy of Sciences, 1983).

I.6. Espèces et variétés du févier d'Amérique

Il existe des *cultivars* de *Gleditsia triacanthos* sélectionnés pour leur fruit dont on consomme la pulpe mais très peu diffusés (Tableau 14).

Tableau 14: les différents cultivars de *Gleditsia triacanthos* (NAS, 1983).

Type	Variété	Végétation	Fructification	Qualités
Espèce type	Févier d'Amérique (<i>Gleditsia triacanthos</i>)	Arbre vigoureux de 15 à 25 m de haut sur 8 m de large. Feuillage de fougère vert clair puis jaune d'or à l'automne.	Nombreuses gousses spiralées rougeâtres en été, de 25 cm, brunes et coriaces en hiver.	Port gracile, épines intéressantes pour former une haie défensive. Croissance rapide. Grande rusticité (40 °C).
Cultivars ornementaux	<i>Gleditsia triacanthos</i> f. <i>inermis</i>	Arbre de 15 m, à port gracile, avec très peu d'épines.	Pas de gousses.	Arbre de moyenne vigueur à croissance rapide. Ombre légère.
	<i>Gleditsia triacanthos</i> 'Elegantissima'	Arbuste à touffe compacte de 4-5 m de haut sur 3-4 m de large. Feuillage dense.	Produit des gousses de 40 cm environ.	Croissance lente. Convient en haie, en isolé, car son port est élégant. Peut se conduire sur une seule tige.
	<i>Gleditsia triacanthos</i> 'Rubylace'	Arbre de 5 à 15 m. Très beau feuillage rouge rubis en naissant, brun pourpre puis vert foncé. Vire au bronze à l'automne. Peu épineux.	Pas de gousses.	Peut se conduire en cépée.
	<i>Gleditsia triacanthos</i> 'Skyline' (syn.	Port conique à pyramidal, 15 m de haut sur 5 de large.	Pas de gousses.	Variété américaine. Très belles couleurs automnales.

	<i>G. t.</i> 'Arrowhead')	Feuilles rouge bronze en naissant puis vert sombre, jaune d'oré à l'automne. Peu d'épines.		
	<i>Gleditsia triacanthos</i> 'Sunburst'	Arbre de 5 à 10 m sur 8 de large. Jeunes feuilles dorées puis vert clair.	Pas de gousses.	Feuillage lumineux.
	<i>Gleditsia triacanthos</i> 'Shademaster'	Arbre à port étalé de 15 m de haut sur 7 m de large. Feuilles d'un vert foncé éclatant. Peu épineux.	Gousses rares.	Croissance rapide.
	<i>Gleditsia triacanthos</i> 'Emerald Cascade'	Arbre pleureur jusqu'au sol, de 4 m de haut sur 3 de large. Feuillage dense vert foncé. Pas d'épine.	Produit des gousses de 25 cm environ.	Très beau sujet en isolé. Pour tous sols. Superbes couleurs automnales.
Essences fruitières	<i>Gleditsia triacanthos</i> 'Calhoun'	Grand arbre de 20 m de haut.	Larges gousses très riches en sucres (39 %) jusqu'à 15 kg par arbre à l'âge de 5 ans.	Cultivé en Pennsylvanie, au Massachusetts, au sud du Michigan. Découvert en Alabama en 1934.
	<i>Gleditsia triacanthos</i> 'Millwood'	Arbre sans épine, vigoureux de 30 à 40 m de haut à l'âge de 5 ans.	Larges gousses épaisses à pulpe sirupeuse (37 % de sucre), 28 kg par arbre âgé de 5 ans.	Très productif. Découvert en Caroline du Nord près du lac Junaluka en 1934.

II. Reproduction et dispersion

La reproduction se fait par graines. La floraison a lieu en Octobre et Novembre ; il commence entre 3 et 5 ans. La plupart des graines tombent sous l'arbre mère. Cependant, les graines peuvent être dispersées sur des distances considérables par bovins et des chevaux ou par l'eau (Schnabel et al 1991 ; Wikipedia 2009). Les gousses persistent une partie de l'hiver sur l'arbre (Biosecurity Queensland 2007). Les graines sous forme de disques et peuvent rester viables pendant au moins 20 ans (Biosecurity Queensland, 2007). La germination est améliorée lorsque les graines passent à travers le système digestif d'un animal. Les graines sont généralement produites chaque année, avec de grandes cultures se produisant tous les 2 ans (Sullivan, 1994 ; Weeds Australie 2010). Des débits allant jusqu'à 14 000 graines par an de production ont été enregistrés (Marco et Páez 2000).

En Amérique du Nord, le *G. triacanthos* est naturalisé à l'est des Appalaches, depuis la Caroline du Sud au nord de la Pennsylvanie, de New York, la Nouvelle-Angleterre et la Nouvelle-Écosse, Canada (National Academy of Sciences 1983).

G. triacanthos a été introduit dans des parties de l'Afrique, de l'Europe, du Moyen-Orient, de l'Asie centrale, de la Russie, de l'Inde, de la Chine, de l'Argentine, de la Nouvelle-Zélande et en Australie (Base de données internationale des légumineuses et Service d'information 2009; Global Biodiversity Information Facility non daté).

III. Plantation

Cette plante s'adapte bien comme un arbre de la rue de la ville et est tolérant aux petites fosses de plantation dans le béton. Il est sensible à la casse dans les tempêtes de verglas. Cependant, il est recommandé de planter avec modération cette espèce pour éviter une catastrophe si les insectes ou les maladies l'envahissent. Selon Edward et al (1993), Il pourrait être préférable de planter Pistacia, Taxodium, Quercus ou un autre arbre difficilement urbaine éprouvée à la place du févier d'Amérique pour éviter les insectes potentiel, la maladie et les problèmes de défoliation précoce dans certains régions.

IV. Problèmes phytosanitaires

IV.1. Parasites

La Mimosa tisseuse est devenu un ravageur important sur le févier d'Amérique dans certaines communautés. C'est un insecte xylophage peut être largement évité avec une fertilisation régulière en gardant les arbres sains. Elle attaque généralement les arbres stressés.

La combinaison de la punaise et la cicadelle de l'alimentation provoque la tombée des feuilles. Les punaises peuvent être plus fréquent sur le cultivar à feuilles jaune 'Sunburst' que sur les types à feuilles vertes. Les deux insectes sont de couleur verte de sorte qu'ils seront difficiles à détecter.

La cécidomyie des gousses provoque une rougeâtre inhabituelle, galle sur les extrémités des branches. Les galle apparaissent à la fin du printemps et peuvent être le plus commun sur les épines et les cultivars sans pépins. Ceux-ci sont devenus un problème dans de nombreux domaines.

Les acariens provoquent en l'automne un jaunissement des feuilles. Le diagnostic de ce problème est difficile en raison de la petite taille de l'insecte et des folioles. On peut citer aussi, la Mineuses, la bagworm et les infestations de pucerons qui peuvent être gênantes pour la l'arbre.

IV.2. Maladies.

Parmi les maladies les plus fréquentes, les champignons responsables de chancre qui sont particulièrement dommageables ou les bactéries qui attaquent les branches et les troncs. Ces agents provoquent le dépérissement des parties ou l'ensemble de l'arbre. Et pour le garder sain, il faut éviter les blessures inutiles (Edward, 1993).

V. Perturbations écologiques dues au févier d'Amérique

G. triacanthos est une espèce envahissante et concurrente en Argentine, où il a envahi les prairies de la pampa, ainsi que les zones riveraines et les routes et des lacunes qui sont créés pour le pâturage du bétail (Ghersa et al 2002; Speroni et de Viana 2001). Il est devenu un envahisseur commun des forêts de montagne du centre de l'Argentine, et est le remplacement de l'espèce dominante *Lithraea ternifolia* natif. Il est considéré comme ayant le potentiel de nuisibilité élevé en raison de sa croissance rapide, sa courte période juvénile et sa production élevée de semences (Marco et Páez 2000). En Californie, *G. triacanthos* a envahi les forêts dans la rivière Cosumnes Préserve (California envahissantes Plant Council, 2005). Dans certaines parties de son aire d'origine, il a envahi les pâturages et est considéré comme un ravageur (Sullivan, 1994). Sargent (1965) a indiqué qu'il «couvre occasionnellement des zones considérables sur les sols humides et fertiles, excluant la plupart des autres espèces». Il est aussi considéré comme une mauvaise herbe dans certaines parties de l'Europe, l'Afrique du Sud et le Chili (Holm et al 1991; Wells et al 1986; National Academy of Sciences 1980).

VI. Usage

Les cultivars de *G. triacanthos* sont populaires comme plantes ornementales de jardin. L'espèce est également plantée pour former des haies brise-vent brise-vent. Le bois est tendre, mais peut être utilisé en menuiserie (Sanchez, 1999). Un type de caoutchouc de semences extrait de l'endosperme, peut être utilisé pour des crèmes en cosmétique et des crèmes glacées (Resico, 2001). Cette espèce peut être aussi utilisée dans le contrôle de l'érosion, dont elle est actuellement testé dans plusieurs zones tempérées, méditerranéennes et tropicales des régions montagneuses du monde.

Dans le domaine médical, la pulpe du fruit est utilisée pour les maladies pulmonaires. Les graines en poudre sont utilisées comme le tabac contre les rhumes. Les grains des gousses sont un remède populaire pour la dyspepsie et la rougeole, les rhumes et les fièvres chez les Indiens des États-Unis; Indiens Delaware utilisaient l'écorce pour les troubles sanguins et la

toux. Le thé d'écorce traite la coqueluche. Le Genre *Gleditsia* comprend 14 espèces d'arbres à feuilles caduques qui peut atteindre une hauteur de 20-30 m (Huxley et *al.*, 1992). La *Gleditsia* c'est une espèce qui a été largement utilisés dans la médecine traditionnelle chinoise. Les fruits et les épines sont utilisés pour le traitement de l'apoplexie, des maux de tête, toux productive, l'asthme et les maladies de peau suppurées (Zhong Yao Da Ci Dian, 1979). Il a été rapporté que les extraits de graines de *Gleditsia* peuvent être utilisés en tant que source naturelle de composés phénoliques et d'antioxydants, des extraits aussi de plante de *Gleditsia* possèdent des activités pharmacologiques importantes dans le traitement de la polyarthrite rhumatoïde, comme anti-mutagènes, anti-cancer et ils ont une activité cytotoxique significative contre différent lignées cellulaires (Miguel et *al.*, 2010). Des études phytochimiques ont été effectuées sur des fruits de *Gleditsia* qui ont indiqué la présence de saponines triterpenoidal qui possèdent une activité anti-inflammatoire. (Yamahara et *al.*, 1975, Ha et *al.*, 2008,). Il est aussi considéré comme une couverture, ou pour fournir une haute nutrition fourragère pour le bétail. Ses gousses sont riches en sucres et sont appréciés par les personnes et le bétail (National Academy of Sciences 1983; Plant.NET 2009; Wikipedia 2009).

Chapitre III

NOTIONS DE COPRODUITS

Les sous-produits d'animaux sont utilisés depuis longtemps dans l'alimentation des animaux d'élevage (The BSE Inquiry Report, 2000). Ces sous-produits animaux sont obtenus par le traitement des rebuts d'abattoir et des carcasses d'animaux morts empruntant la voie de l'équarrissage. L'utilisation des coproduits par les animaux d'élevage implique, pour chaque coproduit, toute une filière dont il ne faut négliger aucun maillon sous peine d'aller à l'échec ; chaque maillon doit être sensibilisé à l'utilisation du coproduit en alimentation animale, car qui dit alimentation animale dit forcément qualité de l'aliment pour une qualité du produit fini, viande ou lait ; le terme de **coproduit** se mérite, c'est un peu un "label" sans l'obtention duquel on serait en droit de douter de sa valeur alimentaire, hygiénique et sanitaire.

Dans cette filière, on trouve d'abord l'agriculteur qui produit sur son exploitation la matière première, le transformateur qui séparera par un procédé bien défini et connu ce qui revient à l'homme et ce qui peut aller à l'animal, le négociant en coproduits, le transporteur et puis l'éleveur entouré de ses conseillers techniques et de son vétérinaire... et pourquoi pas enfin, le consommateur qui aimera savoir comment aura été produit le lait ou la viande qu'il consomme (Besancenot, 2000).

I. Terminologie : coproduit, sous-produit, déchet.

Les coproduits, sous-produits et déchets sont des termes communément utilisés en production industrielle pour désigner des productions «induites», celles qui accompagnent plus ou moins inéluctablement les productions commerciales majeures des entreprises (Besancenot, 2000).

On passe de produits nobles aux produits secondaires puis aux produits déchus, voire douteux, dangereux, toxiques. Au plan juridique et réglementaire, le déchet, par les contraintes de gestion et de responsabilité qu'il fait peser sur son producteur, ne bénéficie pas d'une reconnaissance spontanée. Une filière de valorisation a pour objectif de donner de la valeur aux produits, de leur conférer un vrai statut de coproduits, statut qui leur vaudra d'être de plus en plus prisés et donc d'entrer dans une dynamique de valorisation. L'effet inverse peut aussi se produire et le coproduit d'aujourd'hui deviendra le déchet de demain.

Est considéré comme **déchet** « tout résidu d'un processus de production, de transformation ou d'utilisation, toute substance, matériau ou produit que son détenteur destine à l'abandon » (Ivamer, 2002).

La différence entre coproduits, sous-produits et déchets peut s'énoncer de la façon suivante :

- Pour un **coproduit**, la «valorisation», au sens strictement économique du terme, est totale : les coproduits disposent d'un marché et d'une cotation. Souvent, des agents économiques spécialisés, différents du producteur, interviennent pour assurer leur distribution auprès d'une véritable clientèle. Le producteur de coproduits tire bénéfice de leur vente.
- Le **sous-produit** ne connaît qu'une valorisation partielle, spécifique ou locale. Quand elle existe, la valorisation économique reste de faible valeur ajoutée, soumise aux aléas économiques, et ne permet souvent l'intervention que d'un unique opérateur intermédiaire. Le sous-produit répond à un ou plusieurs usages possibles reconnus.
- Le **déchet** correspond à une matière dont le producteur cherche, avant tout, à se débarrasser ou qu'il souhaite éliminer (mise en décharge, incinération, retour au sol, etc.).

I.2. Panorama des grandes familles de coproduits d'intérêt zootechnique

Le gisement des coproduits représente un total estimé de l'ordre de 60 millions de tonnes brutes, soit 25 millions de tonnes de matière sèche (MS). Si l'on exclut la paille, le gisement global tombe à 7 millions de tonnes de MS, dont 25 % sont représentés par les coproduits de la betterave sucrière (pulpe essentiellement). On s'intéresse plus particulièrement aux herbivores car le système d'élevage et le fonctionnement polygastrique de leur système digestif leur confèrent un réel avantage à valoriser des produits végétaux en l'état (Dumonthier, 1994).

I.2.1. Coproduits d'origines végétales

Dans les rations toutes végétales, l'apport protéique est souvent amené par l'ajout de tourteaux.

Le tourteau est le sous-produit solide résultant de l'extraction de la partie huileuse des grains. Les plus connus sont les tourteaux de soya et de canola. Le tourteau de soya est le plus populaire et contient entre 44 et 50% de protéines brutes (Brookes, 2000 ; Brookes, 2001). Les tourteaux sont très riches en protéines brutes, soit autour de 34,8% pour le canola et 48% pour le soya (National Research Council, 1994). Celui de soya est utilisé en plus grande quantité dans l'alimentation des mono gastriques au Québec.

Le canola est en fait le produit d'une série de sélections génétiques faite au Canada à partir d'une variété de colza (Santé Canada, 2003). Il est encore recommandé de limiter l'inclusion à 3% pour la diète des poules brunes (Canola Council of Canada, 2009).

Le blé moulu contient entre 15.3 et 16.5% de PB, dépendant du taux d'inclusion en son (National Research Council, 1994). Toutefois, celui-ci est riche en ANSP (polysaccharides solubles non amylicés), un composé qui se lie avec l'eau et forme un gel, rendant le bol alimentaire moins digestible.

Le riz quant à lui est surtout utilisé sous la forme de gru, le son. Il contient en moyenne 12.8% de PB (National Research Council, 1994). Sous cette forme, c'est la partie fibreuse qui est utilisée alors si son inclusion est trop haute dans la ration, il en suivra une diminution des performances.

A. Coproduits lignocellulosiques

Les pailles de céréales, de pois protéagineux, et les cannes de maïs représentent près de 90 % du gisement de coproduits exprimé en matière sèche (MS). En réalité, le tiers de ce gisement n'est pas récolté mais souvent enfoui (environ 8 millions de tonnes de pailles de céréales, la majeure partie des pailles de pois et de canne de maïs). Les pailles sont des aliments assez pauvres, qui conviennent à des animaux dont les besoins alimentaires sont modérés. Incorporés en faible quantité dans les rations, ils remplacent d'autres fourrages grossiers. En année sèche, lorsque le fourrage manque, la paille redevient un aliment recherché : lors de la sécheresse de 1976, les quantités consommées par les animaux se sont élevées à 6 millions de tonnes, contre 2 millions de tonnes en année normale. Le traitement de la paille à l'ammoniac permet d'améliorer la qualité nutritionnelle du produit et peut être une bonne solution de dépannage en année sèche, ou même s'intégrer en routine dans le système fourrager de l'éleveur. Les pailles de céréales ont surtout d'autres utilisations que l'alimentation animale : litière pour les animaux (environ la moitié de la paille produite), production d'énergie, support à la culture de champignons, etc (Dumonthier, 1994).

B. Coproduits de l'industrie sucrière

Les pulpes de betteraves sont issues de la production de sucre à partir de betteraves sucrières et représentent un tonnage de 15 millions de tonnes brutes. Signalons dès à présent qu'il s'agit d'un aliment riche en énergie, de composition régulière, recherché par les éleveurs et totalement valorisé en alimentation animale (directement ou par la fabrication d'aliments composés) (Besancenot, 2000).

C. Coproduits de la filière lait

Le lactosérum, ou «petit lait» provient de la fabrication du fromage. C'est un produit liquide (7 % de MS), riche en énergie et pauvre en azote. Il y a une trentaine d'années, l'élimination du lactosérum, agressif vis-à-vis du milieu naturel, posait des problèmes. Alors que la production de lactosérum natif a doublé de 1964 à 1990, le taux de récupération du produit est passé, lui, de 88 à 97 %. 80 % de la production est valorisée industriellement, en alimentation animale ou humaine et, plus marginalement, en chimie et en pharmacie. Depuis une trentaine d'années, les grands groupes laitiers ont investi dans des unités de déshydratation. Avec 1 000 personnes et 2 milliards de francs de chiffre d'affaires, cette filière représente un poids considérable. La part valorisée directement en élevage, essentiellement porcin, atteint aujourd'hui environ 17 %. Signalons que le babeurre (507 000 t), coproduit obtenu après le barattage de la crème, et le lait produit au-delà du quota autorisé, peuvent également être donnés comme aliments aux porcs (Besancenot, 2000).

E. Coproduits des filières fruits et légumes

Avec environ 7 millions de tonnes produites par an, la filière fruits et légumes génère des coproduits nombreux et très divers. La grande majorité d'entre eux est théoriquement utilisable pour nourrir les ruminants, mais avec un intérêt alimentaire très variable. Par rapport aux filières précédentes, l'utilisation de ces coproduits par les ruminants est moins bien connue. IL s'agit en effet souvent de valorisations de proximité, avec un nombre restreint d'éleveurs, qui échappent aux enquêtes économiques. Les résidus laissés au champ correspondent aux parties non-consommées par l'homme (feuilles de choux-fleurs, gousses de petits pois, etc). Ces coproduits sont très partiellement valorisés en élevage. A titre d'exemple, la racine d'endives était traditionnellement utilisée dans les élevages du Nord de la France. Concentrés dans des bassins de production où l'élevage a régressé, les endiviers trouvent difficilement acquéreurs pour leurs racines (IAA, 1995).

F. Coproduits de la pomme de terre

La filière pomme de terre génère de l'ordre de 130 000 t de MS d'écartés de triage, pour la filière frais, et 70 000 t de MS de coproduits pour la filière industrie en plein développement.

Cette dernière comprend deux secteurs: la transformation pour l'industrie humaine (fabrication de purée, de chips...) et la féculerie. Il en résulte des types de coproduits très

différents : pelures, pulpes crues, amidon cru, purée, etc. Ces coproduits sont recherchés par les éleveurs de bovins et de porcins et semblent assez largement valorisés en alimentation animale : soit directement du producteur à l'éleveur, soit par l'intermédiaire de négociants. Plus rarement, ils entrent dans la fabrication d'aliments composés. En année de production exceptionnelle, des retraits peuvent être organisés par l'interprofession et, pour une partie, trouver un débouché dans les élevages (Morel d'Arleux, 1990).

G. Coproduits de la filière vitivinicole

Le marc de raisin épuisé (dont on a retiré l'alcool par distillation) n'est presque plus utilisé en alimentation animale (5 % de la production). Son intérêt alimentaire est très limité (faible digestibilité) et il est produit essentiellement dans des régions où l'élevage est peu présent. Le compost, la transformation en huile ou l'utilisation comme combustible d'appoint sont aujourd'hui les principales voies de valorisation (Ivamer, 2002).

H. Coproduits de la transformation des céréales, oléagineux et protéagineux

Ces coproduits sont souvent utilisés dans la fabrication d'aliments composés et cotés sur le marché mondial comme des matières premières à part entière. Utilisés sous forme humide ou sèche, il s'agit des tourteaux de colza, de soja, de tournesol et de lin, obtenus après extraction de l'huile ; des coproduits d'amidonnerie (corn gluten feed, etc.) ; des drêches de blé et des solubles de distillerie de maïs, obtenus lors de la production d'éthanol ; des coproduits de meunerie (son et remoulage de blé, générés lors de la fabrication de la farine) ; et des coproduits de séchage et tri des céréales (grain de maïs notamment). Notons que certains éleveurs de porcs utilisent directement ces matières premières pour fabriquer leur propre aliment (Theobald et Wiard, 1994).

II.1.1. Le cheptel et ses besoins en alimentation

II.2.1. La production fourragère, base de l'alimentation des herbivores

Les fourrages sont les productions végétales utilisées dans l'alimentation des herbivores. Au sens strict, les fourrages ne comprennent que les productions herbacées. Au sens large, on y associe des cultures annuelles comme le maïs ensilé, le chou fourrager, la betterave fourragère, etc.

Les surfaces toujours en herbe (STH) correspondent à des prairies naturelles et permanentes, sur des terres difficilement labourables.

Les prairies temporaires sont régulièrement semées par les éleveurs. Elles sont constituées de graminées, parfois associées à des légumineuses (luzerne, trèfle). Ces prairies sont pâturées au printemps et en été, et permettent également aux éleveurs de constituer des stocks pour l'hiver. L'ensilage d'herbe (conservation d'herbe hachée et tassée en silo Bache) s'est beaucoup développé depuis une vingtaine d'années car il facilite la récolte et valorise mieux les repousses de printemps. Plus récemment, l'enrubannage (balle ronde enrobée sous un film plastique) a encore accentué la mécanisation des récoltes. Le foin, plus traditionnel, reste dominant dans Les zones de montagnes pour des raisons climatiques et topographiques.

Les fourrages annuels sont surtout constitués par le maïs ensilage (environ 1 500 000 ha) et d'autres cultures secondaires (colza, chou fourrager...). La culture du maïs ensilage est l'un des principaux éléments de l'intensification de l'élevage laitier au cours des 30 dernières années. IL représente environ 20 % de l'alimentation des herbivores et est principalement consommé par les bovins laitiers. Son haut rendement fourrager, sa richesse en énergie, et les progrès dans la mécanisation de sa culture et sa distribution expliquent notamment son succès (Besancenot, 2000).

III. Connaître et savoir utiliser les coproduits

III.1. Quelques notions d'alimentation animale

III.1.1. De l'aliment au produit final

L'activité d'élevage peut être schématisée comme une activité de transformation d'aliments en produits : lait, œufs ou muscle qui, après abattage, donnera la viande. C'est au niveau du tube digestif qu'un aliment est dégradé en éléments simples (phase de digestion). Les nutriments, seuls éléments capables de traverser la paroi du tube digestif, entrent alors dans un ensemble de processus chimiques (métabolisme) qui visent à répondre aux besoins physiologiques de l'organisme. A travers des réactions chimiques complexes, certains nutriments contribuent à la production d'énergie permettant à l'organisme d'assurer les fonctions de base (respiration, maintien d'une température interne constante...) et d'utiliser d'autres nutriments pour synthétiser de la matière vivante et développer la production de lait ou de tissus musculaires et adipeux (Dumonthier, 1994).

III.1.2. Une ration doit être équilibrée

Les animaux ont besoin d'une alimentation équilibrée en énergie, en azote et en minéraux. En pratique, un éleveur établit des rations qui doivent répondre aux besoins des animaux. Les chercheurs ont défini des unités d'alimentation qui permettent de déterminer à la fois les besoins des animaux et la valeur nutritionnelle des différents aliments : ce sont les

U.F. (unités fourragères), P.D.I. (protéines digestibles dans l'intestin), énergie métabolisable, etc., Les besoins varient en fonction du niveau de production de l'animal. On parle d'animaux à besoins élevés pour les vaches laitières ou les vaches nourrices en période d'allaitement. A l'inverse, les broutards, les vaches ou les brebis taries ont des besoins faibles. Pour constituer une ration équilibrée, les coproduits doivent être associés à d'autres aliments, comme le montrent les exemples du tableau 15.

Tableau 15 : Exemples de rations intégrant des coproduits

	(RATION OUMIDIENNE, EN KG DE PRODUIT BRUT)
VACHES LAITIÈRES PRODUISANT 20 KG DE LAIT PAR JOUR	
Pommes de terre en l'état à 20% de MS	15
Ensilage de maïs à 27% de MS	35
Paille ou foin	à volonté
Complément azoté à 42% de MAT	2,3
Carbonate de calcium	0,18
Complément minéral vitaminique type 10-20 P Ca	0,1
BREBIS DE 60 KG ALLAITANT UN AGNEAU, EN DÉBUT LACTATION	
Pulpe de tomate à 30% de MS	3,5
Foin	0,5
Paille	0,3
Céréales	0,2
Complément minéral vitaminique	0,03

PORCS À L'ENGRAISSEMENT (À PARTIR DE 60 KG)	
Maïs grain	1,6
Tourteaux de soja48	0,45
Drêches de brasseries	1,10
Minéraux	0,07

III.1.3. La valeur nutritive d'un aliment chez les herbivores

Chaque matière première possède une valeur énergétique, exprimée chez les herbivores en Unité Fourragère (UF), et une valeur azotée (les protéines, composés essentiels de la matière vivante, constituant la principale source azotée) qui s'exprime pour l'élevage bovin, ovin et caprin en Protéines Digestibles dans l'Intestin (PDI), et chez les équins en Matières Azotées Digestibles Cheval (MADC) (Besancenot, 2000).

• Les UF expriment la valeur énergétique

En fait, chez le ruminant, l'énergie est utilisée différemment par l'organisme selon qu'il y a production prépondérante de lait ou croissance et développement musculaire. C'est la raison pour laquelle un même aliment a une valeur UF lait (UFL), et une valeur UF viande (UFV). Pour les chevaux, on emploie les UFC (Unité Fourragère Cheval).

• La MAT : l'azote total

La MAT (matière azotée totale) exprime la quantité d'azote contenue dans chaque aliment. Elle est relativement facile à déterminer par des analyses, mais n'exprime pas la quantité de matière azotée qui peut être réellement fixée par l'animal : pour cela, on a recours au PDI.

• Les PDI : protéines digestibles dans l'intestin ou azote utilisable

Les PDI traduisent la quantité de protéines effectivement disponible pour l'animal. On parle de PDIA et PDIM, ou de PDIN et PDIE, ces deux dernières expressions étant les plus fréquemment employées pour caractériser un aliment. La synthèse des protéines par les micro-organismes au niveau du rumen est limitée par deux facteurs principaux. Lorsque le facteur limitant est l'azote biodégradable, la valeur azotée est dans ce cas exprimée en PDIN. Lorsqu'il s'agit de l'énergie, la valeur azotée de l'aliment est alors exprimée en PDIE. Un

aliment se caractérise ainsi par ses deux valeurs PDIN et PDIE. La valeur PDIN d'une ration est la somme pondérée des PDIN apportées par chaque aliment (idem pour les PDIE). La plus faible de ces deux valeurs, PDIN ou PDIE (facteur limitant), détermine donc la valeur nutritive l'aliment.

Tableau 16 : Appréciation de la teneur en énergie et en azote d'un affinent pour bovins

	Energie (UFL/KG MS)	Matières Azotées Totales (% MS)
Pauvre	< 0,60	<12
Moyenne	0,60 À 0,80	12 À 20
Rich e	0,80 À 0,90	21 À 30
Très riche	> 0,90	> 30

UFL : Unité Fourragère Lait (quantité d'énergie nette de lactation contenue dans 1 kg d'orge de référence).

III.2. Les caractéristiques générales des coproduits et de leur utilisation

Par rapport aux aliments classiques, les coproduits présentent des particularités de composition et de disponibilité.

III.2.1. Des produits riches en eau

A quelques exceptions près (pailles de céréales, coproduits de séchage des céréales, etc.) les coproduits sont plutôt riches en eau, et donc pauvres en matière sèche. Cette faible teneur en matière sèche (de 6 à 30 %) présente plusieurs inconvénients. Parmi ces inconvénients, on peut tout d'abord citer la faible valeur nutritive du kg de produit brut. Même si cette valeur est intéressante au kilo de matière sèche, les volumes d'aliments que peuvent ingérer les animaux sont limités. De plus, le fait de véhiculer une grande quantité d'eau rend le transport sur de longues distances assez onéreux. La conservation du produit frais peut également poser problème, surtout en été, car elle est souvent limitée à 2-3 jours (certains produits comme les écarts de salade peuvent évoluer très vite). Pour une conservation plus longue, l'ensilage s'impose. Or la manutention du produit est délicate, et, de par leur structure ou leur texture, certains coproduits ne peuvent s'ensiler que sur de faibles hauteurs : 1 m à 1 m 50 (purée, pelures de pommes de terre, coproduits de conserve de haricots verts...) et ne peuvent pas être tassés avec un tracteur. Pour pallier ces inconvénients, des industriels appliquent des traitements qui permettent de réduire la teneur en eau de ces produits. Parmi

ces traitements, on peut citer le surpressage, qui est pratiqué sur environ 90 % de la production de pulpes de betterave, et permet de passer de 10 (pulpes fraîches) à 20-30 % de MS (pulpes sur-pressées). On peut également citer le pressage-broyage, utilisé pour les coproduits de maïs doux, La concentration, utilisée pour le lactosérum, et enfin la déshydratation (marc de pomme, pulpe d'agrumes, pulpe de betterave, drêche de blé), qui reste un mode de traitement coûteux, et ne présente un intérêt que pour des coproduits de bonne valeur alimentaire (Ademe, 1998).

III.2.2. La transformation peut modifier la composition chimique

La composition chimique d'un coproduit dépend bien sûr des matières premières d'origine. Certains coproduits se caractérisent par une teneur élevée en cellulose (paille, cannes de maïs...), d'autres sont riches en matière grasse (pulpes de tomates), en minéraux (lactosérum), en matières azotées (drêches de brasserie) ou en amidon (coproduits de la pomme de terre).

Des traitements chimiques peuvent être spécialement mis en œuvre pour augmenter la valeur alimentaire et la digestibilité de certains aliments, ce qui n'est pas sans intérêt pour des fourrages pauvres, comme la paille de céréales ou les cannes de maïs. Après traitement à l'ammoniac, les quantités de paille de céréales ingérées par les animaux peuvent en effet augmenter de 30 à 40 % et la teneur en MAT de cette paille peut être multipliée par trois (Dumonthier, 1994).

III.2.3. Les coproduits sont disponibles à certaines périodes

Certains coproduits sont disponibles toute l'année, avec toutefois des variations saisonnières, ce qui permet à l'éleveur de s'approvisionner régulièrement et d'utiliser le produit en frais. D'autres ne sont disponibles que sur des périodes brèves. Dans ce cas, l'éleveur peut les utiliser en l'état ou les ensiler pour reporter leur utilisation à une période qui correspond mieux aux besoins du troupeau (Besancenot, 2000).

III.3. Déterminer l'intérêt alimentaire d'un coproduit

Pour bien connaître un aliment et ses possibilités d'utilisation en alimentation animale, on doit respecter une succession d'étapes.

III.3.1 Bien le définir : le «typage»

Le typage permet de caractériser un coproduit sans confusion possible avec un autre. Pour cela, il est souvent nécessaire de préciser :

- le produit d'origine ;
- Le processus de transformation dont il est issu ;
- les composants du produit d'origine qui le constituent.

L'industrie de la pomme de terre de féculerie engendre par exemple de nombreux coproduits (crus, cuits, en purée ou en pulpe, sous forme fraîche, sur-pressée, déshydratée). On définit la pulpe sur-pressée de pomme de terre de féculerie comme «un coproduit humide, obtenu après extraction d'une grande partie de l'amidon et des protéines de la pomme de terre de féculerie, se présentant sous forme de purée crue, composée de parois cellulaires, d'amidon et de protéines résiduels» (Ivamer, 2002)..

III.3.2. Analyser la composition chimique

Dans chaque département, plusieurs laboratoires privés ou dépendant d'organismes publics réalisent des analyses. Voici quelques recommandations pour leur réalisation, et la liste des principaux critères d'analyse possibles (tableau 17).

A. Prélever un échantillon représentatif

L'échantillon, d'un poids moyen de 1 kg brut, doit être issu de plusieurs prises effectuées dans le produit à analyser et stocké dans un sac plastique à fermer hermétiquement après en avoir chassé l'air. Il convient ensuite d'identifier cet échantillon à l'aide d'une étiquette (nom de l'expéditeur, le type de produit, etc.) et de l'accompagner d'une fiche commémorative décrivant succinctement le processus dont il est issu ou d'autres informations utiles. L'échantillon peut être stocké dans un congélateur (au cas où l'on voudrait grouper les envois au laboratoire). Sinon, il doit être expédié le plus rapidement possible.

La composition du produit de base pouvant varier dans l'année, il ne faut pas hésiter à réaliser trois ou quatre analyses (Ademe, 1998).

Tableau 17 : Critères d'analyses utiles pour juger de l'intérêt alimentaire d'un aliment

CRITÈRES	RUMINANTS	CHEVAUX
MATIERE SECHE (MS)	oui	oui
MATIERES AZOTES TOTALES (MAT)	oui	oui
CELLULOSE BRUTE (CE)	oui	oui
LIGNINE (ADL)	oui	Non
MATIERE GRASSE (MG)	oui	oui

AMIDON	oui	oui
SUCRES SOLUBLES	oui	Non
CENDRES	oui	oui
CALCIUM (CA)-PHOSPHORE (P)	oui	oui
DEGRADABILITE ENZYMATIQUE 1 Heure (DE1)	oui	Non
LYSINE	non	oui
ACIDE AMINE SOUFRE (METHIONINE. CYSTINE)	non	non
ENERGIE BRUTE (EB)	oui	oui

C. Pour des déterminations plus fines

En plus des constituants précédemment cités, il peut être nécessaire de demander les analyses de certains paramètres dont les valeurs peuvent être utilisées pour la prédiction des valeurs alimentaires, notamment :

- Les constituants pariétaux (NDF, ADF, ADL) mesurés par la méthode Van Soest ;
- la fraction d'azote soluble (ruminants) ;
- certains autres acides aminés comme le tryptophane ou la thréonine;
- et enfin les macros ou micro-éléments (potassium, cuivre, sodium, soufre, aluminium soluble), surtout s'ils sont rajoutés ou utilisés dans le processus industriel.

L'analyse de la composition chimique est une étape nécessaire, mais elle ne suffit pas : il faut connaître la valeur nutritive d'un aliment pour pouvoir l'intégrer dans une ration équilibrée. On connaît déjà la valeur nutritive de plus de 40 coproduits. Si le type et la composition chimique du coproduit étudié sont proches d'un coproduit dont on connaît déjà la valeur nutritive, on peut, par analogie, approcher la valeur de cet aliment. Il est alors nécessaire de procéder à une détermination de la valeur énergétique et azotée des aliments. Le calcul de ces valeurs dans les systèmes des unités d'alimentation proposés par l'INRA de France repose sur la détermination in vivo ou in situ de certains paramètres de l'utilisation digestive des aliments. Ces méthodes «reconnues» sont cependant lourdes et coûteuses à mettre en œuvre et les paramètres correspondants peuvent éventuellement être estimés par les modèles de prédiction à partir de méthodes de laboratoire plus simples (chimiques, enzymatiques, in vitro, physiques...). Les valeurs ainsi prédites peuvent être différentes selon les modèles utilisés et sont généralement entachées d'une incertitude plus grande. Pour les

porcs, des modèles de prédiction des valeurs énergétiques des aliments ont été mis au point (Noblet et *al.*, 1989, 1993, 1994) pour les aliments complets ainsi que pour les matières premières. Pour les ruminants, les méthodes sont présentées dans le tableau 18.

Tableau 18 : Méthodes utilisables pour déterminer la valeur nutritive d'un aliment pour les ruminants (Besancenot, 2000).

DÉTERMINATION DE LA VALEUR ÉNERGÉTIQUE
4) Mesure de la valeur Énergétique Brute (EB) à la bombe calorimétrique ou estimation à partir de La composition chimique.
5) Mesure de la digestibilité <i>in vivo</i> de la matière organique (dM0) ou estimation à partir de différents critères (par ordre de fiabilité) : <ul style="list-style-type: none"> • Méthodes enzymatiques (digestibilité à la pepsine cellulase, ...). • Méthodes enzymatiques (digestibilité à la pepsine cellulase, ...) • Méthodes <i>in vitro</i> (gaz-test, digestibilité <i>in vitro</i> en jus de rumen, ...). • Composition chimique dans ce cas, il est recommandé d'utiliser les modèles de prédiction les plus appropriés à l'aliment étudié.
6) Calcul de la valeur UFL et UFV pour les ruminants à partir de la composition chimique, la valeur EB et la dM0 de L'aliment
DÉTERMINATION DE LA VALEUR AZOTÉE
3) Mesure <i>in situ</i> de la dégradabilité théorique (DT) par la méthode des sachets de Nylon sur animaux fistules ou estimation à partir de la dégradabilité enzymatique de l'azote (DE1).
4) Calcul des valeurs PDI à partir de la teneur en MAT et des valeurs DT et dM0

III.3.3. Influence du coproduit sur les performances des animaux

Les essais zootechniques ne permettent pas de déterminer la valeur nutritive de l'aliment. Ils mesurent l'influence du coproduit sur les performances des animaux (ingestion, production de viande et de lait, composition du lait, etc.) et comparent les performances de lots d'animaux soumis à divers régimes alimentaires. Ces essais sont menés dans des établissements spécialisés (Besancenot, 2000).

Partie II

ETUDE EXPERIMENTALE

N° d'ordre...

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE



UNIVERSITÉ DJILLALI LIABES DE SIDI BEL ABBES
FACULTÉ DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE
Département des Sciences de l'Environnement

THESE DE DOCTORAT EN SCIENCES

Présentée par :

Mr. HAZEM Zouaoui

Spécialité : Environnement
Option : Eco-biochimie

Intitulé

**Etude écologique et nutritionnelle des co-produits de
Ceratonia siliqua L., Gleditshia triacanthos L. et Quercus ilex L.:
valorisation et usages**

Soutenue le

Devant l'honorable jury composé de :

<i>Président du jury</i>	: Mr M. BENALI	Professeur. Université de Sidi Bel-Abbès
<i>Examineurs</i>	: Mr M. BELKHODJA	Professeur. Université d'Es- senia. Oran
	: Mr. K. BOUDEROUA	Professeur. Université de Mostaganem
<i>Promoteur</i>	: Mr. H. BENHASSAINI	Professeur. Université de Sidi Bel-Abbès

Année universitaire 2015 - 2016

REMERCIEMENTS

Le travail qui a fait l'objet de cette thèse de Doctorat, a été réalisé au laboratoire de recherche : conservation et biodiversité végétale, Faculté des Sciences de la nature et de la vie. Université de Sidi Bel-Abbés.

Mes vifs remerciements vont :

Au Professeur H. BENHASSAINI qui m'a fait l'honneur de guider et orienter judicieusement ce travail. Son accueil toujours attentif et bienveillant, ses précieux conseils et son aide efficace ont été des encouragements décisifs pour mener à bien cette étude. Qu'il soit assuré de ma profonde gratitude et de ma reconnaissance.

Au Professeur M. BENALI, pour le grand honneur qu'il m'a fait en présidant ce jury.

Au Professeur K. BOUDEROUA, d'avoir accepté d'examiner et de juger ce travail. Je lui exprime ma gratitude et ma reconnaissance pour l'honneur qu'il m'a ainsi fait.

Au Professeur M. BELKHODJA, d'avoir accepté d'être membre du jury. Son esprit scientifique et sa compétence ont toujours suscité ma grande admiration.

Au Docteur BELMAHDI, ex directeur du centre vétérinaire de Mostaganem, pour son aide et d'avoir mis à ma disposition tous les moyens nécessaires pour mener à bien ce travail.

Au Professeur Z. MEHDADI, pour m'avoir aidé à concrétiser ce travail par son aide et ses conseils incessants.

Je remercie également tous mes collègues pour leurs encouragements durant la réalisation de ce travail.

Je remercie enfin et avec gratitude tous ceux et celles qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de cette thèse dans les meilleures conditions.

DEDICACES

Je dédie ce travail de thèse :

A la mémoire de mes chers regrettés parents

A mes frères et sœurs,

A ma petite famille (ma femme et ma fille **ABIR**),

A tous et à toutes mes ami(e)s.

Résumé

Le présent travail consiste à évaluer l'influence de l'incorporation de deux types de régimes alimentaires; l'un à base de farine de gland de chêne vert (*Quercus ilex*) seul (RI) ou en substitution partielle du gluten de maïs (RII) et l'autre, à base de légumineuses (*Ceratonia siliqua* (RIII) et *Gleditsia triacanthos* (RIV)) utilisés séparément ou combinés (RV) dans l'aliment des rats sur l'évolution pondérale, les paramètres plasmatiques, histologiques et immunochimiques. Des rats mâles de race Wistar de vingt et un jour (21) ont été élevés ensembles et alimentés avec un même régime de démarrage jusqu'à l'obtention d'un poids idéal (80 ± 5 g) ; sevrés et répartis dans des cages métaboliques à raison de cinq rats par lot. La distribution des régimes expérimentaux est effectuée au moment du sevrage jusqu'au sacrifice (60 jours). Le régime RI, montre une évolution pondérale négative et des paramètres plasmatiques non équilibrés. Par contre, l'addition du gluten de maïs à la farine de gland de chêne vert dénote une évolution pondérale avec une moyenne importante (1.5 g/j), qui reste inférieure à celle du témoin (3g/j) et des paramètres plasmatiques satisfaisants. Les régimes RIII et RIV montrent une évolution pondérale irrégulière atteignant une valeur maximale durant la sixième semaine et une chute vers la fin de l'expérimentation. Tandis que, le mélange de ces deux espèces (RV) dénote une croissance pondérale régulière qui atteint 1,7g/j en moyenne. Les rats nourris par ce régime présentent une légère hyperglycémie (134,14 mg/dl) et un taux nettement élevé de triglycérides dépassant la norme (346,26 mg/dl) au niveau du lot RIV. Un taux de glucose légèrement élevé (121,95 mg/dl) et un effet hypercholestérolémiant (247,36 mg/dl) est enregistré au niveau du lot RV.

Du point de vue histologique, aucune anomalie structurale ni fonctionnelle du foie n'est enregistrée chez les rats soumis aux régimes RT, RII et RV et ce, contrairement aux rats soumis aux régimes RI, RIII et RIV où des anomalies ont été constatées. Pour les reins et les testicules, des malformations tissulaires sont constatées avec tous les régimes à l'exception du régime témoin et le régime RII. Le taux d'albumine sérique (marqueur de la malnutrition) chez les rats témoins (RT) et ceux recevant le régime supplémenté (RII) est de 50g/l et de 47g/l respectivement. Ces valeurs sont à des taux physiologiques équilibrés, confirmant ainsi l'état nutritionnel adéquat chez ces mêmes rats.

À la lumière des résultats obtenus, il est intéressant d'entrevoir l'utilisation des produits étudiés dans le domaine de l'alimentation animale.

Mots clés : régimes alimentaires, farine de gland de chêne vert, légumineuses, évolution pondérale, paramètres plasmatiques, histologie, immunochimie, rats Wistar.

Abstract

This study is to evaluate the influence of the incorporation of two types of diet, one based on oak acorn flour (*Quercus ilex*) alone (RI) or partial substitution with the maize gluten (RII) and the other based on leguminous species (*Ceratonia siliqua* (RIII), *Gleditsia triacanthos* (IV)), use separately or combined (RV) in the food of rats on ponderal evolution, plasma and immunochemical parameters. Wistar male rats race of twenty-one days old (21) were raised together and feeded with the same reference diet until obtaining an ideal weight (80 ± 5 g); weaned and distributed in metabolic cages with five rats per batch. The distribution of the experimental diets based on fagaceae and leguminous is performed at weaning until sacrifice (60 days). The RI diet shows a negative pondered evolution with not equilibrate plasmatic parameters. However, the addition of maize gluten with the oak acorn flour show the high pondered evolution average (1.5g/day) which is less than that of the control (3g/d) and satisfied plasmatic parameters. Diets RIII and RIV, show an irregular pondered evolution reaching a maximum value during the sixth week, and decrease at the end of the experiment. In contrast, the mixture of these two species (RV) denotes a regular ponderal evolution with a significant average (1.7g/d). The Rats fed by this diet represent mild hyperglycemia (134,14mg/dl) and high levels of triglycerides above the standard (346,26mg/dl) at the level of batch RIV. A slightly elevated glucose level (121, 95 mg/dl) and an hypercholesterol effect (247,36mg/dl) is recorded in the batch receiving the RV regime.

In point of view of the histology, no structural and functional abnormality of liver is recorded in rats subjected to diets RT, RII and RV and that, unlike the rats subjected to diets RI, RIII and RIV where deficiencies have been recorded. For the kidneys and testicular, the tissues malformation are found with the all regime except the control and the RII diets. The rats receiving the supplemented regime (RIII) and the control diet (RI) respectively show a serum rate of albumin of 50g/l and of 47g/l. These securities show physiological rates normal, thus confirming the nutritional state balanced in the witness rats (RI) and the supplemented rats (RIII).

In the light of the obtained results, it is interesting to envisage the use of the studied product in the field of animal alimentation.

Keywords: pondered evolution, plasmatic parameters, immunochemistry, flour of oak acorn green, leguminous, Wistar rats, Maize gluten, albumin.

ملخص

ترتكز هذه الدراسة إلى تقديم تأثير الإدراج نوعين من النظم الغذائية (الحمية) الاولى تتكون من طحين حشفة البلوط الأخضر و RI حده أو بالاستبدال الجزئي لعلوتين الذرة (RII) والآخرى تتكون من الباقوليات (*Cerantonia Siliqua* (RIII) et *Gleditshia Triacanthos* (R IV)) المستعملة بشكل منفصل أو مجتمع (RV) في غذاء الفاران لمتابعة تغيرات الوزن، الثوابت البلازمية والمناعة الكيميائية، لقد تم تربية الفاران الذكور من سلالة وستار ذات 21 يوم بنفس النظام البدائي حتى الحصول على وزن مثالي (80 ± 5 غ) . فطمها وتوزيعها في أقفاص خاصة بمعدل 5 فارات لكل حصة. لقد تم توزيع النظام الغذائي على أساس الباقوليات ابتداء من الفطم إلى التشريح (60 يوم) بين النظام الغذائي (R 1) تغيير سلبي في تطور الوزن وثوابت بلازمية غير متوازنة. عكس إضافة الغلوتين الذرة إلى طحين حشفة البلوط الأخضر نشير إلى تغير الوزن بمعدل مهم 1.5 غ/يوم ولكي يبقى أدنى من الشاهد (RT) 3 غ/يوم وثوابت بلازمية مرضية. تبين النظم الغذائية (RIV) (R III) . تغير غير منتظم في الوزن حتى تبلغ القيمة القسوة أثناء الأسبوع السادس وتراجع في نهاية التجربة بالمقابل يشير المزيج من هذين النوعين من النباتات (RV) إلى تغيير منتظم في الوزن وبمعدل هام 1.7 غ/يوم . الفاران المتناولة للحمية (R IV) بينت ارتفاع طفيف بنسبة السكر في الدم 134.14 ملغ/دسل وقيمة مرتفعة من الترغسلين تفوق المعايير 346.26 ملغ/دسل. نسبة للجلوكوز مرتفعة قليلا 121.95 ملغ/دسل وارتفاع نسبة الكليسترول سجلت على مستوى القفص المتحصل على الحمية (R V) فيما يخص دراسة الأنسجة لم يتم تسجيل أي تشوه بنيوي وظيفي للكبد على مستوى النظم الغطائية R V II. R T. R وهذا عكس النظم الغذائية RIII.RIV.RI التي تم تنازلها من طرف الفاران أين لوحث التشوهات على مستوى الكليتين والخصيتين لوحظت تشوهات نسيجية مع جميع الحميات باستثناء الشاهد والحمية R II.RT على ضوء النتائج المتحصل عليها من الأجدد استخدام المواد النباتية المتطرق إليها في هذه الدراسة في ميدان التغذية الحيوانية.

كلمة المفتاح : النظم الغذائية - طحين حشفة البلوط الأخضر- الباقوليات - تطورات الوزن - الثوابت البلازمية - علم الأنسجة - المناعة الكيميائية - فاران وستار.

LISTE DES TABLEAUX

	Pages
1 Teneurs en méthionine et lysine de quelques aliments.....	8
2 Principaux éléments affectant la qualité des fourrages	11
3 Principales essences forestières de chênes et leurs superficies (ha).....	14
4 Teneurs en cendres des glands entiers de chêne vert (en % de la MS).....	19
5 Teneurs en éléments minéraux du gland de chêne vert.....	19
5 Synthèse de la classification classique et phylogénétique du caroubier	26
7 la composition chimique des caroubes selon le pays de culture	28
8 la composition moyenne de la pulpe de caroubier	30
9 Superficie occupée par le caroubier.....	30
10 Production mondiale de caroube.....	30
11 Principaux produit de la caroube et leur utilisation majeurs.....	33
12 Utilisations de la gomme de caroube et ses applications techniques	33
13 Classification classique et phylogénétique de <i>Gleditsia triacanthos</i>	35
14 Les différents cultivars de <i>Gleditsia triacanthos</i>	39
15 Exemples de rations intégrant des coproduits.....	50
16 Appréciation de la teneur en énergie et en azote d'un affinent pour bovins.....	51
17 Critères d'analyses utiles pour juger de l'intérêt alimentaire d'un aliment.....	54
18 Méthodes utilisables pour déterminer la valeur nutritive d'un aliment pour les ruminants.....	55
19 Poids des différents organes (foie, testicules, reins) des rats soumis aux régimes RI, RII, RIII (en g du poids corporel) après 2 mois d'expérimentation.....	67
20 Poids des différents organes (foie, testicules, reins) des rats soumis aux régimes à base de légumineuses (en g du poids corporel) après 2 mois d'expérimentation.....	74
21 Concentration massique de chaque étalon et leur diamètre correspondant en mm ² ...	78

ABREVIATIONS UTILISEES

AFNOR: Association Française de Normalisation

NA : Norme Algérienne

INRA : Institut National de Recherche Agronomique

GCV : Glands de Chêne Vert

GCL : Glands de Chêne Liège

MS : Matière Sèche

PPM : Partie par million

UF : Unité fourragère

Ha : Hectare

Cal : Calorie

J : jour

FGM : Farine de gluten de maïs

R : Régime

FPC : Farine de pulpe de la caroube

Table des matières

Introduction.....	1
-------------------	---

PARTIE I : APERÇUS BIBLIOGRAPHIQUES

Chapitre I : les fourrages à base de plantes

I. Espèces de plantes fourragères.....	3
II. Mélanges fourragers	3
III. Valeur biologique des plantes fourragères.....	4
III. Ligneux Nord Africain.....	5
IV. Cas du gland de chêne vert.....	5
V. Cas des légumineuses.....	5
IV.2.1. Le caroubier.....	6
V.II.2.2. Le févier d'Amérique.....	7
V. Filières des productions animales.....	7
VI. Critères d'évaluation multi-objectifs de la valeur des fourrages.....	8
VII - Réponses des animaux aux régimes alimentaires.....	9
VIII. Choix des espèces : une question de rendement.....	10
IX. Valeur énergétique et son expression dans les unités d'alimentation.....	11
IX.1. La valeur azotée.....	12
IX.2. Les unités d'encombrement (UE).....	12

Chapitre II : Ligneux à potentiel fourrager

Le chêne vert

I- Présentation et répartition.....	14
I.1. Importance et diversité du patrimoine algérien.....	14
I.2. Classification.....	16
I.3. Dénomination vernaculaire.....	16
I.4. Biologie et écologie.....	16
II. Composition biochimique du gland.....	17
II.1. Humidité.....	17
II.2. Composés nutritionnels.....	17
II.2.1. Glucides.....	17

Introduction

Depuis que l'homme a domestiqué les animaux, leur alimentation est constituée tant de fourrages herbacés que de ligneux. Les arbres et arbustes constituent toujours une ressource fourragère non négligeable dans les régions méditerranéennes, arides, semi-arides ou encore montagneuses. Leur importance est de plus en plus reconnue dans le monde d'aujourd'hui et des travaux de plus en plus nombreux y sont consacrés dans diverses disciplines.

En Afrique du nord en général et en Algérie en particulier, le scénario est tout autre puisque depuis l'indépendance, l'exploitation de fourrages ligneux a pratiquement disparu des systèmes de production animale. Pourtant, les fourrages ligneux présentent un intérêt pour l'alimentation des animaux et la prévention de certains parasites (Vandermeulen, 2012). Leurs intérêts majeurs sont de fournir des protéines, des vitamines et souvent des éléments minéraux qui font défaut dans les pâturages herbacés pendant la saison sèche et/ou la saison froide (Lehouerou, 1995). Elles permettent ainsi de créer des réserves fourragères sur pied permettant aux troupeaux de traverser sans dommages les périodes critiques. De plus, les espèces fourragères ligneuses sont un moyen efficace de mise en valeur des terres marginales ou l'agronomie classique reste impuissante en raison des contraintes climatiques, topographiques ou édaphiques. Elles présentent divers intérêts agronomiques, écologiques, paysagers et patrimoniaux tels que la diversification des revenus pour l'agriculteur, l'abri que procurent les ligneux aux animaux contre les intempéries et leur rôle primordial dans le maintien de la biodiversité.

En raison de l'accroissement de la population mondiale et des contraintes bioclimatiques drastiques puis d'un déficit en ressources alimentaires ; la malnutrition est devenue une préoccupation majeure de la communauté internationale. Les pays du Sud et ceux en voie de développement connaissent actuellement un déficit dans la production fourragère qui impacte la malnutrition animale et par conséquent humaine. Ceci se traduit par une balance négative en termes d'apport protéique dans l'alimentation de la population. Ceci pousse nos décideurs politiques et scientifiques vers la recherche de nouveaux coproduits

naturels pouvant être utilisés dans le domaine de l'alimentation animale et d'épargner notre pays les prix exorbitants des produits naturels importés qui atteignent 40 millions de Dollars/an.

Par sa richesse et sa diversité, la flore Algérienne (autochtones et allochtones), offre énormément de possibilité dans ce domaine. Tel est le cas des espèces objet de la présente thèse et qui sont : *Quercus ilex*, *Ceratonia siliqua* et *Gleditsia triacanthos* appartenant à la famille des fagacées et des fabacées respectivement. Ces espèces occupent de vastes étendues et sont facilement accessibles. Plusieurs études ont montré l'effet positif de la qualité nutritionnelle des coproduits de plantes. Nous citons à titre d'exemple les travaux de Boudroua et Selselet –Attou (2003), sur l'utilisation du gland de chêne vert dans l'alimentation du poulet de chair sans que les performances de croissance et la composition corporelle ne soient altérées. Chellig (1992) montre que les brebis recevant la caroube (30% de son de blé et 70% de caroube entière (pulpe + graines), présentent des taux de fécondité et de prolificité comparables à ceux enregistrés par les brebis témoins (30% de son de blé et 70% d'orge). *Gleditsia triacanthos* est considérée par certains auteurs comme une plante capable de fournir de haute nutrition fourragère pour le bétail (Shadow, 2003). Il nous est donc apparu intéressant de mettre en valeur et de concevoir une nouvelle approche quant à l'utilisation des coproduits et de mettre en exergue les possibilités de leurs valorisations dans le domaine de l'alimentation animale. La présente thèse qui est une suite logique des travaux entamés lors du Magister a pour objectif d'effectuer des essais nutritionnels sur des rats Wistars soumis à différents régimes, utilisant de la farine issue des fruits des trois espèces sus-citées en analysant leurs composés biochimiques pour ensuite montrer la qualité et l'effet de ces régimes sur l'évolution pondérale, les paramètres plasmatiques et immunochimiques.

La thèse s'articule sur plusieurs volets qui sont gérés de la manière suivante :

Chapitre I : Les fourrages à base de plantes

Chapitre II : ligneux à potentiel fourrager

Chapitre III : Notions de coproduits

Chapitre IV : Matériel biologique et méthodes d'études

Chapitre V : Résultats et discussion.

Chapitre VI : Conclusion et perspectives.

Partie I

APERÇUS BIBLIOGRAPHIQUES

Chapitre I

LES

SE DE

I. Espèces de plantes fourragères

Contrairement aux cultures de maïs, de soya ou bien des quelques espèces de céréales cultivées en Europe, les plantes fourragères englobent généralement un très grand nombre d'espèces : des légumineuses, des graminées et d'autres. Cet état de fait résulte de la nature de ce que sont les plantes fourragères, dont la définition générale regroupe toutes les espèces dont les parties végétatives servent à l'alimentation des animaux. L'utilisation de différentes

espèces fourragères au Europe, et ailleurs, dépend de plusieurs facteurs reliés aux expériences, bonnes ou mauvaises, aux performances, aux traditions et à l'attrait du nouveau (Gallard et *al.*, 1998).

II. Mélanges fourragers

Dans le cadre d'une exploitation laitière, il n'existe pas de plante qui, à elle seule, pourrait répondre de façon adéquate à tous les besoins nutritionnels des animaux. Les rations combinent différentes espèces fourragères et d'autres aliments. Les légumineuses et les graminées fourragères possèdent des caractéristiques complémentaires.

– Au niveau de l'alimentation, les légumineuses possèdent des concentrations en protéines plus élevées, de même qu'en calcium et en magnésium.

– Au niveau de la récolte et de la conservation, les graminées sont plus facilement ensilables (plus de sucres fermentescibles). Elles sont aussi plus faciles à faire sécher au champ et moins sujettes à l'effeuillage.

– Au niveau de la production de matière sèche, les légumineuses ont des rendements généralement plus élevés ; leur production est répartie plus uniformément durant la saison de végétation. Elles tolèrent mieux les températures plus chaudes de juillet et la sécheresse que les graminées qui, pour leur part, sont plus tolérantes à l'hiver et croissent plus tôt en début de saison et plus tard à l'automne.

– Au niveau agronomique, les légumineuses fixent l'azote atmosphérique. De leur côté, les graminées supportent mieux la paissance et protègent plus le sol contre l'érosion. Un mélange de graminées et de légumineuses permet ainsi de profiter des avantages de l'une et de l'autre.

Il est également avantageux au niveau de la production au champ :

– les graminées utilisent l'azote laissé dans le sol par les légumineuses ;

– les graminées, grâce au tallage, peuvent combler les espaces laissés libres par les plants de légumineuses qui n'auront pas survécu à l'hiver ;

– les racines de graminées explorent le sol surtout en surface alors que les légumineuses présentent une meilleure répartition dans leur exploration des différentes profondeurs de sol. De plus, leurs capacités d'échange cationique diffèrent : les graminées ont plus de facilité à extraire le potassium du sol alors que les légumineuses extraient le calcium et le magnésium plus facilement ;

La majorité des avantages reliés à un mélange légumineuses-graminées pour des considérations d'alimentation, de récolte et conservation, de production de matière sèche et au niveau agronomique seront obtenus en utilisant un mélange simple, c'est-à-dire une seule

espèce de légumineuses avec une seule espèce de graminées. La décision d'augmenter le nombre d'espèces dans un mélange est difficilement justifiable ; il y a très peu d'avantages supplémentaires à en obtenir. Il est erroné de croire qu'un mélange de plusieurs espèces permettra d'obtenir un bon rendement dans toutes les conditions (Gallard et *al.*, 1998).

Les cultures fourragères peuvent être classées comme temporaires ou permanentes. Les premières sont pratiquées et récoltées comme n'importe quelle autre culture. Les cultures fourragères permanentes correspondent à des terres occupées en permanence (c'est-à-dire pendant cinq ans ou plus) par des plantes fourragères herbacées, qu'elles soient cultivées ou sauvages (prairies sauvages ou terres de pacage), et peuvent comprendre certaines parties de terres forestières si elles sont utilisées comme pâturages (webmaster 1).

III. Valeur biologique des plantes fourragères

Les arbres et les arbustes participent à l'entretien aussi bien des animaux domestiques que des troupeaux transhumants. Les feuilles sont les parties les plus consommées des ligneux. Elles peuvent être utilisées vertes ou sèches en fonction de la période de l'année. Les fleurs et les fruits de certaines espèces sont aussi utilisés dans l'alimentation du bétail. Ces ligneux entretiennent ainsi la quasi-totalité des troupeaux, surtout ceux des petits ruminants par leurs feuillages, fleurs et fruits particulièrement en saison sèche. Dans la zone du sahel, plusieurs espèces sont appréciées par le bétail dont la plupart des individus du genre *Acacia* (*Acacia macrostachya*, *Acacia seyal*, etc). Cela montre que les ligneux interviennent de façon particulière dans l'affouragement des animaux notamment pendant la saison sèche, puisque plus de 75% des arbres et arbustes de l'Afrique de l'Ouest sont fourragers (Kabore-Zoungrouna, 1995).

IV. Ligneux Nord Africain

IV.1. Cas du gland de chêne vert

La valeur protéique d'un aliment correspond à son aptitude à satisfaire les besoins du consommateur en azote et en acides aminés, à assurer une croissance et un entretien convenables. Cette aptitude dépend de la teneur et de la qualité des protéines ainsi que la disponibilité des acides aminés (Cheftel et *al.*, 1992).

Une étude comparative a permis de classer les protéines du gland de chêne vert par rapport aux céréales. Elle montre que ces deux produits présentent une valeur biologique semblable (Belarbi, 1990).

Plusieurs auteurs rapportent la possibilité d'utilisation du gland et de sa farine en matière d'alimentation humaine (Fiestaros de Ursinos *et al.*, 1969 ; Timenez *et al.*, 1977). Les glands crus décortiqués sont consommés par la population algérienne et marocaine. La farine de gland est utilisée par les gens de Tazrout (Cherchell) (INRF, 1988) et aussi par ceux de Montados au Portugal pour fabriquer du pain (Boudy, 1955).

D'autre part, Afraitane (1990) rapporte que le gland constitue une grande source nutritionnelle pour beaucoup d'animaux (mouton, bœufs, oies, dindons et volailles). Sa valeur alimentaire serait comparable à un mélange de maïs et d'avoine. A partir de la farine de gland, on extrait de l'huile comestible et les tourteaux obtenus servent à la nutrition animale. Selon Boudroua et Selselet (2003), le régime à base de gland de chêne vert a un effet inhibiteur sur la croissance des poulets avec une augmentation du taux de matière grasse abdominale.

L'engraissement des porcs et des brebis représente un complément important de l'exploitation des chênes (Murray *et al.*, 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, de la fin d'octobre à la fin janvier ou début d'octobre à la fin décembre. Les résultats montrent qu'un porc pesant 45kg s'engraisse fortement pour peser 105 à 120kg après trois mois (Murray et Fowler, 1965)

IV.2. Cas des légumineuses

Une augmentation de l'utilisation et de consommation de légumes est indispensable pour réduire l'incidence des carences nutritionnelles. Ces espèces par leurs teneurs en nutriments, leurs activités antioxydantes et leurs caractères agronomiques occupent une place prépondérante parmi les végétaux à potentiel nutritionnel.

De nombreuses études s'accordent sur l'effet sanitaire protecteur des légumineuses (Jeannequin *et al.* (2005). Citons à titre d'exemple, la réduction de risque de certains cancers, le rôle dans la digestion "élimination des toxines, la régulation de la tension artérielle, le ralentissement de la perte de calcium sur le statut osseux, la lutte contre le vieillissement et l'équilibre pondéral, richesse en fibres, vitamines et minéraux.

D'autres études ont montré que la consommation régulière de légumineuse comme le niébé permet de combattre l'obésité dans la mesure où ces dernières procurent un sentiment de satiété, contribuer à une réduction du taux de triglycérides et du cholestérol dans le sérum

et augmenter l'apport en fibres, en protéines, en acide folique, vitamine C et éléments minéraux (Calcium, Sodium, Fer, Zinc, Potassium) (Ordonnier, 2009 in Amari, 2014).

IV.2.1. Le caroubier

Le fruit du caroubier (*Ceratonia siliqua* L.) est abondamment utilisés en alimentation humaine comme en alimentation animale, cependant, la pulpe n'a presque d'emploi que pour les ruminants. La pulpe de caroube, produit autochtone, se caractérise par son prix d'achat raisonnable, son pouvoir énergétique élevée du à sa richesse en sucres hydrosolubles, et par sa faible teneur en protéines dont les graines en sont plus pourvues. Elle peut servir dans l'engraissement des agneaux. La caroube entière (pulpe et graine), elle pourrait constituer un concentré énergétique alternatif à l'orge et aux céréales souvent utilisée mais importée (Mebirouk-Boudechiche et *al.*, 2014). Le caroubier a été utilisé dans l'alimentation humaine et animale pendant des siècles. Aujourd'hui, il est principalement exploité pour la fabrication de la gomme de caroube (additif alimentaire E-410). Pendant le processus d'extraction de la gomme, quelques sous-produits comme la farine de germes ou la pulpe sont obtenus. La farine de germes est très riche en protéines (50%) et principalement utilisée dans les aliments pour les enfants. La pulpe est très utilisée soit comme aliment diététique, soit comme remplaçant du chocolat, soit encore en alimentation animale. Elle est très riche en sucres (40-60%) en particulier, saccharose (27-40%), fructose (3-8%) et glucose (3-5%) mais pauvre en lipides (0,4-0,6%) ou protéines (2-6% ; Leroy, 1929 ; Avallone et *al.*, 1997). Par ailleurs, la pulpe présente également une teneur très élevée en fibres (27-50%) et une quantité non négligeable de tanins (Saura-Calixto, 1988). Assez souvent, la pulpe est toastée et broyée donnant une poudre de couleur marron à arôme de chocolat (farine de caroube; FPC). À part son utilisation en alimentation humaine, celle-ci semble particulièrement adaptée à l'alimentation du porc. Le remplacement du dextrose, de la poudre de lait ou des céréales par de la FPC permet d'obtenir des performances de croissance similaires chez le porcelet (Piva et *al.* 1978; Santi et *al.*, 1987) aussi bien que chez le porc en croissance-finition (Lanza et *al.*, 1983). Les sucres apportés par la FPC contribuent très probablement à la palatabilité des régimes et aucun effet antinutritionnel des tanins sur les paramètres mesurés n'est observé. Les tanins de la caroube présentent d'importantes propriétés anti-diarrhéiques (Würsch, 1987) et sont largement utilisés dans le combat des diarrhées chez l'enfant (Loeb et *al.* 1989).

IV.2.2. Le févier d'Amérique

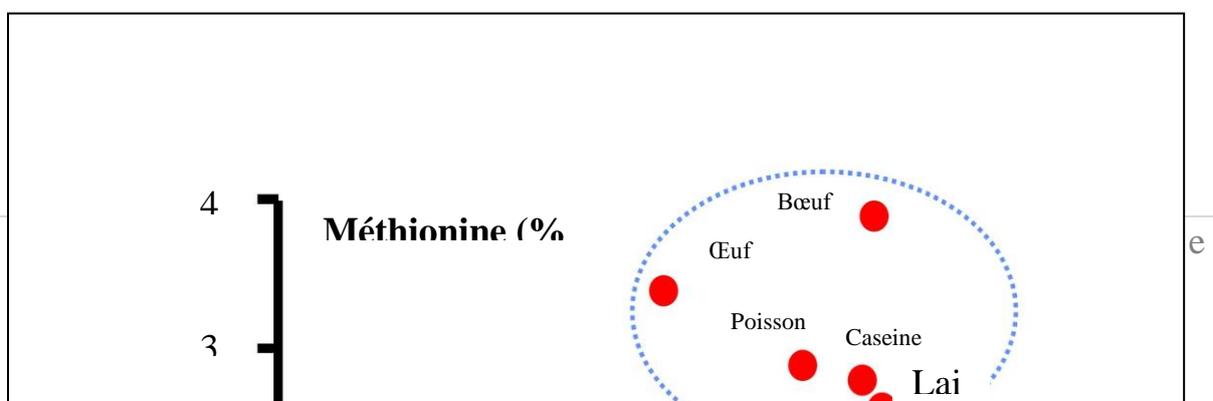
Les cultivars de *G. triacanthos* sont plantés pour former des haies brise-vent, ou pour fournir un aliment de haute valeur nutritionnelle fourragère pour le bétail. Ses gousses sont riches en sucres et sont appréciés par les personnes et le bétail. Le bois est tendre, mais peut être utilisé en menuiserie (Sanchez et *al.*, 2010). Cette espèce peut être aussi utilisée dans le contrôle de l'érosion, ou elle est actuellement testée dans plusieurs zones tempérées, méditerranéennes et tropicales des régions montagneuses du monde.

Dans le domaine médical, la pulpe du fruit est utilisée pour les maladies pulmonaires. Le thé d'écorce traite la coqueluche. Le genre *Gleditsia* comprend 14 espèces d'arbres à feuilles caduques qui peut atteindre une hauteur de 20-30 m (Huxley et *al.*, 1992). Les fruits et les épines sont utilisés pour le traitement de l'apoplexie, les maux de tête, les toux productives, l'asthme et les maladies de peau suppurées (Zhong Yao Da Ci Dian, 1979). Il a été rapporté que les extraits de graines de *Gleditsia* peuvent être utilisés en tant que source naturelle de composés phénoliques et des antioxydants. les extraits de la plante *Gleditsia* possèdent aussi des activités pharmacologiques importantes dans le traitement de la polyarthrite rhumatoïde, comme anti-mutagènes, anti-cancer. ils ont une activité cytotoxique significative contre différent lignées cellulaires (Miguel et *al.*, 2010).

V. Filières des productions animales

La production animale correspond à une activité de transformation de ressources alimentaires, qui sont pour la plupart des végétaux non valorisables directement par l'homme, en produits animaux qui se caractérisent par des valeurs nutritives énergétique et surtout azotée élevées pour l'homme. Ainsi, les protéines des produits animaux contiennent de 30 à 40% d'acides aminés essentiels alors que la plupart des protéines végétales en contiennent moins de 30, voire de 20 % (Tableau 1). L'avancée des connaissances scientifiques, de l'accumulation des observations de terrain et de la résolution des problèmes rencontrés ont permis une rationalisation croissante des pratiques alimentaires. C'est dans ce contexte qu'est née la zootechnie définie comme l'interaction de plusieurs sciences appliquées et techniques (nutrition, génétique, reproduction, pathologie...) en vue d'améliorer les conditions et la rentabilité des activités d'élevage (Sauvant, 2005).

Tableau 1 : Teneurs en méthionine et lysine de quelques aliments (Sauvant, 2005)



VI. Critères d'évaluation multi-objectifs de la valeur des fourrages

Les questions relatives à l'impact de l'alimentation sur la santé animale, la qualité des produits animaux et les rejets émis dans l'environnement doivent être prises en compte dans l'évaluation des fourrages.

Mieux connaître la cinétique de dégradation des aliments dans le rumen est nécessaire pour aller vers une meilleure prévision des flux d'ingestion et de digestion chez le ruminant. En effet cette cinétique conditionne, d'une part, le temps de séjour des aliments dans le rumen et donc leur digestibilité et, d'autre part, l'orientation des fermentations et donc les risques d'acidose ruminale, l'équilibre des nutriments absorbés, voire les rejets de méthane par l'animal. Ainsi, Peyraud (2000) a montré que la quantité de matière sèche dégradée dans le rumen au bout de 4 heures de présence était étroitement liée au temps pendant lequel le pH ruminal est inférieur à une valeur de 6 qui est un critère caractérisant le risque d'acidose. Les paramètres de la cinétique de dégradation ont déjà été caractérisés pour les principaux aliments concentrés utilisés dans l'alimentation des ruminants (INRA-AFZ, 2002). La compilation des nombreuses données de cinétiques de dégradation dans le rumen des fourrages devrait permettre de caractériser les paramètres de leur dégradation par grande classe de fourrages et de proposer une prévision de ces paramètres à partir de l'analyse de la composition chimique. Par ailleurs, l'étude des **effets associatifs** sur la digestion et l'ingestion entre constituants des plantes fourragères, en particulier les métabolites secondaires, constitue une piste pour rechercher des associations fourragères permettant une meilleure valorisation par les animaux et réduction des rejets (Niderkorn et Baumont, 2009).

VII - Réponses des animaux aux régimes alimentaires

Il faut pouvoir comprendre et connaître les réponses des animaux à ces pratiques alimentaires. Ces réponses des animaux aux régimes alimentaires se déclinent en termes d'efficacité de la transformation, de qualité des produits, d'impact sur l'environnement, sur le bien-être et la santé des animaux (Figure 1). Par exemple, la question se pose de savoir quelle quantité d'aliments concentrés doit être apportée aux vaches laitières. Compte tenu de

l'ancienneté de cette question, il est possible de trouver dans la littérature scientifique bon nombre d'expérimentations dans lesquelles l'apport de concentré représentait le facteur étudié. Un rassemblement et un traitement statistique adapté (méta-analyse) de ces données indiquent qu'un accroissement de l'apport de concentré à des vaches laitières se traduit simultanément par une baisse de l'ingestion du fourrage et du taux butyreux du lait et une augmentation de l'ingestion de l'ensemble de la ration, de la production du lait et de sa teneur en protéines et en lactose. Ces aspects représentent un exemple de réponses multiples à une pratique alimentaire. Cette façon de considérer les réponses multiples des animaux/troupeaux aux pratiques/systèmes alimentaires constitue le nouveau paradigme de l'alimentation animale (Baumont et *al.* 2007a).

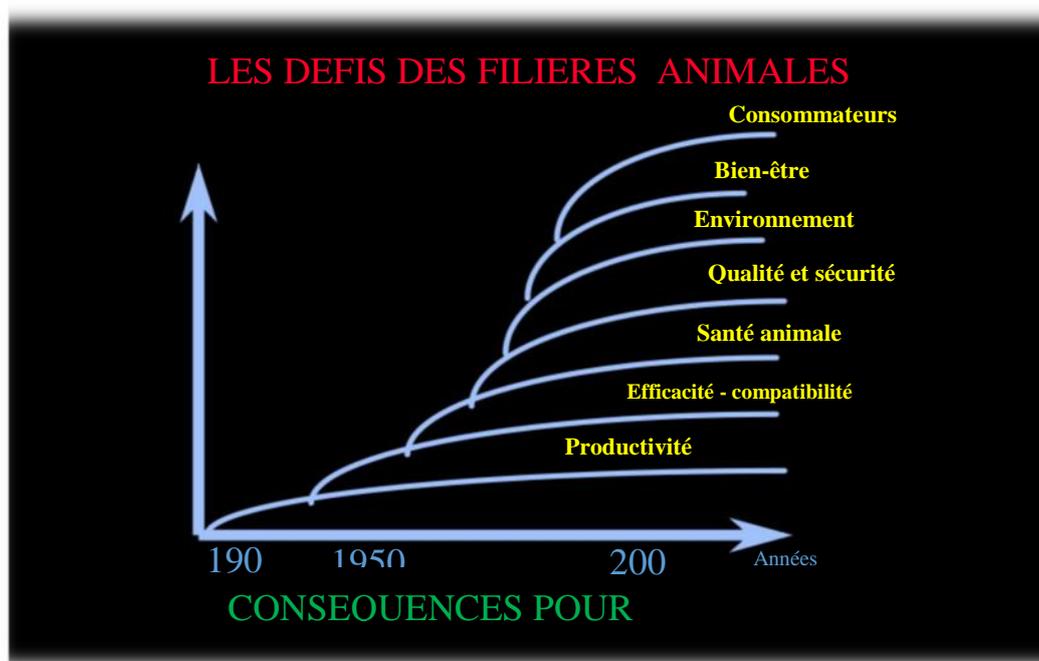


Figure 1: déficit et contraintes des filières animales (D. Sauvant, 2005).

VIII. CHOIX DES ESPÈCES : une question de rendement

La plupart des agriculteurs aimeraient bien connaître la recette magique leur indiquant l'espèce à semer afin de récolter un maximum de fourrages. Malheureusement, les choses ne

sont pas si simples. Du point de vue des herbivores, ce qui compte est d'offrir un fourrage appétant, contenant tous les nutriments essentiels au bon fonctionnement du rumen (fibres,

Facteur de qualité	Importance relative (%)
Maturité	50
Composants anti-nutritionnels	15
Récolte & entreposage	15
Climat	10
Fertilité du sol	5
Espèce/cultivar	3
Autres	2

énergie, protéines et minéraux) et à la production du lait et de viande. De fait, si on évalue la qualité du fourrage sans tenir compte du rendement, la maturité représente le facteur le plus important dans la détermination de la valeur alimentaire (tableau 2). En conséquence, le producteur averti adoptera un plan de culture comprenant des espèces qui atteignent la maturité à des dates différentes. Cela lui permettra d'allonger la période propice à la récolte, tout en tenant compte des autres facteurs tels que le rendement, le type de sol et le climat ainsi que le système d'entreposage utilisé. Si ce même producteur opte pour l'ensilage, il devra également tenir compte de l'ensilabilité des plantes choisies.

Tableau 2 : Principaux éléments affectant la qualité des fourrages Source : Cherney et Cherney, 1993

IX. Valeur énergétique et son expression dans les unités d'alimentation

La valeur énergétique des fourrages s'exprime par leur teneur en énergie nette dans le

système des unités fourragères (UFL, UFV). Le principal facteur de variation de la teneur en énergie nette des aliments est la digestibilité de l'énergie brute qu'ils contiennent et qui est très étroitement liée à la digestibilité de la matière organique. Ainsi que nous l'avons rappelé récemment (Baumont *et al.*, 2008), la dMO d'une plante fourragère dépend essentiellement de sa teneur en parois végétales et de leur digestibilité. En effet, la digestibilité des constituants intracellulaires est totale (sucres, fructosanes) ou très élevée (lipides, matières azotées), alors que celle des parois cellulaires varie entre 40 et 90% selon qu'elles sont plus ou moins incrustées de lignine. Ce raisonnement s'applique également aux céréales fourragères, puisque la digestibilité du grain est très élevée et constante (85%). Des liaisons très étroites ont pu être établies d'une part pour le maïs (Andrieu *et al.*, 1993) et d'autre part pour les graminées et les légumineuses fourragères (Baumont *et al.*, 2007a) entre la quantité de parois indigestibles présentes dans un fourrage et sa digestibilité et, par conséquent, sa valeur énergétique. Quelle que soit la famille de la plante fourragère, une augmentation de la teneur en parois indigestibles de 10 g/kg de MS entraîne une diminution de la digestibilité de 1 point et de la valeur UFL de 0,02 unité. Rappelons que la teneur en parois végétales augmente avec la croissance de la plante, et que la digestibilité des parois diminue avec le vieillissement des tissus (Duru *et al.*, 2008). On comprend donc aisément la diminution de la valeur énergétique avec l'âge de la plante ou le stade de végétation au cours des cycles reproducteurs. Lente tant que la plante est végétative, la diminution de la valeur énergétique s'accélère pour les graminées à partir de la montaison. Elle est plus linéaire pour les légumineuses. Pour les céréales comme le maïs, l'enrichissement de la plante en grain et donc en amidon vient compenser la diminution de la digestibilité des tiges et des feuilles. En conséquence, la valeur énergétique du maïs augmente légèrement avec le stade de végétation à la récolte.

IX.1. La valeur azotée

La **valeur azotée** des fourrages s'exprime par leur teneur en protéines digestibles dans l'intestin (PDI) afin d'intégrer les remaniements importants des protéines dans le rumen. On distingue la valeur PDIN qui représente la valeur PDI de l'aliment s'il est inclus dans une ration déficitaire en azote dégradable, et la valeur PDIE qui représente la valeur PDI s'il est inclus dans une ration où l'énergie est le facteur limitant des synthèses microbiennes. La valeur PDIN est directement liée à la teneur en matières azotées dégradables dans le rumen et même plus simplement à la teneur en MAT ; la valeur PDIE est liée à la digestibilité. Les fourrages dont la teneur en MAT dégradables est inférieure à 100 g/kg, ce qui correspond à une teneur en MAT de l'ordre de 130 g/kg, sont généralement déficitaires en PDIN par

rapport à leur valeur PDIE. C'est le cas des graminées récoltées à un stade tardif ou peu fertilisées et du maïs. En revanche, les graminées exploitées à un stade précoce et plus encore les légumineuses sont excédentaires en PDIN par rapport à leur valeur PDIE. Pour les graminées et les légumineuses fourragères, la valeur azotée augmente avec la valeur énergétique. A même valeur énergétique, les légumineuses ont une valeur azotée supérieure à celle des graminées, particulièrement en PDIN, du fait de leur teneur en MAT plus élevée. A l'inverse, la valeur azotée du maïs est plus faible, en particulier pour la valeur PDIN, du fait de sa faible teneur en MAT (Andrieu *et al.*, 1993).

IX.2. Les unités d'encombrement (UE)

Elles expriment l'ingestibilité des fourrages, c'est-à-dire leur capacité à être ingérés en plus ou moins grande quantité lorsqu'ils sont distribués à volonté. Plus un fourrage est encombrant, moins il est ingestible. L'encombrement d'un fourrage est proportionnel à son temps de séjour dans le rumen qui dépend du temps nécessaire à sa digestion par les micro-organismes et à sa réduction en petites particules pouvant être évacuées dans la suite du tube digestif. Ce temps de séjour est lié à la teneur en parois végétales du fourrage (Baumont *et al.*, 2000) et la valeur d'encombrement des fourrages augmente avec celle-ci. Au sein d'une même famille botanique, la valeur d'encombrement est négativement liée à la valeur énergétique car les fourrages de valeur énergétique élevée ont des teneurs en parois végétales faibles. Ainsi, les fourrages dont la valeur UFL est supérieure à 0,9 sont également très ingestibles et leur densité énergétique (UF/UE) est élevée ($> 0,9$). A même valeur énergétique, les légumineuses sont moins encombrantes que les graminées car leur teneur en parois végétales est plus faible. Toutes choses égales par ailleurs, la valeur d'encombrement d'un fourrage dépend aussi de sa teneur en matière sèche, l'ingestibilité augmentant avec celle-ci. Cela a été montré pour les fourrages verts (Cabrera *et al.* 2004) et c'est ce qui peut expliquer la variation relativement importante de l'ingestibilité du maïs avec sa teneur en matière sèche à la récolte alors que la valeur énergétique varie peu.

Pour les **éléments minéraux majeurs**, phosphore (P), calcium (Ca), magnésium (Mg), potassium (K), sodium (Na) et chlore (Cl), les besoins des animaux et l'apport alimentaire s'expriment désormais en **éléments absorbables**, notion qui recouvre la teneur en éléments minéraux (résultat de l'analyse) et le coefficient d'absorption réelle (CAR), la valeur minérale d'un fourrage résultant du produit des deux (Meschy, 2007). Des valeurs de CAR sont désormais affectées aux aliments. Selon les éléments minéraux, la quantité de données expérimentales disponible autorise une plus ou moins grande précision ; ainsi, pour le

phosphore, les valeurs de CAR varient selon la famille botanique et le mode de conservation du fourrage alors que, pour le calcium, seul l'effet de la famille botanique a pu être pris en compte. La **teneur minérale des fourrages** varie fortement avec la famille botanique. La liaison positive avec la valeur énergétique pour le phosphore traduit les effets du stade de végétation. Les valeurs de CAR du magnésium ne sont pas disponibles car elles sont fortement et négativement liées à la teneur en potassium de la ration ; pour cette raison, une correction globale basée sur la teneur en K de la ration totale a été proposée (Meschy et Corrias, 2005). Pour les électrolytes (K, Na et Cl), le CAR est toujours élevé et varie peu, et la valeur unique de 90% a été adoptée ; les valeurs en électrolytes absorbables ne figurent pas dans les tables 2007. Les teneurs en oligoéléments, qui ont également été actualisées, sont toujours exprimées comme les besoins des animaux en concentrations brutes.

Chapitre II

LIGNEUX A POTENTIEL

FORMES

LE CHÊNE VERT



I- Présentation et répartition

Le chêne pousse naturellement dans les endroits chauds et ensoleillés, on le trouve dans le sud de la France, en Espagne, au Portugal, en Italie, en Grèce, en Tunisie et même en Inde (Boudy, 1950).

Les forêts de chêne en Algérie sont situées au centre et à l'Est du pays compte tenu des conditions climatiques favorables et aux altitudes convenables. Les plus importantes chênaies sont localisées dans les régions de Tiaret, Freneda et Saïda. Ces chênaies font suite aux vieilles futaies de la région de Tlemcen.

En Kabylie, le chêne vert (*Quercus ilex*) est toujours associé au chêne liège (*Quercus suber*), jusqu'à une altitude de 800m. A l'est du pays, l'espèce est représentée par des taillis dégradés en voie de régression (Boudy, 1950).

Sur les plateaux constantinois et dans les Aurès, *Quercus ilex* est rencontré le plus souvent en association avec le pin d'Alep (Boudy, 1955). Selon Kazi Aoul (1982), la plupart des botanistes admettent que *Quercus ilex* de la variété ballotta est l'espèce la plus retrouvée en Algérie (Carte 1).

I.1. Importance et diversité du patrimoine algérien

Actuellement, le couvert forestier global en Algérie est de 4,15 millions ha, mais seuls 1,3 millions représentent la vraie forêt naturelle, le reste étant

constitué par les reboisements, les maquis, les garrigues, les matorrals ou des terres improductives aux potentialités forestières (khlefi, 2002).

Sur la base des différents travaux de (Boudy, 1955) les superficies des principales essences forestières de chêne sont mentionnées sur le tableau 3 (Khelifi, 2002).

Tableau 3 : Principales essences forestières de chênes et leurs superficies (ha).

Essence forestière	1955	1985	1997	2000	2002
Chêne liège	426.000	440.000	463.000	229.000	358.048
Chêne vert	679.000	680.000	354.000	219.000	433.312
Chêne Zen et Afares	-	67.000	65.000	48.000	47.286

Les chênes représentent une essence remarquable, ils sont considérés à la fois comme des arbres forestiers industriels et Fruitiers. Si les potentialités des chênaies algériennes sont diversifiées et occupant d'importantes superficies (tableau 3), leur mise en valeur et leur exploitation sont loin d'être rationnelles et satisfaisantes car il ressort des enquêtes menées à ce sujet que l'Algérie est loin de tirer la meilleure partie de ces chênaies (INRF, 1998).

CARTE 1 : LES PRINCIPAUX GROUPEMENTS DE CHENE (QUERCUS)



I.2. Classification

Régne : Plantae

S/régné : tracheobionta ou plantes vasculaires.

Enbranchement : Magnoliophyta ou spermaphytes Angiospermes.

Classe : Magnoliopsida ou dicotyledones.

S/Classe : Hamamélidae.

Ordre : Fagales.

Famille : Fagacéae.

Genre : Quercus.

Espèce : *Quercus ilex* (Quezel et santa, 1963).

I.3. Dénomination vernaculaire

Le Chêne vert (*Quercus ilex* L.) prend le nom vernaculaire ci-dessous et ce, selon le pays dans lequel on le trouve:

« Encina » en Espagnol.

« Azembeira » en Portugal.

« Holm Oak » en Anglais.

« Prinas » en Grec.

« Leccio » en Italie.

« Herroch » en Berbère.

« Steineiche » en Allemand.

« Ballout » en Arabe, (Kazi Aoul, 1982)

I.4. Biologie et écologie

Le chêne vert (*Quercus ilex*) de la variété ballotta est une espèce de la famille des Fagacées (Crété, 1965), caractérisée par des feuilles persistantes et coriaces lui permettant de s'adapter à la sécheresse (Patrick, 1999 ; Marcel, 2002) (figure3). Son fruit est un gland, de forme ovoïde, comestible et poussant à l'état spontané (Belarbi, 1990). C'est un végétale autotrophe par photosynthèse chlorophyllienne, la pollinisation est assurée par le vent (espèce aménogame) et les insectes (espèce entomogame), la dissémination des semences (glands) se fait par les animaux (Zoochorie).

Le chêne vert est une espèce robuste qui s'accommode aux conditions écologiques les plus variées et est très plastique (Plaisance, 1978). C'est un arbre typiquement méditerranéen, de soleil (espèce héliophile) de lumière et de chaleur (thermophile), qui résiste à la sécheresse de l'été (xérophile). Il est capable de croître sur les sols calcaires arides. Il pousse aussi sur les sols siliceux, peu pyrophile, il résiste au feu et repousse de souches après incendie ou aux coupes, sa croissance est lente. Son bois est un excellent bois de chauffage (webmaster 2). 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).



Figure 2: Fruit du gland de

II. Composition biochimique du gland

II.1. Humidité

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%,

toutefois selon Natividade (1955), le gland doux décortiqué renferme une teneur d'environ 36%.

II.2. Composés nutritionnels

II.2.1. Glucides

Les glucides constituent le groupe le plus important des substances entrant dans la composition chimique des végétaux. Comme l'eau, ils sont indispensables à la vie végétale. Ils constituent donc des substances de réserve comme 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 (Kekos et Kaukios, 1985).

II.2.2. Teneur en fractions glucidiques

II.2.2.1 Teneur en amidon

Selon les données de certains auteurs (Leclercq *et al.*, 1984 ; Picollo *et al.*, 1983 et Kekos et Koukios, 1985), il ressort que la farine du gland est un aliment énergétique par excellence, riche en amidon. Selon Boudroua (1994), la plupart des auteurs notent que la teneur en cellulose brute ne dépasse guère 3% de la matière sèche. Les valeurs obtenues par certains auteurs montrent que les glands de chêne vert renferment un taux élevé en saccharose lui conférant ainsi un goût appréciable (Belarbi, 1990).

II.2.3. Matières azotées

II.2.3.1. Protéines totales

D'une façon générale, le taux de matières azotées dans la farine du gland de chêne vert est faible, elle est l'ordre de 4 à 5% (Boudroua, 1994).

a) Acides aminés

Les acides glutamiques et aspartique sont prépondérants et représentent respectivement 13,5% et 10,93% dans les protéines totales, alors que la

méthionine est l'acide aminé limitant, sa valeur est estimée à 2% en moyenne (Belarbi, 1990).

b) Valeur biologique

La valeur protéique d'un aliment correspond à son aptitude à satisfaire les besoins du consommateur en azote et en acides aminés, à assurer une croissance et un entretien convenables. Cette aptitude dépend de la teneur et de la qualité des protéines ainsi que la disponibilité des acides aminés (Cheftel et *al.*, 1992).

Une étude comparative a permis de classer les protéines du gland de chêne vert par rapport aux céréales. Elle montre que ces deux produits présentent une valeur biologique semblable (Belarbi, 1990).

II.2.4. Les lipides

Les lipides alimentaires présentent 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 (ex: acide linoléique) que l'organisme ne peut synthétiser, des vitamines liposolubles (Afratane, 1990). La majorité des acide gras dans le gland est représentée par l'acide oléique (66,8%), l'acide palmitique (18,4%), l'acide linoléique (13,5%) et seulement 0,6% d'acide linoléique comparé à 0,9% dans les grains de céréales.

II.2.4.1. Les matières grasse totales

Les teneurs en matières grasses du gland de chêne rapportées par les littératures sont très variables, de 4,50% à 14,7% (Picollo et *al.*, 1983 ; Buron Arias, 1976). D'une façon générale, le gland de chêne vert est plus riche en lipides totaux par rapport aux autres espèces de chêne (Ferrao et *al.*, 1988).

II.2.5. Matière minérale

Plusieurs auteurs notent que le gland de chêne renferme de faibles teneurs en cendres, environ 2% de la matière sèche (tableau 4) (Buron Arias, 1976).

Tableau 4 : Teneurs en cendres des glands entiers de chêne vert (en % de la MS)

Cendres	Sources
1,20	Feriera et Vieira (1966)
2,02	Picollo <i>et al.</i> (1983)
2,25	Afraitane (1990)
1,92	Belarbi (1990)
1,65	Bouderoua (1995)

Le potassium est l'élément dominant dans le gland 1,19 % de la matière sèche en moyenne (Picollo *et al.* 1983). Par contre, le calcium et le phosphore sont présents en faibles quantités (Belarbi, 2003). Comparé au maïs, le gland renferme plus de calcium et de potassium, mais demeure pauvre en magnésium et en phosphore (Picollo *et al.*, 1983) (tableau 5).

Tableau 5 : Teneurs en éléments minéraux du gland de chêne vert

Eléments minéraux	Chêne vert	Maïs	
Ca	0,07 (%MS)	0,01(%MS)	0,01(%MS)
Mg	0,05 (%MS)	0,13 (%MS)	0,15(%MS)
P	0,10 (%MS)	0,31 (%MS)	0,31 (%MS)
Na	0,05 (%MS)	0,01 (%MS)	0,05 (%MS)
K	1,19 (%MS)	0,38 (%MS)	0,38 (%MS)
Zn	11,49 (PPM)	Ind	29 (mg /kg)
Cu	6,76 (PPM)	Ind	03 (mg /kg)
Fe	24,6 (PPM)	Ind	30 (mg /kg)
Mn	13,24 (PPM)	Ind	04 (mg / kg)
Sources	Picollo <i>et al.</i> (1983)	Larbier et Leclercq (1992)	Steven et Summers (1991)

II.3.

Composés antinutritionnels

Des substances naturelles de toute nature inhibent d'une façon ou d'une autre l'utilisation digestive ou métabolique des nutriments, tandis que d'autres éléments ont la propriété de dégrader et de détruire des nutriments par voie

chimique ou enzymatique. L'ensemble de ces substances naturelles est réuni sous l'appellation de facteurs antinutritionnels (Adrian et *al.* 1998).

II.3.1. Les polyphénols

Ils sont largement distribués dans les végétaux, ils ne sont pas directement impliqués dans le processus métabolique et ils sont considérés comme des métabolites secondaires. Se sont principalement des acides phénoliques libres ou liés sous formes d'esters. Les flavonoides dérivés des polyphénols monomères (flavane 4-ol) appelés aussi anthocyanidine et les tannins sont des polymères résultant de la condensation des flavanes 3-ol (Crevieu et Gabriel, 1999).

II.3.1.1. Les tannins

Les tannins sont des substances qui entrent dans la texture des parois cellulaires. 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.

Les tannins se rencontrent dans les feuilles, les fruits, les écorces et le bois de la plupart des chênes (Cheftel, 1992; Scalbert et *al.*, 1988).

II.3.1.2. Les phytates

Ils constituent la forme de réserve du phosphore de la plante, ils représentent 0,5% à 3,4 % de matière sèche des principales matières végétales utilisées en alimentation, on le dénomme l'ionisatol hexaphosphorique ($C_6H_{18}O_{24}P_6$) (Crevieu, 1999).

Les phytates ont des propriétés chélatantes et forment des complexes avec les minéraux et les protéines. La plupart des complexes phytates-métal sont insolubles au pH physiologique et rendent par conséquent plusieurs minéraux biologiquement indisponibles pour les animaux monogastriques et les humains. Les phytates ont un effet sur la protéolyse *in vitro*, cet effet pouvant être inhibiteur (Knuckle et *al.*, 1989).

L'excès de phytates peut affecter l'utilisation du calcium, du fer, du magnésium et du Zinc, rendant ainsi carencée une ration qui paraissait être convenable (Lepen et Adrian, 1985)

III. Facteurs de variation de la composition chimique du gland de chêne

Parmi les facteurs de variations qui ont une influence remarquable sur la composition chimique du gland, on cite souvent l'espèce, le stade de développement et la méthode de conservation.

III.1. L'espèce

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

III.2. La croissance et maturité du gland

Pour toutes les espèces, c'est durant la fin d'Août que le gland accumule les hydrates de carbone d'une façon spectaculaire alors qu'en parallèle son taux d'humidité diminue. Plusieurs auteurs s'accordent à confirmer que le niveau d'hydrates de carbone reste le meilleur indice de maturité du gland (Bonner, 1971). A partir d'octobre, le taux de la matière grasse remonte rapidement alors que la teneur en azote soluble et protéique tend à rester stable ou à diminuer (Menage Wild, 1976). Concernant les éléments minéraux, Bonner (1976) a observé que la concentration du phosphore, du Magnésium et du calcium diminue dans la plupart des glands de chêne pendant la phase de croissance.

III.3. Conservation du gland

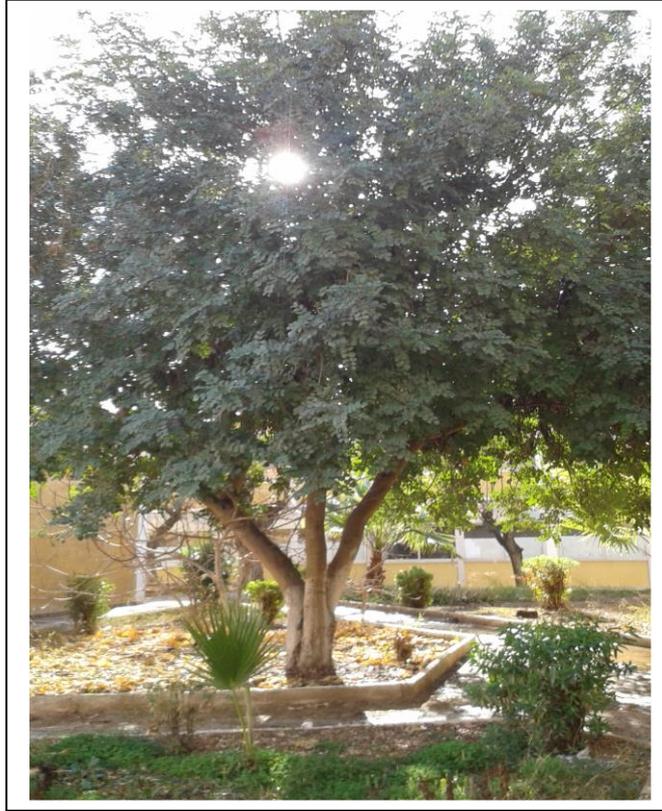
Diverses techniques de stockage ont été adaptées au cours du temps pour la conservation du gland. Il semble que la méthode au sulfure de carbone à 2% s'est avéré la meilleure et la plus économique (Natividad, 1956). Selon Muller (1986), le moyen le plus efficace consiste à une lutte chimique contre les champignons, suivie d'une thermothérapie, trempage dans l'eau chaude à 41°C

pendant 3 heures puis ressuyage jusqu'à une teneur en eau de 42%-45% avant conditionnement et stockage à -1°C .

IV. 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. Les glands de chêne sont inexploitable en Algérie, présentent actuellement un grand intérêt dû essentiellement à leur large disponibilité (27% de la surface des forêts) et leur résistance à la sécheresse. Ils sont aussi connus pour leur source d'énergie (40%-60%) d'amidon, (4,4%-7%) de lipides, quelques acides gras insaturés similaires à ceux d'huile d'olive. Le chêne vert est considéré comme plante méditerranéenne. En matière d'ethnopharmacologie, ses feuilles par simple décoction sont prescrites contre les troubles gastriques et les diarrhées. Les polyphénols contenus dans cette plante sont considérés comme un principe actif, plusieurs polyphénols tels que les acides tanniques, élagiques, les flavones, flavanols et quercetins sont connus pour leur inhibition de la sécrétion d'acide gastrique et aussi la protection de l'estomac contre les agents nécrosants (Martin, 1996 ; Maurakami et *al* ; 1992).

LE CAROUBIER



I. présentation

I.1. Introduction

Le caroubier (*Ceratonia siliqua* L.) est une espèce à plasticité écologique intéressante. Il est dit sclérophylle, thermo-xérophile, héliophile et calcicole. Il est originaire des zones arides et semi-arides de la méditerranée et de la péninsule arabique. C'est un arbre qui sur le plan socio-économique et écologique peut jouer un rôle des plus intéressants particulièrement dans les contrées sèches et dans les zones où les processus de désertification prennent des ampleurs de plus en plus alarmantes, notamment dans le bassin méditerranéen (Mahdad, 2013). C'est une espèce pérenne, à feuillage persistant et pouvant croître tant qu'arbrisseau ou arbre. C'est un composant important de la végétation méditerranéenne qui s'adapte aux sols marginaux (Konaté, 2007).

La production mondiale est estimée à environ 310 000 t / an avec des rendements très variables selon le cultivar, la région et la pratique culturale. L'Espagne est le premier producteur de caroube avec une moyenne de 135 000 t / an, suivie par l'Italie, le Portugal, le Maroc, la Grèce, Chypre, la Turquie, l'Algérie et certains autres pays (Tous et *al.*, 1996). Le caroubier présente un intérêt de plus en plus grandissant en raison non seulement de sa rusticité, de son indifférence vis-à-vis de la nature du sol, de son bois de qualité, de sa valeur ornementale et paysagère, mais surtout pour ses graines qui font l'objet de transactions commerciales dont la valeur dépasse de loin celle de la production ligneuse (Ait Chitt et *al.*, 2007).

I. 2. Nomenclature et taxonomie

Scientifiquement, le caroubier est appelé *Ceratonia siliqua* L. Ce nom dérive du grec *keras* et du latin *siliqua*, faisant allusion à la forme de son fruit qui ressemble à la 'corne' de bouc (Bolonos, 1955). Par ailleurs, le nom dialectal *kharouv*, originaire d'hébreu, a donné lieu à plusieurs dérivés tels *Kharroub* en arabe, *algarrobo* en espagnol, *carroubo* en italien, *caroubier* en français (Batlle et Tous, 1997). Dans certains cas, le caroubier prend une terminologie commune selon la croyance que Saint Jean-Baptiste s'alimenta du fruit de cet arbre durant son séjour dans le désert, lequel a donné origine à la dénomination "pain de Saint Jean-Baptiste" (Albanell et *al.*, 1991). En raison de leur uniformité, les graines du caroubier sont appelées "carats" et ont pendant longtemps servi aux joailliers comme unité de poids pour la pesée des diamants, des perles et d'autres pierres précieuses (1 carat = 205,3 mg) (Rejeb, 1995).

Le genre *Ceratonia* appartient à la famille des *Légumineuses* de l'ordre des *Rosales*, sous famille des *Cesalpinoïdæ*, tribu des *Cassieae*. Cependant, des doutes restent tout au tour de l'authenticité de cette organisation taxonomique. En effet, certains auteurs ont considéré le

genre *Ceratonia* comme étant l'un des genres les plus archaïques des légumineuses et qui est isolé morphologiquement des autres genres de *Cassieae* (Hillcoat et al., 1980 ; Tucker, 1992 a et b) et de ce fait, il doit être exclu de la tribu des *Cassieae* (Irwin et Barneby, 1981 ; Tucker, 1992 b). Par ailleurs, des études cytologiques ont révélé que le genre *Ceratonia* possède un nombre total du chromosome $2n=24$ est donc éloigné des autres membres des *Cassieae* dont le nombre du chromosome est $2n=28$ (Goldblatt, 1981; Bures et al., 2004).

La seconde espèce du genre, *Ceratonia oreothauma* décrite par Hillcoat et al., (1980), contient selon leurs origines deux sous-espèces distinctes: la sous-espèce *oreothauma* qui est native d'Arabie (Oumane) et la sous-espèce *somalensis* qui est native du nord de la Somalie (Batlle et Tous, 1997). *Ceratonia oreothauma* est morphologiquement très distincte de *C. siliqua*. En outre, son pollen est plus petit que celui de *C. siliqua* car il est tricolporé au lieu d'être tetracolporé (Ferguson, 1980). Vu que les graines de pollen de *C. siliqua* sont plus évoluées tetracolporé que les graines tricolporées, il a été suggéré que *C. oreothauma* est l'ancêtre sauvage de l'espèce cultivée *C. siliqua* (Hillcoat et al., 1980).

I.3. Caractères morphologiques principaux

C'est un arbre de grande hauteur pouvant atteindre 20 m. Parfois de dimensions gigantesques, Le caroubier possède un tronc épais et tortueux avec une écorce rugueuse et brune. Il possède une cime très étalée, à feuilles persistantes, alternes, imparipennées, ayant de 3 à 5 paires de folioles ovales, entières, coriaces, luisantes. Son feuillage apporte une ombre appréciée dans les pays chauds. Le caroubier rentre en floraison d'août à septembre. Ses fleurs sont petites dioïques ou polygames en grappe auxiliaires, de couleur rouge. La gousse est épaisse, coriace, indéhiscente, arquée, à sutures épaisses, longue de 10 à 20 cm, sur 2 à 3 cm de largeur, pendante contenant de 10 à 16 graines ovoïdes, comprimées, brunes, séparées par des cloisons pulpeuses (Figure 3).

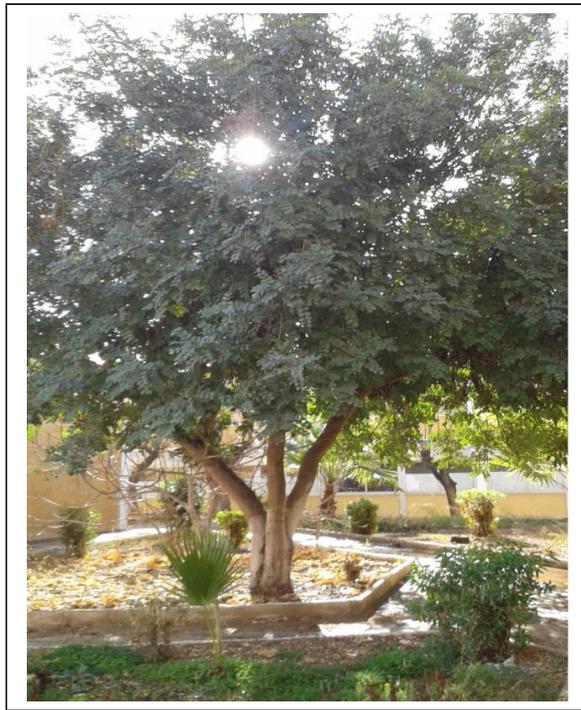


Figure 3 : Habitus du caroubier (*Ceratonia siliqua* L.) (Hazem, 2013)



Figure 3.1 : Inflorescence du caroubier

Figure 3.4: Fruit vert et mûre du caroubier



Figure 3.3: feuille, gousse et graine du caroubier

I.4. Classification

Tableau 6. Synthèse de la classification classique et phylogénétique du caroubier

Classification classique CRONQUIST (1981)		Classification phylogénétique APGII (2003)	
Règne	Plantea	Règne	Plantea
S-règne	Tracheobionta	S-règne	Tracheobionta
Embranchement	Spermaphyte	phylum	Magnoliophyta
S- embranchement	Magnoliophyta (Angiosperme)	S-phylum	Eu-Angiosperme
Classe	Magnolopsida (dicotylédone)	Classe	Eu-dicotylédone Triaperturées
S-classe	Rosidae	ordre	Rosidés
Ordre	Rosales	S-ordre	Rosidés (hypogyne dialycarpique)
Famille	Leguminoseae	Famille	fabaceae
S- Famille	Caesalpinoideae	S- Famille	caesalpinoideae
Genre	Ceratonia	Genre	Ceratonia
Espèce	<i>Ceratonia siliqua</i> L.	Espèce	<i>Ceratonia siliqua</i> L.

I.5. Noms commun et vernaculaire

Caroubier (le), Carouge, Pain de saint Jean-Baptiste, figuier d'Égypte, fève de Pythagore (en Français), *alkharroube* (en arabe), *tislighwa* en tamazight, Carob (en Anglais).

II. Origine et répartition géographique

11. 1. Origine

Les différentes hypothèses émanant de plusieurs auteurs sur l'origine du caroubier sont incohérent. En effet, De Candolle (1983) et Vavilov (1951) signalent qu'il serait native de la région Est de la méditerranée (Turquie, Syrie et Palestine). Par ailleurs, le caractère thermophile de cette espèce et sa présence sur les hauts plateaux du Yémen donne à penser que son origine peut être située dans la région Sud de l'Arabie (Liph schitz , 1987). Cette proposition est appuyer par Schweinfurth (1894), qui a insinué qu'il est originaire des pays montagneux du Sud d'Arabie (Yémen). On le trouve à l'état naturel principalement en Espagne, Portugal, Greece, Maroc, Italie, Turquie, Algérie, Tunisie, Egypte, Chypre (Figure 4). Tardivement, il a été considéré, par Zohary (1973), comme originaire de la flore d'Indo-Malaisie, groupé avec *Olea*, *Laurus*, *Myrtus* et d'autres plantes.

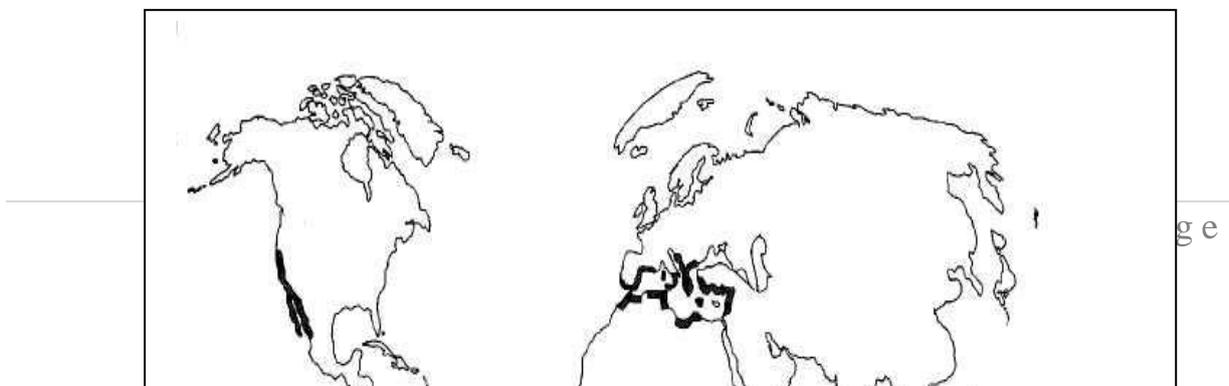


Figure 4 : Centre d'origine et distribution du caroubier dans le monde (Batlle et Tous, 1997)

II.2. Distribution géographique

Le caroubier a une aire de répartition qui s'étend de l'Asie mineure, à l'Afrique du Nord en passant par l'Europe méridionale et la péninsule Ibérique (Boudy, 1950; Gharnit, 2003; Rejeb, 1995). Il a été disséminé par les grecs en Grèce et en Italie, par les arabes le long de la cote Nord de l'Afrique et au Sud et à l'Est de l'Espagne, ce qui par la suite a permis sa distribution dans le Sud du Portugal et dans le Sud-est de la France (Hillcoat et al ; 1980). Il a été introduit avec réussite dans d'autres pays, notamment en Australie, en Afrique du Sud, aux Etas-Unis, aux Philippines, ainsi qu'en Iran (Estrada et *al.*, 2006., Gaouar Naila, 2011).

III. Exigences

Actuellement on trouve le caroubier dans plusieurs pays, de l'Europe et de l'Afrique du Nord à l'état sauvage en association avec, l'oléastre, le thuya, le pin, le chêne vert... (Aafi, 1996; Batlle et Tous, 1997). La distribution des espèces arborescentes, telle que *C. siliqua* est limitée par des stress liés aux froids (Mitrakos, 1981). En Algérie, le caroubier est fréquemment cultivé dans l'Atlas Saharien et il est commun dans le tell (Quezel et Santa, 1962). On le trouve à l'état naturel en association avec *Prunus amygdalus*, *Olea europea* et *Pistacia atlantica* dans les étages semi-aride chaud, subhumide et humide, avec une altitude allant de 100m à 1300m dans les vallons frais qui le protègent de la gelée; avec une température de 5°C jusqu'à 20°C et une pluviométrie de 80 mm à 600 mm/an (Rebour, 1968).

Le caroubier réussit surtout dans des terrains profonds, riches en chaux, perméables. Il redoute les terrains compacts, imperméables, humides. Il supporte fort bien les terrains salins,

jusqu'à 3 % de Na Cl. Les terrains caillouteux arides des versants du midi lui conviennent bien, pourvu que le pourcentage du calcaire soit élevé. Cette légumineuse préfère surtout les conditions climatiques méditerranéennes qui se caractérisent par un hiver doux avec une moyenne en janvier de 4°C avec des gelées rares et faibles, des précipitations abondantes, surtout en automne, avec faible humidité de l'air, un été chaud, sec. Cependant le caroubier supporte fort bien des conditions climatiques beaucoup plus rudes, notamment des froids de -11° à conditions que ces derniers ne soit pas de long durée. Il préfère aussi une exposition aérée et en même temps abritée des vents du Nord.

IV. Rendement de l'arbre

Le rendement du caroubier est périodique et généralement il porte des fruits tous les deux ans. Cependant dans les plantations bien conduites de Chypre, de la Sicile, de la Sardaigne et des Etats Unis avec des soins culturaux appropriés, ils ont réussi à obtenir un rendement régulier chaque année. Le rendement varie énormément avec l'âge de l'arbre. Les jeunes arbres de 5-6 ans donnent à peine 4-5 kg. C'est vers sa 20^e année qu'il commence à produire beaucoup et donne jusqu'à 40 kg par pied. Un arbre en plein production donne 300 kg.

V. Composition chimique des caroubes

Les caroubes sont très riches en matières nutritives, notamment en sucres et en albumines, cependant leur composition chimique varie beaucoup selon le pays de culture. Le tableau suivant d'après Moniouszko, le montre avec évidence.

Tableau 7: la composition chimique des caroubes selon le pays de culture (%)

Composition chimique	Lieux de culture					
	Chypre	Crète	Sicile	Grèce	Portugal	Algérie
Eau	11,00	12,00	9,20	10,80	11,80	13,00
Cendre	2,10	2,08	2,20	1,96	2,00	2,35
Cellulose	8,10	7,85	10,50	9,50	9,15	9,10
Graisse	0,40	0,35	0,55	0,50	0,50	0,50
Saccharose	28,55	8,20	21,74	29,40	17,56	30,10
Glucose	14,53	26,04	21,36	10,28	19,20	
Matières non azotées	29,70	37,74	28,43	30,70	34,05	39,87
Matières azotées	5,60	5,74	6,02	6,36	5,74	5,08
	100	100	100	100	100	100

V.1.1. Propriétés biochimiques de la pulpe

La pulpe et les graines sont les deux composants majeurs de la gousse du caroubier et représentent respectivement 90% et 10% de son poids total. Selon plusieurs auteurs, la composition chimique de la pulpe dépend du cultivar, de son origine, de l'époque de la récolte, de l'environnement et des conditions de stockage (Orphanos et Papaconstantinou, 1969; Albanell *et al.*, 1991; Avallone *et al.*, 1997; Ayaz *et al.*, 2007; Iipumbu, 2008). La pulpe de la caroube (tableau 7) possède une teneur élevée en sucre (48-56%) et peut même atteindre 72% (Ayaz *et al.*, 2007). En outre, elle contient environ 18% de cellulose et d'hémi cellulose (Batlle et Tous, 1997). L'analyse de la composition en sucre de la pulpe de plusieurs variétés Algériennes a révélé une richesse en sucre totaux de 37,5 à 45,3% (Gaouar, 2011). La composition minérale (en mg/100g du poids sec) est la suivante : K = 970 ; Ca = 300 ; P = 71 ; Mg = 60 ; Fe = 1,88, Mn 1,29 ; Cu = 0,85 ; Zn = 0,75 (Ayaz *et al.*, 2007). Notons la richesse de la pulpe en potassium et calcium qui est très intéressante pour la nutrition humaine et animale (Plus du double du Ca du lait entier qui est de 119 mg/100 g). Les gousses contiennent de faibles quantités de matières grasses ($0,6 \pm 0,1\%$) et une quantité importante de protéines ($3 \pm 2\%$) (Avallone *et al.*, 1997). Ayaz *et al.* (2007), ont pu déceler la présence dans les extraits de gousses de 18 acides aminés, principalement de l'acide aspartique et glutamique, l'alanine, la valine et la leucine. Les gousses matures du caroubier contiennent une grande quantité de tanins condensés (1620% du poids sec). En valeur alimentaire, les caroubes sont similaires à la plupart des graines de céréales (NAS, 1979). La graine est composée de 30 à 33 % de tégument, 42 à 46 % d'albumen et 23 à 25% d'embryon (Neukom, 1988). L'épisperme est considéré comme une source naturelle pour la production de polyphénols antioxydants (Makris et Kefalas, 2004). L'endosperme est constitué essentiellement d'une gomme nommée galactomannane. C'est une molécule de polysaccharide composée de deux unités de sucre : le mannose et le galactose dans un rapport de 4 : 1. La propriété principale de ce polysaccharide naturel est la viscosité élevée qu'il procure à la solution une fois mélangé à l'eau, et cela dans une large gamme de température et de pH (García-Ochoa et Casas, 1992). La farine du germe (embryon) obtenue à partir des cotylédons a une teneur en protéines de 50% ; 27% d'hydrates de carbone ; 8% de lipides (neutre), 7% d'eau et 6% de cendres; cette farine est recommandable pour l'alimentation humaine et animale (Puhan et Wielinga, 1996 dans Batlle et Tous, 1997).

Tableau 8: La composition moyenne de la pulpe du caroubier (Puhan et Wielinga (1996) mentionné dans (Batlle et Tous, 1997).

VI. Production

Selon les données du FAO. STAT (2010), l'aire totale de la production mondiale du caroubier est estimée à 102939ha (Tableau 6). La production mondiale de caroube est estimée à 191355.64 tonnes. La plus grande superficie, 83574 ha, est celle de l'Europe, contre une superficie estimée à 1000 ha pour l'Algérie et 13460 ha pour les pays d'Afrique du Nord. Elle est essentiellement concentrée en Espagne, Italie, Maroc, Portugal, Grèce, Turquie, suivie de Chypre, Algérie, Liban, et en dernier la Tunisie (Tableau 9).

constituants	%
Sucres totaux	48-56
Saccharose	32-38
Glucose	5-6
fructose	5-7
Pinnitol	5-7
Tannin condensés	18-20
Polysaccharose non amylacés	18
Cendres	2-3
lipides	0.2-0.6

Tableau 9 : Superficie occupée par le caroubier (F.A.O. STAT 2010)

Pays	Superficie (ha) en 2004	Superficie (ha) en 2008
Algérie	1066	1000
Afrique du Nord	13526	13460
Europe	92218	83574
Monde	112711	102939

Tableau 10 : Production mondiale de caroube (F.A.O. STAT 2010)

Pays	Production en tonnes (2004)	Production en tonnes (2008)
Espagne	67000	72000
Italie	24000	31224
Maroc	40000	25000
Portugal	20000	23000
Grèce	19000	15000
Turquie	14000	12100
Chypre	7000	3915
Algérie	4600	3600
Liban	3200	2800
Tunisie	1000	1000
Monde	182680	191167

VII. Fragilités, maladies et ravageurs

C. siliqua est normalement libre de ravageurs et de maladies graves et est traditionnellement une culture qui n'est pas pulvérisée. En Espagne, l'insecte le plus nuisible est la larve *polyphage* du *Zeuzère du poirier* [la traduction anglaise littérale donne « *la pyrale léopard* », en anglais « *the polyphagous larva of the leopard moth* »] (*Zeuzera pyrina*), qui attaque le bois du tronc et des branches, causant de graves dommages aux jeunes arbres. Les gousses de nombreux cultivars peuvent être infestées par la petite larve *polyphage* du « *ver de l'ombilic* » [la traduction anglaise littérale donne « *teigne du caroubier* », en anglais « *the small and polyphagous larva of the carob moth* »] (*Myelois ceratoniae*), durant le mûrissement ou avant que la récolte soit terminée. À Chypre, les attaques de la Cécidomyie

[moucheron] de la caroube (*Asphondylia spp.*) sur les gousses à un stade précoce ont causé des retards de croissance. Les pucerons noirs attaquent principalement les pousses terminales des jeunes arbres. La maladie du mildiou, causée par *Oidium ceratoniae*, attaque les gousses, les feuilles et les brindilles, à différentes périodes de l'année. D'autres organismes nuisibles qui parfois causent de graves dommages aux vergers de caroubiers sont de petits rongeurs comme le Campagnol souterrain [la traduction anglaise littérale donne « *les rats des sables* »] (*Pitymys spp.*) et les rats (*Rattus spp.*). Les spermophiles peuvent gravement endommager le système racinaire de jeunes arbres. Les rats peuvent écorcer non seulement des jeunes pousses mais aussi des pousses plus âgés et même des grosses branches, et, par *annélation* de ces branches, peut tuer la plante (webmaster3).

VIII. Utilisations

Cette espèce se présente comme une essence à la fois forestière et arboricole. Elle est d'une grande importance économique, écologique et sociale. Son utilisation est multiple.

VIII.1. Arbre

L'arbre isolé peut être utilisé comme plante ornementale ou pour son ombre au bord des routes, c'est le cas en Californie, Australie et ailleurs. Les pieds mâles, qui ne fournissent pas de gousses sont les plus préférés dans le domaine d'ornementation (Batlle et Tous, 1997). Il peut être également utilisé en verger comme plantation homogène destinée à la production commerciale (Espagne, Portugal et Grèce). Basé sur sa faible exigence en culture, sa grande tolérance vis-à-vis des sols pauvres, le caroubier est de plus en plus recommandé pour la reforestation des zones côtières dégradées sous l'effet d'érosion ou de désertification (Batlle et Tous, 1997). Actuellement, il est considéré comme l'un des arbres fruitiers et forestiers le plus performant; puisque toutes ses parties (feuilles, fleurs, fruits, bois, écorces et racines) sont utiles et ont des valeurs dans plusieurs domaines (Aafi, 1996).

VIII. 2. Fruit

Dans les pays producteurs, les gousses de caroube ont été, traditionnellement, utilisées non seulement en alimentation des animaux ruminants (Louca et Papas, 1973) ou non ruminants (Sahle et *al.*, 1992), mais aussi en alimentation humaine. Après l'écrasement des gousses et séparation de pulpe et des graines, les produits dérivés de ces deux éléments sont principalement utilisés dans plusieurs domaines (Tableau 8).

VIII. 2. 1. Pulpe

La farine issue de pulpe peut servir comme ingrédient de certains menus de pâtisseries:

gâteau, pain, bonbon, crème glacée, boisson (NAS, 1979; Vidal, 1985) ou utiliser comme substituant du cacao dans le chocolat, car elle est moins calorifique et ne contient ni caféine ni théobromine (Whiteside, 1981; Craig et Nguyen, 1984). Par ailleurs, la pulpe a été le premier produit d'horticulture utilisé en fermentation dans plusieurs pays méditerranéens, pour la production d'alcool industriel (Merwin, 1981). En Egypte, les sirops à base de fruits de caroube constituent une boisson populaire (Batlle et Tous, 1997). La pulpe issue de la gousse est très sucrée, nutritive, rafraichissante et très appréciée par les peuples de la région méditerranéenne. Une partie de la récolte est distillée. Ce mode d'utilisation des caroubes est très ancien ; le grand pourcentage de sucres donne la possibilité d'avoir un alcool remarquable, on obtient 20-25 litres d'alcool pur avec 100 kg de fruits, soit 55 litres d'eau de vie pour 100 kg de caroubes fraîches. En comparaison, la betterave donne à peine 5 litres d'alcool pur, soit environ 10 litre d'eau de vie pour 100 kg de betteraves, donc cette utilisation de la caroube est la plus intéressante au point de vue industriel et économique (Tableau 11 et 12). Outre la consommation à l'état frais ou sec, le gros de la production de la caroube présente pour certains pays un précieux fourrage voir le seul fourrage possible pour le bétail, les chevaux et les mulets, il est très recherché par les agriculteurs de toute de la région (Evreinoff, 1947).

Tableau 11 - Principaux produits de la caroube (*pulpe et graines*) et leurs utilisations majeures (Batlle et Tous, 1997)

Produits	Traitement reçu	utilisation
Pulpe Brute	aucun	Alimentation animale (cheval, ruminants)
	Moulage	Alimentation humaine et animale
	Extraction et purification	Sucres et mélasse
	Fermentation et distillation	Alcool et produits de protéines microbiennes
	Extraction	Tannins comme anti diarrhéique
	Lavage, séchage	Ingrédients alimentaires; substituant de cacao
Poudre	Torréfaction et moulage	Préparation de produits diététiques
Graines Endosperme	Moulage	E410 ; additif alimentaire ; fibres diététiques ; aliment pour mascotte.
	Moulage	Farine de germe. alimentation humaine et animale
	Extraction	Tannins pour le tannage de cuirs
Episperme		

V.1. 2. 2.2. Graines

Les graines de caroube sont très appréciées et recherchées pour leurs qualités et multiples

usages industriels. Vu son énorme intérêt économique (tableau 12), la gomme reste le produit le plus important parmi ceux (polyphénols antioxydants ; farine du germe) dérivés de la graine. Elle constitue le tiers (1/3) du poids total de la graine ; 100 kg de graines produisent une moyenne de 20 kilos de gomme pure et sèche (Jones, 1953). Cette gomme mucilagineuse connue sous le code E-410 est utilisée dans l'industrie agroalimentaire comme épaississant, stabilisant, liant et gélifiant ou comme agent dispersant. Elle est aussi utilisée dans le domaine de l'impression, la photographie, le textile, la pharmacie et le cosmétique (Batlle et Tous, 1997).

Tableau 12 : Utilisations de la gomme de caroube et ses applications techniques (Droste, 1993 in Batlle et Tous, 1997).

Utilisations industrielles	Applications
Pharmacie	
Cosmétique	
Textiles	Épaississant de coloration
Papier	Produit de flottation pour matériel de couverture ; épaississant pour traitement de surface
Chimiques	Colles, coloriage, polissage, teinture, allumettes, pesticides
Pétrole	Adjuvant de floculation pour augmenter la stabilité
Mines	Produit de flottation
Béton	Renforcement de la solidification
Explosifs	Liant d'eau pour les explosifs



I. Présentation

Le févier d'Amérique (*Gleditsia triacanthos* L.) appelé aussi, févier épineux, févier à trois épines, Carouge à miel ou Épine du Christ, est un grand arbre étalé à feuilles caduques, au port léger qui porte des gousse couleur acajou très décoratives et parfois de très longues épines acérées (webmaster 1), originaire de l'est de l'Amérique du Nord, appartenant à la famille des Fabacées, ou légumineuses. Il est bien connu comme arbre d'ornement et pourtant il n'est pas largement utilisé dans ce domaine en raison de ses grandes et dangereuses épines (Hoffmann, 1995). Il a été largement préconisé comme aliment du bétail au début du 20^{ème} siècle. Le développement de cultivars sylvopastoral a commencé dans les années 1930 à la vallée de Tennessee aux états unis d'Amérique, parce qu'il peut fournir une source de fourrage, de protéine et d'énergie métabolique et peut être utilisé pour la lutte contre l'érosion. *Gleditsia* est actuellement testé dans les régions tempérées, la méditerranée et les régions tropicales (Gold, 1997). L'arbre a été introduit en Europe en 1700 où il est devenu courant dans les régions occidentales, centrales et méridionales (Lieutaghi, 2004), et a été introduit par les colons en Algérie en 1949 (Putod, 1982). Le genre est dédié à Johann Gleditsch (1714-1786), botaniste, directeur du jardin botanique de Berlin et ami du naturaliste suédois Linné. Le nom d'espèce, triacanthos, fait référence aux épines regroupées par trois (Lieutaghi, 2004).

I.1. Taxonomie

Le févier d'Amérique (*Gleditsia triacanthos* L.), appartient au genre *Gleditsia* et à la famille des Fabacées, ou Légumineuses (sous-famille des *Caesalpinioideae*). La sous-famille des *Caesalpinioideae* regroupe 150 à 180 genres et 2200 à 3000 espèces réparties en zones tropicales. Le genre *Gleditsia* regroupe de nombreuses espèces et variétés existant dans le monde. Environ 16 espèces ont été citées en Chine, Sud-est asiatique, nord et sud-américain (Dezhao et al., 2010 in Benhamiche, 2016). Le févier d'Amérique a de larges variations génétiques (nombre chromosomique de base, $x = 14$. $2n = 28$.) qui ont permis son amélioration par sélection (Tableau 13).

Tableau 13 : Classification classique et phylogénétique de *Gleditsia triacanthos* L. selon le système de Cronquist (1988) et APG II (2003).

Classification classique cronquist (1981)		Classification phylogénétique APGII (2003)	
Règne	Plantea	Règne	Plantea
S-règne	Tracheobionta	S-règne	Tracheobionta
Embranchement	Spermaphyte	phylum	Magnoliophyta
S- embranchement	Magnoliophyta (Angiosperme)	S-phylum	Eu-Angiosperme
Classe	Magnolopsida (dicotylédone)	Classe	Eu-dicotylédone Triaperturées
S-classe	Rosidae	Ordre	Rosidés
Ordre	Fabales	S-ordre	Rosidés (hypogyne dialycarpique
Famille	Cesalpiniaceae	Famille	fabaceae
S- Famille	Caesalpinoideae	S- Famille	caesalpinoideae
Genre	Gleditsia	Genre	Gleditsia
Espèce	<i>Gleditsia triacanthos</i> L.	Espèce	<i>Gleditsia triacanthos</i> L.

Un certain nombre de formes horticoles a été développé et sont largement cultivées, particulièrement pour l'ombre et l'ornement (Blair, 1990).

- Le févier inerme (*Gleditsia triacanthos* var. *inermis* Willd.) est une variété sans épines, ou presque ainsi, et a habitus mince.
- Le févier touffu (*G. triacanthos* var. *elegantissima* [Grosdemangel Rehd.] est nonarmé et en masse touffu
- le févier de Bujot (*G. triacanthos* var. *bujotii* [Neuml Rehd.] a les branches pendantes minces et les feuillettes étroites
- Le févier nain (*G. triacanthos* var. *nana* [fort.] A. Henry) est un arbuste ou petit arbre compact.
- Le févier du Texas *Gleditsia texana* Sarg., est considéré comme étant un hybride de *G. aquatica* Marsh et *G. triacanthos* L. (Blair, 1990).
- Ruby Lace a été obtenue en 1961. Elle se caractérise par un jeune feuillage rouge foncé qui vire au bronze. Les fleurs sont discrètes et blanches.
- Skyline' à un feuillage plus réduit, d'un vert frais, et la floraison est blanche. Le port est pyramidal et sa taille est réduite d'un tiers, ce qui la rend utile dans les petits jardins.

I.2. Noms communs

- **Anglais:** Common honey-locust, Honey-shucks Locust, Honeylocust, Sweet Locust, Three torded-acacia, Thorn tree, Thorny Locust, Sweet-bean (Shadow, 2003).
- **Français :** Févier d'Amérique, févier à trois épines, carouge à miel, févier épineux, épine du Christ
- **Allemand:** Dreidornige Gledischie (Web master1).
- **Italien:** gledischia, spino di Cristo, spino di Giuda
- **Espagnol :** espina de Cristo, acacias de tres espinas
- **Nom commercial :** miel acridienne (Web master 4).

I.3. Description botanique

Gleditsia triacanthos atteint une hauteur normale de 15-25 m et 0,5-1 m (max. 1,8) de diamètre (figure 5). Les arbres présentent un port étalé avec une couronne irrégulière, ouverte et étroite, l'écorce de couleur brun rougeâtre au noir, écailleuse, striée, souvent couvertes de grappes de grandes épines ramifiées. Il a une racine pivotante et un système racinaire très ramifié (Orwa et al., 2009).



Figure 5 : Habitus de *Gleditsia triacanthos* L. (cliché Hazem, 2015)



Figure 5.1 : Feuilles de *G. triacanthos* L. (cliché Hazem, 2015)

Figure 5.2 : Ecorce de *G. triacanthos* L. (cliché Hazem, 2015)



Feuilles caduques, alternes, composées pennés ou bipennées. Composées de 26 à 32 petites folioles ovales et minces sur une tige centrale de 14 à 20 cm de long. Feuillage d'aspect léger ; verte en été et jaune d'orée en automne (Gold, 1997).



Fig 5.3 : Fleurs de *G. triacanthos* L. (Cliché Hazem, 2013)



Fig 5.4 : Fruits de *G. triacanthos* L. (Cliché Hazem, 2013)



Fleurs blanc-verdâtre, régulières, petites, d'environ 5 mm de diamètre. Les fleurs mâles et femelles sont sur le même arbre, souvent sur des branches séparées. Discrètes et non voyant. Dotées d'un parfum agréable (Edward et *al.*, 1993).

De longues gousses mesurant 15 à 40 cm forment le fruit, plat et courbé, brunâtre, pourvue d'une enveloppe coriace; tombant en hiver sans ouverture. La graine comme l'haricot, porte un tégument dur, imperméable. D'une longueur de 0,5 à 1,5 cm, lisse et brun foncé (Nessom, 2003).

I.4. Ecologie

I.4.1. Ecologie du févier d'Amérique dans son aire naturelle.

Dans la gamme naturelle, une grande quantité de variation existe à la fois des conditions climatiques et de sol. Le *G. triacanthos* se produit naturellement dans les régions climatiques humides et subhumides; il pousse naturellement à 760 m, mais il a été planté au dessus du niveau de la mer à 1500 m dans les latitudes tempérées et va croître à plus de 2500 m dans les hautes terres subtropicales. Il est intolérant à l'ombre et se développa difficilement dans des espaces ouverts. Le *G. triacanthos* bien qu'exigeant en eau pour présenter une grande croissance, il est très résistant à la fois à la sécheresse et à la salinité. Il tolère les sols compacté, sols mal aérés et les inondations pour une période de temps (putod, 1982).

I.4.2. Habitat préféré

G. triacanthos pousse mieux dans les sites perturbés en plein soleil, comme des lacunes dans une forêt, les lisières de forêt et les zones perturbées par les aliments. Sa croissance est beaucoup plus lente dans l'ombre (Sullivan, 1994). Son habitat préféré est humide, fertile (alluvions) sol associé avec des plaines riche en alimentation et les rives de cours d'eau

(Csurhes et Kriticos 1994; National Academy of Sciences 1980). Tout au long du Midwest des États-Unis, il se produit dans les pâturages et les champs. Elle coexiste souvent avec *Maclura pomifera* (Osage orange) dans les zones boisées (Schnabel et al 1991; Schnabel et Hamrick 1990). Le *G. triacanthos* préfère un climat tempéré chaud. La plante est aussi bien adapté aux hivers très froids où les températures descendent à -34 ° C, comme dans la partie nord de son aire de répartition naturelle (Blair non daté). Les précipitations annuelles dans son aire d'origine sont comprises entre 500 mm et 1500 mm (National Academy of Sciences 1983).

I.5. Répartition géographique

G. triacanthos est originaire de l'Est et le centre de l'Amérique du Nord (mauvaises herbes Australie 2010). Il se trouve dans la zone du centre de la Pennsylvanie vers l'ouest du Dakota du Sud sud-est, au sud vers le centre et le sud-est du Texas, jusqu'au sud de l'Alabama, puis vers le nord-est à travers l'Alabama à l'ouest du Maryland. Populations périphériques existent dans le nord-ouest de la Floride, à l'ouest du Texas et l'ouest du centre de l'Oklahoma (Skerman 1977). En Amérique du Nord, *G. triacanthos* a naturalisé à l'est des Appalaches, depuis la Caroline du Sud au nord de la Pennsylvanie, de New York, la Nouvelle-Angleterre et la Nouvelle-Écosse, Canada (Blair non datée; National Academy of Sciences 1983). cette espèce a été introduite à des parties de l'Afrique, l'Europe, le Moyen-Orient, l'Asie centrale, la Russie, l'Inde, la Chine, l'Argentine, la Nouvelle-Zélande et en Australie (Base de données internationale des légumineuses et Service d'information 2009; Global Biodiversity Information Facility non daté) (figure 6).

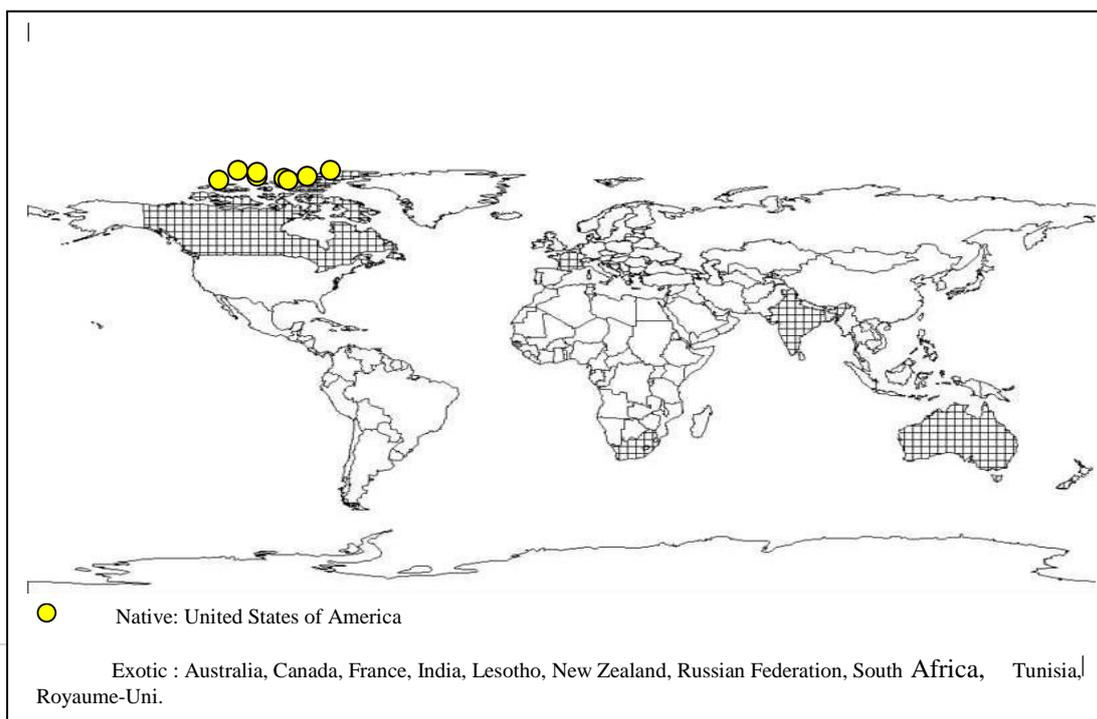




Figure 6 : répartition géographique du *Gleditsia triacanthos* L. dans le monde (National Academy of Sciences, 1983).

I.6. Espèces et variétés du févier d'Amérique

Il existe des *cultivars* de *Gleditsia triacanthos* sélectionnés pour leur fruit dont on consomme la pulpe mais très peu diffusés (Tableau 14).

Tableau 14: les différents cultivars de *Gleditsia triacanthos* (NAS, 1983).

Type	Variété	Végétation	Fructification	Qualités
Espèce type	Févier d'Amérique (<i>Gleditsia triacanthos</i>)	Arbre vigoureux de 15 à 25 m de haut sur 8 m de large. Feuillage de fougère vert clair puis jaune d'or à l'automne.	Nombreuses gousses spiralées rougeâtres en été, de 25 cm, brunes et coriaces en hiver.	Port gracile, épines intéressantes pour former une haie défensive. Croissance rapide. Grande rusticité (40 °C).
Cultivars ornementaux	<i>Gleditsia triacanthos</i> f. <i>inermis</i>	Arbre de 15 m, à port gracile, avec très peu d'épines.	Pas de gousses.	Arbre de moyenne vigueur à croissance rapide. Ombre légère.
	<i>Gleditsia triacanthos</i> 'Elegantissima'	Arbuste à touffe compacte de 4-5 m de haut sur 3-4 m de large. Feuillage dense.	Produit des gousses de 40 cm environ.	Croissance lente. Convient en haie, en isolé, car son port est élégant. Peut se conduire sur une seule tige.
	<i>Gleditsia triacanthos</i> 'Rubylace'	Arbre de 5 à 15 m. Très beau feuillage rouge rubis en naissant, brun pourpre puis vert foncé. Vire au bronze à l'automne. Peu épineux.	Pas de gousses.	Peut se conduire en cépée.
	<i>Gleditsia triacanthos</i> 'Skyline' (syn.	Port conique à pyramidal, 15 m de haut sur 5 de large.	Pas de gousses.	Variété américaine. Très belles couleurs automnales.

	<i>G. t.</i> 'Arrowhead')	Feuilles rouge bronze en naissant puis vert sombre, jaune d'oré à l'automne. Peu d'épines.		
	<i>Gleditsia triacanthos</i> 'Sunburst'	Arbre de 5 à 10 m sur 8 de large. Jeunes feuilles dorées puis vert clair.	Pas de gousses.	Feuillage lumineux.
	<i>Gleditsia triacanthos</i> 'Shademaster'	Arbre à port étalé de 15 m de haut sur 7 m de large. Feuilles d'un vert foncé éclatant. Peu épineux.	Gousses rares.	Croissance rapide.
	<i>Gleditsia triacanthos</i> 'Emerald Cascade'	Arbre pleureur jusqu'au sol, de 4 m de haut sur 3 de large. Feuillage dense vert foncé. Pas d'épine.	Produit des gousses de 25 cm environ.	Très beau sujet en isolé. Pour tous sols. Superbes couleurs automnales.
Essences fruitières	<i>Gleditsia triacanthos</i> 'Calhoun'	Grand arbre de 20 m de haut.	Larges gousses très riches en sucres (39 %) jusqu'à 15 kg par arbre à l'âge de 5 ans.	Cultivé en Pennsylvanie, au Massachusetts, au sud du Michigan. Découvert en Alabama en 1934.
	<i>Gleditsia triacanthos</i> 'Millwood'	Arbre sans épine, vigoureux de 30 à 40 m de haut à l'âge de 5 ans.	Larges gousses épaisses à pulpe sirupeuse (37 % de sucre), 28 kg par arbre âgé de 5 ans.	Très productif. Découvert en Caroline du Nord près du lac Junaluka en 1934.

II. Reproduction et dispersion

La reproduction se fait par graines. La floraison a lieu en Octobre et Novembre ; il commence entre 3 et 5 ans. La plupart des graines tombent sous l'arbre mère. Cependant, les graines peuvent être dispersées sur des distances considérables par bovins et des chevaux ou par l'eau (Schnabel et al 1991 ; Wikipedia 2009). Les gousses persistent une partie de l'hiver sur l'arbre (Biosecurity Queensland 2007). Les graines sous forme de disques et peuvent rester viables pendant au moins 20 ans (Biosecurity Queensland, 2007). La germination est améliorée lorsque les graines passent à travers le système digestif d'un animal. Les graines sont généralement produites chaque année, avec de grandes cultures se produisant tous les 2 ans (Sullivan, 1994 ; Weeds Australie 2010). Des débits allant jusqu'à 14 000 graines par an de production ont été enregistrés (Marco et Páez 2000).

En Amérique du Nord, le *G. triacanthos* est naturalisé à l'est des Appalaches, depuis la Caroline du Sud au nord de la Pennsylvanie, de New York, la Nouvelle-Angleterre et la Nouvelle-Écosse, Canada (National Academy of Sciences 1983).

G. triacanthos a été introduit dans des parties de l'Afrique, de l'Europe, du Moyen-Orient, de l'Asie centrale, de la Russie, de l'Inde, de la Chine, de l'Argentine, de la Nouvelle-Zélande et en Australie (Base de données internationale des légumineuses et Service d'information 2009; Global Biodiversity Information Facility non daté).

III. Plantation

Cette plante s'adapte bien comme un arbre de la rue de la ville et est tolérant aux petites fosses de plantation dans le béton. Il est sensible à la casse dans les tempêtes de verglas. Cependant, il est recommandé de planter avec modération cette espèce pour éviter une catastrophe si les insectes ou les maladies l'envahissent. Selon Edward et al (1993), Il pourrait être préférable de planter Pistacia, Taxodium, Quercus ou un autre arbre difficilement urbaine éprouvée à la place du févier d'Amérique pour éviter les insectes potentiel, la maladie et les problèmes de défoliation précoce dans certains régions.

IV. Problèmes phytosanitaires

IV.1. Parasites

La Mimosa tisseuse est devenu un ravageur important sur le févier d'Amérique dans certaines communautés. C'est un insecte xylophage peut être largement évité avec une fertilisation régulière en gardant les arbres sains. Elle attaque généralement les arbres stressés.

La combinaison de la punaise et la cicadelle de l'alimentation provoque la tombée des feuilles. Les punaises peuvent être plus fréquent sur le cultivar à feuilles jaune 'Sunburst' que sur les types à feuilles vertes. Les deux insectes sont de couleur verte de sorte qu'ils seront difficiles à détecter.

La cécidomyie des gousses provoque une rougeâtre inhabituelle, galle sur les extrémités des branches. Les galle apparaissent à la fin du printemps et peuvent être le plus commun sur les épines et les cultivars sans pépins. Ceux-ci sont devenus un problème dans de nombreux domaines.

Les acariens provoquent en l'automne un jaunissement des feuilles. Le diagnostic de ce problème est difficile en raison de la petite taille de l'insecte et des folioles. On peut citer aussi, la Mineuses, la bagworm et les infestations de pucerons qui peuvent être gênantes pour la l'arbre.

IV.2. Maladies.

Parmi les maladies les plus fréquentes, les champignons responsables de chancre qui sont particulièrement dommageables ou les bactéries qui attaquent les branches et les troncs. Ces agents provoquent le dépérissement des parties ou l'ensemble de l'arbre. Et pour le garder sain, il faut éviter les blessures inutiles (Edward, 1993).

V. Perturbations écologiques dues au févier d'Amérique

G. triacanthos est une espèce envahissante et concurrente en Argentine, où il a envahi les prairies de la pampa, ainsi que les zones riveraines et les routes et des lacunes qui sont créés pour le pâturage du bétail (Ghersa et al 2002; Speroni et de Viana 2001). Il est devenu un envahisseur commun des forêts de montagne du centre de l'Argentine, et est le remplacement de l'espèce dominante *Lithraea ternifolia* natif. Il est considéré comme ayant le potentiel de nuisibilité élevé en raison de sa croissance rapide, sa courte période juvénile et sa production élevée de semences (Marco et Páez 2000). En Californie, *G. triacanthos* a envahi les forêts dans la rivière Cosumnes Préserve (California envahissantes Plant Council, 2005). Dans certaines parties de son aire d'origine, il a envahi les pâturages et est considéré comme un ravageur (Sullivan, 1994). Sargent (1965) a indiqué qu'il «couvre occasionnellement des zones considérables sur les sols humides et fertiles, excluant la plupart des autres espèces». Il est aussi considéré comme une mauvaise herbe dans certaines parties de l'Europe, l'Afrique du Sud et le Chili (Holm et al 1991; Wells et al 1986; National Academy of Sciences 1980).

VI. Usage

Les cultivars de *G. triacanthos* sont populaires comme plantes ornementales de jardin. L'espèce est également plantée pour former des haies brise-vent brise-vent. Le bois est tendre, mais peut être utilisé en menuiserie (Sanchez, 1999). Un type de caoutchouc de semences extrait de l'endosperme, peut être utilisé pour des crèmes en cosmétique et des crèmes glacées (Resico, 2001). Cette espèce peut être aussi utilisée dans le contrôle de l'érosion, dont elle est actuellement testé dans plusieurs zones tempérées, méditerranéennes et tropicales des régions montagneuses du monde.

Dans le domaine médical, la pulpe du fruit est utilisée pour les maladies pulmonaires. Les graines en poudre sont utilisées comme le tabac contre les rhumes. Les grains des gousses sont un remède populaire pour la dyspepsie et la rougeole, les rhumes et les fièvres chez les Indiens des États-Unis; Indiens Delaware utilisaient l'écorce pour les troubles sanguins et la

toux. Le thé d'écorce traite la coqueluche. Le Genre *Gleditsia* comprend 14 espèces d'arbres à feuilles caduques qui peut atteindre une hauteur de 20-30 m (Huxley et *al.*, 1992). La *Gleditsia* c'est une espèce qui a été largement utilisés dans la médecine traditionnelle chinoise. Les fruits et les épines sont utilisés pour le traitement de l'apoplexie, des maux de tête, toux productive, l'asthme et les maladies de peau suppurées (Zhong Yao Da Ci Dian, 1979). Il a été rapporté que les extraits de graines de *Gleditsia* peuvent être utilisés en tant que source naturelle de composés phénoliques et d'antioxydants, des extraits aussi de plante de *Gleditsia* possèdent des activités pharmacologiques importantes dans le traitement de la polyarthrite rhumatoïde, comme anti-mutagènes, anti-cancer et ils ont une activité cytotoxique significative contre différent lignées cellulaires (Miguel et *al.*, 2010). Des études phytochimiques ont été effectuées sur des fruits de *Gleditsia* qui ont indiqué la présence de saponines triterpenoidal qui possèdent une activité anti-inflammatoire. (Yamahara et *al.*, 1975, Ha et *al.*, 2008,). Il est aussi considéré comme une couverture, ou pour fournir une haute nutrition fourragère pour le bétail. Ses gousses sont riches en sucres et sont appréciés par les personnes et le bétail (National Academy of Sciences 1983; Plant.NET 2009; Wikipedia 2009).

Chapitre III

NOTIONS DE COPRODUITS

Les sous-produits d'animaux sont utilisés depuis longtemps dans l'alimentation des animaux d'élevage (The BSE Inquiry Report, 2000). Ces sous-produits animaux sont obtenus par le traitement des rebuts d'abattoir et des carcasses d'animaux morts empruntant la voie de l'équarrissage. L'utilisation des coproduits par les animaux d'élevage implique, pour chaque coproduit, toute une filière dont il ne faut négliger aucun maillon sous peine d'aller à l'échec ; chaque maillon doit être sensibilisé à l'utilisation du coproduit en alimentation animale, car qui dit alimentation animale dit forcément qualité de l'aliment pour une qualité du produit fini, viande ou lait ; le terme de **coproduit** se mérite, c'est un peu un "label" sans l'obtention duquel on serait en droit de douter de sa valeur alimentaire, hygiénique et sanitaire.

Dans cette filière, on trouve d'abord l'agriculteur qui produit sur son exploitation la matière première, le transformateur qui séparera par un procédé bien défini et connu ce qui revient à l'homme et ce qui peut aller à l'animal, le négociant en coproduits, le transporteur et puis l'éleveur entouré de ses conseillers techniques et de son vétérinaire... et pourquoi pas enfin, le consommateur qui aimera savoir comment aura été produit le lait ou la viande qu'il consomme (Besancenot, 2000).

I. Terminologie : coproduit, sous-produit, déchet.

Les coproduits, sous-produits et déchets sont des termes communément utilisés en production industrielle pour désigner des productions «induites», celles qui accompagnent plus ou moins inéluctablement les productions commerciales majeures des entreprises (Besancenot, 2000).

On passe de produits nobles aux produits secondaires puis aux produits déchus, voire douteux, dangereux, toxiques. Au plan juridique et réglementaire, le déchet, par les contraintes de gestion et de responsabilité qu'il fait peser sur son producteur, ne bénéficie pas d'une reconnaissance spontanée. Une filière de valorisation a pour objectif de donner de la valeur aux produits, de leur conférer un vrai statut de coproduits, statut qui leur vaudra d'être de plus en plus prisés et donc d'entrer dans une dynamique de valorisation. L'effet inverse peut aussi se produire et le coproduit d'aujourd'hui deviendra le déchet de demain.

Est considéré comme **déchet** « tout résidu d'un processus de production, de transformation ou d'utilisation, toute substance, matériau ou produit que son détenteur destine à l'abandon » (Ivamer, 2002).

La différence entre coproduits, sous-produits et déchets peut s'énoncer de la façon suivante :

- Pour un **coproduit**, la «valorisation», au sens strictement économique du terme, est totale : les coproduits disposent d'un marché et d'une cotation. Souvent, des agents économiques spécialisés, différents du producteur, interviennent pour assurer leur distribution auprès d'une véritable clientèle. Le producteur de coproduits tire bénéfice de leur vente.
- Le **sous-produit** ne connaît qu'une valorisation partielle, spécifique ou locale. Quand elle existe, la valorisation économique reste de faible valeur ajoutée, soumise aux aléas économiques, et ne permet souvent l'intervention que d'un unique opérateur intermédiaire. Le sous-produit répond à un ou plusieurs usages possibles reconnus.
- Le **déchet** correspond à une matière dont le producteur cherche, avant tout, à se défaire ou qu'il souhaite éliminer (mise en décharge, incinération, retour au sol, etc.).

I.2. Panorama des grandes familles de coproduits d'intérêt zootechnique

Le gisement des coproduits représente un total estimé de l'ordre de 60 millions de tonnes bruts, soit 25 millions de tonnes de matière sèche (MS). Si l'on exclut la paille, le gisement global tombe à 7 millions de tonnes de MS, dont 25 % sont représentés par les coproduits de la betterave sucrière (pulpe essentiellement). On s'intéresse plus particulièrement aux herbivores car le système d'élevage et le fonctionnement polygastrique de leur système digestif leur confèrent un réel avantage à valoriser des produits végétaux en l'état (Dumonthier, 1994).

I.2.1. Coproduits d'origines végétales

Dans les rations toutes végétales, l'apport protéique est souvent amené par l'ajout de tourteaux.

Le tourteau est le sous-produit solide résultant de l'extraction de la partie huileuse des grains. Les plus connus sont les tourteaux de soya et de canola. Le tourteau de soya est le plus populaire et contient entre 44 et 50% de protéines brutes (Brookes, 2000 ; Brookes, 2001). Les tourteaux sont très riches en protéines brutes, soit autour de 34,8% pour le canola et 48% pour le soya (National Research Council, 1994). Celui de soya est utilisé en plus grande quantité dans l'alimentation des mono gastriques au Québec.

Le canola est en fait le produit d'une série de sélections génétiques faite au Canada à partir d'une variété de colza (Santé Canada, 2003). Il est encore recommandé de limiter l'inclusion à 3% pour la diète des poules brunes (Canola Council of Canada, 2009).

Le blé moulu contient entre 15.3 et 16.5% de PB, dépendant du taux d'inclusion en son (National Research Council, 1994). Toutefois, celui-ci est riche en ANSP (polysaccharides solubles non amylicés), un composé qui se lie avec l'eau et forme un gel, rendant le bol alimentaire moins digestible.

Le riz quant à lui est surtout utilisé sous la forme de gru, le son. Il contient en moyenne 12.8% de PB (National Research Council, 1994). Sous cette forme, c'est la partie fibreuse qui est utilisée alors si son inclusion est trop haute dans la ration, il en suivra une diminution des performances.

A. Coproduits lignocellulosiques

Les pailles de céréales, de pois protéagineux, et les cannes de maïs représentent près de 90 % du gisement de coproduits exprimé en matière sèche (MS). En réalité, le tiers de ce gisement n'est pas récolté mais souvent enfoui (environ 8 millions de tonnes de pailles de céréales, la majeure partie des pailles de pois et de canne de maïs). Les pailles sont des aliments assez pauvres, qui conviennent à des animaux dont les besoins alimentaires sont modérés. Incorporés en faible quantité dans les rations, ils remplacent d'autres fourrages grossiers. En année sèche, lorsque le fourrage manque, la paille redevient un aliment recherché : lors de la sécheresse de 1976, les quantités consommées par les animaux se sont élevées à 6 millions de tonnes, contre 2 millions de tonnes en année normale. Le traitement de la paille à l'ammoniac permet d'améliorer la qualité nutritionnelle du produit et peut être une bonne solution de dépannage en année sèche, ou même s'intégrer en routine dans le système fourrager de l'éleveur. Les pailles de céréales ont surtout d'autres utilisations que l'alimentation animale : litière pour les animaux (environ la moitié de la paille produite), production d'énergie, support à la culture de champignons, etc (Dumonthier, 1994).

B. Coproduits de l'industrie sucrière

Les pulpes de betteraves sont issues de la production de sucre à partir de betteraves sucrières et représentent un tonnage de 15 millions de tonnes brutes. Signalons dès à présent qu'il s'agit d'un aliment riche en énergie, de composition régulière, recherché par les éleveurs et totalement valorisé en alimentation animale (directement ou par la fabrication d'aliments composés) (Besancenot, 2000).

C. Coproduits de la filière lait

Le lactosérum, ou «petit lait» provient de la fabrication du fromage. C'est un produit liquide (7 % de MS), riche en énergie et pauvre en azote. Il y a une trentaine d'années, l'élimination du lactosérum, agressif vis-à-vis du milieu naturel, posait des problèmes. Alors que la production de lactosérum natif a doublé de 1964 à 1990, le taux de récupération du produit est passé, lui, de 88 à 97 %. 80 % de la production est valorisée industriellement, en alimentation animale ou humaine et, plus marginalement, en chimie et en pharmacie. Depuis une trentaine d'années, les grands groupes laitiers ont investi dans des unités de déshydratation. Avec 1 000 personnes et 2 milliards de francs de chiffre d'affaires, cette filière représente un poids considérable. La part valorisée directement en élevage, essentiellement porcin, atteint aujourd'hui environ 17 %. Signalons que le babeurre (507 000 t), coproduit obtenu après le barattage de la crème, et le lait produit au-delà du quota autorisé, peuvent également être donnés comme aliments aux porcs (Besancenot, 2000).

E. Coproduits des filières fruits et légumes

Avec environ 7 millions de tonnes produites par an, la filière fruits et légumes génère des coproduits nombreux et très divers. La grande majorité d'entre eux est théoriquement utilisable pour nourrir les ruminants, mais avec un intérêt alimentaire très variable. Par rapport aux filières précédentes, l'utilisation de ces coproduits par les ruminants est moins bien connue. IL s'agit en effet souvent de valorisations de proximité, avec un nombre restreint d'éleveurs, qui échappent aux enquêtes économiques. Les résidus laissés au champ correspondent aux parties non-consommées par l'homme (feuilles de choux-fleurs, gousses de petits pois, etc). Ces coproduits sont très partiellement valorisés en élevage. A titre d'exemple, la racine d'endives était traditionnellement utilisée dans les élevages du Nord de la France. Concentrés dans des bassins de production où l'élevage a régressé, les endiviers trouvent difficilement acquéreurs pour leurs racines (IAA, 1995).

F. Coproduits de la pomme de terre

La filière pomme de terre génère de l'ordre de 130 000 t de MS d'écartés de triage, pour la filière frais, et 70 000 t de MS de coproduits pour la filière industrie en plein développement.

Cette dernière comprend deux secteurs: la transformation pour l'industrie humaine (fabrication de purée, de chips...) et la féculerie. Il en résulte des types de coproduits très

différents : pelures, pulpes crues, amidon cru, purée, etc. Ces coproduits sont recherchés par les éleveurs de bovins et de porcins et semblent assez largement valorisés en alimentation animale : soit directement du producteur à l'éleveur, soit par l'intermédiaire de négociants. Plus rarement, ils entrent dans la fabrication d'aliments composés. En année de production exceptionnelle, des retraits peuvent être organisés par l'interprofession et, pour une partie, trouver un débouché dans les élevages (Morel d'Arleux, 1990).

G. Coproduits de la filière vitivinicole

Le marc de raisin épuisé (dont on a retiré l'alcool par distillation) n'est presque plus utilisé en alimentation animale (5 % de la production). Son intérêt alimentaire est très limité (faible digestibilité) et il est produit essentiellement dans des régions où l'élevage est peu présent. Le compost, la transformation en huile ou l'utilisation comme combustible d'appoint sont aujourd'hui les principales voies de valorisation (Ivamer, 2002).

H. Coproduits de la transformation des céréales, oléagineux et protéagineux

Ces coproduits sont souvent utilisés dans la fabrication d'aliments composés et cotés sur le marché mondial comme des matières premières à part entière. Utilisés sous forme humide ou sèche, il s'agit des tourteaux de colza, de soja, de tournesol et de lin, obtenus après extraction de l'huile ; des coproduits d'amidonnerie (corn gluten feed, etc.) ; des drêches de blé et des solubles de distillerie de maïs, obtenus lors de la production d'éthanol ; des coproduits de meunerie (son et remoulage de blé, générés lors de la fabrication de la farine) ; et des coproduits de séchage et tri des céréales (grain de maïs notamment). Notons que certains éleveurs de porcs utilisent directement ces matières premières pour fabriquer leur propre aliment (Theobald et Wiard, 1994).

II.1.1. Le cheptel et ses besoins en alimentation

II.2.1. La production fourragère, base de l'alimentation des herbivores

Les fourrages sont les productions végétales utilisées dans l'alimentation des herbivores. Au sens strict, les fourrages ne comprennent que les productions herbacées. Au sens large, on y associe des cultures annuelles comme le maïs ensilé, le chou fourrager, la betterave fourragère, etc.

Les surfaces toujours en herbe (STH) correspondent à des prairies naturelles et permanentes, sur des terres difficilement labourables.

Les prairies temporaires sont régulièrement semées par les éleveurs. Elles sont constituées de graminées, parfois associées à des légumineuses (luzerne, trèfle). Ces prairies sont pâturées au printemps et en été, et permettent également aux éleveurs de constituer des stocks pour l'hiver. L'ensilage d'herbe (conservation d'herbe hachée et tassée en silo Bache) s'est beaucoup développé depuis une vingtaine d'années car il facilite la récolte et valorise mieux les repousses de printemps. Plus récemment, l'enrubannage (balle ronde enrobée sous un film plastique) a encore accentué la mécanisation des récoltes. Le foin, plus traditionnel, reste dominant dans Les zones de montagnes pour des raisons climatiques et topographiques.

Les fourrages annuels sont surtout constitués par le maïs ensilage (environ 1 500 000 ha) et d'autres cultures secondaires (colza, chou fourrager...). La culture du maïs ensilage est l'un des principaux éléments de l'intensification de l'élevage laitier au cours des 30 dernières années. IL représente environ 20 % de l'alimentation des herbivores et est principalement consommé par les bovins laitiers. Son haut rendement fourrager, sa richesse en énergie, et les progrès dans la mécanisation de sa culture et sa distribution expliquent notamment son succès (Besancenot, 2000).

III. Connaître et savoir utiliser les coproduits

III.1. Quelques notions d'alimentation animale

III.1.1. De l'aliment au produit final

L'activité d'élevage peut être schématisée comme une activité de transformation d'aliments en produits : lait, œufs ou muscle qui, après abattage, donnera la viande. C'est au niveau du tube digestif qu'un aliment est dégradé en éléments simples (phase de digestion). Les nutriments, seuls éléments capables de traverser la paroi du tube digestif, entrent alors dans un ensemble de processus chimiques (métabolisme) qui visent à répondre aux besoins physiologiques de l'organisme. A travers des réactions chimiques complexes, certains nutriments contribuent à la production d'énergie permettant à l'organisme d'assurer les fonctions de base (respiration, maintien d'une température interne constante...) et d'utiliser d'autres nutriments pour synthétiser de la matière vivante et développer la production de lait ou de tissus musculaires et adipeux (Dumonthier, 1994).

III.1.2. Une ration doit être équilibrée

Les animaux ont besoin d'une alimentation équilibrée en énergie, en azote et en minéraux. En pratique, un éleveur établit des rations qui doivent répondre aux besoins des animaux. Les chercheurs ont défini des unités d'alimentation qui permettent de déterminer à la fois les besoins des animaux et la valeur nutritionnelle des différents aliments : ce sont les

U.F. (unités fourragères), P.D.I. (protéines digestibles dans l'intestin), énergie métabolisable, etc., Les besoins varient en fonction du niveau de production de l'animal. On parle d'animaux à besoins élevés pour les vaches laitières ou les vaches nourrices en période d'allaitement. A l'inverse, les broutards, les vaches ou les brebis taries ont des besoins faibles. Pour constituer une ration équilibrée, les coproduits doivent être associés à d'autres aliments, comme le montrent les exemples du tableau 15.

Tableau 15 : Exemples de rations intégrant des coproduits

	(RATION OUMIDIENNE, EN KG DE PRODUIT BRUT)
VACHES LAITIÈRES PRODUISANT 20 KG DE LAIT PAR JOUR	
Pommes de terre en l'état à 20% de MS	15
Ensilage de maïs à 27% de MS	35
Paille ou foin	à volonté
Complément azoté à 42% de MAT	2,3
Carbonate de calcium	0,18
Complément minéral vitaminique type 10-20 P Ca	0,1
BREBIS DE 60 KG ALLAITANT UN AGNEAU, EN DÉBUT LACTATION	
Pulpe de tomate à 30% de MS	3,5
Foin	0,5
Paille	0,3
Céréales	0,2
Complément minéral vitaminique	0,03

PORCS À L'ENGRAISSEMENT (À PARTIR DE 60 KG)	
Maïs grain	1,6
Tourteaux de soja48	0,45
Drêches de brasseries	1,10
Minéraux	0,07

III.1.3. La valeur nutritive d'un aliment chez les herbivores

Chaque matière première possède une valeur énergétique, exprimée chez les herbivores en Unité Fourragère (UF), et une valeur azotée (les protéines, composés essentiels de la matière vivante, constituant la principale source azotée) qui s'exprime pour l'élevage bovin, ovin et caprin en Protéines Digestibles dans l'Intestin (PDI), et chez les équins en Matières Azotées Digestibles Cheval (MADC) (Besancenot, 2000).

• Les UF expriment la valeur énergétique

En fait, chez le ruminant, l'énergie est utilisée différemment par l'organisme selon qu'il y a production prépondérante de lait ou croissance et développement musculaire. C'est la raison pour laquelle un même aliment a une valeur UF lait (UFL), et une valeur UF viande (UFV). Pour les chevaux, on emploie les UFC (Unité Fourragère Cheval).

• La MAT : l'azote total

La MAT (matière azotée totale) exprime la quantité d'azote contenue dans chaque aliment. Elle est relativement facile à déterminer par des analyses, mais n'exprime pas la quantité de matière azotée qui peut être réellement fixée par l'animal : pour cela, on a recours au PDI.

• Les PDI : protéines digestibles dans l'intestin ou azote utilisable

Les PDI traduisent la quantité de protéines effectivement disponible pour l'animal. On parle de PDIA et PDIM, ou de PDIN et PDIE, ces deux dernières expressions étant les plus fréquemment employées pour caractériser un aliment. La synthèse des protéines par les micro-organismes au niveau du rumen est limitée par deux facteurs principaux. Lorsque le facteur limitant est l'azote biodégradable, la valeur azotée est dans ce cas exprimée en PDIN. Lorsqu'il s'agit de l'énergie, la valeur azotée de l'aliment est alors exprimée en PDIE. Un

aliment se caractérise ainsi par ses deux valeurs PDIN et PDIE. La valeur PDIN d'une ration est la somme pondérée des PDIN apportées par chaque aliment (idem pour les PDIE). La plus faible de ces deux valeurs, PDIN ou PDIE (facteur limitant), détermine donc la valeur nutritive l'aliment.

Tableau 16 : Appréciation de la teneur en énergie et en azote d'un affinent pour bovins

	Energie (UFL/KG MS)	Matières Azotées Totales (% MS)
Pauvre	< 0,60	<12
Moyenne	0,60 À 0,80	12 À 20
Rich e	0,80 À 0,90	21 À 30
Très riche	> 0,90	> 30

UFL : Unité Fourragère Lait (quantité d'énergie nette de lactation contenue dans 1 kg d'orge de référence).

III.2. Les caractéristiques générales des coproduits et de leur utilisation

Par rapport aux aliments classiques, les coproduits présentent des particularités de composition et de disponibilité.

III.2.1. Des produits riches en eau

A quelques exceptions près (pailles de céréales, coproduits de séchage des céréales, etc.) les coproduits sont plutôt riches en eau, et donc pauvres en matière sèche. Cette faible teneur en matière sèche (de 6 à 30 %) présente plusieurs inconvénients. Parmi ces inconvénients, on peut tout d'abord citer la faible valeur nutritive du kg de produit brut. Même si cette valeur est intéressante au kilo de matière sèche, les volumes d'aliments que peuvent ingérer les animaux sont limités. De plus, le fait de véhiculer une grande quantité d'eau rend le transport sur de longues distances assez onéreux. La conservation du produit frais peut également poser problème, surtout en été, car elle est souvent limitée à 2-3 jours (certains produits comme les écarts de salade peuvent évoluer très vite). Pour une conservation plus longue, l'ensilage s'impose. Or la manutention du produit est délicate, et, de par leur structure ou leur texture, certains coproduits ne peuvent s'ensiler que sur de faibles hauteurs : 1 m à 1 m 50 (purée, pelures de pommes de terre, coproduits de conserve de haricots verts...) et ne peuvent pas être tassés avec un tracteur. Pour pallier ces inconvénients, des industriels appliquent des traitements qui permettent de réduire la teneur en eau de ces produits. Parmi

ces traitements, on peut citer le surpressage, qui est pratiqué sur environ 90 % de la production de pulpes de betterave, et permet de passer de 10 (pulpes fraîches) à 20-30 % de MS (pulpes sur-pressées). On peut également citer le pressage-broyage, utilisé pour les coproduits de maïs doux, La concentration, utilisée pour le lactosérum, et enfin la déshydratation (marc de pomme, pulpe d'agrumes, pulpe de betterave, drêche de blé), qui reste un mode de traitement coûteux, et ne présente un intérêt que pour des coproduits de bonne valeur alimentaire (Ademe, 1998).

III.2.2. La transformation peut modifier la composition chimique

La composition chimique d'un coproduit dépend bien sûr des matières premières d'origine. Certains coproduits se caractérisent par une teneur élevée en cellulose (paille, cannes de maïs...), d'autres sont riches en matière grasse (pulpes de tomates), en minéraux (lactosérum), en matières azotées (drêches de brasserie) ou en amidon (coproduits de la pomme de terre).

Des traitements chimiques peuvent être spécialement mis en œuvre pour augmenter la valeur alimentaire et la digestibilité de certains aliments, ce qui n'est pas sans intérêt pour des fourrages pauvres, comme la paille de céréales ou les cannes de maïs. Après traitement à l'ammoniac, les quantités de paille de céréales ingérées par les animaux peuvent en effet augmenter de 30 à 40 % et la teneur en MAT de cette paille peut être multipliée par trois (Dumonthier, 1994).

III.2.3. Les coproduits sont disponibles à certaines périodes

Certains coproduits sont disponibles toute l'année, avec toutefois des variations saisonnières, ce qui permet à l'éleveur de s'approvisionner régulièrement et d'utiliser le produit en frais. D'autres ne sont disponibles que sur des périodes brèves. Dans ce cas, l'éleveur peut les utiliser en l'état ou les ensiler pour reporter leur utilisation à une période qui correspond mieux aux besoins du troupeau (Besancenot, 2000).

III.3. Déterminer l'intérêt alimentaire d'un coproduit

Pour bien connaître un aliment et ses possibilités d'utilisation en alimentation animale, on doit respecter une succession d'étapes.

III.3.1 Bien le définir : le «typage»

Le typage permet de caractériser un coproduit sans confusion possible avec un autre. Pour cela, il est souvent nécessaire de préciser :

- le produit d'origine ;
- Le processus de transformation dont il est issu ;
- les composants du produit d'origine qui le constituent.

L'industrie de la pomme de terre de féculerie engendre par exemple de nombreux coproduits (crus, cuits, en purée ou en pulpe, sous forme fraîche, sur-pressée, déshydratée). On définit la pulpe sur-pressée de pomme de terre de féculerie comme «un coproduit humide, obtenu après extraction d'une grande partie de l'amidon et des protéines de la pomme de terre de féculerie, se présentant sous forme de purée crue, composée de parois cellulaires, d'amidon et de protéines résiduels» (Ivamer, 2002)..

III.3.2. Analyser la composition chimique

Dans chaque département, plusieurs laboratoires privés ou dépendant d'organismes publics réalisent des analyses. Voici quelques recommandations pour leur réalisation, et la liste des principaux critères d'analyse possibles (tableau 17).

A. Prélever un échantillon représentatif

L'échantillon, d'un poids moyen de 1 kg brut, doit être issu de plusieurs prises effectuées dans le produit à analyser et stocké dans un sac plastique à fermer hermétiquement après en avoir chassé l'air. Il convient ensuite d'identifier cet échantillon à l'aide d'une étiquette (nom de l'expéditeur, le type de produit, etc.) et de l'accompagner d'une fiche commémorative décrivant succinctement le processus dont il est issu ou d'autres informations utiles. L'échantillon peut être stocké dans un congélateur (au cas où l'on voudrait grouper les envois au laboratoire). Sinon, il doit être expédié le plus rapidement possible.

La composition du produit de base pouvant varier dans l'année, il ne faut pas hésiter à réaliser trois ou quatre analyses (Ademe, 1998).

Tableau 17 : Critères d'analyses utiles pour juger de l'intérêt alimentaire d'un aliment

CRITÈRES	RUMINANTS	CHEVAUX
MATIERE SECHE (MS)	oui	oui
MATIERES AZOTES TOTALES (MAT)	oui	oui
CELLULOSE BRUTE (CE)	oui	oui
LIGNINE (ADL)	oui	Non
MATIERE GRASSE (MG)	oui	oui

AMIDON	oui	oui
SUCRES SOLUBLES	oui	Non
CENDRES	oui	oui
CALCIUM (CA)-PHOSPHORE (P)	oui	oui
DEGRADABILITE ENZYMATIQUE 1 Heure (DE1)	oui	Non
LYSINE	non	oui
ACIDE AMINE SOUFRE (METHIONINE. CYSTINE)	non	non
ENERGIE BRUTE (EB)	oui	oui

C. Pour des déterminations plus fines

En plus des constituants précédemment cités, il peut être nécessaire de demander les analyses de certains paramètres dont les valeurs peuvent être utilisées pour la prédiction des valeurs alimentaires, notamment :

- Les constituants pariétaux (NDF, ADF, ADL) mesurés par la méthode Van Soest ;
- la fraction d'azote soluble (ruminants) ;
- certains autres acides aminés comme le tryptophane ou la thréonine;
- et enfin les macros ou micro-éléments (potassium, cuivre, sodium, soufre, aluminium soluble), surtout s'ils sont rajoutés ou utilisés dans le processus industriel.

L'analyse de la composition chimique est une étape nécessaire, mais elle ne suffit pas : il faut connaître la valeur nutritive d'un aliment pour pouvoir l'intégrer dans une ration équilibrée. On connaît déjà la valeur nutritive de plus de 40 coproduits. Si le type et la composition chimique du coproduit étudié sont proches d'un coproduit dont on connaît déjà la valeur nutritive, on peut, par analogie, approcher la valeur de cet aliment. Il est alors nécessaire de procéder à une détermination de la valeur énergétique et azotée des aliments. Le calcul de ces valeurs dans les systèmes des unités d'alimentation proposés par l'INRA de France repose sur la détermination in vivo ou in situ de certains paramètres de l'utilisation digestive des aliments. Ces méthodes «reconnues» sont cependant lourdes et coûteuses à mettre en œuvre et les paramètres correspondants peuvent éventuellement être estimés par les modèles de prédiction à partir de méthodes de laboratoire plus simples (chimiques, enzymatiques, in vitro, physiques...). Les valeurs ainsi prédites peuvent être différentes selon les modèles utilisés et sont généralement entachées d'une incertitude plus grande. Pour les

porcs, des modèles de prédiction des valeurs énergétiques des aliments ont été mis au point (Noblet et *al.*, 1989, 1993, 1994) pour les aliments complets ainsi que pour les matières premières. Pour les ruminants, les méthodes sont présentées dans le tableau 18.

Tableau 18 : Méthodes utilisables pour déterminer la valeur nutritive d'un aliment pour les ruminants (Besancenot, 2000).

DÉTERMINATION DE LA VALEUR ÉNERGÉTIQUE
7) Mesure de la valeur Énergétique Brute (EB) à la bombe calorimétrique ou estimation à partir de La composition chimique.
8) Mesure de la digestibilité <i>in vivo</i> de la matière organique (dM0) ou estimation à partir de différents critères (par ordre de fiabilité) : <ul style="list-style-type: none"> • Méthodes enzymatiques (digestibilité à la pepsine cellulase, ...). • Méthodes enzymatiques (digestibilité à la pepsine cellulase, ...) • Méthodes <i>in vitro</i> (gaz-test, digestibilité <i>in vitro</i> en jus de rumen, ...). • Composition chimique dans ce cas, il est recommandé d'utiliser les modèles de prédiction les plus appropriés à l'aliment étudié.
9) Calcul de la valeur UFL et UFV pour les ruminants à partir de la composition chimique, la valeur EB et la dM0 de L'aliment
DÉTERMINATION DE LA VALEUR AZOTÉE
5) Mesure <i>in situ</i> de la dégradabilité théorique (DT) par la méthode des sachets de Nylon sur animaux fistules ou estimation à partir de la dégradabilité enzymatique de l'azote (DE1).
6) Calcul des valeurs PDI à partir de la teneur en MAT et des valeurs DT et dM0

III.3.3. Influence du coproduit sur les performances des animaux

Les essais zootechniques ne permettent pas de déterminer la valeur nutritive de l'aliment. Ils mesurent l'influence du coproduit sur les performances des animaux (ingestion, production de viande et de lait, composition du lait, etc.) et comparent les performances de lots d'animaux soumis à divers régimes alimentaires. Ces essais sont menés dans des établissements spécialisés (Besancenot, 2000).

Partie II

ETUDE EXPERIMENTALE

I. Matériel biologique

I.1. Matériel végétal

I.1.1. Le gland de chêne vert

La récolte des glands a été effectuée en Octobre 2013, au niveau des monts du Tessala (Algérie Nord-Occidentale). Les glands récoltés sont lavés à l'eau distillée, étalés sur le sol et laissés sécher à l'abri de la lumière pour éviter qu'ils ne germent ou fermentent. Ils sont ensuite décortiqués, découpés en morceaux puis séchés à l'étuve à une température de 105°C. Enfin, ils sont broyés et réduits en poudre. Cette dernière est tamisée (\emptyset 1mm) afin d'obtenir

une farine blanchâtre aussi fine que possible. Celle-ci est conservée dans des flacons en verre teinté pour des utilisations ultérieures.

I.1.2. Le caroubier et le févier d'Amérique

La collecte du matériel végétal a été effectuée au niveau de l'Université Djilali Liabès (Ex-ITMA) de Sidi Bel-Abbés durant le mois d'Octobre 2013. Après lavage et séchage du fruit à l'ombre, la graine est séparée de la gousse. Celles-ci sont réduites en poudre puis conservés jusqu'à utilisation.

I.2. Matériel animal

Des rats mâles de souche Wistar (05 rats pour chaque régime) âgés de 21 jours, sont nourris avec un régime standard renfermant 16% de protéine jusqu'à l'obtention d'un poids idéal (80 ± 5 g). La distribution des régimes expérimentaux à base de glands de chêne vert, du caroubier et du févier d'Amérique et du témoin est effectuée à partir du jour de sevrage jusqu'à la fin de l'expérimentation (60 jours).

La farine de gland de chêne vert est incorporée seul dans le régime avec un pourcentage de 4,16% de protéines + 0,3% de méthionine (RI), dans le régime expérimental (RII), 2,18 % de protéines de la farine de gland de chêne vert sont supplémentés à 13,25 % de protéine de gluten de maïs + 0,3% de méthionine + 0,1% de lysine. Pour les régimes base de légumineuses, la poudre de fruits du caroubier (gousses et graines) est représentée par le régime RIII. Celle de fruits du févier d'Amérique (gousses et graines) est représentée par le régime RIV. Le régime RV est composé de mélange entre le RIII et RIV. Finalement, le régime témoin (RT) utilisé, il est à base de 16 % de caséine et 0,3 % de méthionine (tableau 1). Le poids corporel des rats est pesé quotidiennement. En fin d'expérimentation et après 12h de jeûne, les rats sont anesthésiés au moyen d'une injection intra-péritoniale (type thiopental sodique). Après leurs morts les rats sont soumis à la dissection. Le sang est prélevé de l'artère abdominale, recueilli dans des tubes héparines, centrifugés pendant 7 min à 4000 tr. le plasma récupéré est destiné pour effectuer les dosages biochimiques et immunochimiques. L'étude réalisée a été approuvée par le comité d'éthique de l'université Aboubakr Belkaid de Tlemcen (Algérie). Les rats ont été mis dans des cages en accord avec le guide de régulation des animaux d'expériences de la même université (Figure 7).

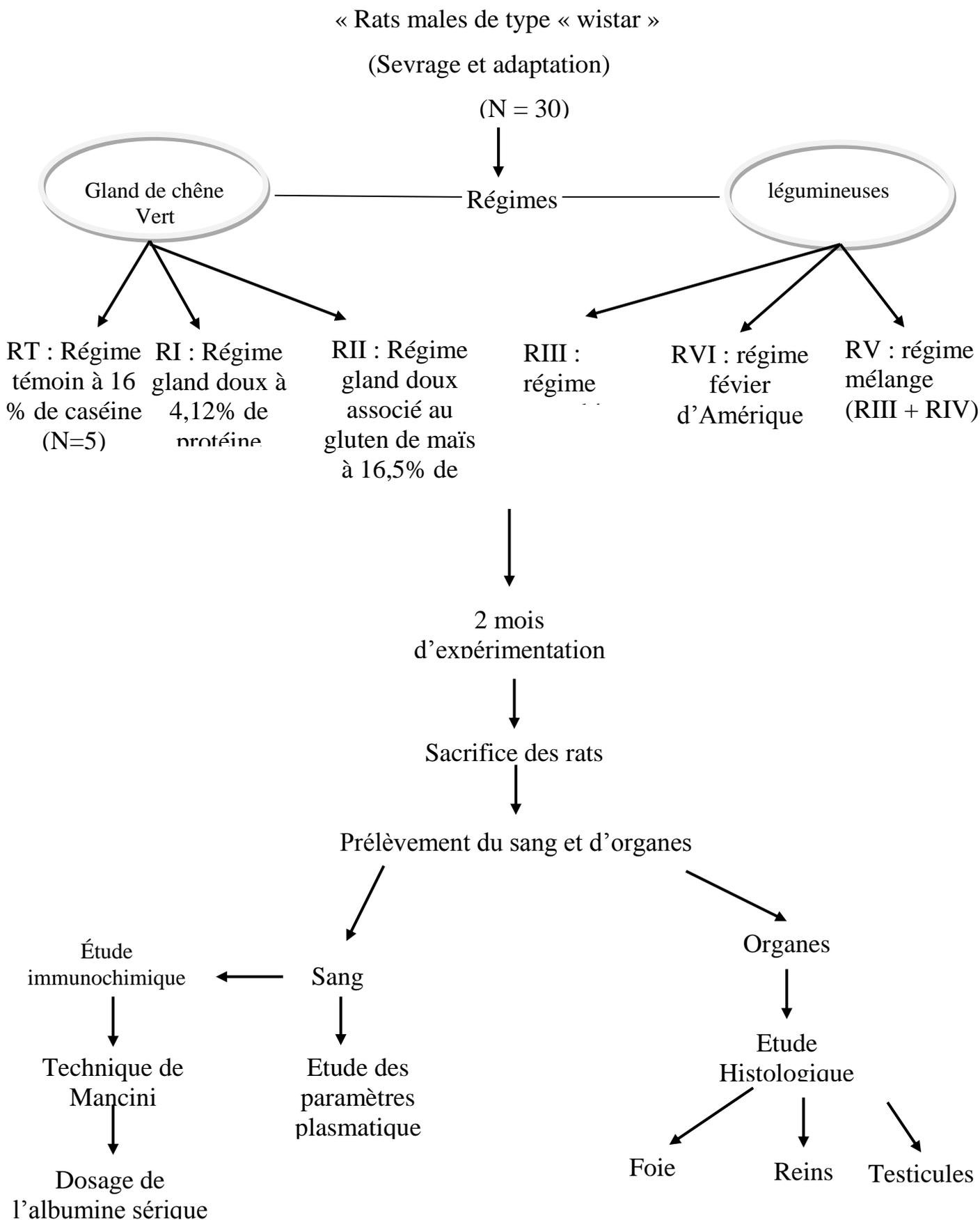


Figure 7 : protocole

II. Méthodes

II.1. Dosage des paramètres plasmatiques

En fin d'expérimentation et après 12h de jeun, les rats sont sacrifiés, après une anesthésie au moyen d'une injection intra-péritonéale (type thiopental sodique) se présentant sous forme de poudre pour préparation d'une solution injectable 0,5g. Le sang est prélevé de l'artère abdominale, recueilli dans des tubes héparines, centrifugés pendant 7min à 4000 tr. Nous récupérons le plasma pour effectuer les dosages biochimiques, parallèlement, le foie, le rein et les testicules sont plongés dans l'eau physiologique, pesés puis congelés et destinés pour l'étude histologique. Sur le plasma récupéré, les dosages suivants sont effectués :

II.1.1. Dosage de la glycémie

Le dosage du glucose est effectué par la méthode enzymatique au glucose oxydase (Kit prochimia). Le glucose est oxydé par l'oxygène en acide gluconique, la réaction est catalysée par l'enzyme glucose oxydase (GOD), H_2O_2 oxyde un accepteur d'oxygène incolore sous forme réduite en un dérivé oxydé coloré, la réaction est catalysée par une peroxydase (POD).

L'intensité de la coloration développée est proportionnelle à la quantité de glucose présent (Jacques Labescat, 2008).

II.1.2. Dosage du cholestérol total

La concentration plasmatique du cholestérol total est déterminée par la méthode enzymatique (Kit prochimia). Les esters de cholestérol sont hydrolysés par un cholestérol ester hydrolase en cholestérol libre et en acides gras. Le cholestérol libre produit et celui préexistant est oxydé par une cholestérol oxydase en D-cholestérolone et peroxyde d'hydrogène. Ce dernier en présence de peroxydase oxyde le chromogène (amino-4-phénozone/phényle) qui se transforme en un composé coloré en rouge (Lafont et *al.* 2000).

II.1.3. Dosage des triglycérides

Les triglycérides incubés avec de la lipoprotéinlipase (LPL) libèrent du glycérol et des acides gras libres. Le glycérol est phosphorylé par du glycérophosphate déshydrogénase (GPO) et de l'ATP en présence de glycérol kinase (GK) pour produire du glycérol-3-phosphate (G3P) et de l'adénosine-5-di phosphate (ADP). Le G3P est alors transformé en dihydroxiacétone phosphate (DAP) et en peroxyde d'hydrogène (H₂O₂) par le GPO. Au final, le peroxyde d'hydrogène (H₂O₂) réagit avec du 4-aminophénazone (4- AF) et du p-chlorophénol, réaction catalysée par la peroxydase (POD), ce qui donne une couleur rouge (Buccolo *et al.* 1973).

III. Etude histologique

L'expérimentation animale qui porte sur la croissance ou l'entretien et celle qui établit des bilans nutritionnels sont deux grands principes analytiques qui peuvent sans doute nous fournir des connaissances concernant l'effet de l'alimentation sur l'organisme, mais il est indispensable d'enrichir nos résultats par une étude histologique des organes qui nous apportera un complément d'information sur l'impact des régimes alimentaires sur les différents organes. La technique histologique permet d'obtenir des coupes minces sur les organes étudiés (foie, Rein, testicule). Après leur traitement par la technique de fixation et de coupe (annexe 5).

III.1. Technique de comptage

En plus de l'étude histologique du foie, des reins et des testicules, nous avons utilisé une technique de comptage qui permet d'obtenir des résultats quantitatifs et comparatifs caractérisant les organes suscités des rats soumis aux régimes expérimentaux (Linden et Lorient, 1994).

III.1.1. Sur le foie

Un oculaire micrométrique consiste à faire ce comptage en prenant le segment à graduation de cet oculaire comme le diamètre du cercle où nous comptons le nombre d'hépatocytes. Le milieu du segment doit centraliser la veine centro-lubaire au milieu. Cette observation est répétée au moins 10 fois pour chaque régime.

III.1.2. Sur les reins

Pour chaque régime, nous avons essayé de compter le nombre de cellules contenues dans les tubes cuboïdes apparents dans le champ optique du microscope

III.1.3. Sur les testicules

Pour chaque régime, nous avons sélectionné 200 tubes normaux pour la détermination des tubes à spermatozoïdes mûrs et des tubes en voie de maturation.

Pour une observation nette de l'état des spermatozoïdes dans les tubes, nous avons fait notre comptage à fort grossissement (Gx100) sous un microscope optique (type ZEISS).

IV. Dosage immunochimique de la sérumalbumine bovine (SAB)

Le dosage immunochimique du sérumalbumine bovine est réalisé par la méthode d'immunodiffusion radiale de Mancini.

IV.1. Principe de la technique

Des volumes égaux de solutions étalons de concentrations connues et d'échantillon à doser sont déposés dans des puits calibrés, découpés dans un gel contenant l'antisérum spécifique de la substance à doser. Au cours de leur diffusion, les protéines antigéniques forment, avec les Anticorps (Ac) spécifiques de l'antisérum, des anneaux de précipitation là où les antigènes (Ag) et les anticorps (Ac) se rencontrent à des concentrations correspondant à celles de la zone d'équivalence (figure 8). Le diamètre de chaque anneau de précipitation dépend de la concentration en Ag.

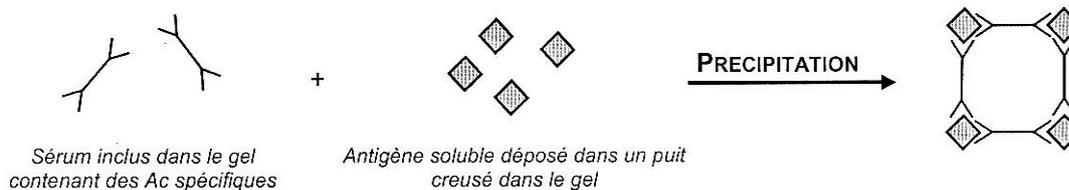


Figure 8 : Anneaux de précipitation Ac/Ag

V. Traitement statistiques

Les résultats sont exprimés par la moyenne \pm erreur standard ($X \pm S.E$).

Les moyennes relatives aux différents paramètres pris en compte dans ce travail sont comparées à l'aide du test "t" de Student. Le seuil de signification retenu est celui qui est habituellement considéré, soit 5% (Dagnélie, 1975).

Chapitre II

RESULTATS ET DISCUSSION

Résultats

I.1. Évolution pondérale

I.1.1. Groupe d'animaux recevant le gland de chêne vert

Cette figure récapitule les valeurs moyennes relatives au poids corporel des rats expérimentaux soumis régimes RT, RI et RII. Ces valeurs montrent que l'évolution du poids corporel des rats recevant le régime témoin (RT) est très importante au cours de la huitième semaine. Il est à noter également une chute de poids (de 89.40gr \pm 3.10 au début de l'étude pour atteindre 70.24gr \pm 2.01 gr en fin d'étude) chez les rats soumis au régime (RI) et qui reste significativement inférieure comparativement à celui enregistré chez les rats ayant reçus le régime RII avec une valeur croissante de 85.53 gr \pm 1.86 à 140 gr \pm 3.85 pendant les huit semaines d'expérimentation. En général, l'évolution pondérale des rats soumis au régime témoin est significativement supérieure à celle trouvée chez les rats recevant les deux autres régimes (figure 9).

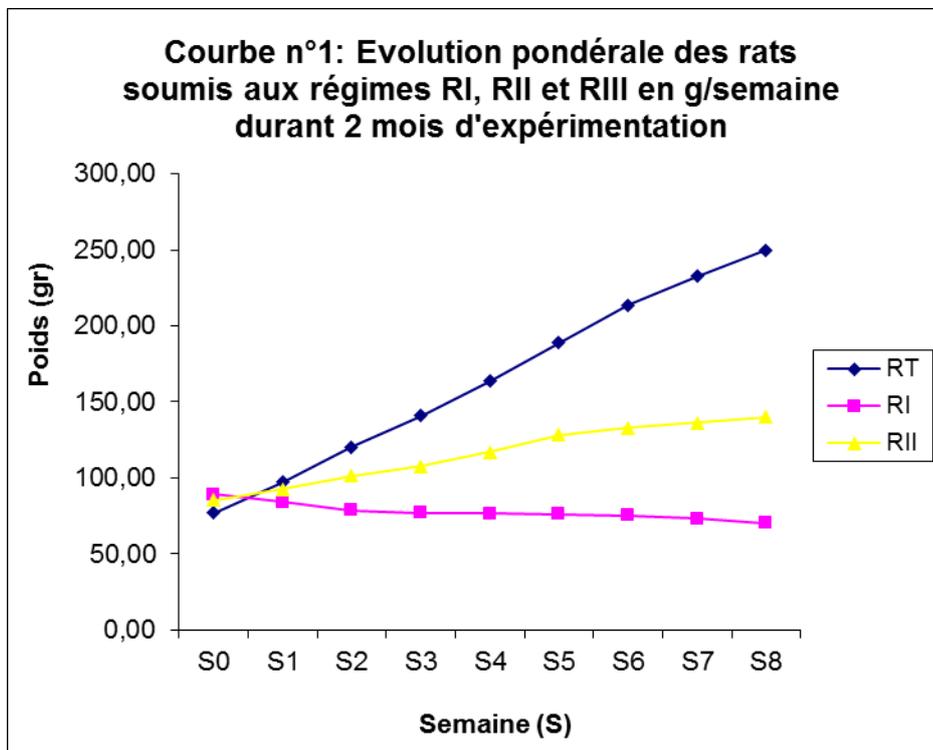


Figure 9: Evolution pondérale des rats soumis aux régimes RT, RI et RII

I.1.2. Groupe d'animaux recevant les légumineuses

L'évolution pondérale des rats soumis aux régimes à base de légumineuses durant deux mois d'expérimentation est illustrée dans la figure 10. Chez le groupe d'animaux recevant le régime RIII et RIV montrent une évolution pondérale irrégulière qui atteint son maximum durant la sixième semaine avec une valeur respectivement de 139.66 ± 3.51 et de 106.80 ± 9.33 qui chutent vers la fin de l'expérimentation. Par contre, le mélange de ces deux espèces RV, dénote une évolution pondérale régulière avec une moyenne importante (1.7g/j) et qui reste inférieur à celle du témoin (3g/j) qui enregistre une valeur maximale en fin d'expérimentation de 253 ± 6.48 .

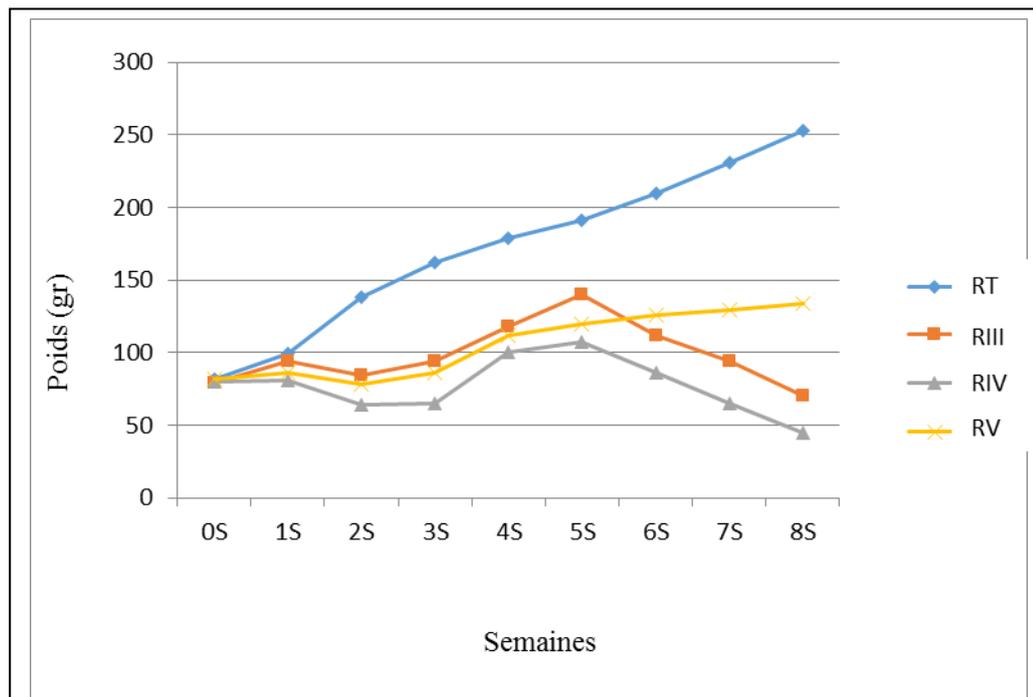


Figure 10: Evolution pondérale des rats soumis aux régimes RT, RIII, RIV et RV en g/semaine durant 2 mois d'expérimentation

I.2. Les paramètres plasmatiques

I.2.1. Glycémie, cholestérols et triglycérides des rats soumis à un régime à base de gland de chêne vert

La valeur moyenne de la glycémie chez les rats recevant le régime témoin (109,50g/l) est significativement supérieure par rapport à celle mesurée chez les rats recevant les régimes RI et RII et qui est respectivement de 72,11 et 70,21mg/dl. Pour le cholestérol, sa valeur chez les témoins (RT)

présente aussi une différence significativement élevée avec un taux de 190,02 mg/dl par rapport à ceux recevant les régimes RI (60,14mg/dl) et RII (62,24mg/dl). Quant au taux des triglycérides, les rats témoins vient en première position avec une valeur de 71,45 mg/dl qui est significativement supérieure à celle des rats recevant le régime RII (54mg/dl) qui occupent la deuxième position et qui est elle aussi significativement supérieure au régime RI (30,66mg/dl) (Figure 11).

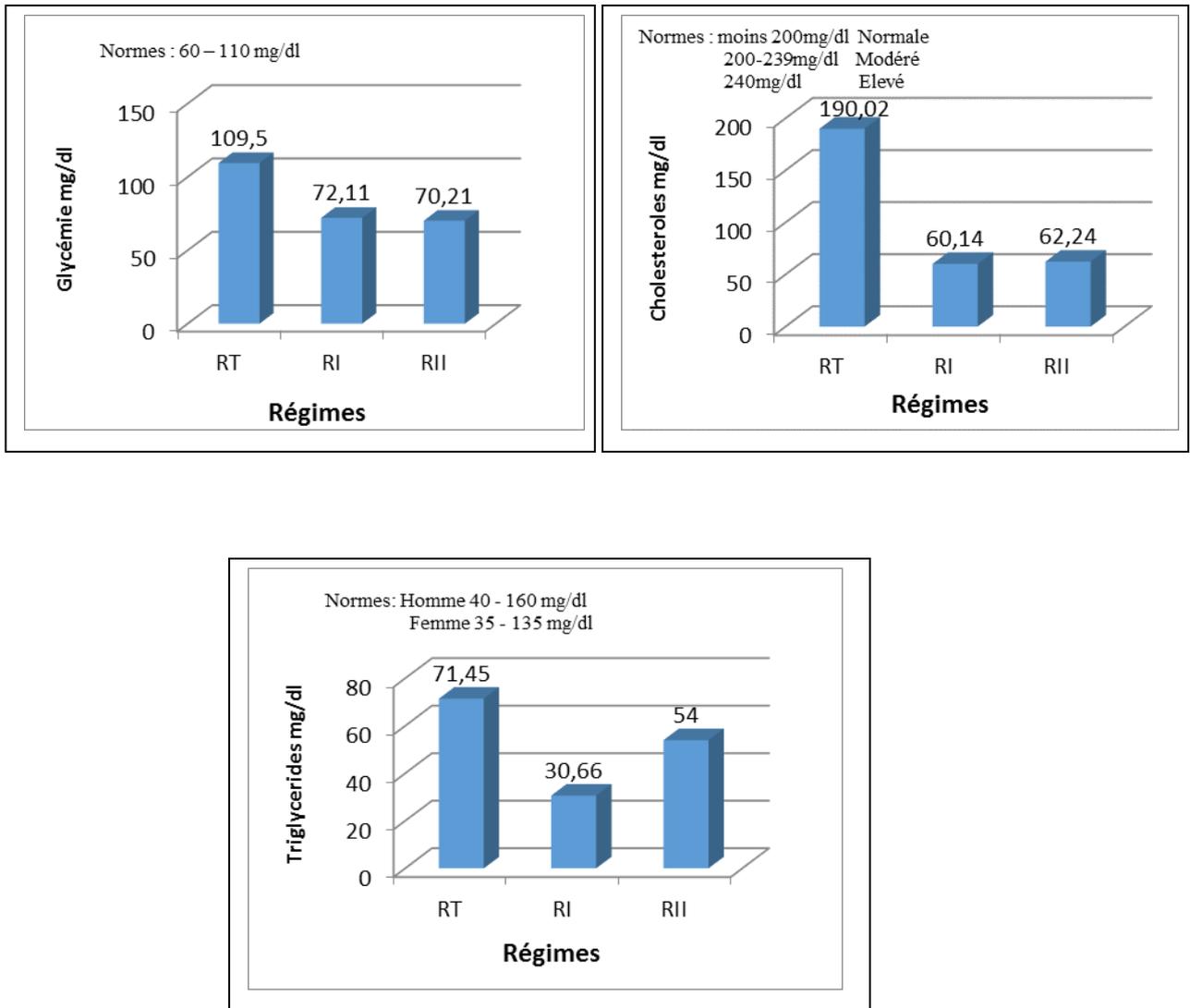


Figure 11 : Valeurs moyennes de la glycémie (g/l), du cholestérol et les triglycérides en (g/l) chez les rats soumis aux régimes RT, RI et RII à base de chêne vert

I.2.2. Glycémie, cholestérols et triglycérides des rats soumis aux régimes à base de légumineuses.

La figure 12 , montre que la glycémie des rats témoins, présente une valeur normale (109,50 mg/dl) qui est proche de celle des rats soumis au régime à base du caroubier RIII (104,87)

mais inférieure à celle enregistrée chez les rats soumis au régime à base du févier d'Amérique (RIV) et au régime comportant les deux légumineuses (RV) qui dépassent légèrement la norme dont la valeur est respectivement de 134,14mg/dl et 121,95 mg/dl. Le taux du cholestérol présente une valeur normale chez les rats recevant les trois régimes RT (190,5mg/dl, RIII (121,05mg/dl) et RIV (173,68mg/dl), à l'exception de ceux recevant le régime RV qui enregistrent un taux élevé de 247,36mg/dl. Par ailleurs, le lot RIII présente le taux le plus faible en cholestérol. Le paramètre triglycéride enregistre des valeurs normales au niveau du lot témoin (71,45mg/dl), du lot RIII (133,33mg/dl) et du lot RV (101,49mg/dl). Sauf au niveau du lot des rats soumis au régime à base de *Gleditsia triacanthos* L (RIV), où ce paramètre est nettement supérieur à la norme avec une valeur de 346,26mg/dl.

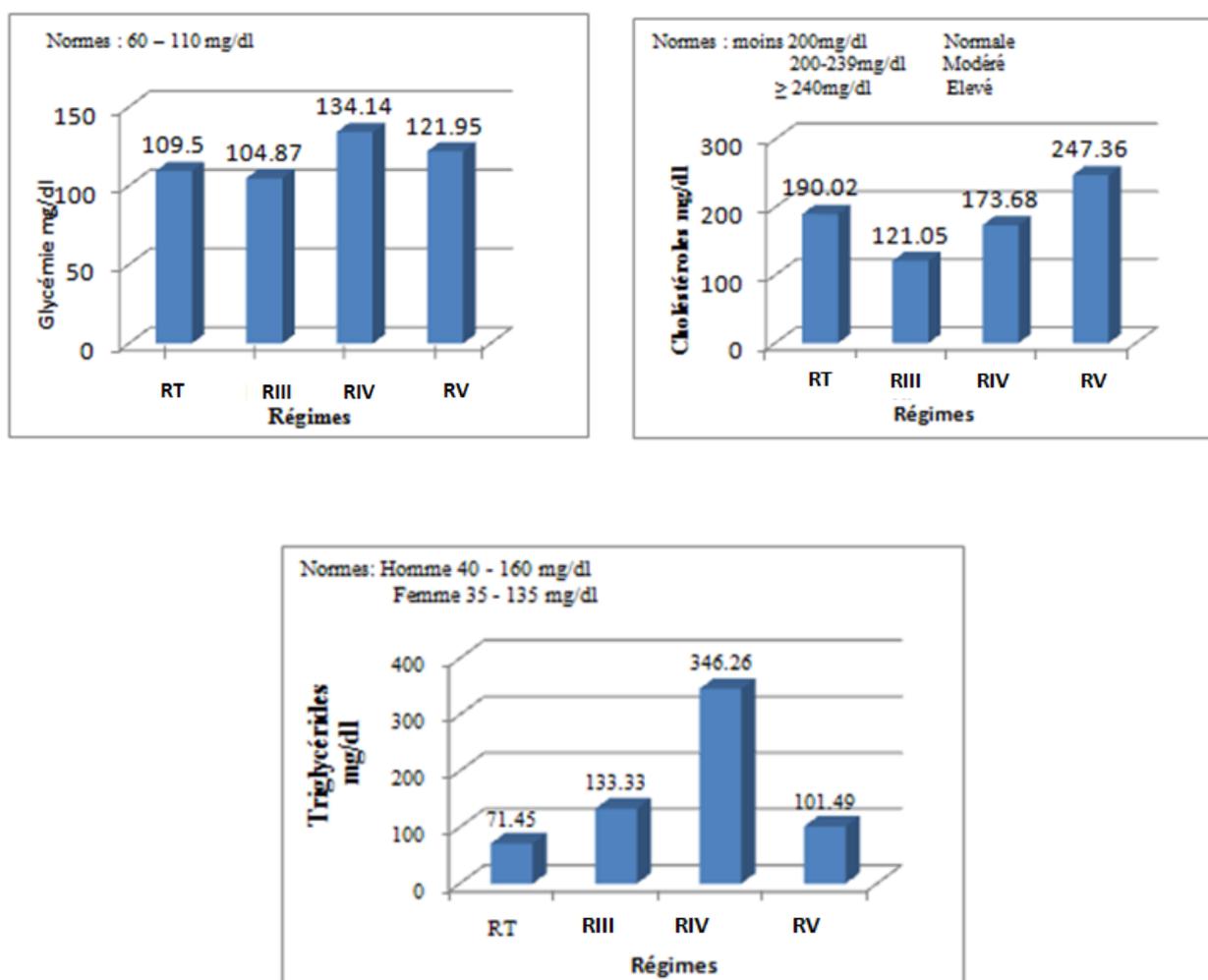


Figure 12 : Valeurs moyennes de la glycémie (g/l), du cholestérol et les triglycérides (g/l) chez les rats soumis aux régimes RT, RIII, RIV et RV à base de légumineuses.

I.3. Etude histologique

I.3.1. Rats recevant le régime à base de gland de chêne vert

I.3.1.1. Poids des différents organes (en g du poids corporel)

- **Le foie**

Le tableau 19 montre que le poids moyen du foie des rats carencés en protéines (RI) est significativement plus bas ($2.71 \pm 0.25\text{gr}$) comparé à celui des rats consommant le régime témoins (RT) ($7.7 \pm 0.22\text{gr}$). Concernant les rats soumis au régime supplémenté (RII), le poids moyen du foie ($4.42 \pm 0.55\text{gr}$) est supérieur à celui des rats soumis au régime carencé. Par contre, il est inférieur au poids des rats témoins alors que cette différence entre les régimes RT et RII n'est pas significative.

- **Les reins**

Le poids moyen des reins chez les rats soumis au régime témoin RT ($1,26 \pm 0,14\text{gr}$) est supérieur à celui des rats soumis au régime carencé RI ($0.9 \pm 0,10\text{gr}$). Par contre, les rats soumis au régime expérimental RII ont un poids plus élevé ($1,14 \pm 0,15\text{gr}$) que celui du régime RI ($0,9 \pm 0,10\text{gr}$).

Le poids des reins des rats recevant le régime témoins (RT) dépasse légèrement celui des rats recevant le régime (RII) (Tableau 19).

- **Les testicules**

Les rats soumis au régime supplémenté (RII) présentent un poids moyen de $2.39 \pm 0.17\text{gr}$ qui est proche de celui des rats recevant le régime témoin (RT) ($2.40 \pm 0.37\text{gr}$) et supérieure aux poids des rats recevant le régime (RI) ($0.56 \pm 0.05\text{gr}$) (tableau 19). Par contre, la différence entre les poids moyens chez les trois lots de rats n'est pas significative.

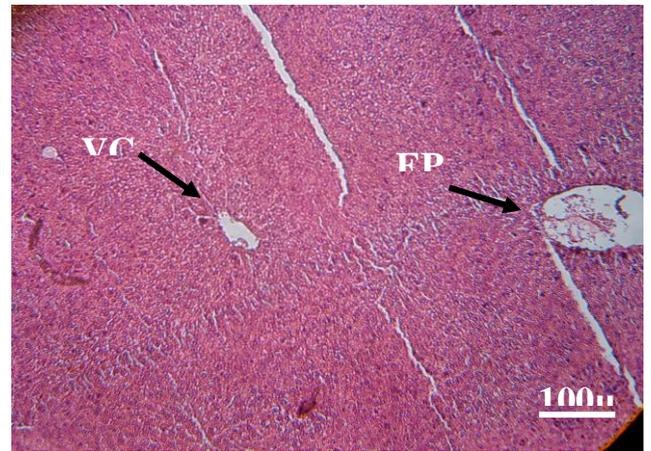
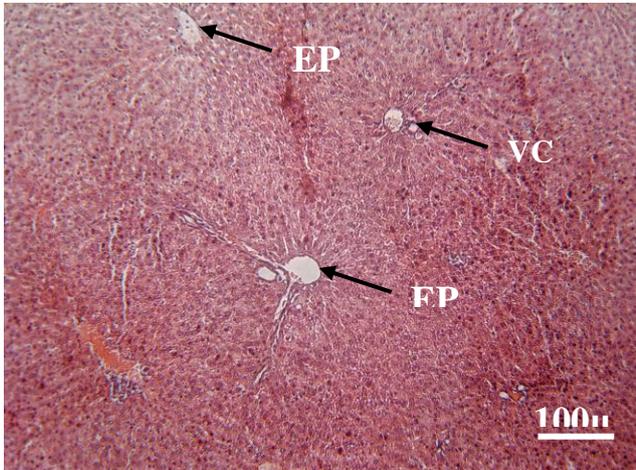
Tableau 19 : Poids des différents organes (foie, testicules, reins) des rats soumis aux régimes RI, RII, RIII (en gr du poids corporel) après 2 mois d'expérimentation.

Organes Régimes	Foie	Rein	Testicules
RT	$7,7 \pm 0.22$	1.26 ± 0.14	2.40 ± 0.37

RI	2.71±0.25	0.9±0.10	0.56±0.05
RII	4.42±0.55	1.14±0.15	2.39±0.17

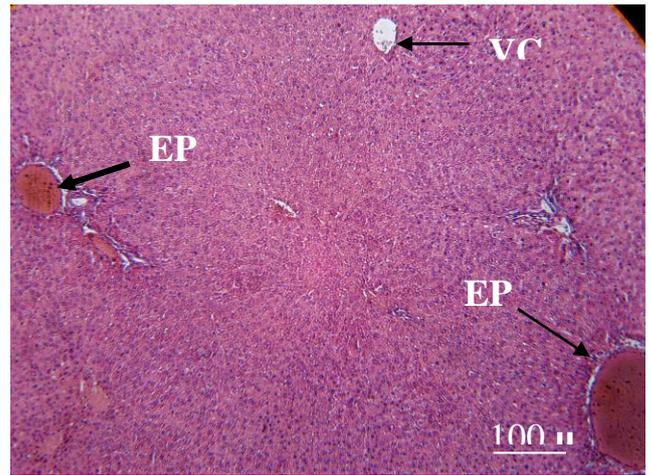
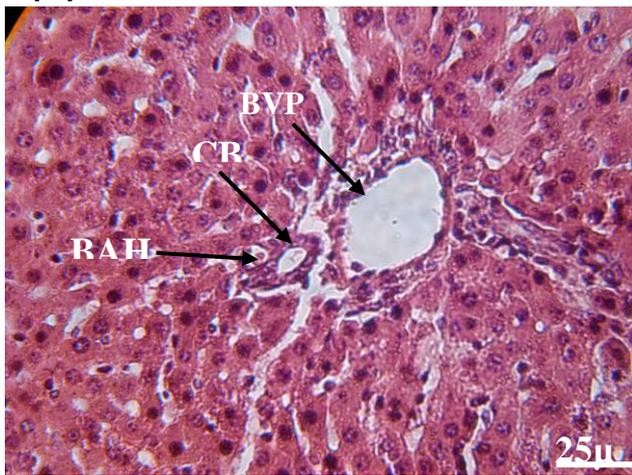
I.3.1.2. Tissus des différents organes

La figure 13, montre que le foie des rats soumis au régime témoin (RT) (photo A) et celui des rats soumis au régime RII (photo B) sont sains et normaux. Cependant, une prédominance des hépatocytes est observée sur la photo C. Par contre, le foie des rats soumis au régime RI (photo D) présente des œdèmes. On constate qu'au niveau des veines portes, des congestions ainsi qu'un gonflement des hépatocytes sont observées sur la photo E. Par ailleurs, la photo F montre une inflammation visible par la congestion des vaisseaux et une mort nucléaire progressive de l'espace porte vers la veine centrale.



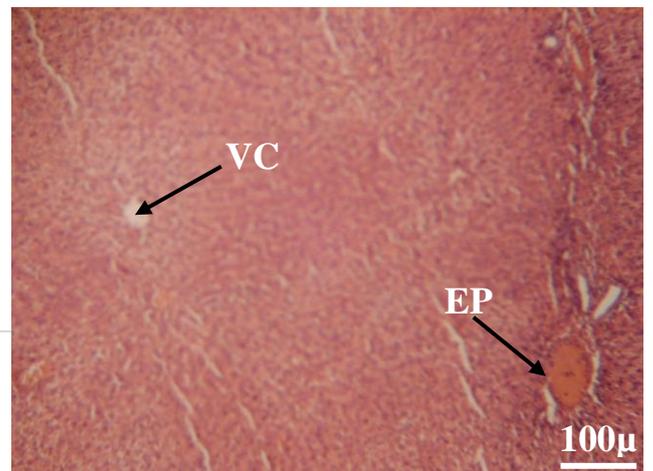
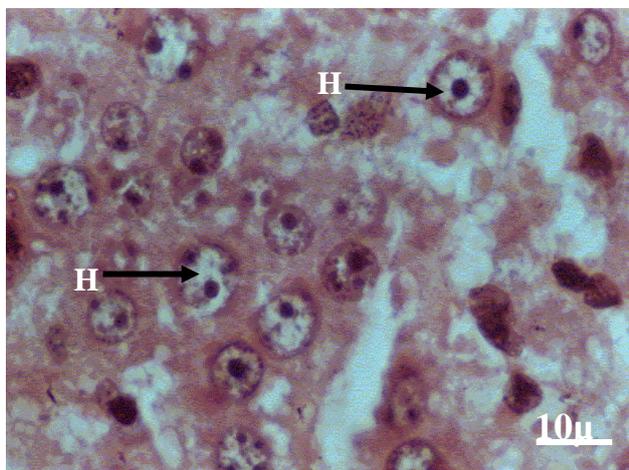
(A)

(B)



(C)

(D)



(E)

(F)

Photo A: Coupe transversale du foie de rats consommant un régime témoin à base de 16% de caséine (Gx10).

Photo B: Coupe transversale du foie de rats consommant un régime à base de 15,43% de protéine (gland doux+gluten)(Gx10).

Photo C : Coupe transversale du foie de rats consommant un régime témoin à base de 16% de caséine (Gx40).

Photo D : Coupe transversale du foie de rats consommant un régime de 4,27% de protéine de gland doux. (Gx40)

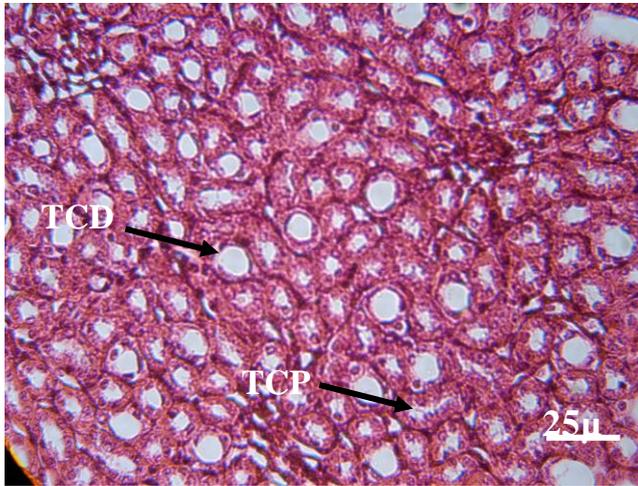
Photo E : Coupe transversale du foie de rats consommant un régime à base de 4,27% de protéine de gland doux. (Gx250).

Photo F : Coupe transversale du foie de rats consommant un régime de 4,27% de protéine de gland doux. (Gx10)

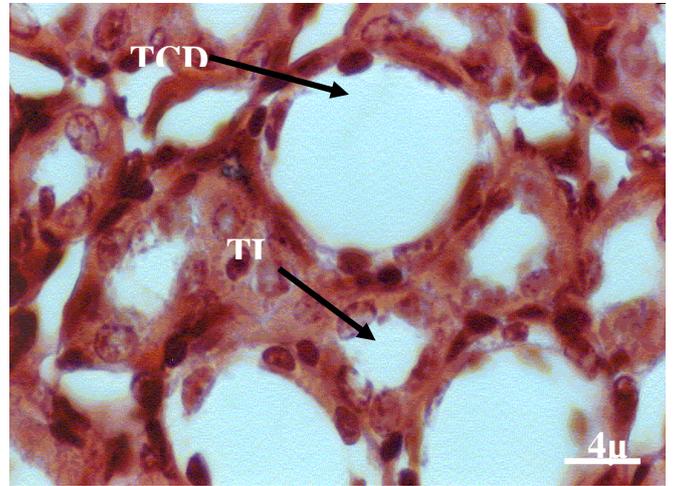
(EP : espace porte, VC : veine Centro-lobulaire, BVP : branche de la veine porte, VL : veine lymphatique, CB : canal biliaire, BAH : branche de l'artère hépatique, H : hépatocyte)

La figure 14, montre que les reins des rats soumis au régime témoins RT ne présentent aucune anomalie tissulaire (photos A et B). Ils présentent avec des tubes cuboïdes ayant une bonne structure et une bordure en brosse intacte. Ces observations sont également notées chez les rats supplémentés (photos C et D). Par contre, chez les rats ayant subi un régime carencé, nous constatons des anomalies et des malformations rénales : structure mal organisée suite à une dégénérescence des cellules au niveau des tubes cuboïdes (bordure en brosse laminée libérant quelques cellules) (photos E et F).

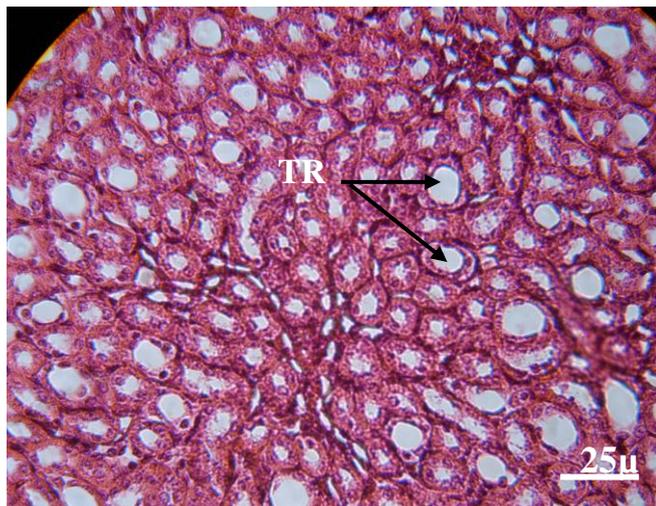
Les testicules des rats soumis aux régimes RT (témoin) et RII (supplémenté) présentent des tubes séminifères avec des spermatozoïdes mûrs (figure 15, photos A et B) et quelques spermatozoïdes en cours de développement. Les photos C et D de la figure I4, montrent clairement chez les rats recevant les régimes RT et RII, une présence d'un métamorphisme ou d'une différenciation des cellules sexuelles en spermatozoïdes. Par ailleurs, chez les rats nourris par le régime RI, nous constatons la présence d'un tissu séminifère vide avec des spermatozoïdes en voie de maturation (photos E) et l'absence de toute transformation spermatogénétique (photos F). L'étude histologique montre que presque tous les tubes séminifères des rats soumis aux régimes RT et RII présentent des spermatozoïdes mûrs preuve d'une bonne spermatogenèse (figure 15, photos A et B). Les rats consommant le régime RI, présentent quant à eux, un ralentissement voire un arrêt de la spermatogenèse.



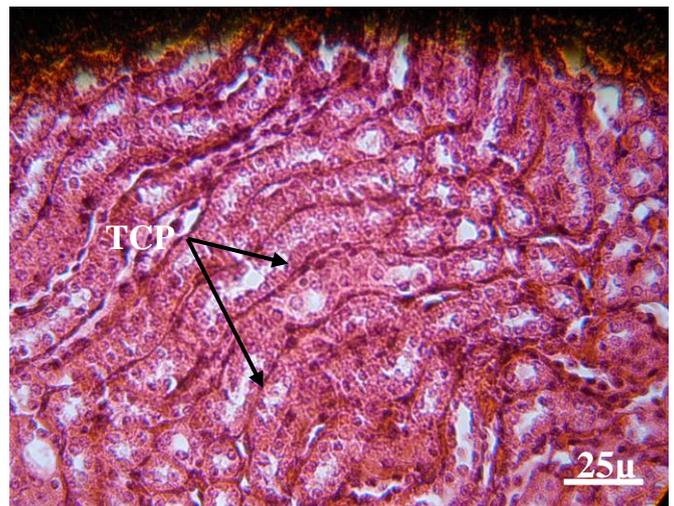
(A)



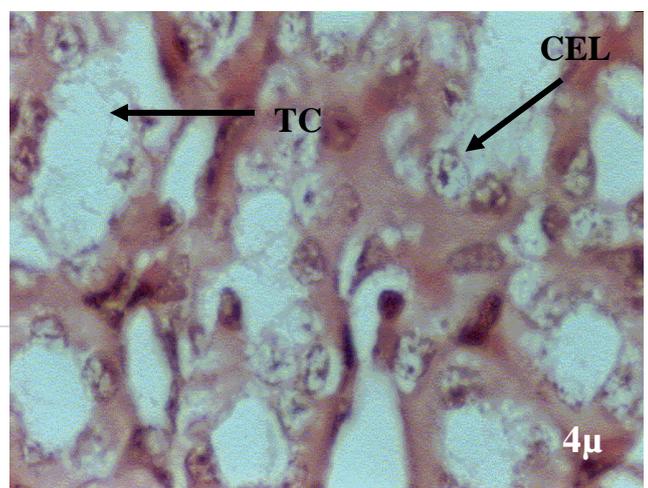
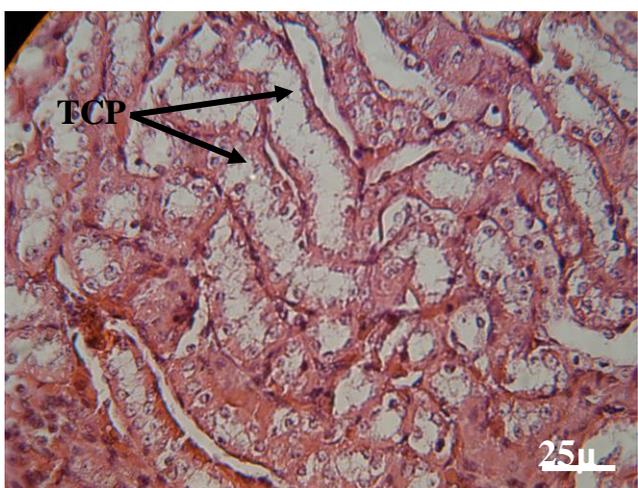
(B)



(C)



(D)



(E)

(F)

Figure 14 : Coupes histologiques au niveau des reins des rats soumis aux régimes RI, RII et RIII

Photo A : Coupe transversale des reins de rats consommant un régime à 16% de Caséine. (Gx40).

Photo B : Coupe transversale des reins de rats consommant un régime à 16% de Caséine. (Gx250).

Photo C : Coupe transversale des reins de rats consommant un régime à 15,43% de protéine (gland doux+gluten) (Gx40).

Photo D : Coupe transversale des reins de rats consommant un régime à 15,43% de protéine (gland doux+gluten) (Gx250). (Gx40).

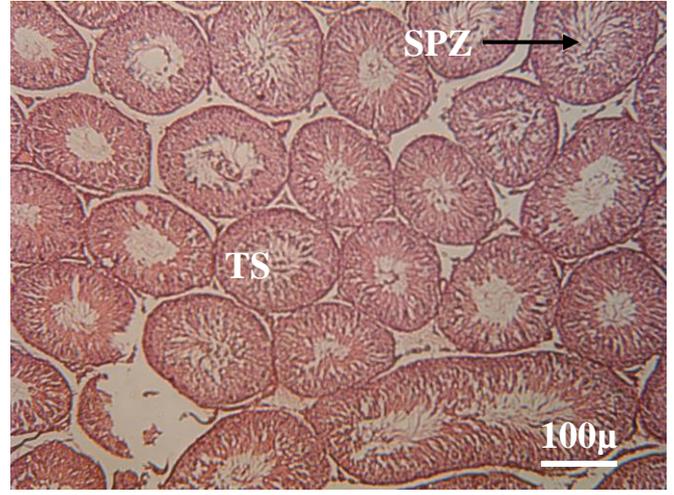
Photo F : Coupe transversale des reins de rats consommant un régime carencé à base de 4,27% de protéines de gland doux. (Gx40).

Photo F : Coupe transversale des reins de rats consommant un régime carencé à base de 4,27% de protéines de gland doux (Gx250)

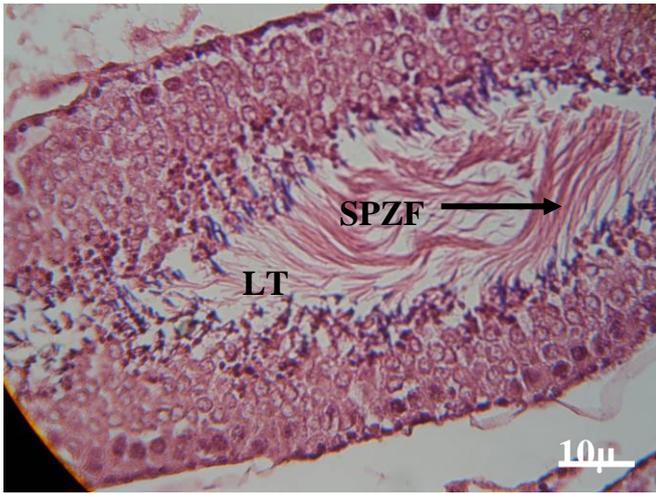
(TCD : tube contourné distal, TCP : tube contourné proximal, TCD, TI : tube intermédiaire, TR : tubes rénaux, TC : tube cuboïde, CEL: cellule)



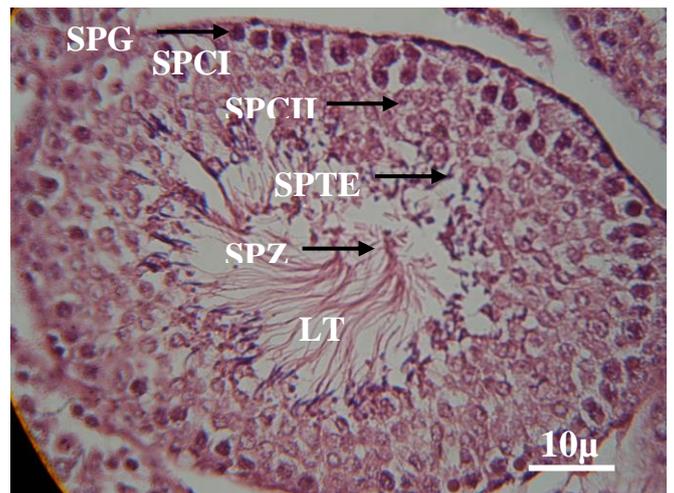
(A)



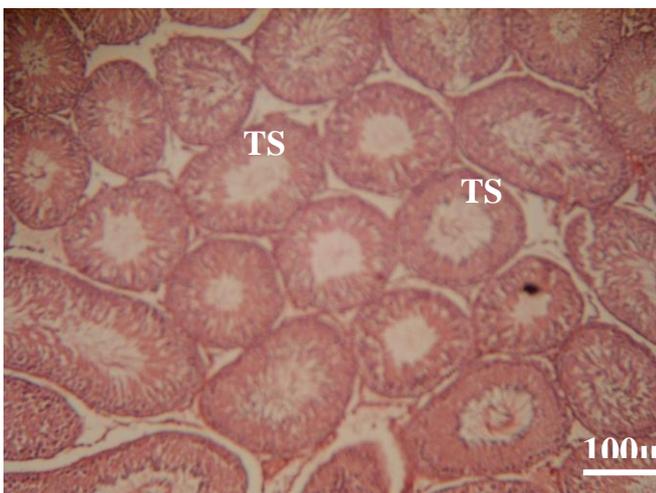
(B)



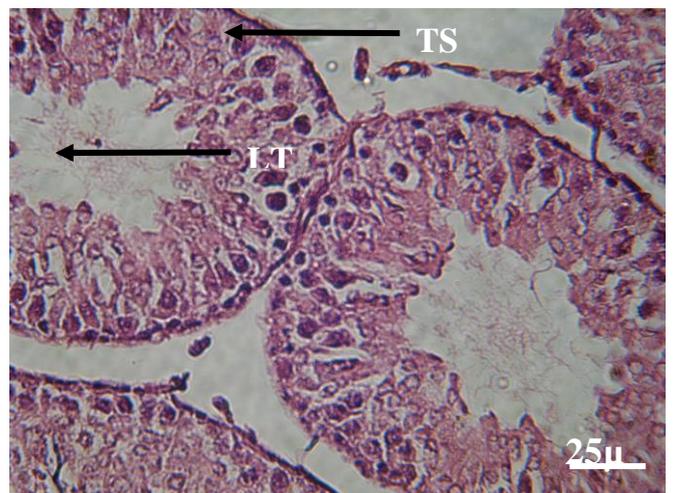
(C)



(D)



(E)



(F)

Figure 15: Coupes histologiques au niveau des testicules des rats soumis aux régimes RI, RII et RIII

Photo A : Coupe transversale des testicules de rats consommant un régime de 16% de caséine. (Gx10)

Photo B : Coupe transversale des testicules de rats consommant un régime de 15,43% de protéines (gland doux+gluten). (Gx10)

Photo C : Coupe transversale des testicules de rats consommant un régime de 16% de Caséine. (Gx40)

Photo D : Coupe transversale des testicules de rats consommant un régime à 15,43% de protéine (gland doux+gluten). (Gx40)

Photo D : Coupe transversale des testicules de rats recevant un régime à base de 4,27% de protéine de gland doux. (Gx10)

Photo F : Coupe transversale des testicules de rats recevant un régime à base de 4,27% de protéine de gland doux. (Gx40).

(TS : tissu séminifère, SPZ : spermatozoïde, LT : lumière de tube, SPZF : spermatozoïde en faisceaux, SPG : Spermatogonie (cellule germinale, SPCI: spermatocyte I, SPC II : spermatocyte II, SPTE: spermatide évoluée, LT: Lumière du tube

I.3.2. Rats recevant le régime à base de légumineuses

I.3.2.1. Poids des différents organes (en g du poids corporel)

- **Le foie**

Le tableau 20 montre que le poids moyen du foie des rats recevant le régime RIII est significativement plus bas ($2.63 \pm 0.54\text{gr}$) comparé à celui des rats consommant le régime témoins (RT) ($7.7 \pm 0.22\text{gr}$). La même constatation est faite pour le régime RIV ($1.70 \pm 0.10\text{gr}$) qui reste le plus faible par rapport aux autres. Concernant les rats soumis au régime (RV), le poids moyen du foie ($5.78 \pm 0.74\text{gr}$) est supérieur à celui des rats soumis aux régimes RIII et RIV. Par contre, il est inférieur au poids des rats témoins alors que la différence entre les deux régimes RT et RV est non significative.

- **Les reins**

Le poids moyen des reins chez les rats soumis au régime témoin est supérieur à celui des rats soumis aux autres régimes. Par ailleurs, les rats soumis au régime expérimental RV ont un poids plus élevé ($0.97 \pm 0.20\text{gr}$) que celui du régime RIII ($0.47 \pm 0.06\text{gr}$) et RIV ($0.30 \pm 0.03\text{gr}$).

- **Les testicules**

Les rats soumis au régime témoin (RT) présentent un poids moyen ($2.40 \pm 0.37\text{gr}$) qui dépasse nettement celui des rats recevant les autres régimes. Cependant le régime RV vient en deuxième position avec une valeur de $1.50 \pm 0.10\text{gr}$ qui est supérieure à celle du régime RIII ($0.94 \pm 0.10\text{gr}$) et RIV ($0.60 \pm 0.06\text{gr}$) (tableau20). Par contre, la différence entre les poids moyens chez les trois lots de rats n'est pas significative.

Tableau 20 : Poids des différents organes (foie, testicules, reins) des rats soumis aux régimes à base de légumineuses (en gr du poids corporel) après 2 mois d'expérimentation.

Organes Régimes	Foie	Reins	Testicules
RT	$7,7 \pm 0.22$	1.26 ± 0.14	2.40 ± 0.37
RIII	2.63 ± 0.54	0.47 ± 0.06	0.94 ± 0.10
RIV	1.70 ± 0.10	0.30 ± 0.03	0.60 ± 0.06
RV	5.78 ± 0.74	0.97 ± 0.20	1.50 ± 0.10

I.3.2.2. Tissus des différents organes

La figure 16, photo A montre que le foie des rats soumis au régime témoin (RT) et celui des rats du régime RV (photo E) sont sains et normaux ; ils ne présentent aucune malformation structurale. Cependant, les observations mentionnées au niveau du foie des rats soumis au régime RIII, indiquent la présence d'une nécrose périlobulaire partielle (photo B). Par ailleurs, une hypertrophie, des œdèmes et des congestions caractérisent le foie pour le régime (RIV) (photo C et D).

Les reins des rats ayant subi un régime témoins (RT), sont sains et normaux et ne présentent aucune anomalie (figure 17, photo A et B). Ces reins se présentent avec des tubes cuboïdes ayant une bonne structure, des glomérules et des bordures en brosse intacte. Ces observations ne sont pas constatées chez les rats recevant le régime RIII et RIV, qui montrent la présence d'une hémorragie glomérulaire au niveau du cortex rénale, des nécroses et des dégénérescences du corpuscule rénale (photo C et D). Le régime RV a montré une dégénérescence tubulaire sans nécrose (bordure en brosse laminée libérant quelques cellules) avec une hypertrophie du glomérule rénale (photo E et F).

Au niveau des testicules (figure 18), les rats soumis au régime RT présentent des tubes séminifères avec des spermatozoïdes mûrs (photo A). La photo A, montrent clairement chez les rats recevant le régime témoin, la présence d'une différenciation des cellules sexuelles en spermatozoïdes. Par ailleurs, chez les rats soumis au régime RIII et RIV, nous avons noté, une production de spermatozoïdes suivit d'une dégénérescence des tubes séminifères (photo B et C). Par ailleurs, une rarification des spermatozoïdes au niveau de la lumière du tube sont aussi constatées chez les rats soumis au régime (RV) (photo D).

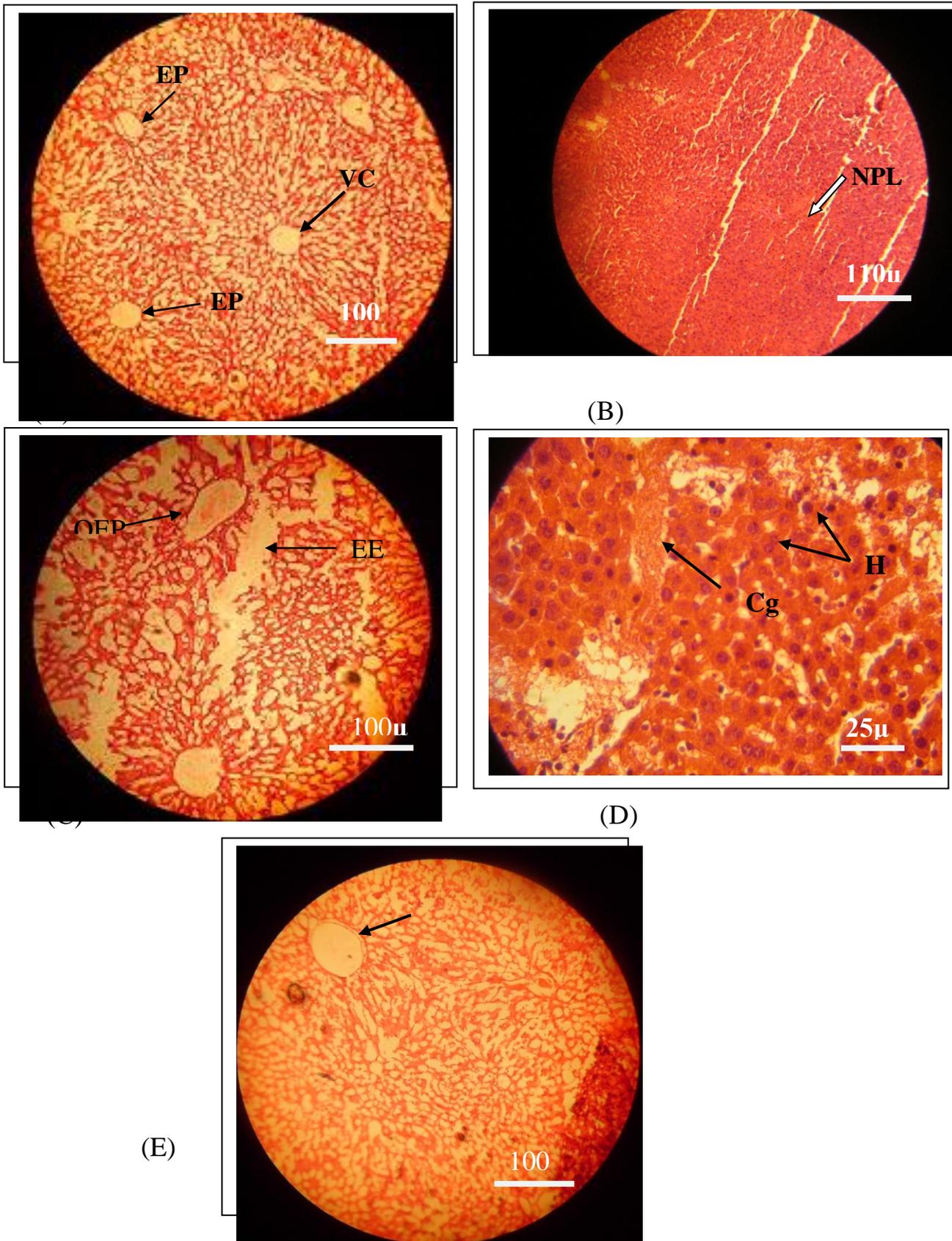


Figure 16 : Coupes histologiques du roie de rats soumis aux regimnes RT, RIII, RIV et RV

Photo A: Coupe transversale du foie de rats consommant un régime témoin (RT) à base de 16% de caséine (Gx10).

Photo B: Coupe transversale du foie de rats consommant un régime à base de 16% de protéine (*Ceratonia siliqua*) (RIII) (Gx3.2).

Photo C : Coupe transversale du foie de rats consommant un régime à base de 16% de protéine (*Gleditschia triacanthos*) (RIV) (Gx10).

Photo D : : Coupe transversale du foie de rats consommant un régime à base de 16% de protéine (*Gleditschia triacanthos*) (RIV) (Gx40).

Photo E : Coupe transversale du foie de rats consommant un régime à base d'un mélange de *Ceratonia siliqua* et de *Gleditschia triacanthos* (RV) (Gx10).

(OEP : espace porte, VC : veine Centro-lobulaire, NPL : nécrose périlobulaire, EP : espace porte, EED : épaissement des espace de disse, Cgt : congestion, H : hépatocyte)

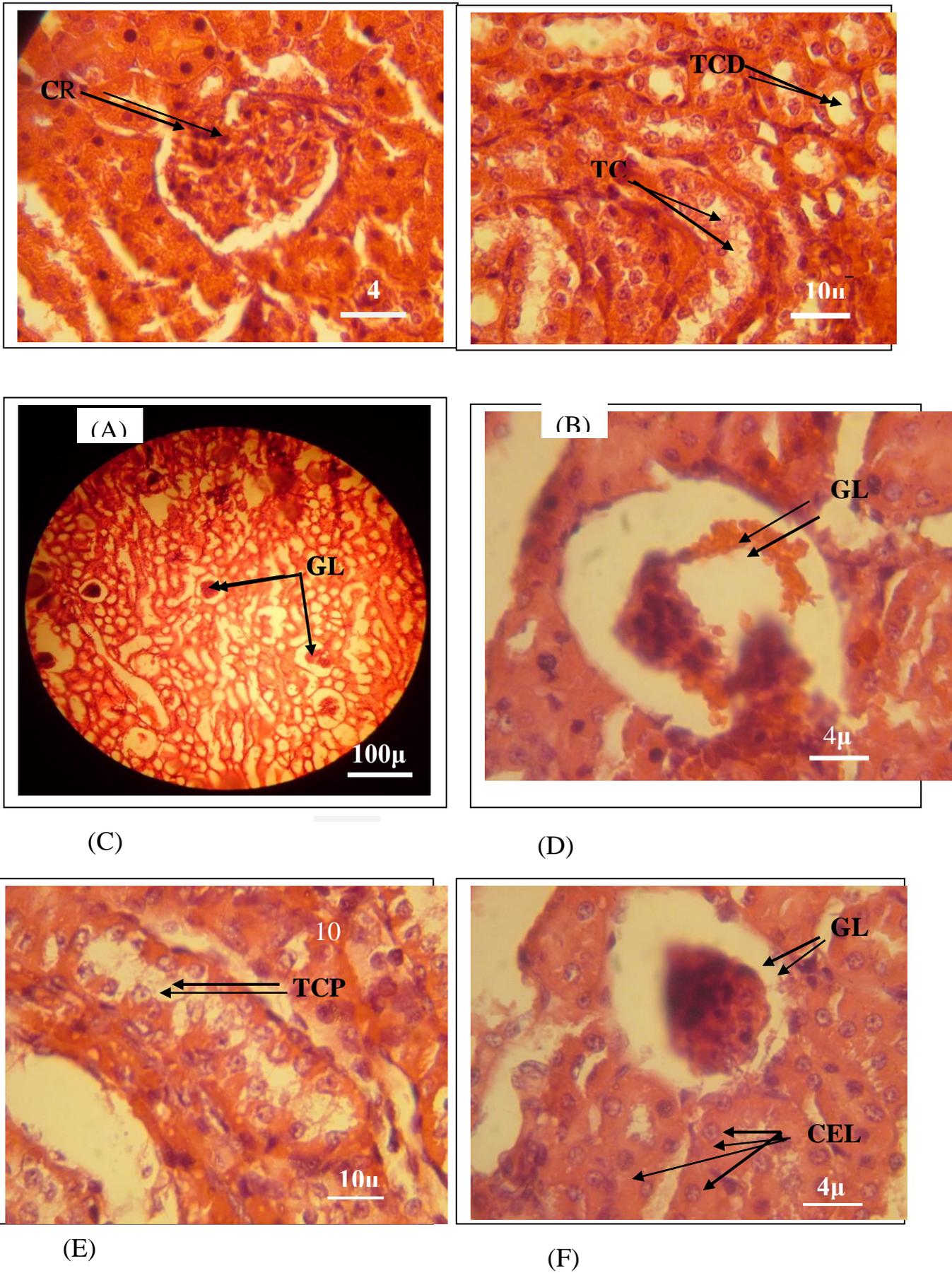


Figure 17 : coupes histologiques des reins de rats soumis aux régimes RT, RIII, RIV et RV

Photo A : Coupe transversale des reins de rats consommant un régime à 16 % de Caséine. (Gx250).

Photo B : Coupe transversale des reins de rats consommant un régime à 16 % de Caséine. (Gx100).

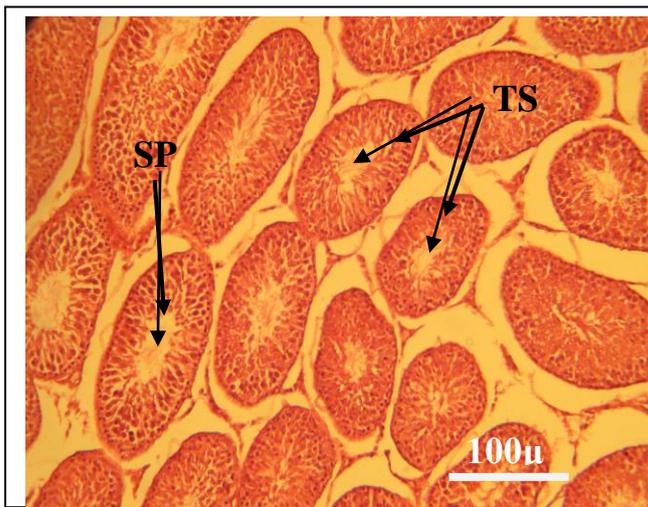
Photo C : Coupe transversale des reins de rats consommant un régime à 16 % de protéine (*Ceratonia siliqua*) (RIII) (Gx10).

Photo D : Coupe transversale des reins de rats consommant un régime à 16 % de protéine (*Gleditschia triacanthos*) (RIV) (Gx250).

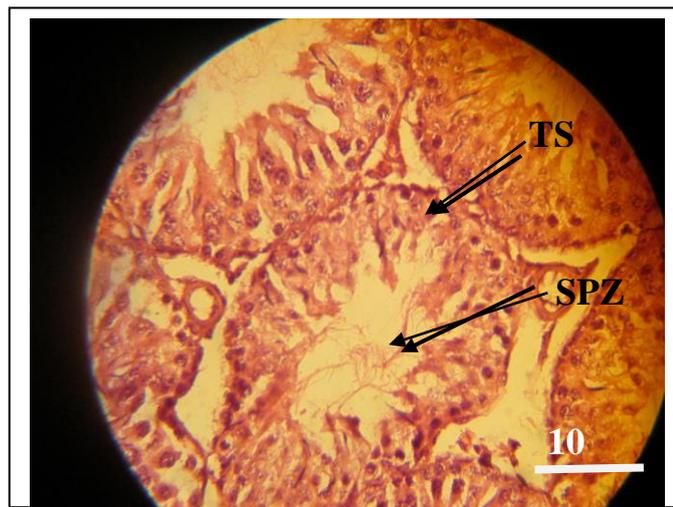
Photo E : Coupe transversale des reins de rats consommant un régime à base d'un mélange de *Ceratonia siliqua* et de *Gleditschia triacanthos* (RV) (Gx100).

Photo F : Coupe transversale des reins de rats consommant un régime à base d'un mélange de *Ceratonia siliqua* et de *Gleditschia triacanthos* (RV) (Gx250).

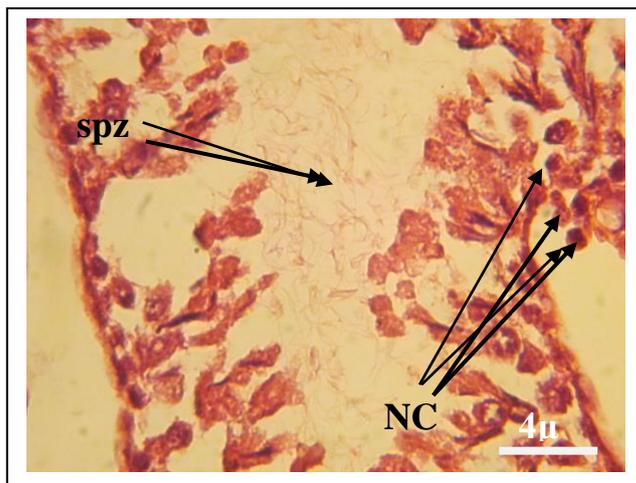
(GL : glomérule, CEL: cellule, CR : corpuscule rénale, TCD : tube contourné distal, TCP : tube contourné proximal)



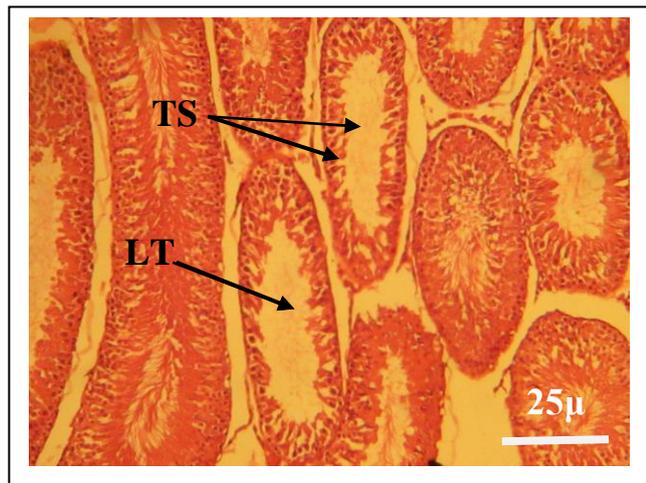
(C)



(C)



(C)



(D)

Figure 18 : Coupes histologiques des testicules de rats soumis aux régimes RT, RIII, RIV et RV

Photo A : Coupe transversale des testicules de rats consommant un régime de 16% de caséine. (Gx10)

**Photo B : Coupe transversale des testicules de rats consommant un régime de 16 % de protéines
(*Ceratonia siliqua*) (RIII). (Gx40)**

Photo C : Coupe transversale des testicules de rats consommant un régime à base de (*Gleditschia triacanthos*) (RIV) (Gx100)

**Photo D : Coupe transversale des testicules de rats consommant un régime à base d'un mélange de
Ceratonia siliqua et de *Gleditschia triacanthos* (RV) (Gx40)**

(TS : tissu séminifère, SPZ : spermatozoïde, TSN : tissu séminifère nécrosé, NC: nécrose cellulaire, LT :
lumière de tube,)

I.4. Dosage de l'albumine sérique

La figure 19 résume les résultats du dosage de l'albumine sérique qui illustre les anneaux d'inhibition de diamètre décroissant du puits 4 vers le puits 1.



Figure 19 : Anneaux de précipitations correspondant à des zones d'équivalences (technique de Mancini)

La gamme d'étalonnage représentée sur le tableau 21, permet de tracer la droite reliant la concentration au carré du diamètre $d^2 = f(\rho_{SAB})$ et ce, afin de doser la concentration de l'antigène (l'albumine sérique).

Tableau 21: Concentration massique de chaque étalon et leur diamètre correspondant en mm²

Concentration en gramme par ml	Diamètre des disques en mm	Diamètre des disques au carré (mm ²)
0.3	10.9	118.81
0.6	13.5	182.25
0.9	15.5	240.25
1.8	18	324

Solution A	13	169
Solution B	13.2	174.24

Solution A : sérum des rats recevant le régime RT

Solution B : sérum des rats recevant le régime supplémenté RII

D'après le traçage de la droite d'étalonnage, la concentration de la solution A (x_1) est de l'ordre de 0.47g/l et celle de la solution B (x_2) est équivalente à 0.50g/l. En tenant compte du facteur de dilution, ces concentrations sont de 47g/l et 50g/l respectivement pour le régime supplémenté et témoin (figure 20).

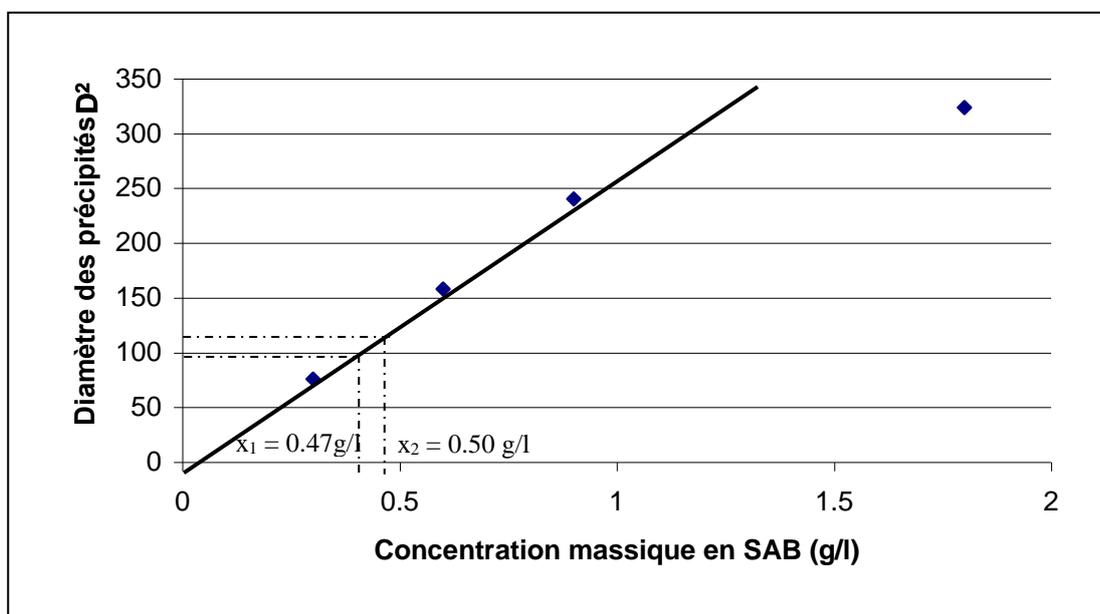


Figure 20 : Droite d'étalonnage $d^2 = f(\rho_{SAB})$

II. Discussion

Les résultats obtenus au cours de la présente étude révèlent une différence significative entre les poids corporels moyens des lots de rats étudiés. Le régime témoin (RT), donne les meilleures performances de croissance avec un gain de poids moyen de 3 g/j durant toute l'expérimentation, témoignant ainsi de l'équilibre des nutriments du régime. Ce régime est considéré comme un régime de référence vu l'aspect qualitatif de la caséine dont la composition en acides aminés entraîne une excellente utilisation métabolique (Cheftel et *al.*, 1992). Par contre, les rats recevant le régime RI, ont montré une diminution de la croissance pondérale dès le début de l'expérimentation. Ce ci est vraisemblablement dû à une sous-consommation protéique. Ces résultats sont similaires à ceux obtenus par Bregendahl et *al* (2002), qui montrent dans ses travaux sur les poulets que les nourris avec un régime à haut niveau de protéines brutes présentent un poids vif et un gain de poids supérieurs à ceux nourris avec des régimes contenant des teneurs en protéines inférieures. L'organisme s'adapte au régime et réagit à la carence protéique en diminuant légèrement sa masse musculaire et surtout en supprimant la synthèse de nouveaux tissus. Le sujet est ainsi capable d'assurer ses besoins d'entretien et de réparation qui sont plus essentiels à la survie qu'à la croissance (Berbar, 1985). Toutefois, la supplémentation des protéines (gluten de maïs) au gland de chêne vert (RII) présente une croissance pondérale régulière chez les rats avec un gain de poids de 1,53 g/j qui reste inférieur à celui du témoin (3g/j) mais supérieur à celui observé dans une autre étude chez des rats qui ont reçu des régimes à base de farine de coton (1,45g/j) (Bertrand et Belleville, 1990). Toutefois, les résultats du régime supplémenté reste inférieure au taux de 2 g/j trouvé chez des rats ayant consommés un régime à base de 13,14 % de protéines du gland de chêne vert et 3,46 % de levure (*Candida utilis*) (Belarbi, 2003). Ceci peut s'expliquer par la différence existante entre la caséine et les protéines végétales du point de vue efficacité nutritionnelle car celles-ci affectent toutes les fonctions du développement de l'organisme (Berghoffer, 1987 ; Bensenouci, 2003).

Concernant les régimes à base de légumineuses, les deux lots recevant le régime RIII et RIV, présentent une diminution de poids des rats au début de l'expérimentation, suivie d'une légère augmentation due à l'adaptation de ces animaux aux régimes qui atteint une valeur maximale vers la sixième semaine. En effet, les animaux ont la capacité d'augmenter de leur ingestion d'aliment pour compenser le faible contenu énergétique des régimes (Sahle et *al.*, 1992), puis rechute durant le deuxième mois. Sachant que ces régimes sont enrichis à 16% de protéine, de même la farine de caroube contient un niveau très élevé de sucres stimulant potentiellement la palatabilité et l'arôme des régimes et donc la consommation d'aliment (Lanza et *al.*, 1983), cela laisse penser à d'autres paramètres et qui pourraient être à l'origine de cette évolution irrégulière de leur poids. En effet, le taux considérable des tannins en générale et des tannins hydrolysables en particulier de ces régimes sont vraisemblablement la première cause de cette perte de poids. Selon Bullard et Elias, (1980), les tanins apportés par la farine du caroube peuvent entraîner une réduction de la palatabilité et de la consommation, comme observé chez les oiseaux. Ces résultats n'ont pas été observés chez le porc nourri avec

des sorghos riches en tanins (Cousins *et al.*, 1981 ; Lizardo *et al.*, 1995). De telles observations semblent suggérer que le rat est sensible à l'astringence apportée par les tanins des régimes que le porc. Par ailleurs, des résultats anciens sur l'utilisation de la caroube chez les volailles ont montré que les tanins présents dans les régimes entraînaient une réduction de la croissance (Vohra et Kratzer, 1964). En plus, les protéines de la farine du caroube sont très riches en proline, aspartate et glutamate, et déficientes en acides aminés soufrés (Lanza *et al.*, 1983 ; Saura-Calixto, 1988). Les tanins se liant préférentiellement aux protéines riches en proline (Mehansho *et al.*, 1987 ; Jansman, 1993) peuvent rendre indisponibles les protéines de cette farine. À l'inverse des rats nourris au régime RV qui montre une évolution pondérale plus ou moins positive à partir de la troisième semaine. Cela est probablement dû à la faible quantité des tannins dans ce régime par rapport aux autres régimes. En outre, les régimes utilisés n'étaient pas formulés sur la base de l'énergie métabolisable et les différences de croissance observées pouvaient être dues à la différence de contenu énergétique qui est plus élevé au niveau du régime RV (3100kcal/kg) (Annexe1), plutôt qu'aux tannins eux-mêmes.

Pour mieux étudier l'efficacité des régimes expérimentaux, nous avons réalisé aussi le dosage de certains paramètres sanguins qui pourraient être modifiés par le régime alimentaire.

Le régime à base de gland de chêne vert a donné un taux moyen normal de la glycémie au niveau du lot RI ($72,11 \pm 0.91$ mg/dl) et RII ($70,21 \pm 0.62$ mg/dl) mais inférieur par rapport à celui du témoin ($109,50 \pm 0.88$). Cette diminution de la glycémie peut être expliquée par la présence de facteurs antinutritionnels des végétaux qui influent sur la digestibilité de l'amidon en inhibant l'action de l'amylase (Gordon, 1996). De plus, les végétaux sont des sources riches en fibres qui peuvent résister aux enzymes digestives et intervenir dans la diminution de la glycémie (Prost, 1987). Ces valeurs sont en accord avec celles obtenues dans d'autres travaux sur les composés nutritionnels et antinutritionnels du gland de chêne vert (Belarbi, 2003). Cependant, le régime à base de légumineuses a montré que le paramètre glycémie a enregistré des taux élevés qui dépassent les normes au niveau du lot RIV (134.14 ± 3.41) et RV (121.95 ± 1.59) par rapport au lot RIII (104.87 ± 1.85) dont la valeur est proche du lot témoin (109.50 ± 0.88) et qui se montre équilibré. Ceci est confirmé avec les résultats de (Zfunt, 2003 ; Gruendel *et al.*, 2007) qui ont démontré que les fibres de la caroube ont un rôle important au niveau de la régulation de l'insulinémie postprandiale et les besoins en insuline. D'autres auteurs montrent que la richesse en fibres du caroubier lui confère des vertus antihypérglycémiantes (Hariri *et al.*, 2009). Une autre explication de la diminution de la glycémie peut être attribuée aux polyphénols de la caroube, car selon Rose (2011), la consommation régulière de polyphénols prévient l'apparition du stress oxydant lié à l'obésité compliquée d'hyperglycémie, dans le sang et les artères. Cependant, l'état nutritionnel ne permet donc pas d'expliquer pourquoi l'effet des polyphénols existe dans un cas et pas dans l'autre puisque les deux régimes RIV et RV sont hyperglycémiantes.

Le métabolisme lipidique représenté par le cholestérol et les triglycérides semble être influencé par la qualité du régime. En effet, le taux du cholestérol est significativement inférieur chez les expérimentaux recevant un régime à base de gland de chêne vert RI (60.14 ± 1.40) et RII (62.24 ± 1.39) par rapport aux témoins (190.02 ± 1.47). Par ailleurs, il a été démontré que les régimes à base de protéines végétales sont hypocholestérolémiant grâce à la présence des fibres (Park *et al.*, 1987 ; Radcliffe 1989 ; Bertrand *et al.*, 1992). Ceci est en accord avec les résultats obtenus dans notre expérimentation. Park et Liepa (1982) montrent que le taux de cholestérol plasmatique libre et estérifié chez les rats consommant un régime à 20% de protéines de coton ou de soja est moins important que celui des rats consommant les protéines animales (20% de caséines). De même, nos valeurs restent inférieures à celles obtenues par Belarbi (2003). Cette baisse de la teneur du cholestérol plasmatique peut être influencée par plusieurs facteurs comme la diminution de la synthèse de lipoprotéines transporteurs de cholestérol (Harold et Harper, 1977), les troubles fonctionnels hépatiques car le foie déploie une grande activité dans le métabolisme du cholestérol (Kamoun et Frejaville, 1981). Vahony (1985), a tenté aussi d'expliquer cela par le fait que ces protéines végétales augmenteraient l'excrétion fécale du cholestérol d'où la diminution du cholestérol circulant, ou alors elle activerait la transformation du cholestérol en sels biliaires suite à une activation de l'enzyme hépatique 7α hydrolase (Madani *et al.*, 1998 ; Beynen, 1990). En plus de ces facteurs, nous pouvons ajouter pour le régime RI, la désorganisation de certains systèmes enzymatiques au moment de la formation des lipoprotéines (Berbar, 1985), ce qui peut expliquer le faible taux par rapport au régime RII. Certains auteurs soulignent que la faible digestibilité protéique est la cause de l'effet hypocholestérolémiant des protéines de soja (Wood Ward et Carroll, 1985 ; Dong *et al.* 1987). Le gland est en grande partie responsable de la faible réponse lipogénique et par conséquent un dépôt lipidique réduit. De tels résultats ont été déjà rapportés par Boudroua et Selselet –Attou, (2003) ; Boudroua, (2004). Par contre, au niveau des légumineuses, on a enregistré une valeur élevée avec le régime RV (247.36 ± 1.67) composé du mélange des deux plantes *Cératonia siliqua* et *Gleditsia triacanthos* qui dépasse légèrement la norme. Ceci est probablement dû à la composition de ce régime qui est riche en lipides et en sucres ce qui dépasse probablement la capacité de ce groupe d'animaux d'assimiler complètement ces composés et par conséquent de les stocker sous forme de graisses et de glycogènes. Cependant, pour les autres régimes, le cholestérol plasmatique ne présente aucune différence entre les différents groupes de rats. Cette absence d'effet montre que la composition de ces régimes (RT, RIII et RIV) au cours de la période expérimentale n'a pas d'effet sur le paramètre lipidique. Toutefois, ce même paramètre est faible au niveau du lot RIII. En effet, Arab (2013), signale dans ces travaux sur la caroube qui compose ce régime, que cette dernière est bénéfique pour la santé humaine tout en diminuant le poids corporel et pour son effet hypocholestérolémiant.

Les triglycérides sont considérés comme des marqueurs importants du métabolisme lipidique. Ils représentent la forme principale des réserves lipidiques et sont influencés par l'apport alimentaire (Lord, 1991).

Pour les régimes à base de gland de chêne vert, le taux des triglycérides est faible chez les rats expérimentaux par rapport à celui des témoins. Ce même taux reste ainsi inférieur, chez les rats ayant reçus le régime RI par rapport à celui des rats recevant le régime RII. Cette diminution peut être dû à celle des lipoprotéines qui transportent les triglycérides notamment les VLDL (Bertrand *et al*, 1992 ; M'Fouara *et al.*, 1992). Leur accumulation dans le foie entraîne une stéatose hépatique essentiellement triglycérique (Seakins et Waterlow, 1972 ; Yakasaki, 1984). Par ailleurs, Les rats nourris aux régimes à base de légumineuses, présentent des taux de triglycérides supérieurs aux témoins tout en restant normaux et équilibrés pour le lot RIII et RV. Par contre la situation est inverse avec le régime RIV dont on observe un effet hypertriglycéridémiant chez les animaux recevant ce régime fait à base de l'espèce introduite (*Gleditsia triacanthos*) dont le taux est nettement supérieur aux normes. La proportion très importante des lipides dans ce régime constitue une preuve directe et convaincante d'une forte synthèse lipogénique des lipides par rapport aux autres régimes. De plus sa pauvreté en protéines incite l'animal à consommer plus de ce régime pour combler ce manque, donc plus de lipides. Nos résultats révèlent aussi que pour le régime RV, le taux de triglycérides évalué est comparable à celui mentionné dans les travaux de Belarbi (2003), et qui est de l'ordre de 0.61 g/l.

Le poids moyen du foie des rats recevant le régime témoin (RT) et qui dépasse celui des rats recevant le régime (RI) et supplémenté (RII) n'est qu'un gain de poids témoignant l'acceptabilité du régime par ces rats. Le poids moyen du foie des rats soumis au régime supplémenté (RII) est élevé par rapport à celui des rats soumis au régime (RI), preuve d'une satisfaction des besoins par un apport équilibré en principaux nutriments et surtout en protéines.

Pour les reins et les testicules, les rats soumis au régime témoins (RT) et au régime expérimental (RII) présentent à peu près le même poids moyen, supérieur à celui des rats soumis au régime (RI). Ceci montre que ces deux régimes (RT) et (RII) sont bénéfiques avec un gain de poids observé. La même constatation quant à l'acceptabilité du régime est faite avec les lots des rats recevant une alimentation à base de légumineuses, où le poids du foie, des reins et des testicules du régime témoin est nettement supérieur aux autres régimes RIII, RIV et RV. Toutefois, le régime RV (RIII et RIV), vient en deuxième position en montrant une régulière et modeste évolution pondérale confirmant ainsi l'effet synergique des principaux nutriments combinés dans ce mélange.

Le faible poids moyen du foie, du rein et des testicules des rats soumis aux régimes à base de gland de chêne vert (RI) et aux régimes à base de légumineuses (RIII et RIV) est dû à la carence protéino-calorique qui a entraîné un déficit de poids au niveau de ces organes. Selon Bensenouci (1998) une carence protéino-calorique peut entraîner une perte pondérale très importante. En plus toute mauvaise digestion entraîne obligatoirement une mauvaise absorption (Magazine l'objectif, 1992) sans oublier de noter que le gland possède un facteur antinutritionnel (tannin), ayant un effet néfaste sur la digestibilité et la croissance (Costes, 1981).

L'étude histologique effectuée sur les différents organes montre qu'au niveau du foie un déficit en protéine peut en quelques semaines entraîner une insuffisance hépatique aiguë ou nécrose hépatique massive

souvent accompagnée d'une hépatomégalie due à une infiltration grasseuse (Khiati, 1991). Ces constatations n'ont pas été observés chez les animaux recevant le régime témoin (RT), le régime supplémenté au gluten (RII) et le régime combiné des deux légumineuses (RV). Par contre, chez les rats soumis au régime à base uniquement de farine de gland (RI), une hypertrophie hépatique, des œdèmes et des congestions (sang à l'intérieur des vaisseaux) caractérisent le foie. Ces anomalies peuvent être dues à la nature du régime qui défavorise une croissance normale par manque de protéines (Khiati, 1991). Les mêmes observations ont été constatées chez les rats nourris au régime RIV malgré sa richesse relative en protéines par rapport au gland de chêne vert.

Au niveau du lot RIII, on a enregistré des nécroses périlobulaires partielles. En effet, la prédominance des hépatocytes binucléés chez les rats soumis à ce régime ainsi que le régime RI n'est en fait, qu'une régénération des cellules hépatiques provoquée par la présence d'une nécrose à ce niveau (figure 13, photo E et figure 16, photo B). Certains auteurs notent que la prédominance des hépatocytes binucléés est la conséquence d'une malnutrition et cela afin de réparer certaines lésions (Linden et Lorient, 1994). Or, parmi les principales fonctions du foie, on note détoxification. Le régime RI a engendré un effet toxique sur les hépatocytes. Cet effet a provoqué une réaction inflammatoire visible par la congestion des vaisseaux, accentuant de ce fait le dysfonctionnement des hépatocytes par un ralentissement de la circulation sanguine et donc la diminution du taux d'oxygène. Ce dysfonctionnement se traduit par une mort nucléaire progressive de l'espace porte à la veine centrale. Ces anomalies ont un effet néfaste sur le métabolisme hépatique et le gain de poids (figure 13, photo F). Par ailleurs, UBB KVF et *al* (1993), signalent que les légumineuses contiennent un acide aminé toxique, l'indospicine, analogue structurale de l'arginine, connu pour son hépatotoxicité, chez de nombreuses espèces animales. Cette intoxication est idiosyncrasique : son mécanisme d'action semble lié, soit à une inhibition compétitive de l'arginine, soit plus vraisemblablement à une médiation immunitaire.

Au niveau des reins, tous les rats soumis aux régimes RT et RII présentent des reins sains et normaux traduisant le bon fonctionnement de ces organes. Cela est dû certainement à l'équilibre nutritionnel assuré par ces deux régimes à l'exception du régime RI. Les rats soumis à ce dernier présentent une hypertrophie rénale. Les résultats révèlent aussi des hémorragies glomérulaires des rats du lot RIII, des dégénérescences du corpuscule rénale des rats du lot RIV et des dégénérescences tubulaires et hypertrophie du glomérule rénale caractérisent les animaux du lot RV. En effet, les reins de ces rats présentent une déchirure de leur bordure en brosse au niveau du tube collecteur. Selon Linden et Lorient (1994), cette situation est due à une manifestation métabolique anormale.

Au niveau des testicules, l'étude histologique montre que presque tous les tubes séminifères des rats soumis aux régimes RT et RII présentent des spermatozoïdes mûrs, sans aucun arrêt du développement de la spermatogenèse témoignant du bon fonctionnement des testicules. Bertrand et Belle Ville (1988) ont montré dans leurs travaux, que les rats prenant de la farine de coton sans gossypol (fraction toxique), n'ont pas eu de

blocage de la spermatogenèse et que les spermatozoïdes restent actifs. Nos observations sont en adéquation avec les travaux de ces auteurs. Nous pouvons donc dire que la fraction toxique (tannins) contenue dans le gland est sans effet sur les testicules de ces animaux, exception faite pour les rats consommant le régime RI et qui présentent un ralentissement voire un arrêt de la spermatogenèse. Les rats soumis aux trois régimes des légumineuses RIII, RIV et RV présentent quant à eux des malformations structurales, telle que la dégénérescence des tubes séminifères et la raréfaction des spermatozoïdes. Cet état de fait peut être expliqué soit par l'accumulation de grandes quantités de tannins dans l'organisme des rats du lot RI qui ont consommé plus de gland, soit par un éventuel déséquilibre nutritionnel pour les autres régimes.

La méthode d'immunodiffusion radiale a fait ressortir un taux d'albumine sérique de 50 gr/l chez les rats recevant le régime supplémenté RIII, et un taux de 47 gr/l chez les rats témoins. Les limites des valeurs normales de l'albumine sérique sont comprises entre 35gr/l et 50gr/l (William et Gary Fierer, 1990). Cela prouve que la teneur d'albumine sérique révélée lors de l'analyse immunochimique chez les rats recevant le régime RIII est proche de celle enregistrée chez les rats témoins et présente une valeur physiologique normale n'indiquant aucun état de malnutrition. Par conséquent on considère que le régime RI et la supplémentation gland/gluten présenté dans le régime RIII montre un apport protéique et un équilibre nutritionnel satisfaisant.

CONCLUSION

La flore algérienne est considérée comme un «hotspot» de la biodiversité dans le bassin méditerranéen et même mondial. Les espèces étudiées dans la présente thèse, qu'elles soient autochtones ou allochtones montrent une adaptation écologique parfaite qui se traduit par une résistance aux différents stress biotiques et abiotiques. Les cycles biologique et phénologique ne sont peu affectés et nous assistons à une fructification malgré les conditions écologiques extrêmes. Les fruits récoltés peuvent être utilisés dans le domaine de l'alimentation en général et animale en particulier et ce, après analyses.

L'analyse biochimique effectuée préalablement sur les fruits du chêne vert, du caroubier et du févier d'Amérique ayant servis à la préparation des différents régimes, montre la richesse de ces derniers en principaux nutriments, notamment les glucides et les protéines, ce qui nous amène à les considérer comme une matière première de premier choix et un alternatif efficace à l'importation des matières premières rentrant dans l'alimentation humaine et animale.

A la lumière des résultats obtenus, il ressort que l'utilisation de la farine du gland de chêne vert comme unique source de protéines dans un régime alimentaire est moins efficace sur la croissance pondérale des rats et ce, comparativement au régime témoin à base de 16 % de caséine plus 0.3 % de méthionine. Cependant, l'addition du gluten de maïs à la farine du gland durant deux mois d'expérimentation montre une évolution pondérale positive avec une moyenne importante (1.5 g/j) et qui reste inférieure à celle du témoin (3 g/j). De même, nous avons constaté que l'utilisation combinée des deux légumineuses (le caroubier et le févier d'Amérique) dans un régime alimentaire s'est montrée plus efficace sur l'évolution pondérale qui prend une allure exponentielle avec une moyenne importante de 1,7g/j, au lieu de les utiliser séparément. La qualité des paramètres plasmatiques de ces animaux est proportionnelle à celle de l'évolution pondérale. De ce fait, les analyses montrent que ces paramètres chez les rats soumis au régime RII (gland + gluten) sont équilibrés et satisfaisants suivis par ceux soumis au régime RV (caroubier + févier d'Amérique). Par ailleurs, l'étude histologique, a fait ressortir des résultats concrets quant à l'utilisation de ces régimes. En effet, les organes étudiés (foie, reins et testicules) se sont montrés sains et normaux chez les rats nourris au régime témoin et au régime RII à la différence des autres régimes où nous avons enregistré des particularités dont la principale est l'altération tissulaire. Par conséquent, un régime équilibré constitué de protéines de gland de chêne vert et de

protéines de gluten de maïs ou d'un mélange de fruit de caroubier et du févier d'Amérique, constitue un produit parfaitement adapté à l'alimentation animale. Son incorporation dans les régimes s'avère très utile dans le soutien de la consommation, de la croissance et de la santé en post-sevrage et peut être envisagé à l'échelle industrielle, car la matière première est disponible de part l'importance en superficie des chénaies et de ces deux légumineuses algériennes inexploitées. Ceci permettra la substitution progressive des protéines animales par la combinaison entre les protéines végétales des différentes espèces vu les effets bénéfiques qu'elles apportent sur le plan nutritionnel. En perspective, nous envisagerons d'apporter des modifications quant à la composition biochimique de ces régimes afin d'atteindre un équilibre nutritionnel réussi qui peut être plus efficace sur le cheptel, réduisant ainsi la facture exorbitante d'importation des aliments du bétail.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- AAFI A.** Le caroubier: Caractères botaniques et écologiques, groupements végétaux, techniques d'élevage en pépinière, traitement et soins culturaux, utilisation et production. CNRF. Maroc, **1996** : pp 1-7.
- ADAM A. F. ET DRON M.** Les outils moléculaires et leurs applications à l'amélioration des plantes. Dans: Le progrès génétique passe-t-il par le repérage et l'inventaire et des gènes. Aurelp-Uref. John Libbey Eurotext Ed, Paris, **1993** : pp 23-46.
- ADEME.** Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie **2012**. www.ademe.fr
- ADRIAN J., LEGRAND G., FRANGNE R.** Dictionnaire de biochimie alimentaire et de nutrition. Edition Technique et Documentation, Volume 1. Paris, **1998** : pp 65-73.
- ADRIEU J., DERMAQUILLY C.** Valeur alimentaire de la plante entière de fève, de lupin, de pois et de soja sur pied et après ensilage. Bull Tech CRZV Theix INRA **1982** ; 47 : 19-26.
- AFNOR.** Guide pour les essais inter-laboratoires. NF X 31-101 **1985**.
- AFRAITANE K.** Contribution à l'étude biochimique du fruit du chêne liège (*Quercus suber. L*) de la subéraie de la Mamora. Doctorat 3^{ème} cycle. ENS de Takaddoum. Rabat Maroc **1990** : 125 p.
- A. C. I. A (Agence Canadienne d'Inspection des Aliments).** Protection accrue de la santé des animaux contre l'ESB: Exigences sur l'élimination des matières récupérées des carcasses de bétail. **2010**.<http://influenzaaviaire.gc.ca/francais/anima/disemala/bseesb/enhren/salrefc.shtml>
- Agriculture, pêche et alimentation Québec.** Encéphalopathie spongiforme des bovins (ESB) **2010**.
<http://www.mapaq.gouv.qc.ca/fr/Productions/santeanimale/maladies>
- AIT CHITT M., BELMIR H., LAZRAK A.** Production de plants sélectionnés et greffés de caroubier. Transfert de technologie en agriculture. Maroc **2007** ; (N° 153) : 1-4.
- ALBANELL E., CAJA G., PLAIXATS J.** Characteristics of Spanish carob pods and nutritive value of carob kibbles. Options Méditerranéennes. **1991** ; 16 : 135-36.
- AMARI N.** Etude du choix de ponte de la bruche du niébé *Callosobruchus maculatus* en présence de différentes variétés d'haricot, de pois-chiche et influence de quelques huiles essentielles (Cèdre, Ciste et Eucalyptus) sur l'activité biologique de l'insecte. Mémoire de Magister FSB & SA Tizi-Ouzou Algérie, **2014** : 125p.
- ANDRIEU J., DEMARQUIL CL., YSAUVAND T.** Tables de la valeur nutritive des aliments "Alimentation des bovins et caprins". I.N.R.A **1988**: 356-443.[animales/esb/Pages/esb.aspx](http://www.inra.fr/animales/esb/Pages/esb.aspx)
- APG II.** An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants : APG II. J Botanical Journal of Linnaean Society. **2003**; 141: 399-436.

- AVALLONE R., PLESSI M., BARALDI M., MONZANI A.** Determination of chemical composition of carob (*Ceratonia siliqua*) : protein, fat, carbohydrates and tannins. *J Food Com Anal* **1997**; 10: 166-72.
- AYAZ FA., TORUN H., AYAZ S., CORREIA PJ., ALAIZ M., SANZ C., GRÚZ J., STRNAD M.** Determination of chemical composition of anatolian carob pod (*Ceratonia siliqua*) : sugars, amino and organic acids, minerals and phenolic compounds. *J Food Quality* **2007**; 30: 1040-1055.

B

- BATLLE I., TOUS J.** Carob tree *Ceratonia siliqua* L. Promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops. 17 Institute of Plant Genetic and Crops Plant Research. Gatersleben/International Plant Resources Institute. Rome Italy, **1997** : 59p.
- BAUMONT R., AUFRERE J., NIDERKORN V., ANDUEZA D., SURAULT F., PECCATTE JR., DELABY L., PELLETIER P.** La diversité spécifique dans le fourrage : conséquence sur la valeur alimentaire. *Fourrages*, **2008** ; 194 : 189-206.
- BAUMONT R., DULPHY JP., SAUVANT D., MESCHY F., AUFRERE J., PEYRAUD JL.** Valeur alimentaire des fourrages et des matières premières : tables et prévision, alimentation des bovins, ovins et caprins. Tables INRA Quae Ed, **2007** (Chap 8): 149-179.
- BAUMONT R., PRACHE S., MEURET M., MORAND-FEHR P.** How fourrage characteristics influence behavior and intake in small ruminant : A Review *Livestock Prod Sci* **2000**; 64 : 15-28.
- BELARBI M.** Contribution à l'étude de la composition chimique des glands des chênes verts, lièges et zeens. Memoires de Magister en Biologie Tlemcen **1990**: 187 p.
- BELARBI M.** Etude des composés nutritionnels et antinutritionnels 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 **2003** : p 1-156.
- BENHAMICHE S., BENHASSAINI H., CHABANE K., ROMANE A., ARJOUNI M Y.** Quantification of oligo-elements and heavy metals in the fruits (pods and seeds) of the introduced tree *Gleditsia triacanthos* L. in Algeria. *Annals of Applied Bio-Sciences* **2016** ; 3(1) : 43-48.
- BENSENOUCI A.** Elément de pédiatrie. OPU Alger **2003** ; Vol 2.
- BERBAR N.** Contribution à l'étude du métabolisme lipidique chez le rat et l'enfant lors d'une malnutrition protéique suivie d'une réalimentation équilibrée. Thèse de magister Université d'Oran **1985** : p 1-120.
- BERNIER J., ADRIAN J., VIDEN N.** Les aliments dans le tube digestif. Doin Ed Paris. **1988**.
- BERTRAND V., BELLEVILLE J.** Effets comparés de la farine de soja et de coton sur certains paramètres sanguins de rats malnutris. *Reprod Nutr Dev* **1990** ; 30 : 134-39.

- BERTRAND V., PROST J., BELLEVILLE J.** Réhabilitation nutritionnelle du rat à la suite d'une malnutrition sévère. Effets comparés de la réhabilitation par la farine de coton et de soja sur les protéines et le cholestérol plasmatique. *Nutr Clin Metabol* **1992** ; 6 : 27- 38.
- BESANCENOT JM.** Les coproduits d'origine végétale des industries agroalimentaires. Adem Ed Paris **2000** : 73 p.
- BEYNEN A.** Comparison of the mechanisms proposed to explain the hypo-cholesterolemic effect of soybean protein versus casein in experimental animal. *J Nutr Sci Vitaminal* , **1990** ; 36 : 587-93.
- BIOSECURITY QUEENSLAND.** Fact sheet: honey locust. <http://www.dpi.qld.gov.au/documents/Biosecurity_EnvironmentalPests/IPA-Honey-Locust-Ornamental-PP138.pdf>, viewed October 2010. **2007**.
- BLAIR RM.** *Gleditsia triacanthos* L. Honeylocust In : **BURNS RM., HONKALA BH., (Eds.)**. Hardwoods Agriculture Handbook. Tech Coords Silvics of North America, Washington DC : USDA Forest Service **1990** ; Vol 2 : 358-364.
- BLAIR,R.M.**(undated).*Gleditsia.triacanthosl.honeylocust*. <http://www.na.fs.fed.us/pubs/silvics_manual/volume_2/gleditsia/triacanthos.htm>, viewed October 2010.
- BONNER FT., BURTON JD., GRIGSBY HC.** *Gleditsia* L. honeylocust In: **SCHOPMEYER CS., (Eds.)**. Seeds of Woody Plants in the United States, Agriculture Handbook, USDA Forest Service **1974** : 431-433.
- BOUDEROUA K.** Caractéristiques biochimiques et aptitudes nutritionnelles des farines de glands de chêne vert et du chêne liège en alimentation du poulet de chair. Magister en Sciences Agronomiques INA El-Harrach. Alger **1994**: 107 p.
- BOUDEROUA K., SELSELET ATTOU G.** Fatty acid composition of abdominal adipose tissue in broilers fed green-oak (*Quercus ilex* L.), cork oak acorn (*Quercus suber* L.) based diets. *Anim Res* INRA EDP Sciences, **2003** ; 52 : 377-382.
- BOUDY P.** Economie forestière Nord-Africaine. Monographie et traitement des essences forestières de l'Algérie et de la Tunisie. Tome II Ed Paris **1950** : 237p
- BOUDY P.** Economie forestière Nord-Africaine. Monographie et traitement des essences forestières de l'Algérie et de la Tunisie. Tome II Fascicule I Larousse Ed Paris V **1955**: 525 p.
- BREGENDAHL K., SELL JL., ZIMMERMAN DR.** **2002**. Poultry Science. **2002** ; **81**: 1156-1167.
- BROOKES G.** The EU animal feed sector : Protein ingredient use and the implications of the ban on use of meat and bonemeal. **2001**. www.pgeconomics.co.uk/pdf/mbmbanimactjan2001.pdf
- BUCCOLO G et al.** Quantitative determination of serum triglycerides by use of enzymes. *Clin Chem*, **1973** ; 19 (5) : 476-482.
- BULLARD RW., ELIAS DJ.** In : **HULSE JH., (Eds.)**. Polyphenols in cereals and legumes. IDRC Ed Ottawa **1980** : 43-49.

BUREŠ P., PAVLICEK T., HOROVÁ L., NEVO E. Microgeographic genome size differentiation of the carob tree, *Ceratonia siliqua*, at 'Evolution Can yon'. *Israel An Bot*, **2004** ; 93 : 529-535.

BURON-ARIAS I. Escuela tecnica superior d'ingenieros agronomes. Tesis doctorat Espagne **1990** : 105p. In : **AFRAITANE K.** Contribution à l'étude biochimique du fruit du chêne liège (*Quercus suber L.*) de la subéraie de la Mamora. Thèse Doctocat 3^{ème} cycle Maroc Biochimie **1976** : 125 p.

BURTON JC. Nodulation and symbiotic nitrogen fixation by prairie legumes **1972**. In: Zimmerman JH., Proceedings Ed, 2nd Midwest prairie conference 1970.

C

Canola Council of Canada. Canola meal : Feed industry guide 4th Ed.**2009**.
http://www.canolacouncil.org/uploads/feedguide/Canola_Guide_English_2009_small.pdf

CHABANE K., BENHASSAINI H., BENHAMICHE S., ROMANE A., ARJOUNI MY. Quantitative analysis of some oligo-elements and heavy metals in case of *Ceratonia siliqua L.* Hermaphrodite species from Algeria. *Journal of Biochemistry International* **2015** ; 2(4) : 153-163.

CHEFTEL JC., CUQ JL., LORIENT D. Protéines alimentaires. Lavoisier Ed Collection Tec & Doc Paris **1992** : pp 75-82.

HELLIG R. Les races ovines algériennes. OPU Ed Alger **1992** : 80 p.

COOPER MA., WASHBURN KW. The relationships of body temperature to weight gain, feed consumption, and feed utilization in broilers under heat stress. *Poultry Science*, **1998**; 77: 237-242.

COSTES G. Protéines foliaires et alimentaires. Gauthier-Villars Ed, **1981**: 96p.

COUSINS BW., TANKSLEY TD., KNABE DA., ZEBROWSKA T. Nutrient digestibility and performance of pigs fed sorghums varying in tannin concentration. *J Anim Sci* **1981**; 53: 1524–1537.

CRAIG WJ., NGUYEN TT. Caffeine and the bromine level in cocoa and carob products. *J Food Sci* **1984** ; 49 : 302-305.

CRETE P. Précis de botanique. Masson Ed **1965** : 429 p.

CREVIEU ET., GABRIEL I. Digestion des protéines végétales chez les monogastriques. Exemples des protéines de pois. *Rev Prod Anim INRA* **1999** ; 12 (2) : 147-161.

CRONQUIST A. The Evolution and Classification of Flowering Plants. Snd Bronx Ed The New York Botanical Garden, **1988**: 250p.

CSURHES SM., KRITICOS D. *Gleditsia triacanthos L.* (Caesalpinaceae), another thorny, exotic fodder tree gone wild. *Plant Protection Quarterly* **1994** ; 9 : 101-105.

D

DAGNELIE P. Théorie et méthodes statistiques. Applications agronomiques. La statistique descriptive et les fondements de l'inférence statistique. Presse Agronomique de Gembloux **1975**.

DEZHAO C., DIANXIANG Z., LARSEN K. *Gleditsia* Linnaeus Sp J Flora of China **2010** ; 10 : 36–39.

DONG FAYE M., RASCO BA., GAZZAZ SS. A protein quality assessment of wheat and corn distiller's dried grains with soluble. Cereal Chem **1987** ; 64 : 327- 332.

DUMONTHIER P. La filière sous-produits de l'industrie à l'élevage. Ademe Ed Paris **1994** : 65p.

DURU M., CRUZ P., THEAU JP. Un modèle générique de digestibilité des graminées des prairies semées et permanentes pour raisonner les pratiques agricoles. Fourrages **2008** ; 193 : 79-102.

E

EDWARD F., GILMAN W., DENNIS G. *Gleditsia triacanthos* var *inermis* Honey locust tree. Institute of Food and Agricultural Sciences University of Florida FL 32611 **1993**.

F

FERGUSON IK. The pollen morphology of *Ceratonia* (Leguminosae : Caesalpinioideae). Kew Bull **1980** ; 35 : 273-277.

FERRAO MJ., MENDES JE., CRUZ AM. A bolota e a gland potencialidades em oleo e farinha. J Revista de Ciencias Agrarias Lisboa, Portugal, **1988** ; 11 (2) : 330-339

FIESTAS R., DE URINOS JA., et al. Estudio Del Fruto de la Encina (*Quercus ilex*). V Obtencion Industrial de la Harina de Bellota y Extraccion de Su Aceite. Grasas y Aceites **1969** : 20 : 227-230.

G

GAOUAR N. Etude de la valeur nutritive de la caroube de différentes variétés Algériennes. Thèse de Magistère Université de Tlemcen **2011** : 95 p.

GARCIA-OCHAO F., CASAS JA. Viscosity of locust bean (*Ceratonia siliqua*) gum solutions. J Sci Food Agri **1992** ; 59 : 97-100.

GHERSA CM., DE LA FUENTE E., SUAREZ S., LEON RJC. Woody species invasion in the Rolling Pampa grasslands, Argentina. Agri Ecosyst and Env **2002** ; 88 : 271-278.

GOLDBLATT P. Cytology and phylogeny of the leguminosea. In : **POLHILL RM., RAVEN PH., (Eds.)**. Advances in Legume Systematic. Royal Botanic Gardens Kew England **1981** ; (2) : 237-464.

GRUENDEL S., OTTO B., GARCIA AL., WAGNER K., MUELLE RC., WEICKERT MO., HELDWEIN W., KOEBNICK C. Increased acylated plasma ghrelin, but improved lipid profiles 24-h after consumption of carob pulp preparation rich in dietary fibre. **2007**.

H

HA HH., PARK SY., KO WS., KIM YH. *Gleditsia sinensis* thorns inhibit the production of NO through NF- κ B suppression in LPS-stimulated macrophages. *J Ethnopharmacol* **2008** ; 118 : 429–434.

HARIRI A., OUIS N., SAHNOUNI F., BOUHADI D. Mise en œuvre de la fermentation de certains ferments lactiques dans des milieux à base des extraits de caroub. *Rev Microbiol Ind Santé & Environnement* **2009** : 37-55.

HAROLD A., HARPER M. Précis de Biochimie. 4^{ème} Ed France **1977**.

HILLCOAT D., LEWIS G., VERDCOURT B. A new species of *Ceratonia* (leguminocea-caealpinioideae) from Arabia and Somali Republic. *J Kew Bull* **1980** ; 35 (2) : 261-271.

HOFFMANN A. El árbol urbano en Chile. Fundación Claudio Gay Ediciones Chile **1995** : 253 p.

HOLM LG., PANCHO JV., HERBERGER JP., PLUCKNETT DL. A geographical atlas of world weeds. Krieger Publishing Florida **1991**.

HUXLEY A., GRIFFITHS M., LEVY M. The New Royal Horticultural Society Dictionary of Gardening Macmillan. London Press **1992** : 423-24.

HUXLEY A., GRIFFITHS M., LEVY M. The New Royal Horticultural Society Dictionary of Gardening Macmillan press, London (1992) 423–24

I

Industrie Agro Alimentaire. Les industries de l'alimentation animale en chiffres revue de l'alimentation animale. Ademe Ed, Paris, **1995** : 545-564.

INRF. Rapport annuel. Alger **1988** : 13 p.

IRWIN HS., BARNEBY RC. Cassieae. In : **POLHILL RM., RAVEN PH., (Eds.)**. Advances in Legume Systematic. Royal Botanic Gardens Kew England **1981** ; 1 : 97-106.

IVAMER A. Rapport d'étude : Etat des lieux des déchets et sous-produits organiques issus de l'industrie agro-alimentaire bas-normande. ANEA France **2002** : 77 p.

J

JANSMAN AJM. Tannins in faba beans (*Vicia Faba L.*) : antinutritional properties in monogastric animals. PhD dissertation Thesis University of Wageningen The Netherlands **1993** : 207 p.

JARRIGE R., ADRIEU J., DERMAQUILLY C. La conservation des fourrages. Bull Techn CRZV Theix INRA **1982** ; 16 : 5-15.

JONES DK. Carob culture in Cyprus. FAO 53/2/1225. FOA Rome **1953**.

K

KABORE-ZOUNGROUNA CY. Composition chimique et valeur nutritive des herbacées et ligneux des pâturages naturels soudaniens et des sous produits du Burkina-Faso. Thèse d'Etat Université d'Ouagadougou **1995** : 201 p.

KAMOUN P., FREJAVILLE JP. Guide des examens de laboratoires. Flammarion Médecine & Sciences Ed **1981** ; 521 : 253-258.

KAZI AT., OUKACI Y. Cours de Biochimie : Balance azotée, protéines plasmatiques. OPU **1982** : p 11.

KEKOS D., KAUKIOS EG. Acid hydrolysis of acorn polysaccharides as substrates for the treatment of acute-onset diarrhea. J. Pediatr. Gastroenterol. Nutr. N°8, pp. 480-485.

KHELIFI H. Les formations forestières et préforestières des montagnes d'Algérie : diversité et sensibilité (Thèse de magister en sciences agronomiques). INA El-Harrach Alger **2002** : p 1- 82.

KHIATI M. L'essentiel en pédiatrie. Tome 2 2^{ème} Ed **1998** : p 11-13.

KONATE I. Diversité Phénotypique et Moléculaire du Caroubier (*Ceratonia siliqua* L.) et des Bactéries endophytes qui lui sont associées, Université Mohammed V-Agdal Faculté Des Sciences Rabat, thèse de doctorat. **2007**.

KONATE I., FILALI-MALTOUF1 A., BERRAHO EB. Diversity analysis of moroccan carob (*ceratonia siliqua* L.) accessions using phenotypic traits and rapid markers. Acta Botanica Malacitana Málaga **2007** ; 32 : 79-90.

L

LABESCAT J. Guide des examens complémentaires. Lamarre 2^{ème} Ed Woltes Kluwer France, 2008 : 282p.

LAFONT F., PLAT C., GAZAUBON C. Exercices de biochimie : biochimie générale, analyse biochimique, biochimie clinique. Doin Ed, France **2000**: 231 p.

LANZA A., D'URSO G., LANZA E., ALEO C. Esperienze d'impiego di un semolato di carruba ad umidita in diete per suini. Tec Agric **1983**; 35 (2): 115- 127.

LANZA A., D'URSO G., LANZA E., ALEO C. Técnica Agrícola. **1983** ; 35 : 115-127.

LE HOUEROU HN. Bioclimatologie et biogéographie des steppes arides du nord de l'Afrique. Opt Médit Série Bull N°10 CIHEAM Montpellier **1995** : 396 p.

LE STANG JP. Les coproduits d'origines végétales des industries agroalimentaires. Adem Ed Paris **2000** : 73 p.

LECLERCQ B., BLUM JC., SAUVER B., et al. Alimentation et nutrition du poulet de chair à croissance rapide. In : Alimentation et nutrition des animaux monogastriques. INRA Ed, **1984**: 247 p.

LEPEN B., ADRIAN J. L'acide phytique dans les céréales et ses conséquences nutritionnelles. Rev APIC **1985** ; 16 : p 3-8.

LEROY A. Elevage rationnel des animaux domestiques. Hachette Ed **1929** : 448 p.

LIEUTAGHI P. Livre des arbres, arbustes et arbrisseaux. Tome II Acte Sud Ed **2004**: 1324p.

LINDEN G., LORIENT D. Biochimie agro-industrielle, valorisation alimentaire de la production agricole. Masson Ed **1994** : pp 75.

LIPUMBU L. Compositional analysis of locally cultivated carob (*Ceratonia siliqua*) cultivars and development of nutritional food products for a range of marker sectors. Stellenbosch University. South Africa **2008** : 107 p.

LIZARDO R., CAÑELLAS J., MAS F., TORRALLARDONA D., BRUFAU J. L'utilisation de la farine de caroube dans les aliments de sevrage et son influence sur les performances et la santé des porcelets. Anim Feed Sci Technol **2002** ; 56 : 67-82.

LOEB H., VANDENPLAS Y., WURSCH P., GUESRY P. Tannin - rich carob pod for the treatment of acute-onset diarrhea. J. Pediatr. Gastroenterol. Nutr. N°8, pp. 480-485. **1989**

LOUCA A., PAPAS A. The effect and different proportions of carob pod meal in the diet on the performance of calves and goats. Anim Prod **1973** ; 17 : 139-146.

M

MADANI S., LOPEZ S., BLOND JP., PROST J., BELLEVILLE J., HIGHLY. Purified Soy bean Protein Is Not Hypercholesterolemia in Rats but Stimulates (Cholesterol Synthesis and Excretion and Reduces Polyunsaturated Fatty Acid Biosynthesis. Biochem Molecular Roles of Nutrients **1998** : 1084-1091.

MADEC F., BRIDOUX N., BOUNAIX S., JESTIN A. Measurement of digestive disorders in the piglet at weaning and related risk factors. *Preventive Vet Med* **1998** ; 35 (1) :53-72

MAHDAD MY. Situation et perspectives d'amélioration du caroubier (*Ceratonia siliqua* L.) dans le Nord-ouest de l'Algérie. Thèse de Magister en Agronomie, Université Aboubekr Belkaid Tlemcen Algérie **2013** : 74 p.

MAKRIS DP., KEFALAS P. Carob Pod as a source of polyphenolic Antioxidants. Food Technol Biotechnol **2004** ; 42 (N° 2) : 105–108.

MANAGE WILD J., Nutrient quality and digestibility of seeds and fruits from southern forest. **1976** ; 40 (2) : 283-289.

MANCINI G., CARBONORA AO., HEREMANS GF. Immunochemical quantification of antigens by single radial immunodiffusion. *Immunochemistry* Oxford Pergamon Press **1965**: 235- 254

MARCO DE., PAEZ SA. Invasion of *Gleditsia triacanthos* in *Lithraea ternifolia* montane forests of Central Argentina. *Environmental Management* **2000** ; 26 (4) : 400-419.

MARTINS-LOUÇAO MA., DUARTE PJ., CRUZ C. Phenological and physiological studies during carob (*Ceratonia siliqua* L.) seed germination. *Seed Sci Technol* **1996** ; N°24 : p 33-47.

MEBIROUK-BOUDECHICHE L., BOUDECHICHE L., MIROUD K., BOUHADJA N. La caroube comme complément au pâturage avant la lutte des brebis Ouled Djellal. *Renc Rech Ruminants* **2014** ; 21 : p 117.

MEHANSHO H., ANN DK., BUTLER LG., ROGLER JC., CARLSON DM. Induction of proline-rich proteins in hamster salivary glands by isoproterenol treatment and an unusual growth inhibition by tannins. *J Biol Chem* **1987** ; 262 : 12344-12350.

MERWIN ML. The culture of carob (*Ceratonia siliqua*) for food. Fooder and fuel in semi-arid environments. International Tree Crops Institute USA Inc California **1981**.

MESCHY F. Alimentation minérale et vitaminique des ruminants : actualisation des connaissances. *Prod Anim* **2007** ; 20 : 119-128.

MESCHY F., CORRIAS R. Recommandations d'apport en calcium et magnésium absorbables pour les ruminants. *Rencontres Recherches Ruminants* **2005** ; 12 : 221-224.

M'FOUARA JC., BOUZIANE MN., PROST J., BELLEVILLE J. Production de malondialdéhyde et résistance des membranes érythrocytaires aux radicaux libres, en fonction d'un apport alimentaire suffisant en protéines associé à différents huiles (Tournesol, soja, coprah, saumon). *CRS Biol* **1992** ; 186 : 263-277.

MIGUEL A., CERQUEIRA MA., BARTOLOMEU WS., SOUZA JOANA T., MARTINS J., TEIXEIRA A., ANTONIO A., VICENTE. Seed extracts of *Gleditsia triacanthos* : Functional properties evaluation and incorporation into galactomannan films. *J Food Research International* **2010** ; 43 ; 2031-2038.

MIGUEL A., CERQUEIRA-BARTOLOMEU W.S., SOUZA-JOANA T., MARTINS JA., ANTONIO A. TEIXEIRA., VICENT E. Seed extracts of *Gleditsia triacanthos*: functional properties evaluation and incorporation into galactomannan films. *Food Res. Int.*, 43 (2010), pp. 2031–2038

Ministère de l'Agriculture et de la Forêt de la France. Interdiction de l'emploi de certaines protéines d'origine animale dans l'alimentation et la fabrication d'aliments destinés aux animaux de l'espèce bovine. **1990**. <http://www2.vet-lyon.fr/ens/nut/webBromato/cours/farinean/legislat/AM240790.html>

MOREL D'ARLEUX F., WEISS P., SOUTEYRAT A. Les coproduits de l'industrie de la pomme de terre : une solution intéressante pour l'alimentation des ruminants. Brochure Comité des Coproduits, GIPT, ITCF et Institut de l'Elevage, **2001** : 38 p.

MURAKAMI S, MURAMATSU M, OTOMO S. Inhibitory effect of tannic acid on gastric H + K + ATPase. *J Nat Prod* **1992** ; 55 (4) : 513-516.

MURRAY E AND FOWLER ME. Acom poisoning in a cow and a sheep. *J Am Vet Med Assoc* **1965** ; 147 (11) : 1215-1220.

N

NABLI A. Essai de synthèse sur la végétation et la phyto-écologie tunisienne. Elément de botanique et de phyto-écologie MAB-FST Laboratoire de botanique fondamentale et appliquée **1989** : pp 247.

National Academy of Sciences. Firewood crops and tree species for energy production. Washington DC United States **1980** ; Volume 1.

National Academy of Sciences. Firewood crops and tree species for energy production. Washington DC United States **1983** ; Volume 2.

National Academy of Sciences.. Tropical legumes : resources for the future, National Academy of science. Washington DC USA **1979** : 109-116.

National Research Council. Nutrient requirements of poultry. Nith revised edition. National Academy Press Washignton DC **1994**.

NATIVIDADE JV. Subériculture. Française Ed Ecole Nationale des Eaux et Forêts. Nancy **1955** : 340 p.

NESOM, G. Plant Guide for live oak (*Quercus virginiana*). Biota of North America Program, Chapel Hill, NC. Prepared for the USDA NRCS National Plant Data Center. Baton Rouge, LA. **2003**.

NIDERKORN V., BAUMONT R. Associative effects between forages on feed intake and digestion in ruminants animal. *Animal*. 2009; 3(7):951-60

NOBLET J., FORTUNE H., DUBOIS S., HENRY Y. Nouvelles méthodes d'estimation des teneurs en énergie digestible, métabolisable et nette des aliments pour le porc. INRA Ed Paris **1989**: 106 p.

O

ORPHANOS PI., PAPACONSTANTINO J. The carob varieties of Cyprus. Ministry of Agriculture and Natural Resources (Nicosia). Cyprus Agricultural Research Institute., Print book Ed, **1969**:

ORWA C., MUTUA A., KINDT R., JAMNADASS R., S ANTHONY. Agroforestree Database : a tree reference and selection guide version 4.0. **2009**.

P

PARK MSC., KUDCHODKAR B., LIEPA GU. Effects of dietary animal and plant proteins on the cholesterol metabolism in immature and mature rats. *J Nutr* **1987** ; 117 : 30-48.

PARK MSC., LIEPA GU. Effect of dietary protein and amino-acids on the metabolism of cholesterol-caring lipoproteins. J Nutr **1982**.

PATRICH M. Encyclopédie universelle dans 1500 plantes et fleurs de jardin de «A» à «Z». **1999** : 35 p.

PEYRAUD JL. Fertilisation azotée des prairies et nutrition des vaches laitières. Conséquences sur les rejets d'azote. Prod Anim **2000** ; 13 : 61-72.

PICOLLO V., DILLELA TE., NIZZA A. Composizione chimica caratteristiche nutritive di castagne e di ghiande fresh E sgusciata. Nutrizione e alimentazione de gli animali. Agricoli Edagricole Bologna **1983** ; 14 : 499-501.

PIVA G., SANTI E., AMERIO M. Utilizzazione zootecnica della farina essiccata di carruba. Suinicoltura **1978** ; 19(1) : 43-46.

PLAISANCE G. Le chêne vert. Forêt Privée **1978** ; N° 119 : p 49-51

PLANTNET New South Wales fora online : *Gleditsia triacanthos*. **2009**

PUHAN Z., WIELINGHA MW. Product derived from carob pods with particular emphasis on carob beam gum (CBG). Report Technical Committee of INEC **1996**.

PUTOD R. Les arbres fourragers : étude spéciale du févier d'Amérique. J Forêt Méditerranéenne **1982** ; (1) : 33-42.

Q

QUEZEL P., S SANTA. Nouvelle flore de l'Algérie et des régions désertiques méridionales. Tome1 CNRS Ed **1963** : p 557.

R

RADCLIFFE JD. A comparison of the effects of dietary casein and cottonseed isolate on serum and hepatic lipids in the rat. Nutr Repro Inter **1989** ; 40 : 821-827.

REJEB MN. Le caroubier en Tunisie : Situations et perspectives d'amélioration ; Quel avenir pour l'amélioration des plantes ? Aupelf-Uref Ed John Libbey Eurotext Paris **1995** : p 79-85.

RESICO C. Estado actual de la información sobre productos forestales no madereros. **2001**.
http://www.fao.org/documents/show_cdr.asp?url_file=/DOCREP/006/AD393S/AD39s13.htm

ROSE B D. Renal circulation and glomerular filtration In : **ROSE BD.** Clinical physiology of acid-base and electrolyte disorders. New york Mc Graw-Hill **1994** : 20-65.

S

SAHLE M., COLEON J., HAAS C. Carob pod (*Ceratonia siliqua*) meal in geese diets. *Brit Poultry Sci* **1992** ; 33 : 531-541.

SANCHEZ S., LOZANO LJ., GODINEZ C., JUAN D., PEREZ A., HERNANDEZ FJ., Carob pod as a feedstock for the production of bioethanol in Mediterranean areas *Applied Energy*. **2010** ; 87 (N°11) : 3417-3424.

SANTI E., CERIOLI C., SPERONI M., MORLACCHINI M., DELLAGLIO F. Dterminación de la composición química de algarroba (*Ceratonia siliqua*), *Riv. Suinicultura*, **1987** ; (28) : 97-101.

SARGENT CS. Manual of the trees of North America (exclusive of Mexico). *Dover Pub New York* **1965** ; (2) : 608–609.

SAURA-CALIXTO F. Effect of condensed tannins in the analysis of dietary fiber. *J Food Sci* **1988** ; 53 : 1769-1771.

SAUVANT D. Principes généraux de l'alimentation animale. INA Paris-Grognon Département des Sciences Animales **2005** : p 6-8.

SAUVANT D., PEREZ JM., TRAN G., (Eds.). Tables de composition et de valeur nutritive des matières premières destinées aux animaux d'élevage. INRA-AFZ Ed, **2005** :301 p.

SCALBERT A., MONTIES B., FAURE JM. Polyphenols of *Quercus robur* : Adult tree and in vitro grow calli and shoots. *Phytochemistry* **1988** ; 27: 3483-3488.

SCHNABEL A., HAMRICK JL. Understanding the population genetic structure of *Gleditsia triacanthos* L.: the scale and pattern of pollen gene flow. *J Evolution* **1995** ; (49) : 921-931.

SCHNABEL A., LAUSHMAN RH., HAMRICK JL. Comparative genetic structure of two co-occurring tree species, *Maclura pomifera* (Moraceae) and *Gleditsia triacanthos* (Leguminosae). *Heredity* **1991** ; 67 : 357–364.

SEAKINS A., WATERLOW JC. Effect of a low protein diet on the incorporation of amino acids into rats serum lipoproteins. *Biochem. J.* **1972**; 129 793-795.

SHADOW RA. USDA/NRCS East Texas Plant Materials Center, Nacogdoches, TX. Pub of Forest, Farm and Community Tree Network FACT Sheet Winrock Int Morrilton Arkansas USA **2003**.

SKERMAN PJ. Tropical forage legumes. FAO United Nations Rome **1977**: p 507.

SPERONI FC., DE VIANA ML. Community characteristics in a mountain forest invaded by *Gleditsia triacanthos*. In : **BRUNDU G., BROCK J., CAMARDA I., CHILD L., WADE M., (Eds.)**. Plant invasions: species ecology and ecosystem management. Backhuys Publishers Leiden Netherlands **2001**.

SULLIVAN J. *Gleditsia triacanthos*. Fire Effects Information System. US Department of Agriculture Forest Service Rocky Mountain Research Station Fire Sciences Laboratory **1994**.

The **BSE Enquiry Report of the BSE Enquiry, 2000**, Volume 2, Chapter 3, available at:<http://www.bseinquiry.gov.uk/report/volume2/chaptea8.htm#821257>. 2005.

THEOBALD O., WIARD J. Les coproduits d'origines végétales des industries agroalimentaires. Adem Ed Paris **1994** : 73 p.

TIMNEZ G., BURON ARIAS IY., GARCIA TERESA R., Agroquímica tecnología de alimentos. **1977** ; 3 : 363- 371.

TOUS D., ROMERO A., PLANA J., BATLLE I. Current situation of carob plant material In : proceedings third international carob symposium (Tavire, Portugal) University of Lisbon Portugal **1996**.

TUCKER SC. The developmental basis for sexual expression in *Ceratonia siliqua* (Leguminosae : Ceasalpinoideae : Cassieae). Am J Bot **1992** ; 79 : 367-327.

V

VAHONY GV., WEERSING S., TREADWELL CR. Functions of specific bile acids in cholesterol esterase activity in vitro. Biochem Biophys Acta **1965** ; 112 : 1892-1898.

VANDERMEULEN S. Valorisation de l'implantation des haies et bandes boisées dans l'alimentation des bovins sur parcours en Région Wallonne. Institut d'Agro.bio.tech, Université de Liège, 2012 : pp1-4.

VIDAL D. El troceado como etapa previa al aprovechamiento industrial de la garrofa In : Jornadan sobre la garrofa. Liria (Valencia) **1985**.

VOHRA P., KRATZER FH. The Use of Ground Carobs in Chicken Diets. Poultry Sci **1964** ; 43 (3) : 790-792.

W

WELLS MJ., BALSINHAS AA., JOFE H., ENGELBRECHT VM., HARDING G., STIRTON CH. A catalogue of problem plants in southern Africa. Memoirs of the Botanical Survey of South Africa **1986** : p 53.

WHITESIDE L. The carob cookbook. Thorsons Publishers Limited Ed Wellingborough Northamptonshire **1981**.

WIKIPEDIA. Honey locust. **2009**. <http://en.wikipedia.org/wiki/Honey_locust>

WOOD WARD CJH., CARROLL K. Digestibility of casein of soybean protein in relation to their effects on serum cholesterol in rabbits. J Nutr **1985** ; 54 : 355-366.

WÜRSCH P. In : **FITO P., MULET A., (Eds.)**. « Proceedings of the II Int. Carob Symposium ». Valencia Consejería d'Agricultura i Pesca **1987** : p 621-628.

Y

YAKASAKI K. Apolipoproteins synthesis by the fatty liver of rats fed a low whole egg protein diet. *Reprod* **1984** ; 29 : 533-540.

YAMAHARA J., SHINTANI Y., KONOSHIMA T., SAWADA T., FUJIMURA H., ZASSHI Y. Biological active principles of the crude drugs. II. Antiulcerogenic and anti-inflammatory actions of the crude drugs containing saponin (author's transl). (10):1179-82.

**Z**

ZHONG YAO DA., DIAN CI. Encyclopedia of Chinese Materia Medica Jiangsu New Medical College Shanghai : Shanghai Scientific and Technological Press **1979** : 1144-1147; 2198.

ZHONG, YAO DA CI DIAN (encyclopedia of Chinese Materia Medica), Jiangsu New Medical College, Shanghai: Shanghai Scientific and Technological Press. (1979). 1144, 1145, 1147, 2198.

ZUNFT HJF., LÜDER W., HARDE A., HABER B., GRAUBAUM HJ., GRUENWALD J. Carob Pulp Preparation for Treatment of Hypercholesterolemia. *Advances In Therapy* **2001** ; 18 (5) : 230-236. Available online. URL: <http://www.springerlink.com/content/nr3x64w37225655r/>. accessed on April 16, 2008.

• **Biblionet** :

Webmaster 1: <http://jardinage.comprendrechoisir.com/plante/voir/446/fevier-d-amerique>.

Webmaster 2: <http://eol.org/pages/416265/overview>.

Webmaster 3: <http://a133.idata.over-blog.com/3/12/31/62/PLANTES/caroubier-7.jpg>.

Webmaster 4: <http://www.fao.org/WAICENT/faoinfo/economic/faodef>.

ANNEXES

Annexe 1 : composition des régimes alimentaires

Composition du régime RT en pourcentages pondéraux et énergétiques.

Constituants	% pondéral	% énergétique (Kcal)
Caséine	16	64
Lipides	8	72
Saccharose	5	20
Amidon	55.7	222.8
Sels minéraux	8	-
Cellulose	5	-
Vitamine	2	-
Méthionine	0.3	1.2
Total	100	380

Composition du régime RI en pourcentage pondéraux et énergétiques.

Constituants	% Pondéral	% Energétique (Kcal)
Gland doux	77.7	
	→ protéines 4.27	17.08
	→ lipide 6.41	57.69
	→ glucides 46.64	186.56
	→ cendres 1.90	-
	→ cellules 1.73	-
Saccharose	9.00	36
Lipides	1.60	14.4
Cellulose	3.10	-
Sels minéraux	6.30	-
Vitamines	2.00	-
Méthionine	0.30	1.2
Total	100	312.93

Composition du régime RII en pourcentages pondéraux et Énergétiques.

Constituants	%Pondéral	%Énergétique (K cal)	
Gland doux	40 *Protéines	2.18	8.72
	*Sucres totaux	7.22	28.88
	*Lipides	3.29	29.61
	* Amidon	16.76	67.04
Gluten	35 *Protéines	13.25	53
	*Lipides	5.12	46.08
	*Glucides	6.4	25.6
Vitamines	2	-	
Sels minéraux (*)	3.65	-	
Méthionine	0.3	1.2	
Lysine	0.1	0.4	
Cellulose	3.60	14.4	
Amidon	15.45	61.8	
TOTAL	100	336.73	

Composition du régime RIII (enrichi à 16% de protéines) en pourcentage pondéraux.

Matière première	Qtt (%)	Alternatif	
<i>Ceratonia siliqua</i> Gousse	25		
<i>Ceratonia siliqua</i> Graine	17		
Maïs	30		
Son de blé	27		
CMV	1		
Total	1000 kg 100%	1000 kg	100%

EM kcal/kg : 2970 kcal

Composition du régime RIV (enrichi à 16% de protéines) en pourcentage pondéraux.

Matière première	Qtt (%)	Alternatif	
<i>Gleditshia triacanthos</i> Gousse	31		
<i>Gleditshia triacanthos</i> Graine	40		
Maïs	10		
Son de blé	3		
CMV	1		
Tourteaux de soja 48%	15		
Total	1000 kg 100%	1000 kg	100%

EM kcal/kg : 2970 kcal

Composition du régime RV (enrichi à 16% de protéines) en pourcentage pondéraux.

Matière première	Qtt (%)	Alternatif	
<i>Ceratonia siliqua</i> Gousse	20	26	
<i>Ceratonia siliqua</i> Graine	20	30	
<i>Gleditshia triacanthos</i> Gousse	20	16	
<i>Gleditshia triacanthos</i> Graine	20	18	
Maïs	14	07	
Son de blé	05	02	
CMV	01	01	
Total	1000 kg 100%	1000 kg	100%

EM kcal/kg : 3100kcal. Pour l'alternatif : 2840 kcal

Annexe 2 : Méthode du dosage de la glycémie



CE GLUCOSE -LQ

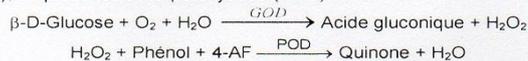
Glucose-LQ
GOD-POD. Liquide

Détermination quantitative de glucose IVD

Conserver à 2-8°C

PRINCIPE DE LA METHODE

La glucose-oxydase (GOD) catalyse l'oxydation de glucose en acide gluconique. Le peroxyde d'hydrogène (H₂O₂) produit se détecte avec un accepteur chromogène d'oxygène, phénol, 4-aminophénazone (4-AF), en présence de la peroxydase (POD):



L'intensité de la couleur est proportionnelle à la concentration de glucose présente dans l'échantillon testé^{1,2}.

SIGNIFICATION CLINIQUE

Le glucose est la plus grande source d'énergie pour les cellules de l'organisme; l'insuline facilite l'entrée de glucose dans les cellules. Le diabète est une maladie qui se manifeste par une hyperglycémie, causée par un déficit d'insuline^{1,5,6}. Le diagnostic clinique doit être réalisé en tenant compte de toutes les données cliniques et de laboratoire.

RÉACTIFS

R	TRIS pH 7,4	92 mmol/L
	Phénol	0,3 mmol/L
	Glucose oxydase (GOD)	15000 U/L
	Peroxydase (POD)	1000 U/L
	4 - Aminophénazone (4-AF)	2,6 mmol/L
GLUCOSE CAL	Étalon primaire aqueux de Glucose 100 mg/dL	

PRÉPARATION

Le réactif et le calibrateurs sont prêts pour l'emploi.

CONSERVATION ET STABILITE

Tous les composants du kit sont stables jusqu'à la date de péremption indiquée sur l'étiquette, et si les flacons sont maintenus hermétiquement fermés à 2-8°C, à l'abri de la lumière et des sources de contamination.

Ne pas utiliser les réactifs en dehors de la date indiquée.

Indices de détérioration des réactifs:

- Présence de particules et turbidité.
- Absorbation (a) du blanc à 505 ≥ 0,32.

MATERIEL SUPPLEMENTAIRE

- Spectrophotomètre ou analyseur pour les lectures à 505 nm.
- Cuvettes de 1,0 cm d'éclairage.
- Equipement classique de laboratoire.

ÉCHANTILLONS

Sérum ou plasma, sans hémolyse¹.

Le sérum doit être séparé le plus tôt possible du coagulum.

Stabilité de l'échantillon: Le glucose en sérum ou plasma est stable 3 jours à 2-8°C.

PROCEDURE

- Conditions de test:
Longueur d'ondes: 505 nm (490-550)
Cuvette: 1 cm d'éclairage
Température 37°C / 15-25°C
- Régler le spectrophotomètre sur zéro en fonction de l'eau distillée.
- Pipeter dans une cuvette:

	Blanc	Étalon	Échantillon
R (mL)	1,0	1,0	1,0
Étalon (Remarque 1-2))	--	10	--
Échantillon (µL)	--	--	10

- Mélanger et incuber pendant 10 minutes à 37°C ou 20 minutes à température ambiante (15-25°C)
- Lire l'absorbance (A) de l'Étalon et l'échantillon contre le Blanc du réactif. La couleur est stable au moins 30 minutes.

CALCULS

(A) Échantillon x 100 (Conc. Étalon) = mg/dL de glucose dans l'échantillon

(A) Étalon

Facteur de conversion : mg/dL x 0,0555= mmol/L.

CONTROLE DE QUALITE

Il est conseillé d'analyser conjointement les échantillons de sérum dont les valeurs ont été contrôlées: SPINTROL H Normal et pathologique (Réf. 1002120 et 1002210).

Si les valeurs se trouvent en dehors des valeurs tolérées, analyser l'instrument, les réactifs et le calibre.

Chaque laboratoire doit disposer de son propre contrôle de qualité et déterminer les mesures correctives à mettre en place dans le cas où les vérifications ne correspondraient pas aux attentes.

VALEURS DE REFERENCE¹

Sérum ou plasma :

60 - 110 mg/dL ≅ 3,33 - 6,10 mmol/L

Ces valeurs ont un caractère d'orientation. Il est recommandé à chaque laboratoire d'établir ses propres valeurs de référence.

CARACTERISTIQUES DE LA METHODE

Plage de mesure: Depuis la limite de détection de 0,033 mg/dL, jusqu'à la limite de linéarité de 500 mg/dL.

Si la concentration de l'échantillon est supérieure à la limite de linéarité, diluer 1/2 avec du ClNa 9 g/L et multiplier le résultat final par 2.

Précision:

	Intra-série (n=20)		Inter-série (n=20)	
Moyenne (mg/dL)	86,7	235	92,5	250
SD	0,44	0,86	2,76	6,44
CV (%)	0,51	0,37	2,98	2,57

Sensibilité analytique: 1 mg/dL = 0,0039 (A)

Exactitude: Les réactifs SPINREACT (y) ne montrent pas de différences systématiques significatives lorsqu'on les compare à d'autres réactifs commerciaux (x).

Les résultats obtenus avec 50 échantillons ont été les suivants:

Coefficient de corrélation (r): 0,99492.

Equation de la Coubre de régression: y=1,104x - 1,249.

Les caractéristiques de la méthode peuvent varier suivant l'analyseur employé.

INTERFERENCES

Il n'a pas été observé d'interférences avec l'hémoglobine jusqu'à 19 g/L et bilirubine jusqu'à 100 mg/L¹.

Il a été rapporté que plusieurs drogues et autres substances interfèrent avec la détermination de la glucose^{3,4}.

REMARQUES

- GLUCOSE CAL: Vu la nature du produit, il est conseillé de le traiter avec beaucoup de soin vu qu'il peut facilement contaminer.
- La calibration avec l'Étalon aqueux peut donner lieu à des erreurs systématiques dans les méthodes automatiques. Dans ce cas, il est recommandé d'utiliser des calibrateurs sériques.
- Utiliser des embouts de pipette jetables propres pour la dispensation.
- SPINREACT dispose de consignes détaillées pour l'application de ce réactif dans différents analyseurs.**

BIBLIOGRAPHIE

- Kaplan L.A. Glucose. Kaplan A et al. Clin Chem The C.V. Mosby Co. St Louis. Toronto. Princeton 1984; 1032-1036.
- Trinder P. Ann Clin Biochem 1969; 6: 24-33.
- Young DS. Effects of drugs on Clinical Lab. Tests, 4th ed AACC Press, 1995.
- Young DS. Effects of disease on Clinical Lab. Tests, 4th ed AACC 2001.
- Burtis A et al. Tietz Textbook of Clinical Chemistry, 3rd ed AACC 1999.
- Tietz N W et al. Clinical Guide to Laboratory Tests, 3rd ed AACC 1995.

PRÉSENTATION

Ref. 41010	R: 2 x 50 mL, CAL: 1 x 2 mL
Ref. 41012	R: 2 x 100 mL, CAL: 1 x 2 mL
Ref. 41011	R: 2 x 250 mL, CAL: 1 x 5 mL
Ref. 41013	R: 1 x 1000 mL, CAL: 1 x 5 mL

Annexe 3 : Méthode du dosage du cholestérol



HDLc -D

HDL Cholestérol D

Directe. Enzymatique colorimétrique

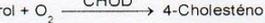
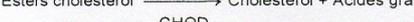
Détermination quantitative de cholestérol HDL IVD

Conserver à 2-8°C

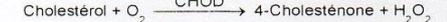
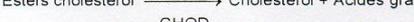
PRINCIPE DE LA METHODE

Détermination directe de HDL (cholestérol de lipoprotéines de haute densité) sans besoin de prétraitement ou centrifugation de l'échantillon. La détermination est réalisée en deux étapes :

- 1° Elimination de lipoprotéines non-HDL



- 2° Mesure de HDL



L'intensité de la couleur formée est proportionnelle à la concentration de HDL présente dans l'échantillon testé.

SIGNIFICATION CLINIQUE

Les particules de HDL sont des lipoprotéines qui transportent le cholestérol vers les cellules. Le cholestérol transporté par les lipoprotéines à forte densité est appelé "bon cholestérol", étant donné que des niveaux élevés sont associés à un risque cardiovasculaire faible. Un niveau faible de cholestérol HDL est considéré comme l'un des principaux facteurs de risque cardiovasculaire et y de maladies des artères coronaires^{1, 5, 6}. La diagnostic clinique doit tenir compte des données cliniques et de laboratoire.

REACTIF

R 1	N,N-bis (2-hydroxyéthyl)-2-Acide Aminoéthanesulfonique pH 6.6	100 mM
	N-(2-hydroxy-3-sulfopropyl)-3,5-diméthoxyaniline (HDAOS)	0.7 mM
	Cholestérol estérase	≥800 U/L
	Cholestérol oxydase	≥ 500U/L
	Catalase	≥300 U/L
R 2	N,N-bis (2-hydroxyéthyl)-2-Acide Aminoéthanesulfonique pH 7,0	100 mM
	4 - Aminoantipyrine	4 mM
	Péroxydase	≥ 3500 U/L
HDLc/ LDLc CAL	Calibrateur. Sérum humain lyophilisé.	

PRECAUTIONS

HDLc/ LDLc CAL

Les composants d'origine humaine se sont révélés négatifs pour l'antigène HBs, HCV et pour l'anti-HIV (1/2). Toutefois, ils doivent être considérés avec précaution car ils sont très infectieux. TRACABILITÉ: les valeurs sont attribuées conformément aux conditions du Protocole de la Méthode d'Évaluation US National Reference System CRMLN.

PREPARATION

- R 1 et R 2: Prêts à l'emploi.
- HDLc/ LDLc CAL: Reconstituer le contenu d'une capsule avec 1 mL d'eau distillée. Fermer et mélanger doucement jusqu'à ce que le contenu soit dissout.

CONSERVATION ET STABILITE

Tous les composants du kit sont stables jusqu'à la date de péremption indiquée sur l'étiquette de la capsule, et si les capsules sont maintenus hermétiquement fermés à 2-8°C, à l'abri de la lumière et des sources de contamination. Ne pas congeler les réactifs.

- R 1 et R 2: Une fois ouverts, restent stables 8 semaines à 2-8°C.
- HDLc/ LDLc CAL: Une fois reconstitué, stable 2 semaines à 2-8°C ou 3 mois à -20°C.

-Ne pas utiliser les réactifs en dehors de la date indiquée.

Indices de détérioration des réactifs:

- Présence de particules et turbidité.

MATERIEL SUPPLEMENTAIRE

- Spectrophotomètre ou analyseur pour lectures à 600 nm.
- Cuvettes de 1,0 cm d'éclairage.
- Equipement classique de laboratoire

ECHANTILLONS

Sérum ou plasma: Ne pas utiliser de coagulants contenant du citrate. Ne pas utiliser d'échantillons hémolysés. Séparer le sérum des hématies le plus tôt possible. Stabilité de l'échantillon: 7 jours à 2-8°C.

PROCEDURE

1. Conditions de test:
Longueur d'ondes: 600-700 nm

- Cuvette: 1 cm d'éclairage
Température: 37°C
- Régler le spectrophotomètre sur zéro en fonction de l'eau distillée
- Pipetter dans une cuvette:

	Blanc	Calibreur	Echantillon
R 1 (µL)	300	300	300
Calibreur (µL)	--	3	--
Echantillon (µL)	--	--	3

- Mélanger, laisser incuber 5 minutes à 37°C
- Lire l'absorption (A₁) du calibreur et l'échantillon.
- Ajouter:

	Blanc	Calibreur	Echantillon
R 2 (µL)	100	100	100

- Mélanger et incuber 5 minutes à 37°C.
- Lire l'absorption (A₂) en fonction du blanc du réactif
- Calculer: ΔA = A₂ - A₁.

CALCULS

$$\frac{(\Delta A) \text{Echantillon}}{(\Delta A) \text{Calibreur}} \times \text{Calibreur conc.} = \text{mg/dL de HDL cholestérol dans l'échantillon}$$

Facteur de conversion: mg/dL x 0.0259 = mmol/L.

CONTROLE DE QUALITE

Il est conseillé d'analyser conjointement les échantillons de sérum dont les valeurs ont été contrôlées SPINROL H Normal et pathologique (Réf. 1002120 et 1002210).

Si les valeurs se trouvent en dehors des valeurs tolérées, analyser l'instrument, les réactifs et le calibreur.

Chaque laboratoire doit disposer de son propre contrôle de qualité et déterminer les mesures correctives à mettre en place dans le cas où les vérifications ne correspondraient pas aux attentes.

VALEURS DE REFERENCE²

	Hommes	Femmes
Risque mineur	> 50 mg/dL	> 60 mg/dL
Risque normal	35 - 50 mg/dL	45 - 60 mg/dL
Risque élevé	< 35 mg/dL	< 45 mg/dL

Ces valeurs sont données à titre d'information. Il est conseillé à chaque laboratoire de définir ses propres valeurs de référence.

CARACTERISTIQUES DE LA METHODE

Gamme de mesures: Depuis la limite de détection 3 mg/dL jusqu'à la limite de linéarité 150 mg/dL.

Si la concentration de l'échantillon est supérieure à la limite de linéarité, diluer 1/2 avec du ClNa 9 g/L et multiplier le résultat final par 2.

Précision:

Moyenne (mg/dL)	Intra-série (n= 30)		Inter-série (n= 30)	
	37,07	57,93	37,7	58,1
SD	0,45	0,88	0,35	0,51
CV (%)	1,20	1,53	0,93	0,88

Exactitude: Les réactifs SPINREACT (y) ne montrent pas de différences systématiques significatives lorsqu'on les compare à d'autres réactifs commerciaux (x). Les résultats obtenus avec 50 échantillons ont été les suivants:

Coefficient de corrélation (r): 0.994

Equation de la Courbe de régression: y=0,93x + 0,033

Les caractéristiques de la méthode peuvent varier suivant l'analyseur employé.

INTERFERENCES

Aucune interférence avec Bilirubine n'a été observée jusqu'à 30 mg/dL, hémoglobine jusqu'à 500 mg/dL facteurs rhumatoïdes jusqu'à 1000 UI/mL ou lipémie jusqu'à 1200 mg/dL.

Les échantillons lipémiques avec concentration de triglycérides supérieure à 1200 mg/dL, doivent être dilués 1/10 avec ClNa 9 g/L et il faut multiplier le résultat final par 10.

REMARQUES

Le réactif 2 présente une coloration jaune due à la peroxydase qu'il contient, ce qui n'affecte pas dans l'absolu la fonctionnalité du réactif.

SPINREACT dispose de consignes détaillées pour l'application de ce réactif dans différents analyseurs

BIBLIOGRAPHIE

- Naito H K HDL Cholesterol. Kaplan A et al. Clin Chem The C.V. Mosby Co. St Louis. Toronto Princeton 1984; 1207-1213 and 437
- US National Cholesterol Education Program of the National Institutes of Health.
- Young DS: Effects of drugs on Clinical Lab. Tests, 4th ed AACCC Press, 1995.
- Young DS: Effects of disease on Clinical Lab. Tests, 4th ed AACCC 2001.
- Burtis A et al. Tietz Textbook of Clinical Chemistry, 3rd ed AACCC 1999
- Tietz N W et al. Clinical Guide to Laboratory Tests, 3rd ed AACCC 1995.PCT/JJP97/04442

PRESENTATION

Réf:1001096	Cont.	R1:1 x 60 mL, R2:1 x 20 mL, CAL: 1 x 1 mL
Réf:1001097		R1:1 x 30 mL, R2:1 x 10 mL, CAL: 1 x 1 mL
Réf:1001098		R1:1 x 240 mL, R2:1 x 80 mL, CAL: 1 x 1 mL
Réf:1001099		R1:3 x 240 mL, R2:1 x 240 mL, CAL: 4 x 1 mL

Annexe 4 : Méthode du dosage des triglycérides



CE TRIGLYCERIDES

Triglycérides

GPO-POD. Enzymatique colorimétrique

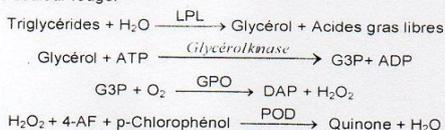
Détermination quantitative de triglycérides

IVD

Conserver à 2-8°C

PRINCIPE DE LA METHODE

Les triglycérides incubés avec de la lipoprotéinlipase (LPL) libèrent du glycérol et des acides gras libres. Le glycérol est phosphorylé par du glycérophosphate déshydrogénase (GPO) et de l'ATP en présence de glycérol kinase (GK) pour produire du glycérol-3-phosphate (G3P) et de l'adénosine-5-di-phosphate (ADP). Le G3P est alors transformé en dihydroxiacétone phosphate (DAP) et en peroxyde d'hydrogène (H₂O₂) par le GPO. Au final, le peroxyde d'hydrogène (H₂O₂) réagit avec du 4-aminophénazone (4-AF) et du p-chlorophénol, réaction catalysée par la peroxydase (POD), ce qui donne une couleur rouge.



L'intensité de la couleur formée est proportionnelle à la concentration de triglycérides présents dans l'échantillon testé^{1, 2, 3}.

SIGNIFICATION CLINIQUE

Les triglycérides sont des graisses qui fournissent à la cellule son énergie. Tout comme le cholestérol, ils sont transportés vers les cellules de l'organisme par les lipoprotéines du sang. Un régime fort en graisses saturées ou en carbohydrates peut élever les niveaux de triglycérides. Leur augmentation est relativement neutre. Diverses maladies, telles que certaines dysfonctions hépatiques (cirrhose, hépatite, obstruction biliaire) ou diabète mellitus, peuvent être associées à des hausses de triglycérides^{3, 6, 7}. Le diagnostic clinique doit tenir compte des données cliniques et de laboratoire.

REACTIFS

R 1	GOOD pH 7.5	50 mmol/L
Tampon	p-Chlorophénol	2 mmol/L
R 2	Lipoprotéine lipase (LPL)	150000 U/L
	Glycérol kinase (GK)	500 U/L
	Glycérol-3-oxydase (GPO)	2500 U/L
	Peroxydase(POD)	440 U/L
	4 - Aminophénazone (4-AF)	0,1 mmol/L
Enzymes	ATP	0,1 mmol/L
TRIGLYCERIDES CAL	Patron primaire de détection de triglycérides	200 mg/dL

PREPARATION

Réactif de travail (RT): Dissoudre (→) le contenu d'une capsule d'enzymes R 2 et un flacon de tampon R 1.
 Réf: 1001310 Réactif de travail (RT): Reconstituer (→) le contenu d'une capsule d'enzymes R 2 dans 10 mL de tampon R 1.
 Refermer et agiter doucement jusqu'à ce que le contenu soit dissout. Stabilité du R: 6 semaine au réfrigérateur (2-8°C) ou une semaine à 15-25°C.

CONSERVATION ET STABILITE

Tous les composants du kit sont stables jusqu'à la date de péremption indiquée sur l'étiquette, et si les flacons sont maintenus hermétiquement fermés à 2-8°C, à l'abri de la lumière et des sources de contamination. Ne pas utiliser les réactifs en dehors de la date indiquée.

Indices de détérioration des réactifs:

- Présence de particules et turbidité.
- Absorbation (A) du blanc à 505 nm ≥ 0,14.

MATERIEL SUPPLEMENTAIRE

- Spectrophotomètre ou analyseur pour les lectures à 505 nm.
- Cuvettes de 1,0 cm d'éclairage.
- Equipement classique de laboratoire.

ECHANTILLONS

Sérum ou plasma héparnisé ou EDTA¹. Stabilité de l'échantillon: 5 jours à 2-8°C.

PROCEDURE

- Conditions de test:
 Longueur d'ondes: 505 nm (490-550)
 Cuvette: 1 cm d'éclairage
 Température: 37°C/15-25°C
- Régler le spectrophotomètre sur zéro en fonction de l'eau distillée
- Pipetter dans une cuvette:

	Blanc	Modèle	Echantillon
RT (mL)	1,0	1,0	1,0
Modèle (Remarque 1, 2) (µL)	--	10	--
Echantillon (µL)	--	--	10

- Mélanger et incuber 5 minutes à 37°C ou 10 min. à température ambiante.
- Lire l'absorbation (A) du patron et l'échantillon, en comparaison avec le blanc du réactif. La couleur reste stable pendant au moins 30 minutes.

CALCULS

$$\frac{(A) \text{ Echantillon}}{(A) \text{ Modèle}} \times 200 (\text{modèle conc.}) = \text{mg/dL de triglycéride dans l'échantillon}$$

Facteur de conversion: mg/dL x 0,0113 = mmol/L.

CONTROLE DE QUALITE

Il est conseillé d'analyser conjointement les échantillons de sérum dont les valeurs ont été contrôlées: SPINTROL H Normal et pathologique (Réf. 1002120 et 1002210). Si les valeurs se trouvent en dehors des valeurs tolérées, analyser l'instrument, les réactifs et le calibre. Chaque laboratoire doit disposer de son propre contrôle de qualité et déterminer les mesures correctives à mettre en place dans le cas où les vérifications ne correspondraient pas aux attentes.

VALEURS DE REFERENCE

Hommes: 40 - 160 mg/dL

Femmes: 35 - 135 mg/dL

Ces valeurs sont données à titre d'information. Il est conseillé à chaque laboratoire de définir ses propres valeurs de référence.

CARACTERISTIQUES DE LA METHODE

Gamme de mesures: Depuis la limite de détection de 0,000 mg/dL jusqu'à la limite de linéarité de 2200 mg/dL.

Si la concentration de l'échantillon est supérieure à la limite de linéarité, diluer 1/2 avec du ClNa 9 g/L et multiplier le résultat final par 2.

Précision:

	Intra-série (n=20)		Inter-série (n=20)	
Moyenne (mg/dL)	103	219	103	217
SD	0,41	0,93	3,74	7,80
CV (%)	0,39	0,43	3,62	3,59

Sensibilité analytique: 1 mg/dL = 0,00137 A.

Exactitude: Les réactifs SPINREACT (y) ne montrent pas de différences systématiques significatives lorsqu'on les compare à d'autres réactifs commerciaux (x).

Les résultats obtenus avec 50 échantillons ont été les suivants:

Coefficient de corrélation (r): 0,99760.

Equation de la Courbe de régression: y=0,905x + 10,77.

Les caractéristiques de la méthode peuvent varier suivant l'analyseur employé.

INTERFERENCES

Aucune interférence n'a été relevée avec bilirubine jusqu'à 170 µmol/L et hémoglobine jusqu'à 10 g/L².

Différentes drogues ont été décrites ainsi que d'autres substances qui peuvent interférer lors de la détermination de la triglycérides^{4, 5}.

REMARQUES

- TRIGLYCERIDES CAL: Etant donné la nature du produit, il est conseillé de manipuler le produit avec une grande précaution. En effet, il peut être contaminé très facilement.
- Du LCF (Lipid Clearing Factor) est intégré au réactif.
- Le calibrage au moyen du patron de détection peut donner lieu à des erreurs systématiques lors de méthodes automatiques. Dans de tels cas, il est conseillé d'utiliser des calibrages sériques.
- Utiliser des embouts de pipettes jetables propres pour diffuser le produit.
- SPINREACT dispose de consignes détaillées pour l'application de ce réactif dans différents analyseurs.

BIBLIOGRAPHIE

- Buccolo G et al. Quantitative determination of serum triglycerides by use of enzymes. Clin Chem 1973; 19 (5): 476-482.
- Fossati P et al. Clin. Chem 1982; 28(10): 2077-2080.
- Kaplan A et al. Triglycerides. Clin Chem The C.V. Mosby Co. St Louis. Toronto. Princeton 1984; 437 and Lipids 1194-1206.
- Young DS. Effects of drugs on Clinical Lab. Tests, 4th ed AACC Press. 1995.
- Young DS. Effects of disease on Clinical Lab. Tests, 4th ed AACC 2001.
- Burtis A et al. Tietz Textbook of Clinical Chemistry, 3rd ed AACC 1999.
- Tietz N W et al. Clinical Guide to Laboratory Tests, 3rd ed AACC 1995.

PRESENTATION

Ref: 1001310	R1: 1 x 50 mL, R2: 5 → 10 mL, CAL: 1 x 5 mL
Ref: 1001311	R1: 10 x 20 mL, R2: 10 → 20 mL, CAL: 1 x 5 mL
Ref: 1001312	R1: 10 x 50 mL, R2: 10 → 50 mL, CAL: 1 x 5 mL
Ref: 1001313	R1: 4 x 125 mL, R2: 4 → 125 mL, CAL: 1 x 5 mL
Ref: 1001314	R1: 4 x 250 mL, R2: 4 → 250 mL, CAL: 1 x 5 mL



Annexe 5 : Techniques histologiques (techniques de fixation et de coupe)

1. Le prélèvement

C'est une étape importante de l'étude histologique, après la dissection de l'animal, les organes sont prélevés, il est essentiel d'éviter à la fois les gestes brutaux et la perte de temps.

2. La fixation

Elle est réalisée afin d'éviter toute attaque bactérienne et virale, et à pour but de préserver le tissu et d'immobiliser sa structure tissulaire dans un état semblable à l'état vivant et on a utilisé comme fixateur le liquide de Bouin pendant 15 jours (voir annexe 7).

La clarification

3.1. La déshydratation

Elle se fait dans différents bains d'alcool à concentration croissante de la manière suivante :

- * Dans l'éthanol à 76% pendant 5 jours.
- * Dans l'éthanol à 96% à 100% pendant 24h.
- * Dans l'éthanol et le chloroforme (mélange de 50/50) pendant 4h.
- * Dans le chloroforme pur pendant 4h.

Le but de cette étape est de remplacer l'eau par l'alcool (agent déshydratant) au niveau des tissus.

3.2. L'imprégnation (inclusion)

Les fragments sont inclus dans un bain de paraffine, après que cette dernière était liquéfiée à une température de 57 à 60°C (température de fusion) pendant environ 15h.

Le principe de cette imprégnation repose sur le remplacement du chloroforme qui occupe les tissus par une substance solide, chimiquement inactive « paraffine » qui se dissout à 60°C pendant 4h dans l'étuve.

4. La confection du bloc

Après l'étape d'inclusion, la paraffine fondue est coulée dans les moules en métal, les fragments d'organes sont placés dans cette paraffine encore liquide, les cassettes sont placées dessus, puis laissées refroidir et solidifier le bloc dans un congélateur pour qu'il puisse être découpé.

5. la coupe

Une fois la solidification du bloc est atteinte on passe à la coupe en plaçant le bloc contenant les fragments d'organes et qui est stocké dans la cassette, dans un appareil « microtome » qui permet d'obtenir des coupes histologiques fine d'ordre de 5µm.

6. L'étalement

Les coupes ainsi obtenues sont placées sur une lame qui contient l'alcool 70% puis sont traversées dans de l'eau chaude pour permettre un bon étalement des coupes (méthode anglaise), ces derniers sont récupérés sur une autre lame propre qu'on étale dessus préalablement le milieu adhésif « le blanc d'œuf glycéride » qui coagule dans l'étuve.

REMARQUE

Les lames sont marquées à l'aide d'un crayon.

7. Le déparaffinage

Il sert à enlever la paraffine du tissu, il est réalisé en plaçant les lames dans l'étuve à 57°C, pendant toute une nuit. Cette dernière permet de éliminer la paraffine et de coller les tissus sur la lame en même temps, ensuite on fait passer les lames dans :

- Un bain de xylène : pour éliminer le reste de la paraffine pendant 30mn.

8. L'hydratation

A pour objet de retirer le xylène du tissu et le remplacer par l'eau.

Cette hydratation se fait à l'aide de l'éthanol mais cette fois-ci à des concentrations décroissantes qui se font dans :

- Un bain d'alcool à 96% pour éliminer le xylène et les traces de paraffine restante pendant 5 à 10mn.
- Un bain d'alcool à 96% pur pendant 5 à 10mn.
- Un bain d'alcool à 70% pendant 5 à 10mn.

9. La coloration

Elle a pour but de mettre en évidence les constituants tissulaires, elle consiste à faire passer les lames dans une série de cuves de « BOREL » qui contiennent le colorant.

- Une 1^{ère} coloration dans l'hématoxyline pendant 30mn, suivie d'un rinçage à l'eau de robinet pour accentuer la coloration des constituants, l'hématoxyline a une tendance à colorer le noyau.

- Mettre les lames dans une solution alcool acide (70%-1%) pour éliminer le colorant des parties inutiles sur la lame cette étape se fait rapidement.

- Une deuxième coloration dans l'éosine pendant 15mn.
- Rinçage dans l'eau pour éliminer l'éosine
- une nouvelle déshydratation dans un bain d'alcool pur à 70% pendant 5mn puis dans un bain d'alcool à 96% pendant 5mn.
- Séchage des lames doucement dans un papier absorbant.
- Tremper les lames de nouveau dans le xylène.

10. Montage des préparations et observation microscopique

Les préparations sont montées, on applique les lames immédiatement après leur récupération du xylène contre une lamelle contenant « le baume de Canada » qui sert à coller cette dernière à la lame, puis lecture des lames préparées sous le microscope.

Annexe 6 : Dosage de la sérum albumine bovine (SAB) par immunodiffusion radiale - méthode de MANCINI**Tampon PBS pH=7,2 (500 ml)**

- 7,65 g de NaCl
- 0,724 g de Na₂HPO₄ † qsp 1L
- 0,210g de NaPO₄

. **Agarose 2% (SIGMA A9918) dans PBS** : répartir en tubes de 2 mL, en surfusion au bain marie, \ puis placer à l'étuve à 55°C

.Anticorps anti SAB (SIGMA B1520-2 mL congelé), dilué au 1/16 :

- 125 µL de sérum pur dans 1,875 mL de tampon PBS
- répartir en tubes à hémolyse, placés au bain marie à 37°C

.Solution de SAB à 1,8 g/L

.Solution de SAB inconnu: diluer au 1/2 la solution mère

Petites Boîtes de Pétri glycinées (A PREPARER LA VEILLE)

-préparer 100 ml d'agarose glycinées (contenant 0,3% d'agarose et 1% de glycérine,

Dans du tampon PBS)

-verser un peu d'agarose glycinée dans chaque botte de Pétri pour tapisser le fond de la Boîte ensuite rejeter le surplus, laisser sécher puis placer avant l'épreuve dans l'étuve à 55°C.

Système de perforation 3 mm de diamètre (emporte pièce)

Chambre humide

Fonds noirs (lecture J2)

Pipettes automatiques, cônes, gants, poubelles biologiques..

Annexe 7 : Préparation de la solution de conservation

*** Liquide de Bouin**

75 ml d'acide picrique saturé + 25 ml de formole.

5ml d'acide acétique glacial.

*** L'eau physiologique**

9g de Na cl → 1 litre d'eau distillée.

PUBLICATION SCIENTIFIQUE

Evaluation des Composés Nutritionnels et Anti- Nutritionnels du Gland de chêne Vert (*Quercus Ilex L.*) du Mont de Tessala (Algérie Occidentale)

Zouaoui Hazem

*Laboratoire de Biodiversité Végétale: Conservation et Valorisation
Faculté Des Sciences de la Nature et de la Vie, Université Djillali Liabès
Sidi Bel Abbès 22000, Algérie
E-mail: hazemzouaoui@yahoo.fr
Tel: +213-550-34-88-47*

Hachemi Benhassaini

*Laboratoire de Biodiversité Végétale: Conservation et Valorisation
Faculté Des Sciences de la Nature et de la Vie, Université Djillali Liabès
Sidi Bel Abbès 22000, Algérie*

Zoheir Mehdadi

*Laboratoire de Biodiversité Végétale: Conservation et Valorisation
Faculté Des Sciences de la Nature et de la Vie, Université Djillali Liabès
Sidi Bel Abbès 22000, Algérie*

Meriem Belarbi

*Laboratoire de Biodiversité Végétale: Conservation et Valorisation
Faculté Des Sciences de la Nature et de la Vie, Université Djillali Liabès
Sidi Bel Abbès 22000, Algérie*

Résumé

Notre étude consiste à évaluer les composés nutritionnels et antinutritionnels existants dans la farine du gland de chêne vert (*Quercus ilex L.*), poussant à l'état spontané dans le nord d'Algérie.

L'étude biochimique nous a permis de mettre en évidence les différents métabolites issus du métabolisme basal tel que les composés nutritionnels (lipides, protéines, sucres, cendres, amidon et cellulose) et antinutritionnels (phénols totaux, tanins condensés et tanins hydrolysables) au niveau de la farine.

Les résultats obtenus montrent que les fractions glucidiques et lipidiques constituent la majeure partie des réserves du gland, avec un taux de 45 % pour l'amidon et 7,56 % pour les lipides. Cependant, les teneurs en matières minérales, protéines et cellulose brute sont relativement faibles et présentent respectivement des pourcentages de 1,49 %, 6,81 % et 2,56 %. Aussi, de faibles teneurs en phénols totaux (0,49%), tanins condensés (0,23%), tanins hydrolysables (0,0014%) et en acide phytique (80 mg/ml) ont été mis en évidence.

Mots-clés: Chêne vert (*Quercus ilex L.*), farine de gland, composés nutritionnels et anti nutritionnels.

Evaluation des Composés Nutritionnels et Anti- Nutritionnels du Gland de Chêne Vert (*Quercus Ilex L.*) du Mont de Tessala (Algérie Occidentale) 411

Abstract

Our study is to evaluate the nutritional and anti-nutritional compounds which existing in green acorn oak flour (*Quercus ilex L.*) var. *ballota* (Desf.), growing wild in the north of Algeria. Biochemical studie allowed us to highlight the different metabolites of basal metabolism such as nutritional compounds (lipids, proteins, sugars, ash, starch and cellulose) and anti-nutrients (total phenols, condensed tannins and hydrolysable tannins) in flour. The results show that carbohydrate and lipid fractions constitute the major part of the reserves of the fruit, with a rate of 45% for starch and 7.56% for lipids. However, the content of the mineral matter, protein and crude fiber is relatively small and each has the values of 1.49%, 6.81% and 2.56% respectively. In other hand, low levels of total phenols (0.49%), condensed tannins (0.23%), hydrolysable tannins (0.0014%) and phytic acid (80 mg / ml) were highlighted.

Keywords: green oak, Green acorn Oak flour (*Quercus ilex L.*), nutritional compounds, anti-nutritional compounds.

1. Introduction

L'utilisation de différents types de matières premières (tourteaux de maïs, soja, tournesol) dans les pays industrialisés pour l'alimentation animale constitue un équilibre nutritionnel indiscutable, mais présente un problème économique accru pour les pays en voie de développement vu les prix exorbitants de ces produits (Bouderoua, 1994). Notre pays connaît actuellement un déficit dans la production fourragère en général et plus particulièrement en aliments du bétail. A cet égard, un effort considérable doit être fait afin de palier à ce déficit par la recherche de produits de substitution aux matières premières suscitées (Bessat et Touzi, 2001). Ce déficit en production fourragère peut être solutionné par la valorisation de certains taxons de la flore algérienne sur le plan économique dans le but de découvrir de nouvelles ressources alimentaires végétales, qui peuvent contribuer de manière directe à la relance du secteur agricole. Les travaux de Quézel et Santa (1962-1963) dénotent une diversification de cette flore, représentée par 3139 espèces décrites. Ceci nous interpelle à valoriser ce potentiel floristique par la recherche des substances naturelles susceptibles de contribuer dans l'alimentation du bétail. Parmi cette flore, le chêne vert (*Quercus ilex L.*), objet de cette étude, peut offrir énormément de possibilités dans ce domaine au vu de l'importance de la superficie qu'il recouvre dans notre pays (690 000 ha) (José Valero Galván, 2012) mais dont l'exploitation est loin d'être rationnelle et satisfaisante (I.N.R.F., 1988). Pourtant L'utilisation des glands de chêne dans la nutrition a une longue histoire dans la région de la Méditerranée et ont été traditionnellement employés dans la médecine (Hoppe, 1958 ; Tucakov, 1971). Ils sont une source riche en hydrates de carbone, en acides aminés, en protéines, en lipides et en divers stéroïls (Taleb et al., 1989 ; Mamedova et al., 1993 ; Leon-Camacho et al., 2004 ; Lopes et Bernardo-Gil,

2005). C'est dans ce contexte que s'inscrit notre travail qui consiste à valoriser la farine du gland du chêne vert du mont de Tessala (Algérie occidentale) par l'évaluation de ses composés nutritionnels et antinutritionnels.

2. Matériels et méthodes

2.1. Matériels végétale

Notre travail porte sur le gland de *Quercus ilex*. Le choix de cette espèce est fonction du double intérêt qu'elle présente car c'est une espèce spontanée d'une part et comestible par l'homme et les animaux d'autre part. la récolte des glands acété effectuée en octobre 2012, au niveau des monts de Tessala (Algérie occidentale) (fig.1). Ils ont été lavés à l'eau puis séchés à l'abri de la lumière pour éviter qu'ils ne germent ou fermentent. Ils ont été ensuite décortiqués, découpés en morceaux, séchés à l'étuve à une température de 105°C, puis réduits en farine fine. Cette dernière a été tamis les mailles présentent un diamètre de 1mm afin d'obtenir une farine blanchâtre aussi fine que possible. Les échantillons ainsi obtenus sont conservés dans des flacons en verre teinté jusqu'à leur utilisation.

2.2. Méthodes d'étude

Sont dosés sur la farine du gland, l'humidité, les composés nutritionnels lipides, les protéines et les glucides) et les composés tannins condensés, les tanins hydrolysables et les phytates).

2.2.1. Teneur en eau

La quantité d'eau de la farine du gland est déterminée par dessiccation à l'étuve pendant 1h30mn à 105 °C jusqu'à

2.2.2. Composés

2.2.2.1. Dosage des cendres

Les cendres sont déterminées en plaçant l'échantillon (300 à 500 mg) dans un four à moufle, jusqu'à calcination complète (600 °C pendant 12 h). La ten l'échantillon après calcination et celui de la matière sèche (Gérald Chabanon, 2005).

2.2.2.2. Dosage de la Matière Grasse

Le protocole d'extraction suivi est la méthode normalisée du Soxhlet décrite par AFNOR NF en ISO659 Le taux de la matière grasse est déterminé selon la formule suivante:

$$MG (\%) = \frac{p1-p2}{PE} * 100 * \frac{100}{100-H}$$

MG : matière grasse

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 : humidité atmosphérique.

2.2.2.3. Dosage des Protéines

Totales Le dosage des protéines a été effectué selon la méthode de Brad-Ford (1976). L'absorbance est lue au spectrophotomètre à une longueur d'onde de 595 nm, la gamme d'étalonnage est réalisée à partir d'une solution d'albumine de sérum de boeuf (BSA) titrant 1mg/ml.

2.2.2.4. Dosage de l'azote Protéique et non Protéique

La farine de gland est traitée par l'acide trichloracétique. Le mélange ainsi obtenu est filtré, le culot ainsi récupéré est constitué uniquement d'azote protéique dosé par la méthode de Kjeldahl (1883). La teneur en azote non protéique est obtenue par déduction du taux d'azote protéique du taux d'azote total.

2.2.2.5. Dosage des Sucres

La méthode utilisée est celle de Dubois et al (1956), ou méthode phénol / acide sulfurique.

2.2.2.6. Dosage de la Cellulose Le dosage de la cellulose se fait par la méthode de Weende (Lecoq, 1965). La cellulose constitue le résidu organique après une double hydrolyse, l'une en milieu acide (H₂SO₄) et l'autre en milieu alcalin (NaOH). Après traitement, il reste seulement la cellulose et d'autres substances non dissoutes à savoir les hémicelluloses et la lignine.

2.2.2.7. Dosage de L'amidon (AFNOR, 1985)

Le dosage de l'amidon est réalisé par polarimétrie. Une première prise d'essai de notre échantillon est traitée à chaud par de l'acide chlorhydrique dilué (HCl) puis filtré. Ensuite, nous mesurons par polarimétrie le pouvoir rotatoire de la solution. Une deuxième prise d'essai est traitée par l'éthanol à 40 % puis filtrée. Après acidification du filtrat par HCl concentré, nous procédons à une seconde filtration en vue d'évaluer le pouvoir rotatoire par polarimétrie de la deuxième solution. La différence obtenue entre les deux mesures polarimétriques est multipliée par un facteur spécifique à l'origine de l'amidon, ce qui permet d'obtenir la teneur en amidon de l'échantillon analysé.

2.2.3. Composés Antinutritionnels

2.2.3.1. Evaluation de la Teneur en Polyphénols Totaux

La teneur en polyphénols totaux est déterminée par la méthode de Makkar et al. (1993)

2.2.3.2. Evaluation de la Teneur en Tannins Condensés

Cette évaluation est basée sur la condensation polyphénolique avec la vanilline en milieu acide en utilisant l'acide sulfurique (H₂SO₄), il est spécifique des flavanes-3 ols (Price et Bulter, 1977).

2 ml de solution B (vanilline 1% dans l'H₂SO₄ 70%) sont mélangés avec 1ml de la solution A puis chauffés au bain marie. L'absorbance est déterminée à 500 nm et le taux des tannins condensés (Tc) est évalué par la formule suivante :

$5,2 \times 10^2$: constante exprimée en équivalent des cyanidine, DO : densité optique V : volume d'extrait utilisé P : poids de l'échantillon

2.2.3.3. Evaluation de la Teneur en Tannins Hydrolysables

Le principe repose sur la réaction de l'extrait tannique et le réactif de chlorure ferrique / acide chlorhydrique, en provoquant la réaction rouge violette du complexe, d'où la formation des ions Fe^{3+} (Bate Smith, 1972). 1ml de la solution A est additionné à 3.5ml de réactif de chlorure ferrique dans l'acide sulfurique à 0.001M.

L'absorbance du mélange est déterminée à 660 nm et le taux des tannins hydrolysables (Th) est estimé par la formule suivante :

DO: densité optique Emole: 2169 de l'acide gallique M: 300 V: volume d'extrait utilisé P: poids de l'échantillon

2.2.3.4. Evaluation de la Teneur en Acide Phytique

La détermination de la teneur en acide phytique est réalisée par la méthode de Wheeler et Ferrel (1971). Les phytates sont dosés indirectement grâce à leur capacité à fixer les ions Fe^{3+} 200 mg d'échantillon sont placés sous agitation en présence de 10 ml d'acide trichloroacétique (TCA) à 3 %, pendant 30 mn. Le TCA permet la libération des phytates pouvant se trouver associés aux protéines. Après centrifugation (1900 trs/mn, pendant 30 mn), le culot est écarté et 5 ml de surnageant sont prélevés, auxquels 2 ml de solution de $FeCl_3$ 0,02 mol/l sont ajoutés afin de fixer les ions Fe^{3+} sur l'acide phytique. Cette solution est mise à bouillir dans un bain-marie pendant 30 mn, et après avoir réalisé une nouvelle centrifugation, l'acide phytique est récupéré dans le culot. Le culot est lavé au TCA 3 % et à l'eau afin d'éliminer les ions Fe^{3+} en excès. 1,5 ml de NaOH 1,5 N sont ajoutés et le mélange est bouilli pendant 30 mn. Après refroidissement, le précipité de $Fe(OH)_3$ formé est centrifugé puis lavé à l'eau chaude par centrifugation. Le culot obtenu est dissous par 20 ml d'acide nitrique 3,2 N dans une fiole de 50 ml complétée avec de l'eau distillée. La réaction colorimétrique est effectuée avec 12,5 ml de l'échantillon et 10 ml de KSCN 1,5 M dans une fiole complétée à 50 ml avec de l'eau. Les ions SCN^- réagissent spécifiquement avec les ions Fe^{3+} . La gamme étalon est réalisée à partir d'une solution mère de $Fe(NO_3)_3 \cdot 9H_2O$ à 100 μ g Fe^{3+} /ml. La mesure de l'absorbance est effectuée à 420 nm dans la minute suivant la mise en présence des deux solutions.

3. Résultats et Discussion

3.1. Humidité et Composés Nutritionnels du Gland

Sur le tableau 1, sont représentées les teneurs de l'humidité et des différents composés nutritionnels évalués sur le gland de chêne vert étudié.

Tableau 1: Humidité et composés nutritionnels du gland de chêne vert

Paramètres mesurés	Teneur en %
Humidité	24,63 ± 1,47 %
Cendres	01,49 ± 0,12 %
Protéines pures	06,81 ± 0,23 %
Protéines brutes	06,87 ± 0,07 %

Azote protéique	01,09 ± 0,10 %
Azote non protéique	0,01 ± 0,03 %
Azote total	01,10 ± 0,10 %
Amidon	45,00 ± 5,00 %
Cellulose	02,56 ± 0,29 %
Lipides	07,56 ± 0,16 %

Un gland humide donne un rendement faible en farine, accélère la germination et favorise le développement des microorganismes lors du stockage (Ferreira et Vieira, 1966). Conformément aux résultats obtenus, il ressort que la farine du gland de chêne vert étudié présente une teneur en eau de $24,63 \pm 1,47$ %. Cette teneur est inférieure à celle déterminée sur d'autres glands de la même espèce en France (29,36 %) (Gaussein et Rouquette, 1949) et en Espagne (31,24 %) (Cabezudo et al, 1993), alors qu'elle se rapproche de celle du Portugal (26,30 %) (Ferrera et Vieira, 1966). Ofcarci et Burns (1971) ont noté des valeurs variant de 11,5% à 29,6% pour les fruits américains de chênes blancs et 8,7% à 32,4% pour les fruits de chênes noirs. Timbal et Weber (1994) montre qu'il peut varier de 28 % à 47 % pour le chêne rouge d'Amérique. Cette variabilité des valeurs de l'humidité est attribuée à certains facteurs écologiques dont le principal est l'altitude (Belarbi, 1990), du lieu de récolte et de la provenance. Elle peut être aussi associée aux variations climatiques selon l'année de récolte, mais aussi à des méthodes d'évaluation différentes, notamment l'échantillonnage, la température et la durée de séchage. D'autre part, un autre facteur important modifie le taux d'humidité, il s'agit de l'espèce ou de la variété productrice de l'échantillon. Le taux de cendre obtenu est de l'ordre de $1,49 \pm 0,12$ %. Cette faible valeur corrobore les résultats de plusieurs auteurs qui signalent que ce taux ne dépasse pas les 2% (Buron Aria, 1976). Parfois ce taux est légèrement dépassé atteignant 2,13% t (Valero-Galván, 2012). Les résultats montrent également que les glands de chêne vert renferment de faibles teneurs en protéines pures ($6,81 \pm 0,23$ %). Cette valeur permettra l'estimation du taux de protéines à compléter à notre farine de gland pour d'éventuelles utilisations dans la nutrition humaine ou animale afin d'avoir des rations équilibrées. Les protéines brutes ($6,87 \pm 0,07$ %) présentent une valeur supérieure à celui des glands italiens (5,56%) (Picolo et al., 1983), algériens de la région de Tlemcen (5,26%) (Taleb Bendiab et al., 1990) et portugais (5,90%) (Ferrera et Vieira, 1996). Cette valeur reste toujours supérieure à celle trouvée récemment sur cette espèce (5,80%) (Valero-Galván, 2012). Selon ce dernier, ces différences pourraient être dues aux conditions pédoclimatiques de la région et au stade du développement du gland. En outre, le taux d'azote protéique ($1,09 \pm 0,10$ %) représente la majeure partie de l'azote total ($1,10 \pm 0,10$ %). Le taux d'amidon est important, il est estimé à $45,00 \pm 5,00$ %, ce qui représente environ 50 % du taux de la matière sèche. Cette richesse en amidon, présente un apport important en glucides pouvant être utilisé dans le domaine de la nutrition animale. Cependant, cette quantité reste inférieure à celle du gland du chêne français (52,5%) (Gaussein et Rouquette, 1949) et du chêne indien (59 %) (Pal et al., 1972). D'autres travaux montrent aussi que le taux d'amidon varie dans un ordre décroissant avec l'épaisseur du tronc

du chêne, il dépend aussi de l'état de maturité et du stockage des glands (Singh et Deol, 1985). Dans le même contexte, Emaga et al. (2008) montrent que la teneur en amidon est inversement proportionnelle à la maturité du fruit tel est le cas des bananes. Du point de vue nutritionnel, Bouderoua et Selselet –Attou (2003) ; Bouderoua (2004), signalent que la nature et la qualité des glucides apportés par le gland est en grande partie responsable de la faible réponse lipogénique et par conséquent un dépôt lipidique réduit. La cellulose est représentée avec un taux de 02.56 ± 0.29 %. Cette valeur obtenue chez notre espèce est du même ordre que celle trouvée par Valera (1969) pour les chênes Espagnols (2,3%) et Carcik et al. (1971) pour le gland de chênes américains (2,4%). Ces variations relativement faibles des teneurs en cellulose chez la population de chêne peuvent s'expliquer selon ces mêmes auteurs par des facteurs liés à l'espèce. Selon Boudouma (1985), le taux de la cellulose est l'un des principaux facteurs affectant la digestibilité qui diminue avec le vieillissement de la plante. Il permet de fournir des renseignements 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. Sur une étude in vivo de la digestibilité et de la production de gaz de *Quercus pyrenerca*, il a été montré que les glands de cette espèce sont peu digestibles (Ammar et al., 2004) et que par ailleurs le poids vif des poulets ayant reçu un régime à base de chêne vert a diminué de 25 % par rapport aux témoins alimentés à base de grains de maïs (Bouderoua et Selselet, 2003). Le chêne vert est l'espèce qui a le taux le plus élevé en lipides (7.56 ± 0.16 %) par rapport au chêne liège (4,94 %), au chêne Zeen (7,50 %) et au chêne kermes (6,90 %) (Belarbi, 1990). Du point de vue qualitatif cette huile pourrait être valorisé dans le domaine de l'agro-alimentaire (Belarbi, 1990 ; Bouderoua, 1994). Selon ces mêmes auteurs, divers paramètres influent sur le taux de la matière grasse comme la granulométrie, l'humidité et la nature du solvant. Taleb-Bendiab et al (1990), note que l'effet variétal influe au sein d'une espèce sur la teneur en matière grasse. Des observations analogues ont été rapportées par Huyghel et Tabel (2009), qui ont révélé qu'une variabilité génétique importante de la valeur énergétique a été décrite entre et au sein des populations et variétés, conduisant à des innovations variétales. En effet, Bouderoua et al (2006) montrent que l'incorporation du gland de chêne vert dans le régime de poulets a permis d'enrichir la viande en acides gras polyinsaturés devenant ainsi supérieurs aux témoins alimentés en grains de maïs.

3.2. Composés Anti-Nutritionnels

Les teneurs des composés antinutritionnels analysés, sont illustrées dans le tableau 2

Tableau 2: Teneurs des différents composés antinutritionnels

Paramètres mesurés	Teneur
Phénols totaux	$0,4950 \pm 0,05$ %
Tanins condensés	$0,2363 \pm 0,03$ %
Tanins hydrolysables	$0,0014 \pm 0,0002$ %
Acide phytique	$80,00 \pm 4,58$ mg/100g MS

Les résultats des dosages biochimiques, nous ont permis aussi de mettre en évidence les différents métabolites secondaires contenus dans la farine du gland de chêne vert. En effet, nous avons enregistré une faible valeur des phénols totaux ($0,4950 \pm 0.05$ %) comparés à ceux des glands de différentes espèces de chênes notamment *Quercus alba*, *Quercus ruber* et *Quercus valentina* estimées respectivement à 1,09%, 4,10% et 4,51% (Badsen et Dalvi, 1987). Les travaux menés par Langley- Danysz (1998), montrent le rôle important des polyphénols en tant qu'antioxydant, anti-cariogène et inhibiteur dans l'oxydation des LDL en détruisant les radicaux libres d'oxygène, responsable de l'initiation de certains cancers. Cependant, les résultats de Jean-Blain (1978) révèlent le contraire en signalant que la toxicité des glands chez les bovins est due à l'action indirecte de produits polyphénoliques (acide gallique, pyrogallol). Cependant, les tanins condensés constituent la majorité des tanins avec une valeur de $0,2363 \pm 0.03$ % qui dépasse nettement celle des tanins hydrolysables ($0,0014 \pm 0.0002$ %). Les autres populations de chênes possèdent des taux plus élevés estimés à 0,52 % pour le chêne liège et 0,99 % pour le chêne kermès. La richesse en tannins varie avec l'espèce végétale considérée, mais aussi avec l'état de maturité du fruit (Afratane, 1990). Francis Canon (2010) qui note que les tanins hydrolysables sont rares dans les organes végétaux y compris le fruit et sont relativement abondants dans le bois et l'écorce des arbres. Selon Singh et Deol (1985), l'épaisseur ou le diamètre du tronc du chêne peut influencer la teneur des tannins. Cette teneur permet de distinguer les espèces comestibles des espèces fourragères ; en effet, ces métabolites en faible teneur dans les glands de chêne vert valorisent l'espèce du point de vue qualitatif car l'aliment devient non toxique. A 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%. Par ailleurs, les résultats montrent que l'acide phytique n'a pas un effet déminéralisant comme chez d'autres végétaux. Car le taux de l'acide phytique ($80,00 \pm 4,58$ mg/100g MS) chez le gland de chêne vert est très faible par rapport à celui caractérisant le chêne Kermès, le chêne liège, les grains de céréales et les légumineuses qui en contiennent des teneurs appréciables, avec respectivement 960 mg/100g MS, 310 mg/100g MS, 110mg/100g MS et 136mg/100g MS (Lepen et Adrian, 1985 ; Ravindran, 1988).

Conclusion

Notre étude contribue à mettre en valeur le potentiel alimentaire du gland de chêne vert (*Quercus ilex*) comme nouvelle source susceptible d'être exploitée à l'échelle industrielle en vue de son utilisation en alimentation animale. L'étude biochimique révèle que la fraction glucidique représentée d'une part par l'amidon (45%) et d'autre part par les lipides (7.56%) constitue la majeure partie des réserves des glands du chêne vert, ce qui le classe parmi les aliments énergétiques de premier ordre. La teneur en matière minérale, protéines et cellulose brute présentant respectivement les valeurs de 1.49%, 6.81% et 2.56% sont relativement faibles. C'est aussi le cas des tanins condensés (0.236%), des tanins hydrolysables (0,0014%) et de l'acide phytique (80mg/ml). Toutefois, la présence de ces composés antinutritionnels dans un régime alimentaire non contrôlé pourrait avoir

des conséquences négatives 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 dans la teneur en substances glucidiques, lipidiques, azotées et à un degré moindre pour la teneur en tannins, en cellulose et en matières minérales, sont vraisemblablement dûes aux facteurs pédoclimatiques mais aussi aux facteurs génétiques et écologiques. Par conséquent, un régime équilibré constitué de protéine de farine de gland de chêne vert, peut être envisagé à l'échelle industrielle, car l'exploitation des ressources considérables que forment les forêts de chêne vert en Algérie, permettre la substitution progressive des protéines animales par des protéines végétales vu le coût moins élevé et les effets bénéfiques qu'elles apportent sur le plan nutritionnel. En effet, suite à nos données analytiques sur la composition chimique du gland de chêne vert, nous proposons une utilisation meilleure du gland dans l'alimentation animale comme source locale en remplaçant une partie des protéines importées,

Références

- [1] A.F.NOR. (Agence Française de Normalisation), 1985. NF X 31- 101. Guide pour les essais inter laboratoires.
- [2] Afraitane, K., 1990. Contribution à l'étude biochimique du fruit du chêne liège (*Quercus suber*. L) de la subéraie de la Mamora. Maroc. Doctorat troisième cycle. Ecole nationale supérieure de Takaddoum. Rabat, Maroc, 125 p.
- [3] Ammar, H., S., Lopez., J.S., Gonzalez et M.J., Ranilla, 2004. Chemical composition and in vitro digestibility of some Spanish browse plant species. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 84, pp. 194-204.
- [4] Badsen, K.W et R.R., Dalvi, 1978. Determination of total phenols in acorns from different species of oak trees in conjunction with acorn poisoning in cattle. *Vet. Hum. Toxicol* 29 (4), pp. 305-306.
- [5] Bate-Smith, E.C., 1972. Detection and determination of ellagitannins. *Photochemistry*, 11, pp.1153-1156.
- [6] Belarbi, M., 1990. Contribution à l'étude de la composition chimique des glands des chênes verts, lièges et zeens. Mémoire de magister en biologie, Tlemcen, 187 p.
- [7] Boudroua, K., 1994. Caractéristiques biochimiques et aptitudes nutritionnelles des farines de glands de chêne vert et du chêne liège en alimentation du poulet de chair. Magister en sciences agronomiques, INA, El-Harrach, Alger, 107p.
- [8] Boudroua, K., et G., Selselet-Attou, 2003. Fatty acid composition of abdominal adipose tissue in broilers fed green-oak (*Quercus ilex*), cork oak acorn (*Quercus suber* L.) based diets. *Anim. Res* 52, pp.377-382.
- [9] Boudroua, K., G., Selselet-Attou et J., Mourot, 2006. Composition en acides gras et vitamines E dans les viandes de poulets de chair nourris aux glands de Chêne vert. 11ème JSMTV, Clermont Ferrand, pp. 87-88.

- [10] Boudouma, D., 1985. Valeur nutritive de quelques légumineuses locales chez Gallus gallus. Mémoire de magister en sciences agronomiques, INA, Alger, 116 p. Ferreira, M.F et D.C.,Vieira, 1966. Acorn meal in the feeding of growing birds, bol. Pecuar 34(3), pp. 205-220.
- [11] Cabezudo, B., L.A. Perez, V, T. Navarro, and J.M. Nieto-Caldera, 1993. Phenomorphological studies in south of Spain vegetation. II. Meso-mediterranean Quercus suber woods. Acta Botanica Malacitana 18, pp.179-188.
- [12] Canon, F., 2010. Contribution de la spectrométrie de masse à l'étude des interactions entre les protéines salivaires riches en proline et les tanins. Thèse de doctorat. CIESSA, Biochimie, chimie et technologie des aliments, France, 272p.
- [13] Chabanon, G., 2005. Hydrolyses enzymatiques d'isolats protéiques issus de tourteaux de colza : cinétique, modélisation, caractérisation et fonctionnalité des peptides. Thèse de doctorat. I.N.POLYTHEC, Lorraine, France, 236p.
- [14] Christian, A. et Ngagegni-limbili, 2012. Etude de synergie des effets chimiques et biologiques des lipides de réserves et des huiles essentielles des fruits et graines saisonniers de la sous- région Afrique Centrale. Thèse de doctorat. Institut national polytechnique de toulouse (INPT), France, 170p.
- [15] Dubois, M., J.K., Gilles Hamilton., P.A., Rebers et F., Smith, 1956. Colorimetric method for determination of sugars and related substances, Anal. Chem 28, pp. 350-356.
- [16] Emaga, T. H.; Wathelet, B.; Paquot, M. Changements texturaux et biochimiques des fruits du bananier au cours de la maturation. Leur influence sur la préservation de la qualité du fruit et la maîtrise de la maturation. Biotechnologie, Agronomie Société et Environnement, Gembloux, 12 (1), p. 89-98.
- [17] Ezzahiri, M., et B., Belghazi, 2002. Assessing the fodder resource potential of the green oak (*Quercus rotundifolia* Lam.) foliar biomass from oak plantations in the Middle Atlas and the El Ayat forest in Eastern Morocco. Science et changements planétaires / Sécheresse 13 (3), pp. 181-185.
- [18] Guaussein, H. et A., Rouquette, 1949. Extrait du bulletin de la société d'histoire naturelle de Toulouse, France, 84p.
- [19] Hong Byung, J., J., Rhee Rhee et C., Yong, 1975. Hanguk ch'uksan hakhoeche, S. Korea, 4, pp. 423-431. Evaluation des Composés Nutritionnels et Anti- Nutritionnels du Gland de Chêne Vert (*Quercus Ilex* L.) du Mont de Tessala (Algérie Occidentale) 419
- [20] Huyghel, C., et C., Tabel, 2009. Amélioration génétique de la valeur alimentaire des espèces fourragères pérennes et innovation variétale. Fourrages 198, pp. 99-113.
- [21] Jean-Blain, A. et M, 1975 : Pathogénie de l'intoxication par les glands de chênes chez les bovidés. Economie et Médecines Animales 16, pp. 213-226.
- [22] Kjeldhal, L., 1883. Neue Methode zur Bestimmung des Stickstoffs in organischem Korpen. Z. Anal., Chem, 22, pp.366-382.

- [23] Lecoq, R., 1965. Manuel d'analyses alimentaires et d'expertises usuelles. Edition Doin. Deren et Cie. Tome II. Paris, 241-251
- [24] Lepen, B., et J., Adrian, 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, pp. 3-8.
- [25] Makkar, H.P.S., M., Bluemmel., N.K., Borowy et K., Becker, 1993. Gravimetric determination of tannins and their correlations with chemical and protein precipitation methods. J. Food Sci. Food Agric 61, pp. 161-165.
- [26] Moine, C., 2005. Extraction, caractérisation structurale et valorisation d'une famille d'hémicelluloses du bois: Obtention de matériaux plastiques par modification des xylanes. Thèse de doctorat. Laboratoire de Chimie des Substances Naturelles. Université de limoges, 201p.
- [27] Ofcarcik, R.P., et E., Burns, 1971. Chemical and physical properties of selected acorns. Journal of food Science 36, pp. 576-578.
- [28] Pal, R. N., V. C., Pachauri., S. S., Negi, 1972. Comparative nutritive value of Oak (*Quercus incana*) Kernels vis a vis maize for cattle. Indian Jour. Anim Sci 42 (5), p.341.
- [29] Picollo, V., T.E., et A., Dillela Nizza, 1983. Composizione chimica caratteristiche nutritive di castagne e di ghiande fresh E sgucciale. Nutrizione e alimentazione de gli animali. Agricoli, Edagricole, Bologna 14, pp.499-501.
- [30] Ravindran, V., et G., Ravindran, 1988. Nutritional and antinutritional characteristics of mucuna (*Mucuna utilis*) Benseeds. J. Sci Food Agri 46, pp.71- 79.
- [31] Singh, B., et G.S. Deol, 1985. Effect of locality and diameter class on chemical composition of *Quercus leucotriphora* A. camus ex bahadur seeds. Indian forester 111, pp. 301- 304.
- [32] Taleb Bendiab, S.A., N., Benmahdi Mashev et G.N., Vassilev, 1990. Contribution to the investigation of the chemical composition of the acorn of various *Quercus* species in Algeria; investigation the acorn of *Quercus ilex*. Compte rendu de l'académie bulgare des sciences 43 (7), pp. 83-85.
- [33] Valero-Galván, J., 2012. Variabilidad poblacional en encina (*quercus ilex* subsp. *Ballota* (Desf.) morfometría, espectroscopía de infrarrojo cercano y proteómica. Edita: Servicio de Publicaciones de la Universidad de Córdoba, Campus de Rabanales Ctra, Nacional IV.
- [34] Wheeler, E.L. et R.E., Ferrel, 1971. A method of phytic acid determination in wheat and wheat fractions. Cereal Chem 48, pp. 312-320.