

République Algérienne Démocratique et populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université ABOU BEKR BELKAID –Tlemcen-

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et des Sciences de la Terre et de l'Univers

Département de Biologie

Laboratoire des Produits Naturels



Mémoire



En vue de l'option du diplôme de Master en Biologie

Option :

Physiopathologie cellulaire

Thème :

ETUDE DE LA VALEUR NUTRITIVE DE LA CAROUBE
(*CERATONIA SILIQUA L.*)

Présentée par : M^{lle} BEMRAH Meriem

Soutenu le 03/07/2011 – Devant le jury, composé de :

Président :

M^r BEGHADAD M.

Maitre de conférences classe B

l'université de Tlemcen

Examineur :

M^r BENAMMAR CH.

Maitre de conférences classe B

l'université de Tlemcen

Sous la direction de :

M^{me} BELARBI M.

Professeur

l'université de Tlemcen

Année Universitaire : 2010/2011



Je dédie ce modeste travail :

A Dieu tout puissant qui ma donner la volonté et la puissance pour réaliser cette étude.

A mon Père et ma Mère qui m'ont soutenu tout le long de ma vie et que dieu les protèges.

A mes très chères sœurs : NAWAL et FATIMA-ZOHRA.

A mes très chers frères : NABIL, ILYES, ABOUBAKR.

A ma très chère belle sœur : HIBA.

A mes très chers neveux et nièce : NADIR, SIDI MOUHAMED, NASSIM, AMINA et l'adorable IMAN.

A tous mes amis(e).

Enfin a mon aimable encadreur Madame BELARBI MERIEM.

Remerciements

*Ce travail a été réalisé au sein du **Laboratoire des Produits Naturels (LAPRONA)**, Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et des Sciences de la Terre et de l'Univers ; Université A.B.B de Tlemcen.*

*Je remercie **Mme BELARBI M.**, Professeur à l'université de Tlemcen et responsable de la post graduation du département de Biologie, qui m'a permis de réaliser cette étude. Je lui témoigne ma profonde reconnaissance, pour ses précieux conseils, ses orientations bienveillantes, son infatigable dévouement, sa disponibilité et son soutien moral.*

*J'exprime mes profonds remerciements et ma vive reconnaissance à **Dr BEGHADAD Mohammad Choukri** Maitre de conférences classe 'B', d'avoir accepté d'assurer la présidence du jury de mon mémoire de master.*

*Je tiens à exprimer ma grande considération et ma vive reconnaissance à **Dr BENAMMAR Chahid El Houcine** Maitre de conférences classe 'B', pour avoir accepté de juger ce travail.*

*Mes plus vifs remerciements vont au **Dr BELMEKKI Amine** Maitre de conférences classe 'A' pour l'aide considérable qu'il m'a apportée, sa gentillesse et sa serviabilité.*

*Je tiens à remercier **Mr CHABANE SARI D.**, professeur et Directeur de laboratoire pour m'avoir permis de travailler au sein de son Laboratoire et d'utiliser tout le matériel dont j'avais besoin.*

Résumé

Le caroubier (*Ceratonia siliqua*) est un arbre typiquement méditerranéen, d'importance écologique, industrielle et ornementale indiscutable. Il est utilisé pour le reboisement et la reforestation des zones affectées par l'érosion et la désertification. Le caroubier est cultivé pour ses gousses, abondantes et riche en sucre à maturité ; elles sont broyées avec leurs graines pour en faire une farine destinée à l'aliment de bétail. Sa gousse présente une valeur nutritive très importante puisqu'elle est utilisée chez les sportifs lors de performances extrêmes.

L'étude portée sur la composition chimique de la pulpe torréfiée et la graine de caroube montre la présence des différentes familles de composés ayant un intérêt nutritionnel et thérapeutique. En effet la détermination des teneurs en métabolites primaires révèle la présence de sucres totaux avec un taux important, la pulpe torréfiée détient plus de sucres 39,2% que la graine 15,4%, pour les fibres la valeur de la pulpe torréfiée (5,97%) est un peu plus élevé que celle de la graine (4,11%), des teneurs faible ont été enregistrer respectivement pour la pulpe torréfiée par rapport à la graine concernant les lipides (5,83%, 6,51%) les protéines brute (5,1%, 30,2%) et les cendres (2,55%, 3,25%). Alors que pour les métabolites secondaires, le taux des phénols totaux est assez important, de l'ordre de 4,75mg/g de MS pour la graine par rapport à la pulpe torréfiée qui est de 1,95mg/g de MS.

Mots clés : caroube, pulpe torréfiée, graine, valeur nutritive, composition chimique, phénol totaux.

Abstract

The carob tree (*Ceratonia siliqua L.*) is typically Mediterranean tree, of an ecological, industrial and ornamental importance. And is used for a forestation and reforestation of areas affected by erosion and desertification. The carob tree is cultivated for its thick that is rich of sugar at its maturity. They are crushed with their seeds to make flour for cattles. This pod is of great nutritional value as it is used by sportsmen in extreme performances. This study, focusing on the chemical composition of the roasted pulp and carob seed, shows the presence of different families of compounds with nutritional and therapeutic interest. In fact, the determination of the tensors in primary metabolites reveals the existence of total sugars with high rate. The roasting pulp holds much more sugar 39,2% than the seed with 15,4%. For fiber, the roasting pulp value (5,97%) is bit higher than that of the seed (4,11%). Weak tensors have been respectively recorded for the roasting pulp par rapport to the seed, concerning lipids (5,83%, 6,51%), crud proteins (2,75%, 30,2%) and ashes (2,55%, 3,25%). While for secondary metabolites, the rate of total phenols is quite important, about 4,75 gm/g of dry matter for the seed in relation to the roasting pulp which is at 1,95 mg/g of dry matter.

Keywords: carob, roasted pulp, nutritive value, chemical composition, total phenols.

Liste des abréviations

°C : Degré Celsius
C : concentration
DO : Densité optique
µl: microlitre
ml : millilitre
l : litre
µg: microgramme
mg : milligramme
mm : Millimètre
nm :Nanomètre
g :gramme
kg : kilogramme
M : molarité
N : normalité
m : masse
P : poids
% : pourcentage
ha : Hectare
AA : acide aminé
AG : acide gras
MS : matière sèche
EM : énergie métabolique
Rt : Rendement
MG : matière grasse
V : volume
f : facteur de correction de la solution de titration
T° : température
HDL : Hight density lipoprotein
LDL : Low density lipoprotein
HCl : acide chlorhydrique
KOH : hydroxyde de potassium (la potasse)
NaOH :hydroxyde de sodium (la soude)
CuSO₄: sulfate de cuivre
H₂SO₄ : acide sulfurique
NaCl chlorure de sodium.
NH₃*: l'ammoniac.

Tableau 1 : Classification classique	6
Tableau 2 : Composition moyenne de la pulpe de caroube.....	16
Tableau 3 : production mondiale des gousses et des graines de caroubier en tonnes.....	21
Tableau 4 : Superficie occupée par le caroubier.....	22

Sommaire

INTRODUCTION GENERALE.....	1
PREMIERE PARTIE : SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE.....	4
1. présentation du caroubier.....	5
1.1. Historique	5
1.2. Etymologie	5
1.3. Taxonomie.....	6
1.4. Description botanique.....	7
1.5. Reproduction biologique.....	11
1.6. Ecologie.....	12
2. Origine du caroubier	14
3. Distribution géographique du caroubier	14
4. Composition chimique de la caroube.....	15
5. Intérêts et utilisations du caroubier.....	17
5.1 arbre	18
5.2 fruit.....	18
5.3 feuille	20
5.4 les autres parties de l'arbre.....	21
6. Production du caroubier	21
DEUXIEME PARTIE : MATERIELS ET METHODIES.....	23
1. Préparation du matériel biologique végétal.....	24
2. plant de travail.....	25
3. méthodes d'analyses utilisées.....	25
3.1 Détermination de la matière sèche.....	25
4. Détermination quantitative des métabolites primaires.....	27
4.1 Dosage des lipides totaux.....	27
4.2 Détermination de la teneur en fibres alimentaires	29
4.3 Détermination de la teneur en cendres (matière minérale)	30
4.4 Dosage des sucres totaux.....	31
4.5 Dosage les protéines brutes.....	33
5. Détermination quantitative des métabolites secondaires.....	36
5.1 Dosage des composés phénoliques.....	36
a. Dosage des phénols totaux.....	36

TROISIEME PARTIE : RESULTATS ET DISCUSSION.....	39
1. Détermination de la matière sèche.....	40
2. Détermination quantitative des métabolites primaires.....	41
2.1 Teneur en lipides.....	41
2.2 Teneur en fibres.....	42
2.3 Teneur en cendre.....	44
2.4 Teneur en sucres totaux.....	45
2.5 Teneur en protéines brutes	46
3. Métabolite secondaire.....	
3.1 Dosage des phénols totaux.....	
CONCLUSION GENERALE.....	
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	
ANNEXES.	

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Comme l'Algérie possède une flore très variée et diversifiée due à sa répartition géographique et à son climat méditerranéen, cette flore occupe une place assez importante qui ne s'est jamais démentie ; et il est tout à fait remarquable de constater que la plupart des plantes utilisées en thérapeutique de nos jours, ont été découvertes avant l'apparition des méthodes scientifiques d'exploration.

Les légumineuses sont considérées comme des membres importants des forêts tropicales, subtropicales et tempérées à travers le monde (Batlle et Tous, 1997).

Notre choix s'est porté sur une plante utilisée depuis longtemps comme un interchangeable thérapeutique ; il s'agit du Caroubier (*Ceratonia siliqua L.*) de la famille des Légumineuses (Fabaceae), et qui est l'une des plantes médicinales les plus riches et les plus efficaces de nos climats tempérés.

Le caroubier (*Ceratonia siliqua L.*) dont l'origine semble être l'Est de la méditerranée est domestiqué depuis le néolithique 4000 ans avant J.C, et sa culture extensive date au moins de 2000 ans avant J.C. Il peut atteindre une quinzaine de mètres de hauteur, à cime très étalée. Son tronc à la base peut avoir 2 mètres de circonférence et sa longévité est considérable (jusqu'à 200 ans) [Aït Chitt *et al.* (2007) ; Gharnit, (2003)]. C'est une espèce agro-sylvo-pastorale ayant d'énormes intérêts socio-économiques et écologiques. Grâce à son aptitude à développer différentes stratégies d'adaptation aux contraintes hydriques, cet arbre s'installe favorablement dans les zones arides et semi-arides. Les écosystèmes méditerranéens sont caractérisés par des précipitations rares ou irrégulières et par de longues périodes estivales sèches. Ces contraintes climatiques combinées à une pression anthropique, conduisent généralement à une dégradation du couvert végétal et à une érosion rapide des sols. Pour contrecarrer ce fléau, sauvegarder la fertilité des sols et améliorer le niveau de vie de la population rurale, l'utilisation des espèces arborescentes pionnières à usage multiple comme le caroubier, adaptées aux aléas climatiques et pouvant s'installer sur des terrains marginaux, dans les programmes de reboisement et de restauration des sols dégradés reste une bonne stratégie (Rejab, 1995).

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. Ainsi, les gousses entières, la pulpe, les graines et la gomme font l'objet d'un commerce important en direction de l'Europe et ils sont utilisés dans les industries agro-alimentaires, pharmaceutique

(principalement contre les diarrhées), cinématographique, textile et cosmétique. (**Gharnit, 2003 ; Biner et al., 2007**)

Vu son importance, socio-économique et industrielle cet arbre et toutes ses composantes (feuilles, fleurs, fruits, graines, bois, écorce et racine) sont utiles et ont des valeurs dans plusieurs domaines (**Aafi, 1996**) ; dont les gousses plus riches en sucre que la canne à sucre et la betterave sucrière et présentent une valeur énergétique importante (17,5 KJ/g de M.S) [**Biner et al. (2007) ; Avallone et al. (1997)**]. Sont utilisées depuis longtemps, comme nourriture de bétail et en industrie alimentaire humaine et pharmacologique, notamment comme antidiarrhéique, leur richesse en fibres leur confère des vertus hypocholestérolémiantes et hypoglycémiantes ; les composés phénoliques qu'elles contiennent sont à l'origine de leur propriété antioxydante (**Hariri et al., 2009**).

La production mondiale annuelle, essentiellement méditerranéenne, est estimée à 310 000 tonnes/an, dont une bonne partie est fournie par l'Espagne suivie de l'Italie, du Portugal du Maroc et de l'Algérie (**FAOSTAT, 2010**).

Ce mémoire est consacré à l'étude phytochimique de pulpe torréfiée et graine de caroube dont le but de cette recherche consiste à évaluer la valeur nutritive de la caroube.

Dans ce présent travail, nous aborderons en premier lieu dans l'introduction générale l'importance socio-économique et agro-alimentaire de la caroube dans le monde.

Une étude bibliographique qui comporte la présentation de la plante et sa composition chimique ;

Une partie expérimentale qui présente les différents matériels et modes opératoires utilisés.

En suite nous exposerons les résultats obtenus afin de les comparer à des travaux antérieurs cités dans la bibliographie ; nous terminons enfin par une conclusion générale.

PREMIERE PARTIE

SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

1. Présentation du caroubier : *Ceratonia siliqua L.*

1.1 Historique :

Le caroubier (*Ceratonia siliqua L.*) dont l'origine semble être l'Est de la méditerranée est domestiqué depuis le néolithique 4000 ans avant J.C, et sa culture extensive date au moins de 2000 ans avant J.C. [Battle et Tous, (1997) ; Gharnit, (2003) ; Berrougui, (2007)].

Il était connu dans le proche Orient et les îles de la Méditerranée. En Egypte les pharaons ont utilisé la farine du fruit pour rigidifier les bandelettes des momies en XVIIe Siècle avant J.C.

Le caroubier a d'abord été propagé par les grecques, puis par les Arabes et les Berbères de l'Afrique du Nord, en Grèce et en Italie, en Espagne et au Portugal (Rejeb, 1995 ; Gharnit, 2003), ensuite il a été introduit en Amérique du Sud, du Nord et en Australie par les Espagnols. Actuellement le caroubier se trouve aussi aux Philippines, en Iran, en Afrique du sud et en Inde (Berrougui, 2007).

Le caroubier est apparenté au tamarinier; on le connaît parfois sous le nom de «pain de saint Jean», car une légende raconte que Jean-Baptiste se serait nourri de ses graines avec du miel lors de sa traversée du désert (Battle et Tous, 1997).

Pendant la guerre d'Espagne des années trente, Afin d'éviter les ravages des maladies de l'estomac, les enfants mangeaient la caroube et durant la Seconde Guerre mondiale, les troupes militaires sur Malte doivent leur survie sous l'occupation allemande, au caroubier, plus que tout autre aliment.

1.2 Étymologie :

Le nom scientifique du caroubier, *Ceratonia siliqua L.* dérive du grec Keras (=corne) et du latin *siliqua* désignant une silique ou gousse et faisant allusion à la dureté et à la forme de son fruit. Le nom commun serait d'origine hébraïque : *kharuv*, duquel sont dérivés *el kharroube* en arabe, *algarrobo* ou *garrofero* en espagnol, *caroubier* en français, Il est aussi appelé *Carouge*, *Pain de saint Jean-Baptiste*, *figuier d'Égypte*, *fève de Pythagore* (Battle et Tous, 1997).

1.3 Taxonomie :

Le genre *Ceratonia* appartient à la famille des Leguminosae (Fabaceae) de l'ordre des Rosales, Classe des Magnoliopsida (Baumgartner et al, 1986 ; Biner et al, 2007). Les légumineuses sont des flores importantes des forêts tropicales, subtropicales et des végétations tempérées à travers le monde (Batlle et Tous, 1997). C'est l'une des plus grandes familles de plantes à fleurs qui inclut 650 genres et plus de 18 000 espèces (Polhill et al. 1981). Le caroubier est généralement placé dans la tribu des Cassieae, sous famille des Caesalpinioideae. Cependant, certains auteurs tels que Irwin et Barneby (1981) et Tucker (1992a et b), ont émis des réserves en ce qui concerne la véracité de ce positionnement. En plus, certains auteurs ont désigné *Ceratonia* comme étant l'un des genres les plus archaïques des légumineuses (Tucker, 1992a) et qui serait complètement isolé des autres genres de sa famille (Zohary, 1973). C'est l'unique parmi les césalpinées vivant à l'état subspontané au sud de l'Europe (Gharnit, 2003).

Tableau 1 : Classification classique (Lewis, G. et al., 2005)

Règne	<i>Plantae</i> -- plantes
Sous-règne	<i>Tracheobionta</i>
Division	<i>Magnoliophyta</i> --angiospermes, phanérogames
Classe	<i>Magnoliopsida</i> --dicotylédones
Sous-classe	<i>Rosidae</i>
Ordre	<i>Fabales</i>
Famille	<i>Fabaceae</i>
sous-famille	<i>Caesalpinioideae</i>
Genre	<i>Ceratonia</i>
Espèce	<i>Ceratonia siliqua</i>

1.4 Description botanique :

Le caroubier est un arbre ou arbuste à croissance lente (**Quezel et Santa, 1963**), à feuillage abondant, persistant et très dense ; Il peut atteindre une hauteur de 6 à 12 m (**figure 1**). Parfois, les arbres peuvent devenir plus de 20 m, particulièrement quand les conditions environnementales sont favorables (**Kumazawa et al., 2002; Owen et al., 2003**).

Il possède une cime très étalée et un tronc dont la base peut atteindre 2 à 3 mètres de circonférence. Il a une écorce lisse et grise lorsque la plante est jeune et brune, rugueuse à l'âge adulte. Son bois de couleur rougeâtre est très dur. Sa longévité est importante, dépassant souvent les 200 ans (**Boudy, 1950 ; Rejeb et al., 1991 ; Ait Chitt et al., 2007**).

Cet arbre développe un système racinaire pivotant, qui peut atteindre 18m de profondeur (**Aafi, 1996 ; Gharnit, 2003**).



Figure 1 : l'arbre du caroubier (www.exoplantus.fr/.../28BC/4795/caroubier.jpg)

Les feuilles, de 10 à 20 cm de longueur, sont persistantes, coriaces (dure), alternes, pennées, avec ou sans foliole terminale. Les folioles sont de 3-7 cm de long, de forme ovales ou elliptiques, de 4 à 10 normalement par paires opposées, vert foncé et brillante à la face supérieure et vert pâle à la face inférieure, avec des marges légèrement ondulées et des stipules minuscules très caduques (Rejeb *et al.*, 1991 ; Batlle et Tous, 1997 ; Ait Chitt *et al.*, 2007).

Les feuilles sont sclérophylles, ont un épiderme supérieur très épais. Dont les cellules contiennent dans les grandes vacuoles des composés phénoliques, et les stomates sont présents seulement dans l'épiderme inférieur (Mitrakos 1988).

Le caroubier ne perd pas ses feuilles en automne sauf en juillet chaque deux ans, lesquelles sont renouvelées au printemps de la même année, en avril et mai. (Diamantoglou et Mitrakos 1981).

Le caroubier est un arbre dioïque, parfois hermaphrodite et rarement monoïque (Linskens and Scholten, 1980; Batlle et Tous, 1988), dont on distingue trois formes de fleurs (fleurs mâles, fleurs femelles et fleurs hermaphrodites) (Figure 2) qui sont portées sur différents pieds ; les pieds mâles sont stériles et improductifs. Les fleurs sont initialement bisexuelles et au cours de leur développement, l'une des fonctions sexuelle mâle ou femelle est supprimée (Rejeb, 1995 ; Konaté *et al.*, 2007 ; Tucker 1992a); À l'état naturel, on a autant de pieds mâles que de pieds femelles (Batlle et Tous, 1997 ; Condit, 1919).

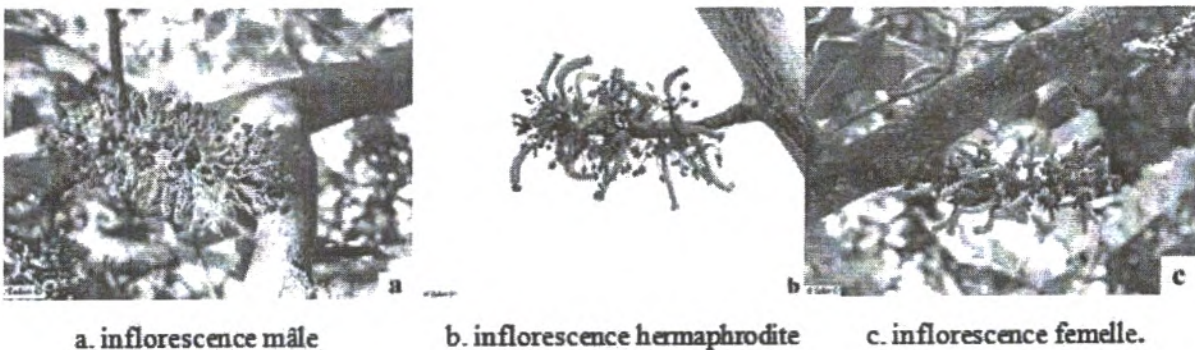


Figure 2 : inflorescences du caroubier (The nature conservancy, 2001)

La floraison apparaît en hiver, sur le vieux bois et parfois sur le tronc (Rejeb, 1995). Les fleurs sont verdâtres, de petite taille (6 à 12 mm de longueur) disposées en spirale et réunies en un grand nombre pour former des grappes droites et axillaires plus courtes que les feuilles à l'aisselle desquelles sont développées (Batlle et Tous, 1997). Les fleurs femelles sont constituées d'un pistil court (6 à 8,5 mm) recourbé avec un petit ovaire plié bi-carpelle (5 à 7 mm) et contenant plusieurs ovules (Ferguson, 1980 ; Batlle et Tous, 1997). Les stigmates sont bilobés et couvertes par des papilles. À la base, le disque nectarifère est entouré de 5 sépales velus et étamines rudimentaires. Par contre, la corolle est absente (Aafi, 1996). Les fleurs mâles se composent d'un disque nectarifère avec 5 étamines à filaments délicats entouré par les sépales poilus. Au centre du disque il y a un pistil rudimentaire ; Les fleurs hermaphrodites sont une combinaison des deux types, contenant un pistil et un complément de 5 étamines (Ferguson 1980).

Les grains de pollen sont ellipsoïdes avec pôles 28 à 29 μm de diamètre et à l'équateur 25 à 28 μm (Ferguson, 1980; Linskens et Scholten, 1980) et peuvent germer facilement (Sfakiotakis, 1978).

Le fruit du caroubier, appelé caroube ou carouge, est une longue gousse indéhiscence à bords irréguliers, de forme allongée, rectiligne ou courbée, de 10 à 30 cm de longueur, 1.5 à 3 cm de largeur et de 1 à 2.5 cm d'épaisseur (Batlle et Tous, 1997 ; Ait Chitt et al., 2007).

La gousse est composée de trois parties : l'épicarpe, le mésocarpe et les graines, elle est séparée à l'intérieur par des cloisons pulpeuses; renferme 4 à 16 graines brunes dont la longueur et la largeur sont respectivement de 8 à 10 mm et de 7 à 8 mm (Rejeb, 1995, Ait Chitt et al., 2007 ; Batlle et Tous, 1997).

La gousse non mûre est verte, humide et très astringente, mais au moment de la maturité, douce et brun foncé à noir entre juillet et septembre (Figure 3) ; Il contient un tissu pulpeux sucré et rafraîchissant (Rejeb et al., 1991).

Le développement du fruit est très long, nécessitant 9 à 10 mois pour atteindre la maturité (Rejeb, 1995). La croissance du fruit passe par trois stades (Ilahi et Vardar, 1976 ; Rejeb et al., 1991 ; Batlle et Tous, 1997) (Figure 4) :

- ✓ Croissance lente avec une légère augmentation du poids (janvier-avril).
- ✓ Croissance rapide (avril-juin).
- ✓ Croissance lente et maturation du fruit (juin-septembre).



Figure 3 : fruits du caroubier (a : fruits non mûres, b : fruits mûres) (The nature conservancy, 2001)

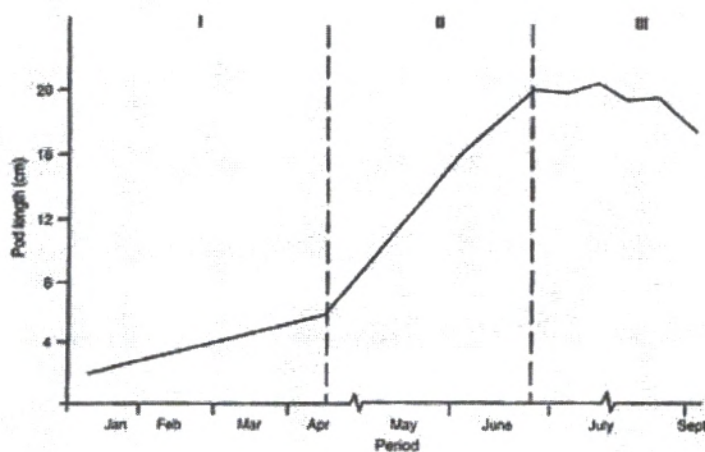


Figure 4 : stades de développement du fruit du caroubier (Ilahi et Vardar, 1976)

1.5 Reproduction biologique :

De nombreux aspects liés à la reproduction biologique du caroubier, tel que la floraison, la pollinisation, la compatibilité entre les différents sexes ou encore entre les cultivars, ainsi que la fructification, restent largement inconnus (Batlle et Tous, 1997). Le caroubier est considéré comme le seul arbre méditerranéen qui fleurit en été: d'août à octobre (Aafi1996) ou en automne: de septembre à novembre (Fournier 1977). Cependant, le temps et la durée de période de la floraison dépendent des conditions climatiques (Batlle et Tous, 1997). Quatre types d'inflorescence décrits par Schroeder (1959) peuvent occasionnellement être rencontrés sur un même arbre:

- les fleurs sont pistillées, ♀
 - les fleurs pistillées avec parfois des fleurs parfaites ou staminées (l'arbre se comporte comme un pied femelle),
 - les fleurs sont parfaites avec parfois des fleurs staminées,
 - les fleurs sont staminées ; la fleur peut démarrer hermaphrodite puis il y a une chute des pistils et la fleur devient staminée du point de vue structure et fonction. ♂
- La multiplication du caroubier peut se faire par semis, bouturage, greffage, marcottage, ou par micropropagation.

Le semis est la méthode classique la plus utilisée pour la multiplication du caroubier. En effet la germination par semis est facilement réalisable, mais elle est entravée par l'impossibilité de connaître le sexe de la plante avant la maturation et la production tardive, qui peut prendre plus de 8 ans (Rejeb, 1995 ; Gharuit, 2005).

Le bouturage est moins utilisé, car il demande des soins très minutieux et une température édaphique élevée (Rejeb, 1995).

Le greffage consiste à greffer les pieds mâles par les femelles. En effet il s'agit de transférer les bourgeons prélevés sur les pieds femelles et de les greffer sur les pieds mâles. Les 1ers rameaux apparaissent au bout de la 3ème semaine. Cette méthode permet aux arbres mâles de donner des fruits à partir de la troisième année, de produire des races garantissant la fructification et la préservation de la conformité des caractères sélectionnés chez la plante mère (Gharuit, 2005 ; Ait Chai et al., 2007).

La micropropagation ou la culture *in vitro* du caroubier est une technique prometteuse, qui permet d'obtenir une plante conforme à la plante d'origine, elle a été réalisée à partir de plantules et de plantes adultes (Sebastian et Mc Comb, 1986 ; Batlle et Tous, 1997), ainsi que de différents explants : nœuds prélevés des plantules issues de germination (Belaizi et al., 1994), bourgeons axillaire(Saidi et al., 2007). Les plantations ont été réalisées surtout en Tunisie et en Algérie (Ramon-Laca L. and Mabberley D.J. 2004)

La pollinisation des fleurs du caroubier est, en grande partie, assurée par les insectes des familles des hyménoptères et des diptères selon les observations de Linsken et Scholten (1980), mais aussi par le vent (Passos de Carvalho, 1988; Tous et Batlle, 1990). Les trois sexes de fleur, sécrètent des substances nectarifères dont la quantité et la contenance en sucre sont élevées dans la fleur femelle par rapport à son homologue mâle (Ortiz et al., 1996). Les fleurs mâles et hermaphrodites dégagent une odeur ressemblant à celle du sperme, ce qui attire les insectes.

La fructification, chez le caroubier, se situe entre juillet et décembre de l'année qui suit la floraison, selon les régions et les cultivars (Aafi, 1996). L'âge d'une première fructification normale d'un caroubier de semis est de 10 ans (Rejeb, 1995). D'après Hasciberg (1996), la variation dans l'intensité d'inflorescence et la production des gousses, est plutôt liée à des facteurs endogènes qu'aux aléas climatiques. Toutefois, des conditions défavorables de l'environnement peuvent entraver, d'une manière significative, la production des fruits (Batlle et Tous, 1997).

Le fruit récolté attend la complète dessiccation avant le stockage. Le rendement est variable selon les provenances, les bioclimats, les substrats et l'âge des arbres (Rejeb, 1995).

1.6 Ecologie du caroubier :

Le caroubier est une espèce typique de la flore méditerranéenne, bien définie dans l'étage humide, subhumide et semi aride (Hmamouchi, 1999).

Il tolère les sols pauvres, sableux, limoneux lourds, rocailleux et calcaires, schisteux, gréseux et des pH de 6,2 jusqu'à 8,6, mais il craint les sols acides et très humides (**Baum, 1989 ; Sbay et Abrouch, 2006 ; Zouhair, 1996**).

En effet, le caroubier peut être endommagé par des températures basses atteignant -4°C et ne peut survivre à -7°C. Par contre, il peut subir des températures ambiantes chaudes tropicales (30°- 45°C) accompagnées de vents secs et chauds sans être visiblement affecté (**Zografakis & Dasenakis, 2002; Owen et al., 2003**).

Notons que pour une maturation complète, les caroubes ont besoin d'une exposition à un total de 5000 à 6000 heures à des températures supérieures à 9°C et donc des températures inférieures peuvent sérieusement affecter la production ; Les vents forts peuvent casser des branches d'arbres adultes et les gousses se détachent, et même peuvent endommager les jeunes arbres, Les pluies d'automne peuvent nuire la pollinisation et affecter les fruits (**Battle et Tous, 1997**).

La sécheresse cyclique a révélé que le caroubier résiste mieux au manque d'eau que le chêne vert, le thuya et l'oléastre qui lui sont associés. C'est une essence, très plastique, héliophile, thermophile, très résistante à la sécheresse (200 mm/an). Il joue un rôle important dans la protection des sols contre la dégradation et l'érosion et dans la lutte contre la désertification (**Zouhair, 1996**). Les études phytosociologiques ont permis de classer le caroubier dans différents groupes végétaux (**Aafi, 1996 ; Gharnit, 2003**) :

Ceratonio siliquae-Tetraclinetum articulatae

Quercu rotundifoliae-Tetraclinetum sous association *Ceratonietosum*

Clematidi cirrhosae-Ceratonietum siliquae .

2. Origine du caroubier :

Le lieu d'origine du caroubier demeure un sujet à plusieurs suppositions. Toutefois, **De Candolle (1983)** et **Vavilov (1951)** ont rapporté qu'il serait native de la région Est méditerranéenne (Turquie et Syrie).

Par contre, **Schweinfurth (1894)** a insinué qu'il est originaire des pays montagneux du Sud d'Arabie (Yémen). 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.

3. Distribution géographique du caroubier :

Le caroubier est un arbre typiquement méditerranéen. Son aire de répartition s'étend sur l'Asie mineure, l'Afrique du Nord, l'Europe méridionale et la péninsule Ibérique, en effet son lieu d'implantation va de l'Espagne à la Syrie en passant par le Portugal, le Maroc, l'Algérie, la Tunisie, la Libye, l'Égypte, la Turquie, le Chypre, Yougoslavie, la Grèce, Italie et la France (**Boudy, 1950 ; Gharnit, 2003 ; Rejeb, 1995**). Il a été introduit avec réussite dans d'autres pays, notamment en Australie, en Afrique du Sud, aux États-Unis, aux Philippines, ainsi qu'en Iran (**Figure 5**) (**Rejeb *al.*, 1991**).

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**).



Figure 5 : Centre d'origine et distribution du caroubier dans le monde (Batlle et Tous, 1997)

4. Composition chimique de la caroube :

La gousse de caroube est le fruit du caroubier se compose principalement de la pulpe et les graines qui représentent respectivement 90% et 10% de son poids total. Selon plusieurs auteurs, la composition chimique de la pulpe dépend, en générale, du cultivar, de l'origine et parfois de la période de récolte (Yousif et Alghzawi, 2000; Vardar et al., 1972; Calixto et Cañellas, 1982; Albanell et al., 1991).

La pulpe est très utilisée soit comme aliment diététique, soit comme remplaçant du chocolat, soit encore en alimentation animale. Elle est très riche en sucre en particulier, Saccharose, glucose, fructose et maltose (Tableau 2), mais pauvre en protéines et en lipides dont les acides saturés et insaturés sont en proportions égales (LEROY, 1929 ; Puhan et Wieling, 1996). A partir d'extrait de gousses, cinq acides aminés, en l'occurrence, l'alanine, la glycine, la leucine, la proline et la valine, ont été isolés par Vardar et al., (1972) et deux autres composés, tyrosine et phénylamine, ont été rapporté par charalambous et Paconstantinou (1966). En plus, la pulpe présente également une teneur très élevée en fibres et une quantité non négligeable de tanins condensés et des vitamines A, B, B2, B3 et D (Saura- Calixto, 1987; Puhan et Wielinga, 1996; Makris et Kefalas, 2004). Par ailleurs, l'analyse

minéralogique faite, par **Puhan et Wielinga (1996)**, sur la pulpe, a révélé une composition (en mg/100g de pulpe) de: K= 1100, Ca= 307, Mg= 42, Na= 13, Cu= 0.23, Fe= 104, Mn= 0.4, Zn= 0.59.

Tableau 2 : Composition moyenne de la pulpe de caroube

Constituant	%	173
Sucres totaux	48 – 56	
Sucrose	32 – 38	
Glucose	5 – 6	
Fructose	5 – 7	
Pntol	5 – 7	
Tannins	18 – 20	
Polysaccharides non amines	18	
Cendre	2 – 3	
Lipides	0.2 – 0.6	

Puhan et Wielinga (1996: cité dans Batlle et Tous. 1997)

La graine est composée de 30 à 33% d'enveloppe tégumentaire, de 42 à 46% de l'albumen et de 23 à 25% d'embryon (**Neukom 1988**). L'enveloppe tégumentaire est considérée comme étant une source naturelle pour la production de polyphénol antioxydant (**Batista et al., 1996; Makris et Keflas, 2004**). L'albumen est essentiellement constitué de gomme ou galactomannane, qui est une molécule polysaccharidique composée de deux unités de sucre, mannose et galactose, à une proportion de 4:1, peu similaire à la gomme de guar (*Cyamopsis tetagonolobus*) (2:1) et celle de Tara (*Colosasia esculenta L.*) (3:1) (**Figure 6**). Ce polysaccharide naturel est doté de diverses propriétés importantes, à savoir une haute viscosité dans l'eau, même à température et à pH variables (**García-Ochao et Casas 1992**).

La gousse du caroubier présente une valeur énergétique importante similaire à celle de la plupart des céréales (17,5 KJ/g de M.S) [**Biner et al. (2007) ; Avallone et al. (1997)**].

Selon **Noblet et al., (1989)**, la valeur d'énergie métabolique (EM) de la farine de caroube est estimée à 13.1MJ EM/kg de produit frais. Cette richesse pourrait être exploitée et utilisée en biotechnologie comme un substrat de fermentation pour les microorganismes.

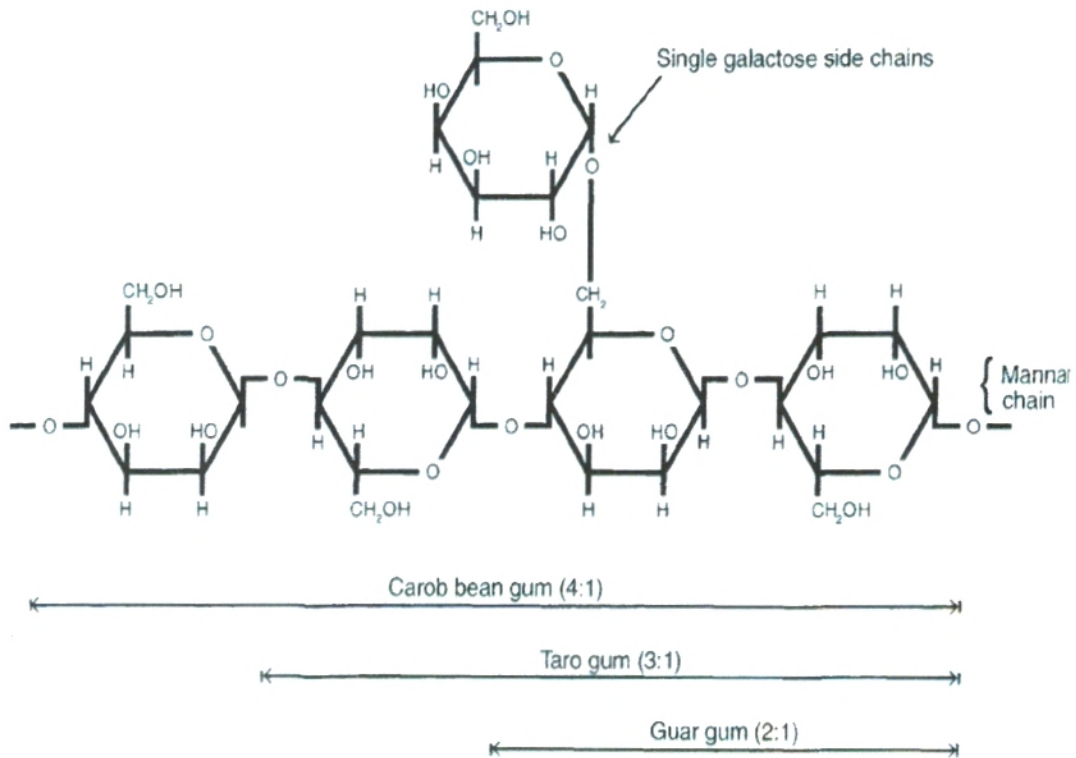


Figure 6 : Gomme de caroube, de Taro (*Colosasia esculenta* L.) et de Guar (*Cyamopsis tetagonolobus*) (de Puhan et Wiellinga 1996)

5. Intérêts et utilisations du caroubier

Le caroubier est un arbre d'importance écologique, socio-économique, industrielle et ornementale indiscutable. En terme de produits, l'arbre et toutes ses composantes (feuilles, fleurs, fruits, graines, bois, écorce et racine) sont utiles et ont des valeurs dans plusieurs domaines (**Aafi, 1996**).

5.1 Arbre

En raison de sa rusticité et de son adaptation aux contraintes de l'environnement, le caroubier est souvent utilisé, pour le reboisement et la reforestation des zones affectées par l'érosion et la désertification (Boudy, 1950 ; Rejeb *al.*, 1991 ; Biner *et al.*, 2007).

Il est également utilisé comme plante ornementale en bordure des routes et dans les jardins 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) (Rejeb, 1995). Le bois jeune est blanc jaunâtre et rouge foncé quand il est utilisé en ébénisterie et surtout dans la charbonnerie (Lavallée P, 1962).

5.2 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 utilisés dans plusieurs domaines (Batlle et Tous, 1997)

✓ Pulpe

La pulpe sucrée de la caroube est employé depuis longtemps, comme nourriture de bétail à côté d'autres aliment comme la farine d'orge (Ait Chitt *et al.*, 2007). Elle est utilisée dans l'industrie alimentaire humaine, grâce à sa teneur élevée en sucres. Elle a été le premier produit d'horticulture utilisé en fermentation, dans plusieurs pays méditerranéens, pour la production d'alcool ; à raison de 20 à 25L d'alcool par 100 kg de pulpe et d'acide citrique (Youssif *et al.*, 2000 ; Makris et Kefalas, 2004 ; Dakia *et al.*, 2007). En Egypte, les sirops à base de fruits de caroube constituent une boisson populaire (Batlle et tous, 1997).

En pharmacopée traditionnelle, la pulpe est utilisée contre la diarrhée et pour le traitement de certaines maladies comme la gastrite, l'entérite, les angines, les rhumes, le cancer la

tuberculose pulmonaire, les affections des bronches... (Crosi et al., 2002 ; Gharnit, 2003 ; Ait Chitt et al., 2007).

Les fibres solubles de la pulpe peuvent avoir un effet préventif ou curatif sur la santé humaine et animale, grâce à la réduction du risque de thrombose la diminution de pression sanguine et le taux de cholestérol dans le sérum (Williams et al., 1995 ; Beagger et al., 1996).

Selon certains auteurs, les organismes unicellulaires jouent un rôle important dans l'amélioration et la conversion de la pulpe en fourrage hautement riche en protéines. En effet, les extraits de sucres des gousses ont fourni un excellent substrat pour la culture fongique tel que *Aspergillus niger* et *Fusarium moniliforme*. Les mycéliums, une fois, séchés ont donné du fourrage agréable et nutritif, contenant plus de 38% de protéines brutes par rapport à leur poids (Imrie, 1973; Sekeri-Pataras et al., 1973).

Par ailleurs la farine issue de la pulpe peut servir comme ingrédient de certains menus de pâtisseries: gâteau, pain, bonbon, crème glacée, boisson (NAS, 1979; Vidal, 1985) ou être utilisées comme substituant du cacao dans le chocolat, car elle est moins calorifique et ne contient ni caféine ni théobromine (alcaloïdes) qui peut provoquer une réaction allergique, ni la tyramine qui peuvent causer des migraines (Whiteside, 1981; Craig et Nguyen, 1984).

De nombreuses études ont démontré l'influence positive de la farine de caroube sur la performance et la santé des animaux soumis à un régime alimentaire (Lizardo et al., 2002).

En effet elle joue un rôle effectif dans la suppression des parasites intestinaux (Min et Hart 2003) et dans le traitement de diarrhée (Serairi-Béji et al., 2000). Les tanins, pectine et β -carotène ont été, jadis, utilisés en Egypte dans la médecine «traditionnelle» pour traiter la diarrhée (Hamed et al., 2003).

✓ Graines

Tous les constituants de la graine du caroubier (tégument, endosperme et cotylédon), jouent un rôle industriel et médical important ; L'utilisation possible, dans l'industrie alimentaire, de polyphénol antioxydant naturellement dans l'enveloppe tégumentaire (Makris et Kafalas,

2004). Mais la gomme issue de l'endosperme constitue le 1/3 du poids total de graine et 100kg de graines produisent en moyenne 20kg de gomme pure et sèche (**Jones, 1953**), reste la plus importante puisqu'elle est utilisée, comme agent stabilisateur, gélifiant, fixateur dans différents domaines de l'industrie agroalimentaire (fromage, mayonnaise, salades, glace...), un additif alimentaire naturel, connu sous le nom E 410, la cosmétique (crèmes, dentifrices...), l'industrie pharmaceutique (médicaments, sirops...) pour fabriquer des revêtements pour les pilules, la tannerie, le textile, imprimerie, photographie, matière plastique, encre, cirage... ;La gomme de caroube prise avant les repas va donc couper la sensation de faim et favoriser un régime amincissant. Les pilules contenant des extraits de caroube sont utilisés par les sportifs lors de performances extrêmes (**Battle et Tous, 1997 ; Biner et al., 2007 ; Dakia et al., 2007**).

En outre, vu leur uniformité, les graines de caroube sont appelées 'carats' et ont servi pendant longtemps aux joailliers comme unité de poids pour peser les diamants, les perles et autres pierres précieuses (1 carat = 205,3mg). Jusqu'à présent le poids des diamants est désigné en « carats». (**Rejeb, 1995**).

5.3 Feuilles

Dans les domaines forestiers, les pieds mâles sont souvent taillés pour le fourrage. Plusieurs études ont montré que l'utilisation des feuilles associées avec le polyéthylène glycol (PEG) améliore la digestibilité et la qualité nutritive des tanins contenus dans les feuilles (**Silanikove et al., 1996; Priolo et al., 2000 ; Rejeb et al., 1991**) ont estimé la valeur nutritive des feuilles du caroubier à 0,29 UF/kg de matière sèche (**Rejeb, 1995**). Les extraits foliaires des feuilles qui contiennent de tanins ont été également désignés comme étant porteurs des activités cytotoxiques et antimicrobiennes (**Kivçak et Mart, 2002**).

5.4 Les autres parties de l'arbre

La fleur est utilisée par les apiculteurs pour la production du miel de caroube ou miel d'automne, alors que l'écorce et les racines ont été toujours utilisées en tannerie grâce à leur teneur en tanins, particulièrement dans l'achèvement et l'émaillage des peaux (**Ait Chitt et**

al., 2007; Battle, 1997). En Turquie, elle a été également utilisée par la médecine 'traditionnelle' comme remède anti-diarrhée (Baytop, 1984).

6. Production du caroubier :

La production mondiale des caroubes est estimée à 310 000 tonnes par an, produites dans une superficie d'environ 200 000 ha, soit 1,55 tonne/ha. Cette production est concentrée principalement en Espagne, Italie, Portugal, Maroc, Grèce, Chypre, Turquie, Algérie... (Zografakis et Dasenakis, 2002 ; Sbay et Abrouch, 2006, Ait Chitt et al., 2007)(Tableau 3)

Tableau 3 : production mondiale des gousses et des graines de caroubier en tonnes.

Pays	Production (2008)			
	Gousses	%	Graines	%
Espagne	90 000	36	9 000	28
Maroc	60 000	24	12 000	38
Italie	25 000	10	2 500	8
Portugal	25 000	10	2 500	8
Grèce	19 000	8	1 900	6
Turquie	14 000	6	1 400	4
Chypre	7 000	3	700	2
Algérie	10 000	4	1 000	3
Liban	1 000	<1	100	<1
Tunisie	3 000	<1	300	1
Autres pays	1 000	<1	100	<1
Total	250 000	100	31 500	100

Source: Données FAOSTAT (FAO, 2010)

Tableau 4 : Superficie occupée par le caroubier (FAOSTAT 2010)

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

Durant le siècle dernier, la production mondiale de caroube a connu une chute dramatique, elle est passée de 650.000t en 1945 (**Orphanos et Papaconstantinou 1969**) à 310.000t en 1997. La grande perte a été enregistrée en Espagne où la production a chuté de 400.000t en 1930 à 150.000t en 1990 (**MAPA, 1994**).

Selon **Battle (1997)**, la régression accusée dans la production du caroubier a été principalement liée à la baisse des prix et aux programmes du développement des zones côtières au dépend des plantations de caroubier.

On remarque qu'en Algérie la surface cultivée a baissé par rapport aux données enregistrées en 2004, car il n'est plus utilisé comme plante fourragère pour l'aliment de bétails au profit de l'orge et c'est dû à son coût élevé et son rendement lent (10 à 15 ans après sa plantation).

DEUXIEME PARTIE

MATERIELS ET METHODES

1. Préparation du matériel biologique végétal :

Le matériel végétal, constitué de poudre de pulpe torréfiée et tamisée et des graines de gousses de caroubier mûres (**figure7**) ; a été fourni par monsieur Abdelhak Boublenza exportateur algérien de la farine de caroube.

Au laboratoire, nous avons broyé les graines de gousses, ensuite les échantillons sont conservés dans des flacons en verre à l'abri de la lumière et l'humidité pour des analyses ultérieures

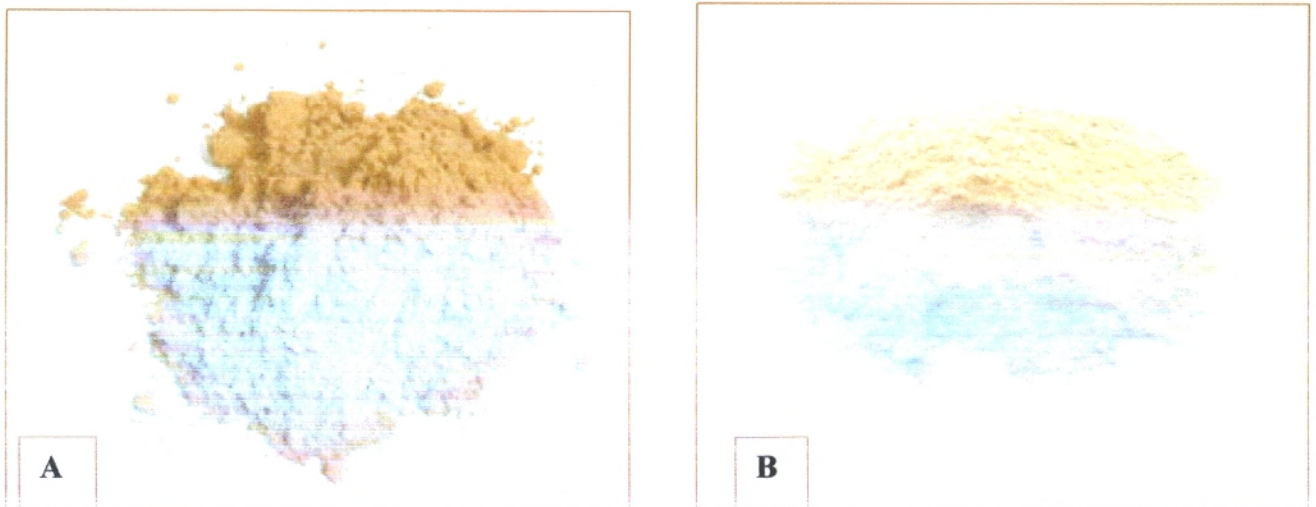
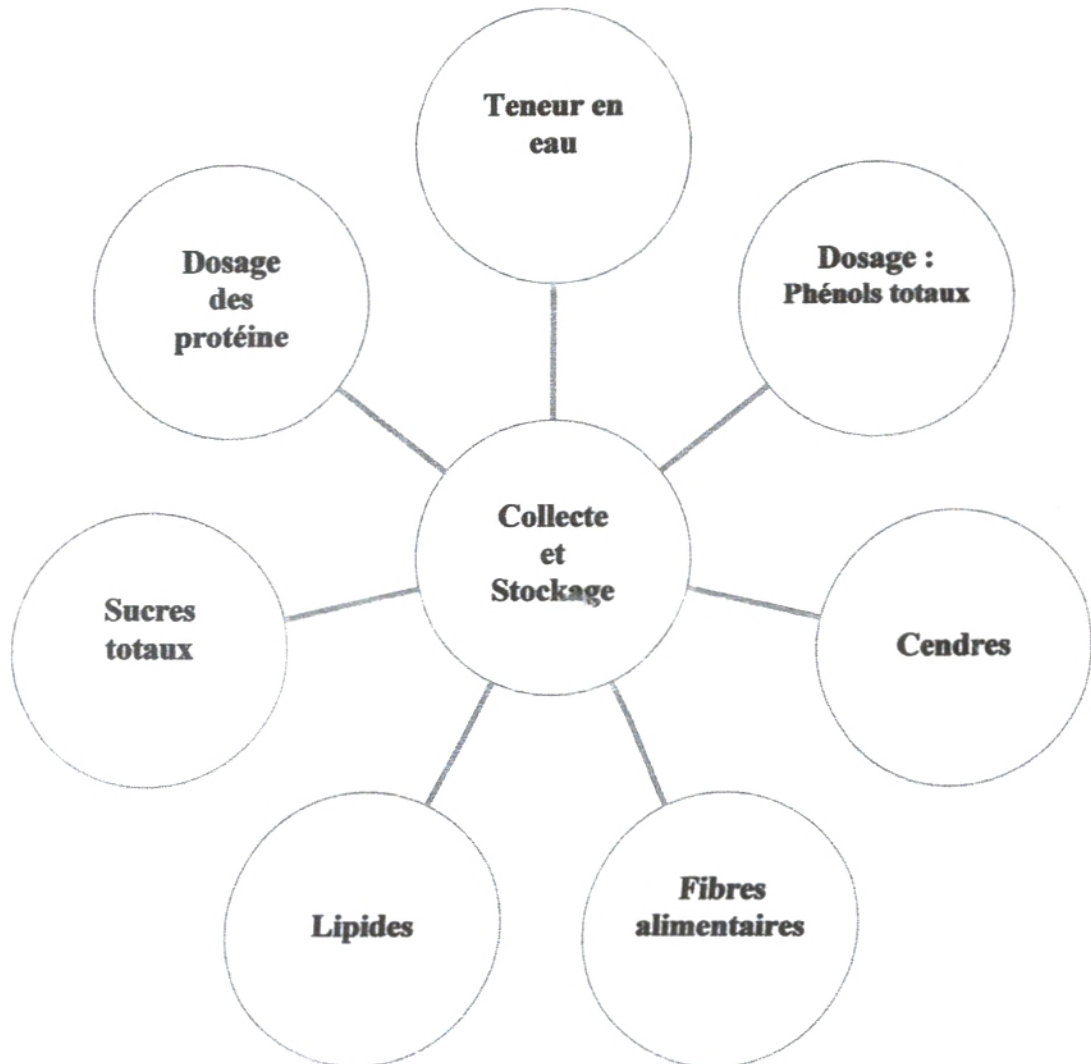


Figure7 : (A) La poudre de pulpe de caroube, (B) graines broyées

2. Plan de travail :



3. Méthodes d'analyses utilisées :

3.1. Détermination de la matière sèche: (Audigie et al, 1980)

a. Principe :

On procède à une dessiccation de l'échantillon à analyser dans une étuve à la température de 100°C à 105°C et sous la pression atmosphérique jusqu'à l'obtention d'une masse pratiquement constante. Pour éviter toute reprise d'humidité, il convient d'opérer dans des vases de tare, placées dans un dessiccateur.

b. Mode opératoire :

- Sécher à l'étuve, les vases de tare pendant 30 minutes à 100°C avec couvercles inclinés ;
- Laisser refroidir dans un dessiccateur durant 20 à 30 minutes, puis peser les vases de tare avec les couvercles, c'est **P1**;
- Mettre dans chaque vase 2 g d'échantillon moulu, fermer les couvercles et peser, c'est **P2** ;
- Placer les vases qui contiennent l'échantillon dans l'étuve pendant 3 h à 105°C avec couvercle incliné. Après mettre rapidement les couvercles et laisser refroidir au dessiccateur pendant 15 minutes et peser, c'est **P3**;
- Remettre les vases à couvercles inclinés dans l'étuve durant 1 heure et peser comme précédemment.
- La différence entre deux pesées doit être inférieur à 2 mg, si non l'opération est renouvelée jusqu'à poids constant.

c. Expression des résultats :

Le taux d'humidité (%) d'un échantillon de matériel végétal est donné par la formule suivante :

$$\text{Taux d'humidité \%} = [(P_2 - P_3) / (P_2 - P_1)] \times 100$$

Dont :

P₁ : masse en g de la vase de tare.

P₂ : masse en g de la prise d'essai avant séchage.

P₃ : masse en g de la prise d'essai après séchage.

A partir de la teneur en humidité on peut déterminer le taux de matière sèche qui est donné par la formule suivante:

$$\text{Taux de matière sèche \%} = 100 - \text{Taux d'humidité \%}$$

4. Détermination quantitative des métabolites primaires:

4.1. Dosage des lipides totaux: [Lecoq, 1965]

a. Principe :

Afin d'éliminer le reste d'humidité, l'échantillon à analyser subit un séchage à l'étuve à 40 °C/ 14 heures.

L'extraction par solvant organique (Hexane) pour la détermination du taux de la matière grasse est réalisée avec un appareil de type Soxhlet. (Figure 9)

Après évaporation du solvant, le taux de matière grasse brute est déterminé gravimétriquement selon la méthode directe.

La méthode directe consiste à peser l'huile obtenue directement après évaporation du solvant d'extraction.



Figure 9 : Appareil de Soxhlet

b. Mode opératoire :

Une enveloppe séchée préparée spécialement et pesée.

Après avoir taré l'enveloppe, placer 1 ou 2 g de l'échantillon à analyser (séché): **m**

L'enveloppe est placée dans l'appareil de soxhlet, la durée l'extraction dépend de la quantité d'huile présente dans l'échantillon à analyser : elle est de 3 -10 heures (pauvres en huile) et de 10 -12 heures (riche en huile).

- peser le ballon vide séché poids A (**PA**).
- peser le ballon + huile extraite poids B (**PB**).
- m : masse en gramme d'échantillon séché.

c. Expression des résultats :

Le rendement (Rt) ou le taux en matière grasse brute est donné par la formule suivante:

$$Rt = (PB - PA/m) \times 100$$

Rt : Rendement.

4.2.Détermination de la teneur en fibres alimentaires :

Il est réalisé par la méthode de **Henneberg et Stohmann, 1860** appelée aussi la méthode **Weende** en utilisant un extracteur des fibres brutes **FIWE-VELP SCIENTIFICA** (figure10).

a. Principe :

Elle consiste à traiter l'échantillon à analyser successivement avec de l'acide sulfurique et de la potasse. L'hydrolyse acide/ basique (à chaud) permet de solubiliser la quasi-totalité du contenu cellulaire à l'exception des fibres alimentaires et des sels minéraux.

Le résidu obtenu sera séché, incinéré puis pesé.



Figure 10 : appareil extracteur de fibres

b. Mode opératoire :

- Préparer deux solutions : l'une d'acide sulfurique à 1.25 % et l'autre de l'hydroxyde de potassium (KOH) à 1,25 % ;
- introduire dans un creuset 1g d'échantillon séché et broyé puis ajouter 150ml de H₂SO₄ à 1,25% ;
- après préchauffage et juste au début d'ébullition ajouter trois gouttes de N-octanol comme agent d'anti-mousse et compter exactement 30minutes ;
- vidanger l'acide sulfurique tout en lavant trois fois avec 30ml de l'eau distillée chaude ;
- ensuite ajouter 150 ml de KOH à 1.25 %, préchauffer, ajouter 3 gouttes de N-octanol et compter encore une fois 30 minutes ;
- procéder à un deuxième lavage avec 30 ml de l'eau distillée chaude ;
- le lavage est répété trois fois avant d'effectuer un dernier lavage avec de l'eau distillée froide (30 ml) ;
- enfin, la dernière étape consiste à rincer les résidus contenus dans les creusets 3 fois avec 25 ml d'acétone ;
- introduire les creusets dans une étuve réglée à 105°C pendant une heure (1h) jusqu'à un point constant (M₂) ; ce poids représente les fibres brutes plus la teneur en cendres par rapport au poids initial, pour cela, il est nécessaire de poursuivre l'opération en plaçant les creusets dans un four à moufle à 550°C jusqu'à ce que la couleur des résidus deviendra blanche grisâtre ;
- laisser les creusets refroidir dans un dessiccateur et peser les (M₃).

c. Expression des résultats :

La teneur en fibres brutes est calculée par la formule présentée ci- dessous :

$$F \% = (M_2 - M_3) \times 100$$

F : est le pourcentage des fibres brutes.

4.3. Détermination de la teneur en cendres (matière minérale) : (Audigie et Dupont, 1982)

a. Principe :

Le principe consiste à une incinération du matériel biologique au four à moufle dans un creuset en porcelaine à une température de 900°C.

L'opération ne sera terminée que lorsque la couleur des résidus deviendra blanche grisâtre qui se transformera en une couleur blanche après refroidissement.

b. Mode opératoire :

On procède d'abord à une pré-incinération des creusets en porcelaine à 300°C pendant 15 minutes ;

- après refroidissement dans un dessiccateur, ils sont pesés (poids A) ;

- on met 2g de l'échantillon broyé dans les creusets et on les introduit dans un four à moufle à 750°C jusqu'à ce que le contenu des creusets prenne une couleur blanc grisâtre qui blanchit après refroidissement dans un dessiccateur ;

- enfin, on pèse les creusets avec les cendres (c'est le poids B).

$$Tc (\%) = \frac{B - A}{m} \times 100$$

Dont :

Tc : teneur en cendres (%).

A : poids de creuset vide (g).

B : poids de creuset + échantillon après l'incinération.

m : masse de l'échantillon (g).

4.4. Dosage des sucres totaux :

a. Principe :

Le dosage des sucres totaux est effectué par la méthode de phénol / acide sulfurique (Dubois et al, 1956).

Cette dernière nécessite une hydrolyse acide qui permet la rupture de toutes les liaisons glucidique dans le polyside.

Le principe du dosage se base sur la condensation des produits de déshydratation des oses avec un chromogène qui est le phénol. A ce moment là ils se forment des chromophores de couleurs jaunes- orange, leur apparition est suivie en mesurant l'augmentation de la densité optique à 490nm.

La teneur des sucres est exprimée en $\mu\text{g} / \text{ml}$ (converti en gramme / litre) de $\alpha \text{D} (+)$ Glucose à partir d'une courbe d'étalonnage.

b. Mode opératoire :

• **Préparation de l'échantillon :**

- On additionne à 0.5g d'échantillon, 20 ml d'acide sulfurique (H_2SO_4) 0.5 M, puis on place l'ensemble dans une étuve réglée à 105°C pendant 3 heures ;

- on transverse la solution dans une fiole de 500ml tout en ajustant le volume par de l'eau distillée jusqu'à 500ml ;

-On filtre la solution et on conserve à 4°C ;

On réalise des dilutions de 1/3 à partir de ce filtrat ;

-On prépare 03 essais.

-Dans des tubes en pyrex (\varnothing 2cm), on dépose avec précaution 1 ml de chaque essai, ajouter 1 ml de phénol à 5% et 5 ml d'acide sulfurique (H_2SO_4) concentré

-Après agitation (vortex) les tubes sont maintenues, dans l'étuve pendant 5 minutes à 100°C , on les laisse les dans l'obscurité pendant 30 minutes ;

Enfin, on lit la densité optique à une longueur d'onde de 490 nm.

En parallèle, on trace la courbe d'étalonnage de la façon décrite dans l'**annexe**.

- la courbe d'étalonnage :

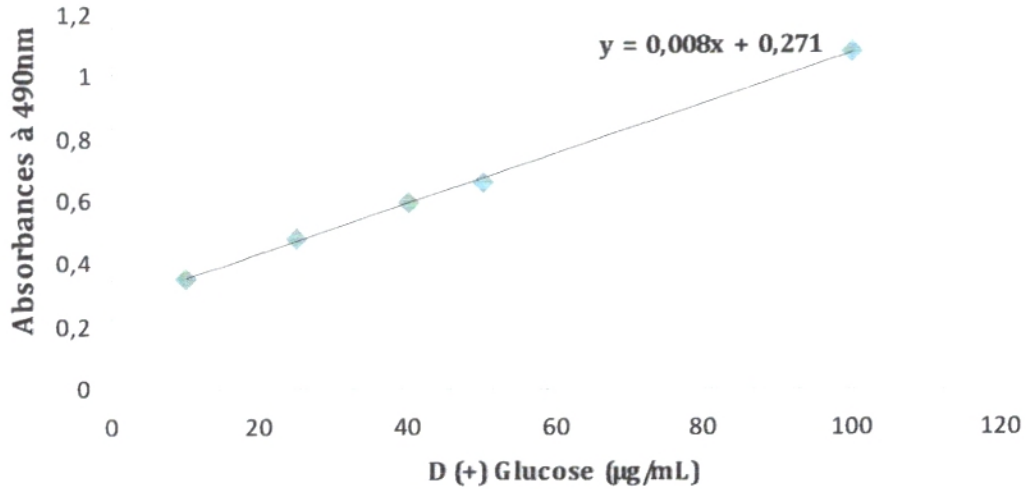


Figure 11: Courbe d'étalonnage pour le dosage des sucres totaux

4.5. Dosage des protéines brutes : (Kjeldahl, 1883)

a. Principe :

Pour déterminer la quantité des protéines contenue dans un échantillon, on procède à un dosage de l'azote total par la méthode de **Kjeldahl** qui a été développée en **1883** par un chimiste danois « **Johan KJELDAHL** ». Cette dernière s'effectue en trois phases :

- Digestion (minéralisation) ;
- distillation ;
- titration.

b. Mode opératoire :

• **Minéralisation :**

Elle se fait dans une unité de digestion **BÜCKI Digest system K-437**(figure11).

Dans un matras de **Kjeldahl**, on introduit :

- 1 g du matériel biologique broyé.
- 2 g de catalyseur (voir annexe).
- 25 ml de H₂SO₄ concentré à 97 %.
- 2 ml d'H₂O₂ (eau oxygénée) à 30 %.

On chauffe le matras jusqu'à ce que la couleur noire se transforme en une couleur limpide et à ce moment-là l'azote organique soit transformé en azote minéral.

Ensuite, on laisse refroidir et on transverse l'échantillon minéralisé dans une fiole, on lave le matras avec l'eau distillée tout en ajustant le volume jusqu'à 100 ml.



Figure 12 : Minéralisateur

- **Distillation :**

Elle se fait dans une unité de distillation **BÜCKI distillation Unit B-324 (figure12)**.

Dans un matras, on introduit 10 ml du contenu de la fiole auquel on additionne 20 ml d'eau distillée et 30 ml de la soude à 35 %.

En parallèle, on prépare une solution d'acide sulfurique à 0.1N avec 2 à 3 gouttes d'Indicateur de Tashiro (**annexe4**).

La distillation s'effectue dans un appareil spécifique et elle est arrêtée au bout de 4 minutes à compter du début d'ébullition.



Figure 13 : Distillateur

- **Titration :**

Puisqu'on utilise l'acide borique comme solution de récupération. On va alors titrer l'excès des anions de borate avec la solution de HCl à 0.1N jusqu'à changement de la coloration du vert au rose-violet du au virage de l'indicateur de Tashiro.

c. Expression des résultats :

L'azote total est calculé suivant la formule représentée si- dessous :

$$\text{L'azote total (\%)} = N \% = (V_b - V_e) \times N \times f \times 0.014 \times 10 \times 100/m$$

Dont :

V_b : Volume en ml de la solution de HCl à 0.1N nécessaire pour neutraliser l'excès des anions de borate présent dans l'essai à blanc.

V_e : Volume en ml de la solution de HCl à 0.1N nécessaire pour neutraliser l'excès des anions de borate présent dans l'échantillon à analyser.

N: normalité de HCl utilisée pour titration (0.1N).

f : facteur de correction de la solution de HCl.

m: masse en g de la prise d'essai.

10: coefficient du volume total de la solution à doser.

100: coefficient du pourcentage.

Le taux d'azote total est converti en taux de protéines brutes selon la formule suivante :

$$\text{Taux de protéines brutes (\%)} = N \text{ total (\%)} \times 6,25$$

D'où 6,25 est le facteur de conversion basé sur le taux moyen d'azote des protéines.

5. Détermination quantitative des métabolites secondaires:

5.1. Dosage des composés phénoliques :

a. dosage des phénols totaux

➤ Extraction

Une prise d'essai de 2 g du matériel végétal dégraissé est macéré avec 100 ml du mélange acétone /eau (70% v/v) pendant 24 heures, à température ambiante.

Après filtration sous vide, Le mélange acétone/eau, est évaporé (en utilisant le rotavapor) à sec sous pression réduite à 45°C. Le résidu obtenu est récupéré avec 3ml de méthanol pur, pour les dosages ultérieurs [Yu et Dahlgren, 2005].

➤ Dosage par la méthode de Folin Ciocalteu:

❖ Principe:

La réaction est basée sur la réduction de l'acide phosphomolybdique du réactif Folin-Ciocalteu (un acide de couleur jaune, constitué de polyhétérocycles acides contenant du molybdène et tungstène) par les polyphénols en milieu alcalin [Catalano et al, 1999].

Elle se traduit par l'apparition d'une coloration bleu foncée due à la formation d'un complexe molybdène tungstène mesuré au spectrophotomètre

❖ Mode opératoire:

Le dosage des polyphénols est effectué par la méthode de Singleton (1965) reporté par Dogyan et al (2005).

Le résidu obtenu après l'extraction est dissout dans 5 ml d'eau distillée, puis 100µl de cette solution mère est diluée jusqu'à 3 ml. Ensuite ajouter 0.5ml du réactif de Folin Ciocalteu.

-Laisser réagir pendant 3 minutes. Après, ajouter 2 ml de carbonate de sodium à 20%.

-Vortexer le mélange et laisser incuber à l'obscurité pendant 1 heure.

-Lire l'absorbance à 650nm.

La teneur en polyphénols totaux est déterminée à partir d'une équation de la régression linéaire déduite de la courbe d'étalonnage (**annexe 6**) et exprimée en milligramme équivalent de pyrocatechol par 100 gramme de matière sèche.

L'équation est donnée si dessous:

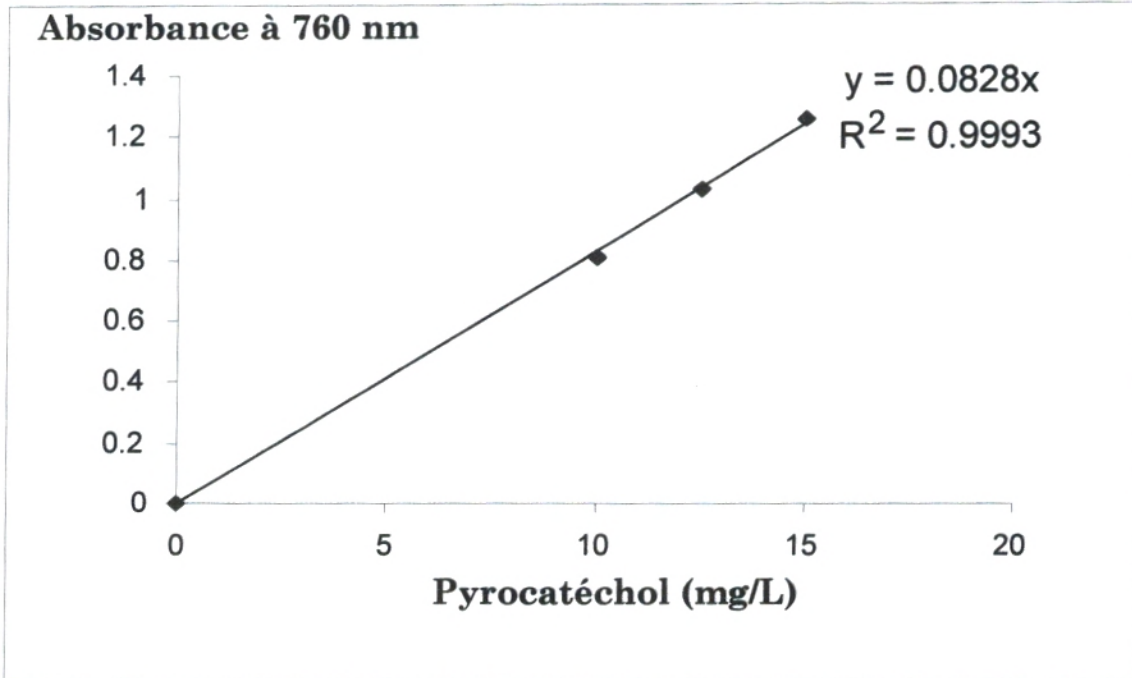


Figure 14: Courbe d'étalonnage standard pour le dosage des polyphénols.

On obtient une valeur X mg équivalent de pyrocatechol / 100g de matière sèche.

La formule suivante permet le calcul de la teneur en phénols totaux exprimés en mg/g.

$$T = A \times \frac{V \times D}{Ps}$$

T : teneur en phénols totaux

A : absorbance à λ max

V : Volume de l'extrait total

D : facteur de dilution

Ps : poids de la matière sèche.

TROISIEME PARTIE

RESULTATS ET DISCUSSION

Notre analyse dans le laboratoire a été réalisée sur une pulpe torréfiée, ce qui explique la faible teneur en humidité.

2. Détermination quantitative des métabolites primaires:

2.1 Teneur en lipides :

Les lipides sont les nutriments les plus riches en énergie (1 gramme de lipides produit 9 kcal) nécessaires à notre équilibre alimentaire de point de vue de l'apport en acide gras essentiels et en vitamines liposolubles, ce sont des matières organiques insolubles dans l'eau mais solubles dans les solvants organique.

De multiples paramètres influent sur le taux de matière grasse comme la granulométrie, l'humidité, la nature du solvant et la méthode d'extraction utilisée.

Dans le diagramme ci-dessous (**figure 16**) sont illustrées les teneurs en lipides de la pulpe torréfiée et de la graine de caroube étudiée, exprimées en pourcentage de matière sèche (MS).

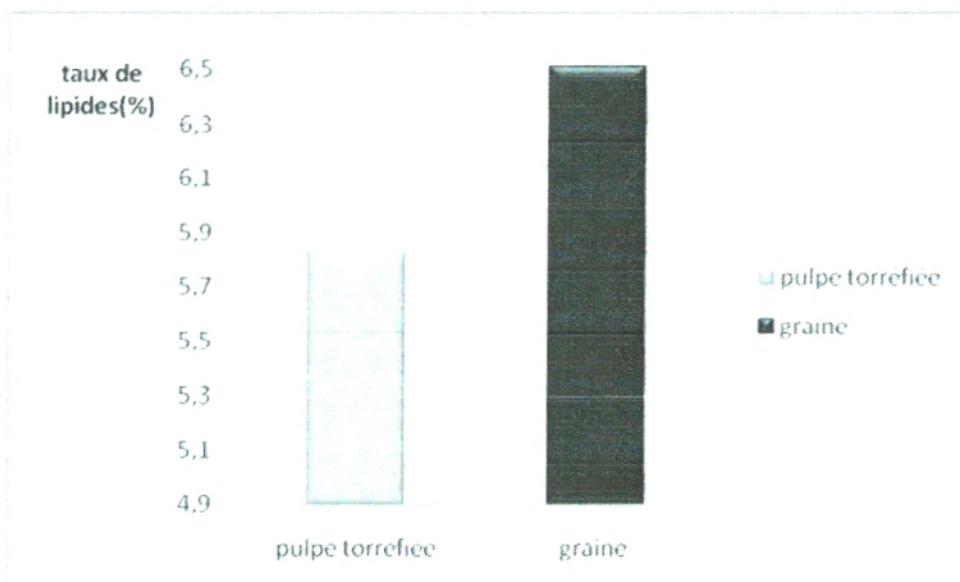


Figure 16 : Teneur en lipides en % de MS de pulpe torréfiée et de graine de caroube étudiées

1. Détermination de la matière sèche :

L'appréciation de la teneur en matière sèche repose sur la détermination du taux d'humidité contenue dans l'échantillon à analyser, cette humidité qui reste un indice très important, elle donne une idée sur la qualité de notre échantillon, elle accélère la germination et favorise le développement des microorganismes lors du stockage.

L'analyse du taux d'humidité de pulpe torréfiée de caroube est de 5% ; alors que dans la graine est de 14.05%. A partir de ces valeurs on a pu déterminer le pourcentage en matière sèche (MS).

Le diagramme suivant (**figure 15**) représente les taux de matière sèche de pulpe torréfiée et de graine de caroube, on remarque le taux de matière sèche est plus important dans la pulpe torréfiée qui comprend 95% que dans la graine qui renferme 85.95%.

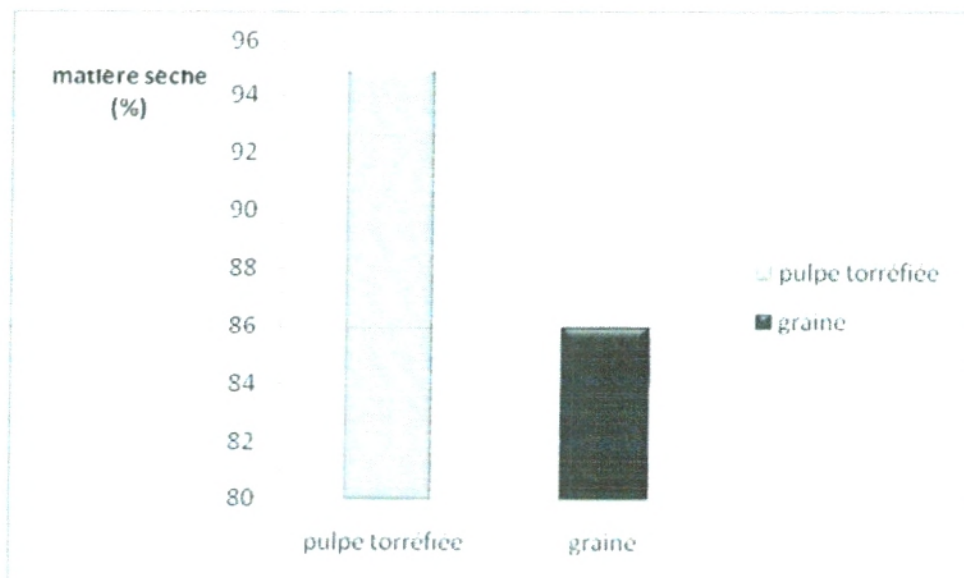


Figure 15 : taux de la matière sèche exprimé en pourcentage de pulpe torréfiée et de graine de caroube

Les résultats obtenus montrent que le taux de matière grasse dans la graine de caroube (6,51%) domine légèrement celui de la pulpe torréfiée (5,83%).

Ces valeurs rejoignent celle de **Dakia et al., (2007)** qui est de 6.6% représentée en majeure partie par l'acide oléique (34,4%) et l'acide linoléique (44,5%) tandis que l'acide palmitique (16,2%) et l'acide stéarique (3,4%) sont les principaux acides gras saturés. Tandis que le résultat de la pulpe torréfiée est beaucoup plus élevé que ceux de la pulpe naturelle obtenus par **Yousif et Alghzawi, en 2000, (0,74%)** concernant la Jordanie et ceux d'**Avallone et al., en 1997, (0,6%)** concernant l'Italie; cela due à la torréfaction de cette pulpe (**Anna Austin.,2010**).

Ainsi selon **Ayaz et al., (2009)** la pulpe de caroube contient plus d'acides gras insaturés que d'acides gras saturés (897±53 µg/g de MS et 335 µg/g de MS) respectivement, ce qui confère à la caroube la propriété de diminuer le risque de maladies cardiovasculaires.

2.2 Teneur en fibres alimentaires :

Les fibres alimentaires sont des brèves de végétaux comestibles ou des des glucides, qui résistent à la digestion et à l'absorption dans l'intestin grêle et subissent une fermentation partielle ou totale dans le côlon. Elles incluent des polysaccharides, des oligosaccharides, de la lignine et des substances végétales associées.

A la différence des autres nutriments qui sont modifiés lors de la digestion, les fibres alimentaires, (également appelées parfois fibres alimentaires végétales), se singularisent par le fait qu'elles atteignent le côlon sans avoir subi de transformation.

Les effets positifs sur la santé des fibres alimentaires sont notamment :

- ◆ Augmentation du bol fécal ;
- ◆ Diminution de la cholestérolémie et du taux de LDL plasmatique ;
- ◆ Diminution de la glycémie et de l'insulinémie post-prandiale.

Le dosage des fibres alimentaires effectué sur les échantillons de caroube étudiés est représenté sur le diagramme suivant (**figure 17**) en pourcentage de (MS).

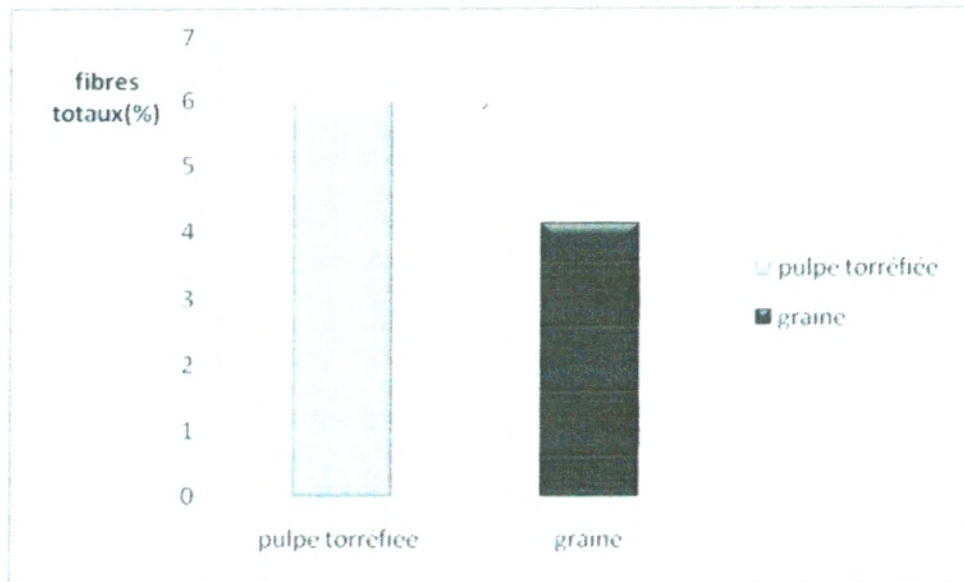


Figure 17 : Teneur en fibres en % de MS de pulpe torréfiée et de graine de caroube étudiées

Le taux de fibres alimentaires que nous avons trouvé dans la pulpe torréfiée (5.97% MS) est supérieur à celle de la graine (4.11% MS).

Nos résultats concernant la graine de caroube sont comparables à ceux obtenus par **Avallone et al en 1997** et **USDA en 2006**. Mais le résultat obtenu concernant la pulpe est inférieur à celle donnée par **Yousif et Alghzawi, en 2000** (10.99% de MS) est cela du au traitement industriel de la pulpe c'est-à-dire sa torréfaction et sont tamisage qui son des facteurs qui peut diminuer le taux de fibres.

Plusieurs travaux ont été réalisés sur les fibres de caroube et ont révélé les résultats suivants :

- ◆ Les fibre de caroube augmentent le métabolisme des lipides en favorisant leur utilisation donc leur oxydation ; par conséquent ; les fibres de caroube exercent une bonne influence sur l'énergie ingérée et le poids corporel (**Gruendel et al., 2007**) ;
- ◆ L'ingestion des fibres de caroube diminue le taux de glucose postprandiale dans le sang et l'insulinémie chez les sujets ayant le diabète de type 2 (**Tabatabai et Li, 2000 ; Gruendel et al., 2007**) ;

- ◆ La consommation des fibres de caroube réduit les taux de cholestérol HDL et LDL et de triglycérides dans le sang, donc ils contribuent à la prévention et au traitement de l'hyperlipidémie (Zunft et al., 2001 ; Ruiz-Roso et al.,2010).

2.3 Teneur en cendres :

La détermination de la teneur en matière minéral nous éclaire sur la quantité nutritionnelle de l'échantillon à analyser.

En effet, la teneur en cendres des aliments doit avoir un seuil à ne pas dépasser pour la consommation humaine et animale.

Le résultat obtenu pour la teneur en cendres de la pulpe torréfiée est nettement plus faible que celle de la graine de caroube (la figure 18).

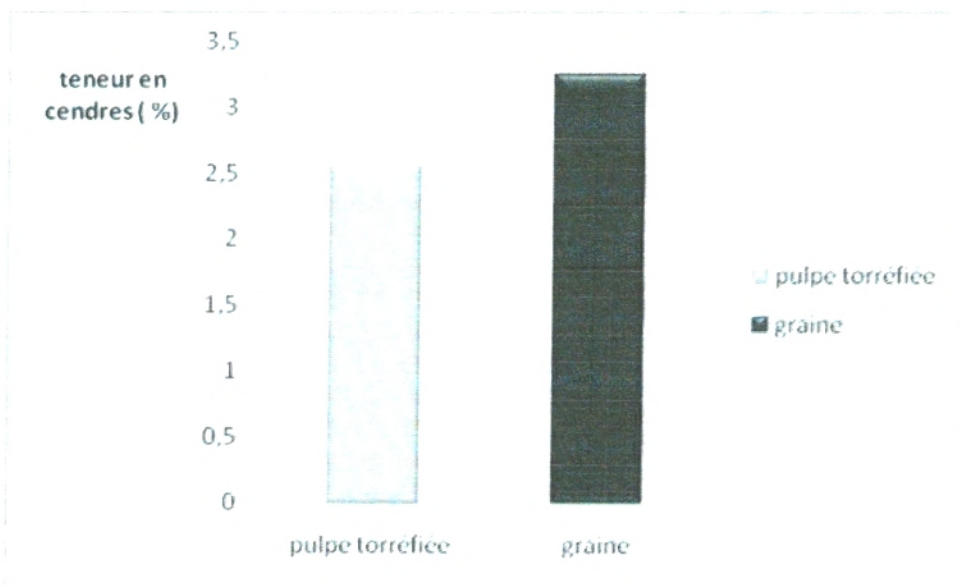


Figure 18 : Teneur en cendres en % de MS de pulpe torréfiée et de graine de caroube étudiées

D'après les résultats ci-dessus, on remarque la richesse de la graine (3.25%) en matière minérale par rapport à la pulpe torréfiée (2.55%), cette proportion inégale dépend de l'activité biologique des deux parties de la plante (Linden et Lorient, 1994).

Le résultat obtenu pour la pulpe torréfiée se rapproche de ceux cités dans la bibliographie (Albanell et al., 1991 ; Yousif et Alghzawi, en 2000) ; d'après Ozcanet al., (2007), les différents minéraux se trouvant dans la pulpe de caroube et qui sont en quantité dominante sont le potassium 970mg/100g, suivi du calcium 300mg/100g, 71mg/100g de phosphore et 60mg/100g de magnésium, ainsi que les éléments trace suivants : fer, manganèse, zinc et cuivre ; concernant la graine nos résultat sont légèrement inférieur à ceux de Dakia et al., (2006), supérieurs à ceux de Samil Kok (2007) et en adéquation avec ceux de Bouzouita et al., (2007).

2.4 Teneur en sucres totaux :

Les résultats du dosage des sucres totaux au niveau de pulpe torréfiée et de graine de caroube sont représentés dans la **figure 19**.

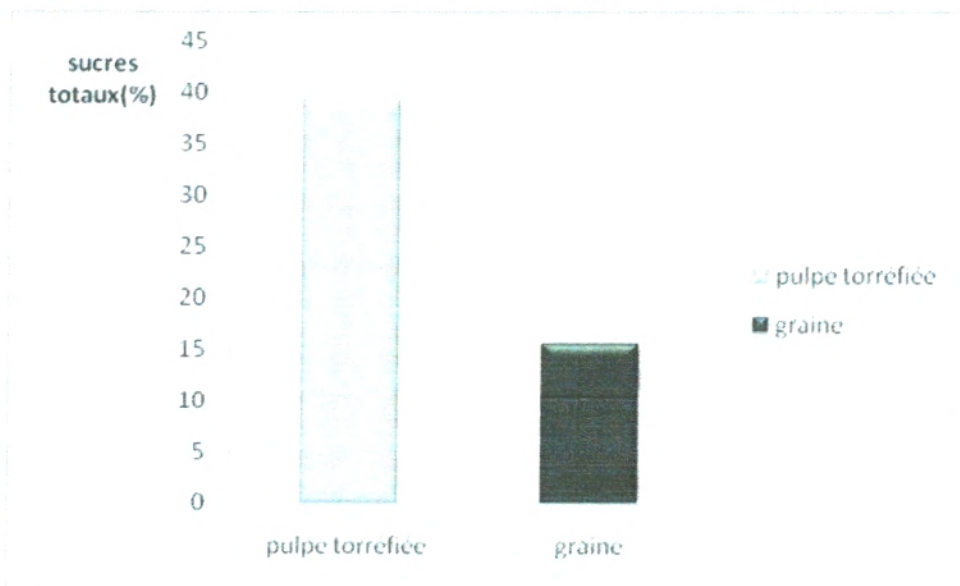


Figure 19 : Taux de sucres en % de MS de pulpe torréfiée et de graine de caroube étudiées

La caroube est un fruit riche en sucres simples ce qui lui vaut sa saveur très sucrée et son utilisation comme aliment de bétail. Selon les résultats de notre étude, le taux de sucres totaux

au niveau de la graine de caroube (15,4%) est beaucoup plus faible que celle de la pulpe torréfiée (39,2%).

Concernant le résultat obtenu pour la pulpe torréfiée, nous remarquons que la valeur est proche à ceux établis par **Biner et al. (2007)** et **Avallone et al. (1997)** qui sont 40 à 55%MS

Nos résultats concernant la teneur de la caroube en sucre s'accordent parfaitement avec la littérature, ainsi les études effectuées par **Biner et al., (2007)** ont montré que les sucres sont représentés majoritairement par le sucrose avec 384 mg/g de matière sèche, le glucose avec 33 mg/g de matière sèche et le fructose avec 115 mg/g de matière sèche. Concernant la composition quantitative de graine en sucres qui a été étudiée par **Dakia et al., en 2008**, est représentée par le mannose avec 64,9%, le galactose 17,9%, le glucose 2,5%, l'arabinose 1,2%, le xylose 0,7%, le rhamnose 0,1% et 82,8% de galactomannanes.

2.5 Teneur en protéines brutes :

Les protéines tiennent une place importante dans notre alimentation. En effet, pour l'Homme et l'animal, le besoin en protéines est d'environ 12% à 15% de la matière sèche du régime alimentaire, suivant l'espèce et l'état physiologique. Elles sont fournies essentiellement par les graines de céréales et des légumineuses.

La teneur en protéines brutes est l'un des critères utilisés pour évaluer la valeur nutritive d'un aliment. La teneur en protéines dépend sans aucun doute des conditions pédoclimatiques ainsi que du stade de développement de la plante.

L'évaluation du taux de protéines brutes de pulpe torréfiée et graine de caroube révèle des quantités appréciables dans la graine estimées à 30,2%, qui sont nettement élevées à celle de la pulpe torréfiée 2.75%, comme le montre la **figure 20**.

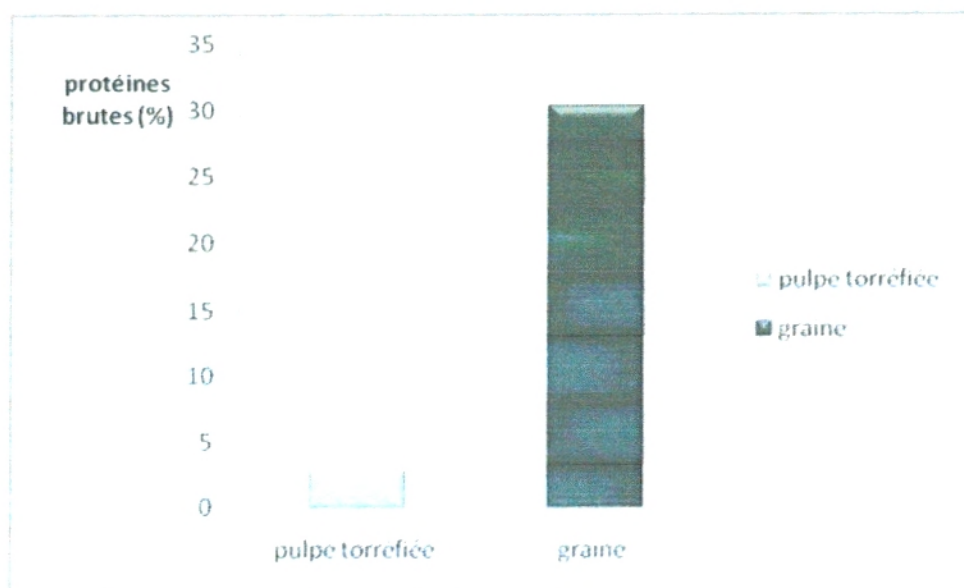


Figure 20 : Taux de protéines brutes en % de MS de pulpe torréfiée et de graine de caroube étudiées

Les résultats concernant le taux de protéines brutes de la pulpe torréfiée sont comparables à ceux des travaux effectués par **LEROY (1929)**, **Puhan et Wielings (1996)** qui sont 2 à 6% MS.

Concernant les résultats obtenus pour la graine, nous remarquons qui sont compatibles avec ceux de la littérature (**Albanell et al., 1991 ; Yousif et Alghzawi, en 2000 ; Ayaz et al., 2007**).

De nombreuses études ont démontré que la composition en acides aminés varie d'un fruit à l'autre suivant l'espèce, l'origine géographique, le stade de maturation et la méthode de culture.

3. Détermination quantitative des métabolites secondaires:

◆ Dosage des phénols totaux :

Les composés phénoliques forment un très vaste ensemble de substances de métabolites secondaires qui n'ont aucune valeur nutritionnelle. Ils sont facilement dégradables et les températures élevées favorisent leur oxydation.

Le dosage des polyphénols totaux, en équivalent de pyrocatéchol, des extraits de pulpes et de graine de caroube a été estimé par la méthode de Folin Ciocalteu. Pour cela, une courbe d'étalonnage a été tracée avec un extrait de pyrocatéchol à des concentrations allant de 0 à 100 mg/l ; des mesures de densité pour chaque extrait ont été réalisées à 760nm.

Les quantités de polyphénols correspondantes ont été rapportées en équivalent gramme de l'étalon utilisé et déterminées par l'équation $y=ax$. La figure 21 présente les teneurs en phénols totaux des échantillons.

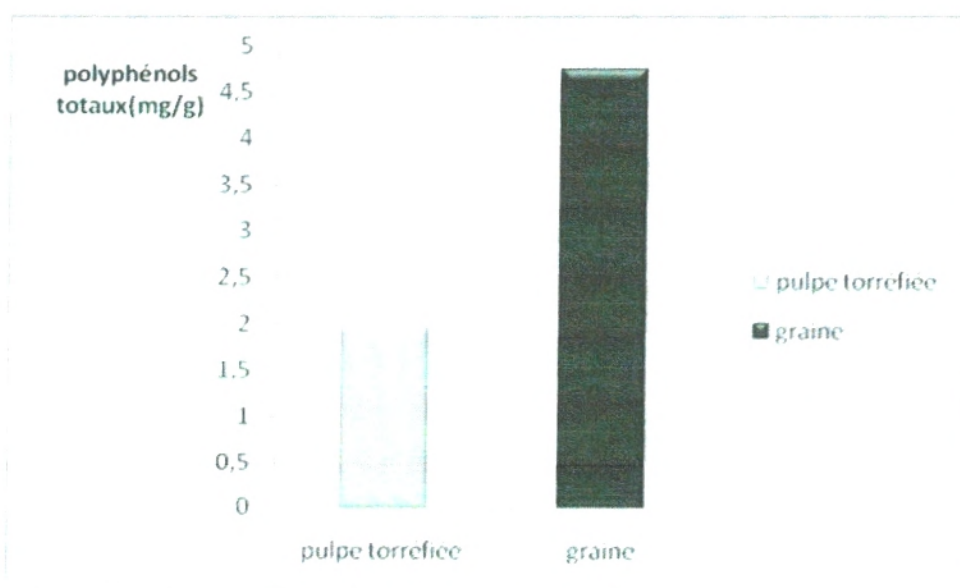


Figure 21 : Taux de phénols totaux en mg/g de MS de pulpe torréfiée et de graine de caroube

Les résultats illustrés dans le diagramme ci-dessus montrent que le taux des phénols totaux est assez important dans la graine (4,75mg/g) par rapport à la pulpe torréfiée (1,95mg/g).

Les valeurs que nous avons obtenu pour la pulpe torréfiée sont nettement plus faible que ceux des travaux réalisés par **Glew et al., (2003)** sur la caroube qui sont de 19.2mg/g, cela peut s'expliquer selon **Okuda et al.,(1989)** par le fait que les composés phénoliques se décomposent rapidement s' ils sont exposés à la lumière ou à des températures élevées. Cette différence peut être due au séchage au four, à 40°C.

Nos valeurs concernant la graine sont supérieur à ceux de **Avallone et al., (1997)** qui sont de 1,9mg/g de MS, ou **d'Owen et al., (2003)** qui sont de 3,94mg/g de MS. Alors qu'ils sont conformes aux taux de polyphénols dans l'étude de **Papagiannopoulos et al., (2004)** avec (4,142mg/g MS) ainsi que ceux **d'Ortega et al., (2011)** qui sont de 6,12mg/g MS, en outre d'autres travaux ont montré que la caroube pouvait contenir beaucoup plus de polyphénols, jusqu'à 13,51mg/g (**Ayaz et al., 2007**), cette différence observée dans les différentes études peut s'expliquer par la provenance géographique, le cultivar, la variété et surtout le degré de maturité, ce qui a été prouvé par les travaux de **Abi Azar (2007)**, réalisés sur des gousses de caroube vertes et qui ont montré que ces dernières contenaient 45,2g/l de polyphénols totaux. En effet, **Joslyn et al., (1968)** constatent par extraction à l'eau chaude et au méthanol que les gousses vertes contiennent beaucoup plus de polyphénols totaux que les gousses mûres (67mg/g de matière sèche pour les gousses mûres et 204,3 mg/g de matière sèche pour les gousses vertes).

La caroube étant riche en polyphénols, elle a suscité l'intérêt de plusieurs chercheurs notamment celui de **Doha et al., (2008)** qui ont trouvé que les polyphénols de la caroube réduisaient le taux de glucose dans le sang et qu'ils avaient un index glycémique de 83,4% selon les travaux de **Ben Hsouna et al., (1986)** les polyphénols de caroube possèdent une activité antioxydante ainsi qu'antibactérienne et antifongique, de plus ils agissent contre le stress oxydatif au niveau des cellules de colon, ce qui leur confère la propriété anticancérogène ; cela a été démontré dans les travaux de **Klenow et al., (2009)**.

En conclusion nous remarquons que la composition chimique de la pulpe de caroube est modifiée durant la torréfaction, mais cette modification dépend du degré de torréfaction.

La teneur en matière minérale et en protéines est peu influencée par la torréfaction ; alors que pour les fibres et les sucres totaux sont nettement diminués par rapport à l'élévation du degré de torréfaction, Pendant le processus de torréfaction, la structure de la caroube est dépolymérisée et modifiée ce qui conduit à la cassure des fibres, tandis que l'eau est vaporisé et les sucres se caramélisent. La matière grasse est influencée par le degré de torréfaction durant lequel la structure cellulaire de la caroube est brisée, ce qui permet de libérer les huiles (**Prabir Basu et Anna Austin 2010**). Concernant les phénols totaux le taux décroît continuellement par rapport à l'élévation de la température selon **Okuda et al.,(1989)**.

CONCLUSION GENERALE

Les plantes représentent une source inépuisable de substances et de composés naturels et bioactifs. Notre travail consisté à étudier la valeur nutritive de la caroube, fruit du caroubier. Le caroubier qui est une légumineuse typiquement méditerranéenne reste très négligée, il n'est pas valorisé comme il devrait l'être car il n'a pas encore eu la place qu'il mérite dans tous les domaines (reboisement, thérapeutiques, agroalimentaire, ect), malgré les différentes études et résultats qui ont montré que cette espèce est très intéressante aussi bien du point de vue écologique (plasticité, rusticité, résistance à la sécheresse, ect.), qu' économique (production de fruits, de bois, création d'emploi, ect.), que pour la protection (rôle anti-érosif, conservation des sols).

Les gousses du caroubier font l'objet de transactions commerciales à l'échelle régionale et internationale. Ceci a un impact positif sur l'économie des pays producteurs, mais surtout comme source de revenu pour les populations rurales.

On tire de ces gousses deux principaux produits très différents : la farine, obtenue en séchant, torréfiant et moulant les gousses après les avoir débarrassées de leurs graines, est employée surtout en agro-alimentaire et pour la production industrielle d'alcool par fermentation ; et la gomme, extraite de l'endosperme blanc et translucide de la graine, est utilisée dans l'industrie agro-alimentaire, pharmaceutique (principalement contre les diarrhées), cinématographique, textile et cosmétique.

De nombreuses études cliniques ont souligné l'efficacité de la caroube dans le traitement des diarrhées aiguës infantiles grâce à sa teneur élevée en fibres.

Sur le plan phytochimique, les recherches scientifiques ont démontré que cette plante est riche en antioxydants (flavonoïdes, isoflavonoïdes, tanins, composés phénoliques), en sucres, protéines, fibres, potassium et calcium. En thérapeutique, cette plante est connue pour son effet hypocholestérolémiant, antiprolifératif, anti-diarrhéique, contre les troubles digestifs, ect.

Les résultats de l'analyse de la composition chimique de la pulpe torréfiée et la graine de caroube montrent que la graine présente un pourcentage plus faible en matière sèche qui est de 85,95% par rapport à la pulpe torréfiée qui est révélé à 95%.

Le dosage des métabolites primaires de nos échantillons, révèle une richesse en sucre totaux qui sont de 39,2% pour la pulpe torréfiée et de 15,4% pour la graine qui représente le

constituant nettement majoritaire, un taux de protéines brutes estimé à 5,1% pour la pulpe torréfiée et à 30,2% pour la graine.

La détermination de la teneur en fibres montre des valeurs estimées à 5.97% pour la pulpe torréfiée et à 4.11% pour la graine.

L'étude de la teneur en cendres de pulpe torréfiée de caroube a donné un taux estimé à 2.55% et pour la graine à 3.25%.

L'évaluation du taux de la matière grasse révèle une quantité de 6,51% pour la graine et 5,83% pour la pulpe torréfiée.

En ce qui concerne les métabolites secondaires, nous avons remarqué que la graine de caroube est plus riche en phénols totaux (4,75mg/g de MS) que la pulpe torréfiée (1,95mg/g de MS).

En définitive, on a constaté que le processus de torréfaction a modifié la composition chimique de la caroube, est cette modification dépend de la composition de la caroube naturelle et le degré de torréfaction.

Nos perspectives de recherches s'orientent vers des analyses plus approfondies sur la composition chimique des métabolites primaires et secondaires de la caroube; application in vivo, cela pour susciter l'intérêt aussi bien pour des études nutritionnelles que pour son utilisation en thérapeutique, ce qui pourrait donner au caroubier un essor sur le plan socio-économique.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- **Aafi A. (1996).** Note technique sur la caroubier (*Ceratonia siliqua* L.). Centre Nationale de la Recherche Forestière. Rabat (Maroc). 10p.
- **Abi Azar R., (2007),** Complexassions des protéines laitières par les extraits de gousses vertes de caroubier. Propriétés technologiques des coagulums obtenus, agrparistech Ecol Doctorale Abies, Thèse de doctorat.
- **Ait Chitt M., Belmir M. et Lazrak A., 2007.** Production des plantes sélectionnés et greffés du caroubier. Transfert de technologie en Agriculture. N°153. IAV Rabat, pp.1-4.
- **Albanell E., Caja G. and Plaixats J. (1991).** Characterization of Spanish carob pod and nutritive value of carob kibbles. *Options Méditerranéennes* 16: 135- 136.
- **Audigie, C.L; Figarelle, J; Zons Zani, F; 1980.** Manipulation d'analyses biochimiques. Ed. Doin. Paris, pp : 88-97.
- **Anna Austin (2010).** French torrefaction firm targets North America - BIOMASS Magazine (Avril 2010).
- **Audigie C.L and Dupont G., (1982),** Principes des méthodes d'analyses biochimiques, Paris, PP. 566-567.
- **Avallone R., Plessi M., Baraldi M., et Monzani A., 1997.** Determination of Chemical Composition of Carob (*Ceratonia siliqua*): Protein, Fat, Carbohydrates, and Tannins. *Journal of food composition and analysis*, Vol. 10, p.166–172
- **Ayaz F.A, Torun H., Ayaz S., Correia P. J, Alaiz M., Sanz C., Gruz J., Strnad M., (2007),** Determination of Chemical Composition of Anatolian Carob Pod (*Ceratonia siliqua* L.):Sugars, Amino And Organic Acids, Minerals And Phenolic Compounds, *Journal of food quality*, vol. 30, N°6, pp. 1040-1055.
- **Batista M. T., Amaral M. T. and Proença Da Cunha A. (1996).** Carob fruits as source of natural antioxidant. *In* Proceeding of the III International Carob Symposium. Cabanas-Tavira, Portugal.
- **Battle I., Tous J., 1997.** Carob tree (*Ceratonia siliqua* L.), Promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops. 17. Institute of Plant Genetics and Crop Plant Research, Gatersleben/International Plant Genetic Resources Institute, Rome, 1–79.
- **Baum N., 1989.** Arbres et arbustes de l'Egypte ancienne.354p

- **Baumgartner S, Cenncr-Ritzman R, Haas J, Amado R, Neukom H (1986).** Isolation and identification of cyclitols in Carob pods (*Cerurorlin siliqua* Lj. *J Agr Food Chem* 34, 5 : 827-829.
- **Baytop T. (1984).** Therapy with medicinal plant in Turkey (Past and Present). Publication of the Istanbul University. No: 3255. Istanbul.
- **Beagger M., Andersen O., Neilsen J. D. and Rytting K. L. (1996).** Dietary fibre reduce blood pressure serum total cholesterol and platelet aggregation in rats. *British J. Nutr.* 75: 483- 493.
- **Belaizi M., Blen M. R. et Boxus P. (1994).** Régénération des plantes? Ed. AUPEL-UREF.J.L. Eurotex. Paris. P: 227-232.
- **Ben Hsouna A., M. Trigui, S. Jaoua, (1986),** Evaluation of antimicrobial and antioxidant activities of the ethyl acetate extract of endemic *Ceratonia siliqua* leaves *Journal of agricultural and food chemistry*, Vol. 34, N°5, pp. 827-683.
- **Berrougui H., 2007.** Le caroubier (*Ceratonia siliqua* L.), une richesse nationale aux vertus médicinales. *Maghreb Canada Express* (<http://www.maghreb-canada.ca>) Vol. N° 9 (SEPTEMBRE 2007). P.20.
- **Biner B., Gubbuk H., Karhan M., Aksu M. et Pekmezci M., 2007.** Sugar profiles of the pods of cultivated and wild types of carob bean (*Ceratonia siliqua* L.) in Turkey. *Food Chemistry* 100, p.1453-1455.
- **Boudy P., 1950.** Economie forestière Nord Africain, Tome II : Monographie et traitement des essences forestières. *Ed. Larose.* Paris, pp.443-445.
- **Bouzouita N., A. Khaldi, S. zgoulli, L. Chebil, R. Chekki, M.M. Chaabouni and P. Thonart, (2007),** The analysis of crude and purified locust bean gum : A comparison of samples from different carob tree populations in Tunisia *Food Chemistry* Vol. 101, N°4, pp. 1508-1515.
- **Bureš P., Pavliček T., Horová L. and Nevo E. (2004).** Microgeographic genome size differentiation of the carob tree, *Ceratonia siliqua*, at 'Evolution Canyon'. *Israel. An. Bot.* 93: 529-535.
- **Calixto F. S. and Cañellas J. (1982).** Components of nutritional interest in carob pods (*Ceratonia siliqua*). *J. Sci. Food Agric.* 33: 1319- 1323.
- **Catalano, L., Franco, L., De Nobili, M; Leita, L; 1999.** Polyphenols in olive mill waste waters and their depuration plant effluents: a comparaison of the Folin-Ciocalteu and HPLC methods. *Agrochimica*, 43, pp. 193-205.

- **Charalamabous J. and Papaconstantinou J. (1966).** Current result on the chemical composition of the carob bean. In the composition uses of carob bean (J. Charalambous, ed.). Cyprus Agricultural Research Institute Ministry of Agriculture and Natural Resources Nicosia, Cyprus.
- **Condit, I.J. (1919).** The carob in California. Bulletin no. 309, pp. 431-440. Agric. Exper. Station. University of California Press, Berkeley.
- **Craig W. J. and Nguyen T. T. (1984).** Caffeine and theobromine level in cacao and carob products. *J. Food Sci.* 49:302-305.
- **Crosi L., L., Avallone R., Cosenza F., Farina F., Baraldi C. et Baraldi M., 2002.** Antiproliferative effects of *Ceratonia siliqua L.* on mouse hepatocellular carcinoma cell line. *Fitoterapia* 73, p.674-684.
- **Dakia P. A., Wathelet B. et Paquot M., 2007.** Isolation and chemical evaluation of carob (*Ceratonia siliqua L.*) seed germ. *Food Chemistry* 102, p.1368-1374.
- **De Candolle, A. (1883).** L'origine des plantes cultivées. Balière, Paris.
- **Diamantoglou and Mitrakos K. (1981).** Leaf longevity in Mediterranean evergreen sclerophylls. In Components of Productivity of Mediterranean Climate Region. Basic and Appleid Aspects (N.S.Margaris and H.A. Mooney, eds), pp: 17-19. Junk Publishers, The Hague ISBN. 90: 6193-9445.
- **Doha Mouhamed A., Hamed Ibrahim M., Al-Okbi Sahar Y., (2008),** *Ceratonia siliqua* Pods as a Cheap Source of Functional Food Components, *Deutche Lebensmittel-Rundschau*, Vol. 104, N°1, pp. 25-29.
- **Dubois, M. K. A; Gilli, Y. K; Hamilton, P. A; 1956.** Colometric method for determination of sugars and related substance. *Anal. and Chem. Jour*, Vol. 28 pp: 350-356.
- **FAOSTAT (2010),** www.fao.org
- **Ferguson I. K. (1980).** The pollen morphology of *Ceratonia* (Leguminocea-Caesalpinoideae). *Kew bull.* 35(2):273-277., pls 6-7.
- **Fournier P. (1977).** Les quatre flores de la France (générale, alpine, méditerranéenne, littorale) Lechavalier. Paris.
- **García-Ochao F. and Casas J. A. (1992).** Viscosity of locust bean (*Ceratonia siliqua*) gum solutions. *J. Sci. Food Agri.* 59: 97- 100.

- **Gharnit N., 2003.** Caractérisation et essai de régénération in vivo du caoubier (*Ceratonia siliqua L.*) originaire de la province de chefchaouen (Nord-ouest du Maroc). Thèse de Doctorat en science. Université Abdelmalek Essaadi. Tanger.
- **Goldblatt P. (1981).** Cytology and phylogeny of the leguminosea. Pp. 427-464 in *Advances in legume systematic*. Vol. 2 (R. M. Polhill and P. H. Raven, eds.). Royal Botanic Gardens, Kew, England.
- **Gruendel S., Otto B., Garcia A.L., Wagner K., Mueller C., Weickert M.O., Heldwein W., Koebnick C., (2007),** Increased acylated plasma ghrelin, but improved lipid profiles 24-h after consumption of carob pulp preparation rich in dietary fibre and polyphenols, *Br. J. Nutr.*, Vol. 98, N°6 , pp. 1170-7
- **Hamed T. E., Ezzat A. and Al-Okbi S. Y. (2003).** Therapeutic diets for diarrhea: biological evaluation in rats. *Pak. J. Biological Sci.* 6:1501-1508.
- **Hariri A, N.Ouis, Sahnouni F et D.Bouhadi (2009),** mise en œuvre de la fermentation de certains ferments lactiques dans milieux a base des extrais de caroube, *rev. Microbiol. Ind. San et environn.* Pp. 37-55.
- **Henneberg, W; Stohmann, K; 1860.** Beiträge zur Begründung einer rationellen Fütterung der Wiederkäuer. Fasc.1, Schwetschke and Sohn édit; Braunschweig, 1860. p 145-147.
- **Haselberg C. von. (1996).** Factors influencing flowers and fruit development in carob (*Ceratonia siliqua L.*). In III International Carob Symposium. Cabanas-Tavira, Portugal. (in press).
- **Hillcoat D., Lewis G. and Verdcourt B. (1980)** A new species of *Ceratonia* (Leguminosea- Caesalpinoideae) from Arabia and the Somali Republic. *Kew bull.* 35(2):261-271.
- **Hmamouchi M., 1999.** Les plantes médicinales et aromatiques marocaines. Prix ISESCO. ISBN : 99548007-0-0. 450p (389).
- **Ilahi, I. et Vardar Y., 1976.** Studies in Turkish carob (*Ceratonia siliqua L.*). IV Acidic Auxin-like and inhibitory substances in fruit morphogenesis. *Planta* 129:105-108. 1976
- **Imrie F. (1973).** The production of fungal protein from carob in Cyprus. *J. Sci. Food Agric.* 24:639.

- **Irwin H. S. and Barneby R. C. (1981).** Cassieae. Pp. 97-106 in *Advances in Legume Systematic*. Vol. 1 (R. M. Polhill and P. H. Raven, eds.). Royal Botanic Gardens, Kew, England.
- **Jones D. K. (1953).** Carob culture in Cyprus. FAO 53/2/1225. FOA. Rome.
- **Joslyn M.A., Nishira H., Ito S., (1968),** Leucoanthocyanins and related phenolic compounds of carob pods, *J. Sci. Food Agric.*, Vol.19, pp.543-550.
- **Kivçak B. and Mert T. (2002).** Antimicrobial and cytotoxic activities of *Ceratonia siliqua* L. extracts. *Turk J. Biol.* 26:197-200.
- **Kjeldahl, J; 1883.** Neue Methode Zur bestimmung des stiktoffs in organischem körpen. *Z. Anal. Chem*; Vol. 22, pp: 366-382.
- **Klenow S. and Gleis M. (2009),** New insight into the influence of carob extract and gallic acid on hemin induces modulation of HT29 cell growth parameters, *Toxicology in vitro*, Vol.23, N°6, pp. 1055-1061
- **Konaté I. Folali-Maltouf A. et Berraho B., 2007.** Diversity analysis of Moroccan carob (*Ceratonia siliqua* L.) accessions using phenotypic traits and markers. *Acta Botanica Malacitana* 32.79-90.
- **Kumazawa S., Taniguchi M., Suzuki Y., Shimura M., Kwon M. och Nakayama T (2002).** Antioxidant Activity of Polyphenols in Carob Pods. *J. Agric. Food Chem.*, 50, 373 -377
- **Lavallée P (1962).** Le Caroubier, son utilisation dans l'alimentation du bétail en Algérie et en Tunisie. Alger, 47 p.
- **Lecoq, 1965.** Manuel d'analyse alimentaires et d'expertises usuelles. Lion, P.H ; 1955. Travaux pratiques de chimie organique, Ed. Dunod. Paris.
- **Leroy A. (1929).** Elevage rationnel des animaux domestiques. Hachette ed., 448p.
- **Lewis, G. et al., eds. 2005.** Legumes of the world. (LegWorld) 133.
- **Linden G. et Lorient D., (1994),** Biochimie agro-industrielle, valorisation alimentaire de la production agricole, Edition Masson, pp.75.
- **Linskens H. and Scholten W. (1980).** The flower of carob. *Potug. Acta. Bilo. (A)* XVI (1-4):95-102.

- **Lizardo R., Cañellas J., Mas F., Torrallardona D. et Brufau J. (2002).** L'utilisation de la farine de caroube dans les aliments de sevrage et son influence sur les performances et la santé des porcelets. *Journées de la Recherche Porcine*. 34:97-101.
- **Louca A. and Paps A. (1973).** The effect of different proportions of carob pod meal in the diet on the performance of calves and goats. *Anim. Prod.* 17:139-146.
- **Makris D. P. and Kefalas P. (2004).** Carob pods (*Ceratonia siliqua* L.) as a source of polyphenolic antioxidant. *Food Technol. Biotechnol.* 42: 105- 108.
- **MAPA. (1994),** Ministerio de Agricultura, Pesca Y Alimentation. Anuario de Estadística Agraria. Ed. Secretaria General Técnica, Madrid, Spain.
- **Min B. R. and Hart S. P. (2003).** Tannins for suppression of intestinal parasites. *J. Anim. Sci.* 81:102-109.
- **Mitrakos, K. 1988.** The botany of *Ceratonia*. Pp.209-218 in Proceedings of the II International Carob Symposium (P. Fito and A. Mulet, eds.). Valencia, Spain;
- **NAS. (1979).** Tropical legumes: resources for the future, pp. 109- 116. National Academy of Sciences, Washington DC. USA.
- **Neukom H. (1988).** Carob bean gum: properties and application. Pp. 551- 555 in Proceedings of the II International Carob Symposium (P. Fito and A. Mulet, eds.). Valencia, Spain.
- **Noblet J., Fortune H., Dubois S. and Henry Y. (1989).** Nouvelles méthodes d'estimation de teneur en énergie digestible, métabolisable et nette des aliments pour le porc. INRA ed., Paris. 106p.
- **Orphanos P. I. and Papaconstantinou J. (1969),** The carob varieties of Cyprus, Tech. Bull. 5. Cyprus Agricultural Research Institute, Ministry of Agriculture and Natural Resource, Nicosia.
- **Ortiz P. L., Arista M. and Talavera S. (1996).** Producción de néctar y frecuencia de polinizadores en *Ceratonia siliqua* L. (Caesalpinaceae). *Anales del Jardín Botánico de Madrid* 54:540-546.
- **Oryega N., A. Macià, M.P. Romero, J. Reguant and M.J. Motilva (2011),** Matrix composition effect on the digestibility of carob flour phenols by an in-vitro digestion model, *Food Chemistry* Vol. 124, N°1, pp.65-71.

- **Owen R.W., Haubner R., Hull W.E., Erben G., Spiegelhalder B. et Bartscha H., 2003.** Isolation and structure elucidation of the major individual polyphenols in carob fibre. *Food and Chemical Toxicology* Vol. 41, p.1727–1738
- **Ozcan M.M., Arslan D., Gokçalik H., (2007),** Some compositional properties and mineral contents of carob (*Ceratonia siliqua* L) fruit, flour and syrup. *Nt. J. Food Sci Nutr.*, Vol.58, N°8, pp.652-8.
- **Papagiannopoulos M, Wollseifen HR, Mellenthin A, Haber B, Galensa R. (2004),** Identification and quantification of polyphenols in carob fruits and derived products by HPLC-UV-ESI/MSn, *J Agric Food Chem.*, Vol.52, N°12, pp.3784-91.
- **Passos de Carvalho J. (1988).** Carob pollination aspects. Pp. 281-291 in *Proceedings of the II International Carob Symposium* (P. Fito and A. Mulet, eds.). Valencia, Spain.
- **Prabir Basu (2010).** Biomass Gasification and Pyrolysis - Practical Design and Theory.
- **Polhill, R. M., P.H. Raven and C.H. Stirton. (1981).** Evolution and systematics of the Leguminosae. Pp. 1-26 *in Advances in Legume Systematics*. Vol. 1 (R.M. Polhill and P.H. Raven, eds.). Royal Botanic Gardens, Kew, England.
- **Priolo A., Waghorn G. C., Lanza M., Biondi L. and Pennisi P. (2000).** Polyethylene glycol as a means for reducing the impact of condensed tannins in carob pulp: Effects on lamb growth performance and meat quality. *J. Anim. Sci.* 78: 810- 816.
- **Puhan Z. and Wielinga M. W. (1996).** Products derived from carob pods with particular emphasis on carob bean gum (CBG). Report Technical Committee of INEC (unpublished).
- **Quezel P. et Santa S. (1962/63).** Nouvelle flore de l'Algérie et des régions désertiques méditerranéennes. Tome 1. Edit CNRS. Paris
- **Ramon-Laca L. and Mabberley D.J. (2004):** The ecological status of the carob-tree (*Ceratonia siliqua*, Leguminosae) in the Mediterranean. *Botanical Journal of the Linnean Society*, 114 : 431-436.
- **Rejeb M. N. (1995).** Le caroubier en Tunisie: Situations et perspectives d'amélioration. Dans: *Quel avenir pour l'amélioration des plantes?* Edit. AUPELF-UREF. John Libbey Eurotext. Paris. pp: 79-85.

- **Rejeb M. N., Laffray D. and Louguet P. (1991).** Physiologie du caroubier (*Ceratonia siliqua* L.) en Tunisie. Physiologie des arbres et arbustes en zones arides et semi-arides, Group d'Etude de l'Arbre, Paris, France. P:417-426.
- **Ruiz-Roso B., Quintela J.C., de la Fuente E., Haya J., Pérez-Olleros L., (2010),** insoluble Carob fiber rich in polyphenols Lowers Total and LDL Cholesterol in Hypercholesterolemic Subjects, *Plant Foods Hum Nutr.*, Vol.65, N°1, pp.50-6
- **Sahle M., Coleon J. and Haas C. (1992).** Carob pod (*Ceratonia siliqua*) meal in geese diets. *Brit. Poultry Sci.* 33:531-541.
- **Saidi R. Lamarti A. Badoc A., 2007.** Micropropagation du caroubier (*Ceratonia siliqua*) par culture de bourgeons axillaires issus de jeunes plantules. *Bull. Soc. Pharm. Bordeaux*, 2007, 146, 113-129.
- **Samil Kok M. (2007),** A comparative study on the compositions of crude and refined locust bean gum : In relation to rheological properties, *Carbohydrate Polymers*, Vol.70, N°1,pp.68-76
- **Saura-Calixto F. J. (1987).** Dterminación de la composición química de algarroba (*Ceratonia siliqua*), Azúcares, taninos, pectinas y aminoácidos. *Anales de Bromatologia.*, XXXIX: 81- 93.
- **Sbay H. et Abrouch M., 2006.** Apport des espèces à usages multiples pour le développement durable : cas du pin pignon et du caroubier. Centre de Recherche Forestière Haut Commissariat aux Eaux et Forêts et à la Lutte Contre la Désertification. Rabat p. 1-9
- **Schweinfurth G. (1894).** Sammlung arabisch-aethiopischer Pflanzen, Ergebnisse von Reisen in dem Jahren 1881, 1888-89, 1891-92. *Bull, Herb. Boissier* 2:1-114.
- **Schroeder, C.C. (1959).** The floral situation of the carob in California. *Proc. Am. Soc. Hort. Sci.* 74:248-251
- **Sebastian K. T. and McComb J. A. (1986).** A micropropagation system for carob (*Ceratonia siliqua* L.). *Scientia Hort.* 28:127-131.
- **Sekri-Pataryas K. H., Mitrakos K. A. and Georgi M. K. (1973).** Yields of fungal protein from carob sugars. *Econ. Bot.* 27:311-319.
- **Serairi-Beji R., Mekki-Zouiten L., Tekaya-Manoubi L., Loueslati M. H., Guemira F. and Ben Mansour. (2000).** Can carob powder be used with oral rehydration solution for the treatment of acute diarrhea. *Med. Top.* 60:125.

- **Sfakiotakis E. M. (1978).** Germination in vitro of carob (*Ceratonia siliqua* L.) pollen. *Z. Pflanzenphysiol.* 89:443-447.
- **Silanikove, N., Nitsan, Z. and Perevolovsky, A. (1994).** Effect of a daily supplementation of polyethylene glycol on intake and digestion of tannin-containing leaves (*Ceratonia siliqua* L.) by sheep. *J. Agr. Food Chem.*, 42:2844-2847.
- **Tabatabai A and Li S., (2000),** Dietary fiber and type 2 diabetes, *Clin Excell Nurs Pract.* Vol.4, N°5, pp.272-6.
- **Tucker S. C. (1992a).** The developmental basis for sexual expression in *Ceratonia siliqua* (Leguminosae: Ceasalpinoideae: Cassieae). *Am. J. Bot.* 79(3): 367-327.
- **Tucker S. C. (1992b.)** The role of floral development in studies of legume evolution. *Can. J. Bot.* 70:692- 700.
- **USDA (United States Department of Agriculture) (2006).** Agricultural Research Service. National nutrient database, NDB no. 16055. (WWW document). URL. <http://WWW.Nal.usda.gov/fnic/foodcomp/search/>. 7 October 2006.
- **Vardar Y., Seçurenand Ö. And Ahmed M. (1972).** Preliminary results on the chemical composition of the Turkish carob beans. *Qual. Plant Mater Veg.* XXI (4): 318- 327.
- **Vavilov N.I., (1951).** The Origin, Variation, Immunity and Breeding of Cultivated Plants [translated from the Russian by K.S. Chester]. The Ronald Press Co., New York.
- **Vidal D. (1985).** El troceado como etapa previa al aprovechamiento industrial de la garrofa *In Jornadan sobre la garrofa.* Liria (Valencia) (unpublished).
- **Whiteside L. (1981).** The carob cookbook. Ed. Thorsons Publishers Limited, Wellingborough. Northamptonshire.
- **Williams C. L., Bollella M., Spack A. and Puder D. (1995).** Soluble fibre enhances the hypocholesterolemic effect and the step I diet in childhood. *J. Am. College Nutr.* 14: 251- 257.
- **YOUSIF, A. and ALGHZAWI, H.M. (2000).** Processing and characterization of carob powder. *Food Chem.* 69, 283–287.
- **Zohary M. (1973).** Geobotanical Foundations of the Middle East, 2 vols. Stuttgart.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- **Zografakis N. et Dasenakis D., 2002** .Studies on the exploitation of carob for bioéthanole production. Biomass in Mediterranean, ALTENER Programme.
- **Zouhair O., 1996**. Le caroubier: situation actuelle et perspectives d'avenir. Document interne, Eaux et forêts. Maroc. 22 pages.
- **Zunft H.J.F., W. Ludes, A. Harde, B. Haber, H.J. Graubaum, J. Gruenwald, (2001)**, Carob Pulp Preparation for treatment of Hypercholesterolemia, Advances In Therapy, Vol.18 N° 5
- **Yousif, A.K. & Alghzawi, H.M (2000)**. Processing and characterization of carob powder. Food chempistry, 69(3), 283-2

ANNEXES

ANNEXE 1 : COURBE DETALONAGE DES SUCRE TOTAUX :

La gamme d'étalonnage est effectuée de la façon suivante :

- ◆ Une solution mère (SM) de α D+ Glucose de concentration 100 μ g /ml est préparée comme suit:
- ◆ Préparer une solution de glucose de 0.01g / 100ml (100 μ g/ ml).
- ◆ A partir de cette solution mère préparer des dilutions de différentes concentrations 25 μ g /ml, 40 μ g/ml, 60 μ g/ml, 75 μ g/ml ,100 μ g/ml.
- ◆ Prendre 1 ml de chaque concentration (2 essais pour chaque concentration) et ajouter 1 ml de phénol à 5 % et 5 ml d'acide sulfurique à 98% à l'aide d'une burette ;
- ◆ Après agitation (vortex) les tubes sont maintenus pendant 5 minutes à 100°C, puis à l'obscurité pendant 30 minutes ;
- ◆ Lire la densité optique, de chaque concentration, à 490 nm, après on trace la courbe d'étalonnage.

$$DO=f(C) \rightarrow DO= \epsilon \times C.$$

Dont :

C : la concentration de D+Glucose en μ g /ml.

DO : est la densité optique.

ANNEXE 2 : CATALYSEURE :

Mélanger 20g de K₂SO₄ et 1g de HgO

ANNEXE 3 : INDICATEUR DE TASHIRO :

10 ml de méthyle rouge à 0,03% dans l'éthanol 70% et 1,5 ml de bleu de méthylène à 0.1% aqueux.

**ANNEXE 4 : PREPARATION DE L'ETALON DE DOSAGES DES POLYPHENOLS
TOTAUX :**

A partir de la solution mère, on a préparé des dilutions de différentes concentrations :

15mg/l, 14mg/l, 13mg/l, 12mg/l, 11mg/l, 10mg/l, 9mg/l, 8mg/l, 7mg/l, 6mg/l, 5mg/l, 4mg/l,
3mg/l, 2mg/l, 1mg/l.

- ◆ Prendre 3ml de chaque concentration et ajouter 0.5ml du réactif de Folin Ciocalteu
- ◆ Laisser réagir pendant 3 minutes.
- ◆ Après, ajouter 2ml de solution aqueuse de carbonate de sodium à 20%
- ◆ Mettre le mélange au vortex et laisser incuber à l'obscurité pendant 1 heure.
- ◆ Lire l'absorbance à 760nm.

Résumé

Le caroubier (*Ceratonia siliqua* L.) est un arbre typiquement méditerranéen, d'importance écologique, industrielle et ornementale indiscutable. Il est utilisé pour le reboisement et la reforestation des zones affectées par l'érosion et la désertification. Le caroubier est cultivé pour ses gousses, abondantes et riches en sucre à maturité ; elles sont broyées avec leurs graines pour en faire une farine destinée à l'aliment de bétail. Sa gousse présente une valeur nutritive très importante puisqu'elle est utilisée chez les sportifs lors de performances extrêmes.

L'étude portée sur la composition chimique de la pulpe torréfiée et la graine de caroube montre la présence des différentes familles de composés ayant un intérêt nutritionnel et thérapeutique. En effet la détermination des teneurs en métabolites primaires révèle la présence de sucres totaux avec un taux important, la pulpe torréfiée détient plus de sucres 39,2% que la graine 15,4%, pour les fibres la valeur de la pulpe torréfiée (5,97%) est un peu plus élevée que celle de la graine (4,11%), des teneurs faible ont été enregistrer respectivement pour la pulpe torréfiée par rapport à la graine concernant les lipides (5,83%, 6,51%) les protéines brute (2,75%, 30,2%) et les cendres (2,55%, 3,25%). Alors que pour les métabolites secondaires, le taux des phénols totaux est assez important, de l'ordre de 4,75mg/g de MS pour la graine par rapport à la pulpe torréfiée qui est de 1,95mg/g de MS.

Mots clés: caroube, pulpe torréfiée, graine, valeur nutritive, composition chimique, phénol totaux.

Abstract

The carob tree (*Ceratonia siliqua* L.) is typically Mediterranean tree, of an ecological, industrial and ornamental importance. And is used for a forestation and reforestation of areas affected by erosion and desertification. The carob tree is cultivated for its thick that is rich of sugar at its maturity. They are crushed with their seeds to make flour for cattles. This pod is of great nutritional value as it is used by sportsmen in extreme performances. This study, focusing on the chemical composition of the roasted pulp and carob seed, shows the presence of different families of compounds with nutritional and therapeutic interest. In fact, the determination of the tensors in primary metabolites reveals the existence of total sugars with high rate. The roasting pulp holds much more sugar 39,2% than the seed with 15,4%. For fiber, the roasting pulp value (5,97%) is bit higher than that of the seed (4,11%). Weak tensors have been respectively recorded for the roasting pulp par rapport to the seed, concerning lipids (5,83%, 6,51%), crud proteins (2,75%, 30,2%) and ashes (2,55%, 3,25%). While for secondary metabolites, the rate of total phenols is quite important, about 4,75 gm/g of dry matter for the seed in relation to the roasting pulp which is at 1,95 mg/g of dry matter.

Keywords: carob, roasted pulp, nutritive value, chemical composition, total phenols.

ملخص

شجرة الخروب (*Ceratonia siliqua* L.) شجرة متوسطة بشكل نموذجي، لها أهمية بيئية وصناعية وتزينية لا جدال فيها. تستعمل من أجل التشجير وإعادة غرس المناطق المتضررة من الانجراف والتصحر. تغرس شجرة الخروب من أجل قرونها الوافرة والغنية بالسكر الناضج. فهذه القرون تهرس مع حبوبها ليصنع منها دقيق يصلح غذاء للماشية. تمثل قرون الخروب قيمة غذائية مهمة جدا إذ يستهلكها الرياضيون حين قيامهم بالأداءات القسوى. كما أن الدراسة التي أجريت على التكوين الكيميائي لللب المحمص و بذور الخروب تظهر وجود عائلات مختلفة من المكونات ذات الفائدة الغذائية والعلاجية. وبالفعل فإن تحديد المحتويات من الأيضات الأولية تكشف عن وجود سكر كلي بكمية معتبرة. فاللب المهروش يحتوي على سكر بنسبة 39.2 بالمائة أي أكثر من البذرة التي تحتوي على 15.4 بالمائة. أما بالنسبة للألياف فإن قيمة اللب المحمص تبلغ 5.97 بالمائة وهي أعلا قليلا من قيمتها في البذرة (4.11 بالمائة). كما سجلت محتويات ضعيفة بالنسبة لللب المحمص مقارنة مع البذرة فيما يخص الليبيدات (5.83 بالمائة ، 6.51 بالمائة) ، و البروتينات الخام (2,75 بالمائة ، 30,2 بالمائة) والرماد (2.55 بالمائة، 3.25 بالمائة). أما بالنسبة للأيضات الثانوية فكمية الفينولات الكلية معتبرة إلى حد ما إذ أنها تبلغ 4.75 ملغ /غ من الأيضات الثانوية فيما يتعلق بالبذرة مقارنة مع اللب المحمص والذي يبلغ 1.95 ملغ/غ من الأيضات الثانوية.

الكلمات المفتاحية: الخروب ، اللب المحمص، البذرة، القيمة الغذائية، التكوين الكيميائي، مجاميع الفينولات.