

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة أبو بكر بلقايد- تلمسان

Université Aboubekr Belkaid – Tlemcen

كلية علوم الطبيعة والحياة، وعلوم الأرض والكون

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

Filière science biologique

Département : Biologie



# MÉMOIRE

Présenté par

**AZZOUZ Amani**

*En vue de l'obtention du*

**Diplôme de Master Brevet**

En Génétique

**Rapport des travaux de caractérisation des différentes variétés et population de caroubier (*Ceratonia siliqua L.*), au niveau du bassin méditerranéen.**

Présenté par : *Azzouz Amani*

Soutenu le : 22-10-2023, Devant le jury composé de :

<b>Président</b>	GAOUAR Semir Bechir Suheil	Pr	Univ. Tlemcen
<b>Encadreur</b>	MKEDDER Ikram	MRB	RUMeS. Tlemcen
<b>Examineur</b>	SELKA Sarra	MAB	Univ. Tlemcen
<b>CATI</b>	Klouche Nihel	Pr	Univ. Tlemcen

## RESUME :

Le caroubier (*Ceratonia siliqua L.*) est une espèce répandue en Méditerranée et présente un potentiel économique important. Il joue un rôle clé en tant qu'espèce agro-sylvo-pastorale, offrant des avantages socio-économiques et contribuant à la lutte contre la désertification. Ses produits dérivés, tels que les graines de caroubes et la pulpe, trouvent des applications dans l'industrie alimentaire, pharmaceutique et agricole. Malgré son potentiel, la production mondiale de caroubes a diminué ces dernières années.

Le caroubier est une ressource biologique précieuse de la région méditerranéenne, et des recherches continues sont nécessaires pour évaluer sa diversité et optimiser son exploitation. Ce travail constitue une synthèse des efforts de caractérisation menés dans les pays méditerranéens, mettant en lumière l'importance de cette espèce et ouvrant la voie à de futures avancées dans son utilisation et sa gestion.

## ABSTRACT:

The carob tree (*Ceratonia siliqua L.*) is a species widely distributed in the Mediterranean region and holds significant economic potential. It plays a key role as an agro-sylvo-pastoral species, offering socio-economic benefits and contributing to combating desertification. Its derived products, such as carob seeds and pulp, find applications in the food, pharmaceutical, and agricultural industries. Despite its potential, global carob production has declined in recent years. Carob is a valuable biological resource in the Mediterranean region, and ongoing research is necessary to assess its diversity and improve its utilization. This work represents a summary of the characterization efforts carried out in Mediterranean countries, highlighting the importance of this species and paving the way for future advancements in its use and management.

## ملخص:

شجرة الخروب هي نوع منتشر بشكل واسع في منطقة البحر الأبيض المتوسط وتحمل إمكانات اقتصادية كبيرة. تلعب دورًا رئيسيًا كنبات زراعي وغابي، حيث تقدم فوائد اجتماعية واقتصادية وتساهم في مكافحة التصحر. منتجاتها المشتقة، مثل بذور الخروب واللبن، تستعمل في صناعات الطعام والصناعات الدوائية والزراعية. على الرغم من إمكانيتها، انخفض إنتاج الخروب العالمي في السنوات الأخيرة. الخروب مورد حيوي قيم في منطقة البحر الأبيض المتوسط، والبحث المستمر ضروري لتقييم تنوعها وتحسين استخدامها. من خلال هذا العمل، نحن نسعى إلى تقدير قيمة شجرة الخروب من خلال تلخيص الجهود العلمية التي تمت في بلدان البحر الأبيض المتوسط، وإلقاء الضوء على أهميتها وفتح الباب أمام تقدم مستقبلي في استفادتها وإدارتها.

# Remerciements

Mes remerciements sont d'abord destinés à "Dieu", le tout puissant de m'avoir donné la force, le courage et la patience de faire ce travail et de continuer pour voir le fruit de ma longue période de recherche. Aussi il a été rendu possible grâce au soutien et à l'apport précieux de nombreuses personnes.

Je tiens tout d'abord à remercier mon encadreur de mémoire, Dr. MKEDDER. Ikram, maître de recherche au niveau de l'unité de recherche sur la médiation scientifique Tlemcen, pour sa guidance experte, sa patience et son engagement tout au long de ce projet. Votre expertise et vos conseils m'ont été d'une aide inestimable, et je suis reconnaissante de l'opportunité qui m'a été donnée de travailler sous votre direction.

Je souhaite également exprimer ma reconnaissance envers notre chef de formation Professeur GAOUAR Semir Bechir Suheil pour son soutien moral, sa minutie dans le travail, ses multiples conseils, orientations et disponibilité.

Aussi je tiens à remercier les membres du jury, pour avoir accepté d'évaluer ce mémoire et pour leurs précieuses suggestions qui vont contribuer à son amélioration.

Je tiens à remercier ma famille surtout ma mère pour leur soutien constant, leur encouragement et leur compréhension tout au long de cette période exigeante. Votre présence a été une source de motivation inestimable.

Enfin, je tiens à exprimer ma gratitude envers toutes les personnes qui ont participé de près ou de loin à ce projet, ainsi qu'à toutes les ressources institutionnelles qui m'ont été mises à disposition.

Ce mémoire n'aurait pas été possible sans la contribution collective de toutes ces personnes, et je leur en suis profondément reconnaissante. Merci à tous pour avoir rendu cette réalisation possible.

*Azzouz Amani*

# Dédicace

À mes parents, surtout Mama, vous êtes la source de ma détermination, de ma persévérance et de ma réussite. Votre amour inconditionnel, votre soutien indéfectible et vos sacrifices pour mon éducation ont façonné la personne que je suis aujourd'hui. Ce mémoire est un humble témoignage de ma gratitude envers vous.

À ma sœur Aridje et mon frère Amdjed, votre présence et vos encouragements constants ont illuminé mon chemin académique. Votre foi en moi m'a donné la force de poursuivre mes objectifs

À mon mari, Ozcan, tu as été mon pilier, mon confident et mon plus grand soutien. Ton amour et ton soutien inébranlables ont été la clé de ma réussite. Ce mémoire est également un hommage à notre partenariat et à notre amour qui m'ont inspiré à aller plus loin

À mes tantes (Fatima, Sihem, Hafida, Dalila et Ismahen), mes cousines, et mes cousins, ainsi qu'à tous les membres de ma famille élargie, vous avez contribué à ma croissance en tant qu'individu et à la réalisation de ce mémoire. Votre amour et votre encouragement sont précieux.

Je tiens également à exprimer ma reconnaissance envers tous mes amis qui ont été une source de motivation, de réconfort et d'inspiration.

Ce mémoire est le fruit du soutien, de l'amour et de l'encouragement de chacune de ces personnes exceptionnelles. Il est dédié à vous tous, avec toute ma gratitude.

*Azzouz Amani*

## *Liste des tableaux*

<b>Tableau 1: Classification classique et phylogénétique de <i>Ceratonia siliqua</i> L. (Cronquist, 1981)</b>	<b>7</b>
<b>Tableau 2: Production mondiale de la caroube (FAOSTAT 2019).....</b>	<b>11</b>
<b>Tableau 3: Surface cultivée, production et rendement de la caroube en Algérie, année 2009 (données fournies par la DSA) .....</b>	<b>12</b>
<b>Tableau 4: Résultats de la liste de la recherche systématique a analysé .....</b>	<b>32</b>
<b>Tableau 5: Sugar content (% on the basis of dry matter) of two types of Greek and one type of Turkish carob pods during the three growth stages. par Vekiari et , 2011.....</b>	<b>63</b>
<b>Tableau 6: Fatty acid composition (% on the basis of dry matter) of two types of Greek carob and one type of Turkish pods during the three growth stages. par Vekiari et all , 2011. ....</b>	<b>63</b>
<b>Tableau 7: Moisture, total sugars, polyphenols and protein content (% on the basis of dry matter) of two types of Greek and one type of Turkish carob pods during the three growth stages par Vekiari et all, 2011.....</b>	<b>63</b>

## *Listes des figures*

Figure 1: Centre d'origine et distribution de caroubier dans le monde (Battle et Tous, 1997).....	9
Figure 2: Répartition du caroubier en Algérie suivant les domaines bioclimatiques (A.N.R.H, 2004 In Boublenza, 2012).....	9
Figure 3: Distribution du caroubier à Tlemcen (BOUBLEENZA , 2012). ....	10
Figure 4: L'arbre du caroubier (Rejeb et al., 1991).....	12
Figure 5: Racines du caroubier (Mahdad.2011) .....	13
Figure 6: Feuilles du caroubier (Battle et Tous, 1997).....	15
Figure 7: Inflorescence mâle du caroubier (Hassan, 2008) .....	15
Figure 8: Inflorescence hermaphrodite (Hassan, 2008) .....	15
Figure 9: Inflorescence femelle du caroubier (Hassan, 2008) .....	16
Figure 10: Fruit du caroubier (M.Yahya et al, 2017).....	16
Figure 11: Graines du caroubier (Yassine, 2013) .....	17
Figure 12: Greffage en fente terminale chez le caroubier (Hassanet all .2015) .....	19
Figure 13: Les principaux ravageurs du caroubier (Batlle et Tous, 1997).....	23
Figure 14: carte géographique des zones d'études des travaux sélectionné(par d-maps.com).....	27
Figure 15: Distribution of the 59 centennial carob trees surveyed in 31 locations in Lebanon par Chami et all.2018 .....	36
Figure 16: PCA biplot of the 52 centennial carob trees par Chami et al ,2018 .....	38
Figure 17: Dendrogram of 52 centennial carob trees constructed on the base of morphological traits recorded, using rescaled squared Euclidean distance par Chami et al, 2018 .....	38
Figure 18: Distribution map of sixty-six carob tree accessions sampled in 19 localities with different bioclimatic stages of northern Algeria par Mahdad et al,2022 .....	39
Figure 19: Principal component analysis of 12 morphological traits (pods and seeds) of 66 Algerian carobs accessions par Mahdad et al,2022 .....	40
Figure 20: Multiple correspondence analysis of six variables of leaves belonging 66 Algerian carobs accessions. The MCA groups the leaves of carob tree into three distinct classes par Mahdad et al, 2022 .....	40
Figure 21: Repartition map of Tunisian carob populations par Naghmouchi et al,2009. ....	41
Figure 22: Plot of the populations on the first, second and third components par Naghmouchi et al,2009.....	42
Figure 23: Locations of Drvenik Mali and Mali Lošinj and boundaries of carob tree ( <i>Ceratonia siliqua</i> L.) growing area par Srečec et al, 2016.....	42
Figure 24: Map of Algeria showing locations of the carob sites analyzed. *T:Tlemcen; R: Relizane; Ti: Tipaza; B: Blida; S:Setif; J:Jijel; A:Annaba par KOCHERANE et all, 2019.....	44
Figure 25: Projection of score of 15 carob cultivars onto the plane defined by the principal coordinates par Barracosa et all ,2007. ....	47
Figure 26: Dendrogram for the classification of 15 cultivars of <i>C. siliqua</i> according to the 13 fruit and seed characters from PCA par Barracosa et all , 2007. ....	47
Figure 27: Repartition map of selected Lebanese carob populations. Abbreviations indicate populations: (A1) Akkari 1; (A2) Akkari 2; (Ah) Ahmar; (Bal) Baladi; (Bar) Barri, (J1) Jnoubi1; (J2) Jnoubi2; (Kh) Khachabi; (SM) Sandali Makdissi par.Haddarah et all,2013.....	49
Figure 28: Hierarchical Ascendant Classification on chemical characters. Group 1: A1, A2, Bal, AH and Kh; Group 2 : J1, J2 and SM; ungrouped variety Barri par Haddarah et all, 2013.....	51
Figure 29: Pod size and seeds separation according to individual factor map (PC1 and PC2),par Haddarah et al,2013 .....	51

<b>Figure 30: Repartition map of selected Moroccan carob populations collected from Beni Mellal region - Z1: Ait Oum Elbakht carob population; Z2: Dir Elksiba carob population; Z3: Naour carob population par K. Elfazazi et al,2017</b> .....	52
<b>Figure 31: Discriminant factor analysis of the three studied locations based on the pulps (A) and the seeds (B) physicochemical parameters par Fadel et al,2020</b> .....	55
<b>Figure 32: Natural distribution of carob trees in Turkey and our sampling location (Marmaris district) par par Korkmaz et al, 2020</b> .....	56
<b>Figure 33: PCoA plot for the 36 analyzed wild carob genotypes (the genotype number codes on the plot refer to Tables 1–4).par Korkmaz et, 2020</b> .....	57
<b>Figure 34:Repartition map of Moroccan populations of carob par H. El Batal et al,2012</b> .....	58
<b>Figure 35:Yield of pulp and seeds of carobs pods from different provenances par H. El Batal et al,2012</b> .....	59
<b>Figure 36:Map of Tunisia: Geographical distribution of the 10; <i>Ceratonia siliqua</i> populations analysed par Afif et all, 2008</b> .....	65
<b>Figure 37:Dendrogram of the 10 populations of Carob studied based on the <math>\Phi</math>ST values..par Afif et all,2008</b> .....	66
<b>Figure 38:Neighbour-joining dendrogram generated from Jaccard similarity matrix for all individuals of <i>Ceratonia siliqua</i> analysed. par Afif et al, 2008</b> .....	67
<b>Figure 39:Identification of carob evolutionary units (CEUs) using the ClustGeo method, which considers Euclidean genetic and geographical distances. Par Baumel et al, 2022</b> .....	67
<b>Figure 40:Plastid (left) versus mitochondrial (right) iq-tree maximum-likelihood treesPar Baumel et al. 2022</b> .....	68
<b>Figure 41:Population genetic structure of the carob tree. (a) Svdquartets tree of seven genetically and geographically homogeneous groups (CEUs) based on RADseq markers.par. Baumel et al,2022</b> .....	70
<b>Figure 42:UPGMA dendrogram of Syrian carob generated by RAPDs par Mahfoud et al ,2018</b> .....	73
<b>Figure 43:Map of locations of carob populations par BOLARIĆ et al.2021</b> .....	75
<b>Figure 44:: 3D-score plot based on the first three components of PCA from the morphological data par Bolarić et al.2021</b> .....	76
<b>Figure 45:Cluster analysis of carob populations from the Croatian Adriatic region based on four AFLP primer combinations. (I) Dendrogram based on Euclidean square distance and UPGMA showing relationships among 120 carob trees. Bootstrap values over 50 based on 1 par Bolarić et al.2021</b> .....	77
<b>Figure 46:Figure 1: Map of Algarve with the geographic location of the accessions used in the present study par P. Barracosa et al .2008</b> .....	79
<b>Figure 47:Dendrogramme based on distance coefficients of the average results of 31 morphological fruit characters in 68 carob accessions (Cophenetic correlation <math>r = 0.77</math>). par P. Barracosa et all, 2008</b> .....	81
<b>Figure 48:Map of Morocco: Geographical distribution of carob populations from which fruits were collected par Konaté et al, 2007.</b> .....	82
<b>Figure 49:UPGMA phenogram highlighting the morphometric similarities among Moroccan carob accessions. Similarities among accessions were evaluated with Pearson coefficient par Konaté et al. 2007.</b> .....	84

# Sommaire

<i>Liste des tableaux</i> .....	5
<i>Listes des figures</i> .....	6
<b>Introduction</b> .....	4
Chapitre I : Synthèse bibliographique .....	6
<b>1. Terminologie et taxonomie</b> .....	7
1.1. <i>Terminologie commune</i> .....	7
<b>2. Origine et distribution géographique</b> .....	8
2.1 <i>Origine du caroubier</i> .....	8
2.2 <i>Distribution géographique</i> .....	8
<b>3.La production du caroubier</b> .....	10
3.1. Dans le monde .....	10
3.2. <i>En Algérie</i> .....	11
<b>4. Description botanique du caroubier</b> .....	12
4.1. <i>L'arbre</i> .....	12
4.2. <i>Le tronc</i> .....	13
4.3. <i>L'écorce</i> .....	13
4.4. <i>Les racines</i> .....	13
4.5. <i>Les branches</i> .....	14
4.6. <i>Le bois</i> .....	14
4.7. <i>Les feuilles</i> .....	14
4.8. <i>Les fleurs</i> .....	15
4.9. <i>Les fruits</i> .....	16
4.10. <i>Les graines</i> .....	16
<b>5. Reproduction biologique</b> .....	17
5.1. <i>Floraison et fécondation</i> .....	17
5.2. <i>Pollinisation</i> .....	18
5.3. <i>Fructification</i> .....	18
<b>6. Multiplication</b> .....	18
6.1. <i>Par semis</i> .....	18
6.2. <i>Par bouturage</i> .....	18
6.3. <i>Par culture in vitro</i> .....	19
6.4. <i>Par greffage</i> .....	19
<b>7. Exigence écologique</b> .....	19



<b>8. Exigence édaphoclimatique</b> .....	20
8.1. Climat .....	20
8.2. Sol.....	20
8.3. Eau .....	21
<b>9. Propriétés, Intérêts et utilisation du caroubier</b> .....	21
9.1. Arbre.....	21
9.2. Fruit.....	21
9.2.1. Pulpe.....	21
9.2.2. Graine.....	22
9.3. Feuille.....	22
<b>10. L'importance économique</b> .....	22
<b>11. Les ravageurs et les maladies du caroubier</b> .....	23
<b>12. la composition chimique de <i>ceratonia Siliqua</i></b> .....	24
<b>Chapitre II :</b> .....	25
<b>Méthodologie de l'Etude</b> .....	25
1.Sources de données.....	26
2.Traduction des articles.....	26
3.Sélection des articles.....	27
4.Critères de sélection .....	27
5.Collectes des données .....	28
6.Analyse des données .....	29
7.Réduction un rapport : .....	29
<b>Chapitre III :</b> .....	31
<b>Résultats et Discussion</b> .....	31
1.Caractérisation Morphologique .....	36
2.Caractérisation Morpho-Biochimique.....	49
3.Caractérisation Biochimique .....	57
4.Caractérisation Génétique.....	64
5. Caractérisation Morpho-Génétique.....	73
1.مقدمة.....	88
2.معنى الاسم.....	88
3.الفرق بين الكاكاو والخروب.....	88
4.مزايا شوكولاتة الخروب.....	88
5.صياغة البراءة.....	89

# **Introduction**

### Introduction

Le caroubier (*Ceratonia siliqua L.*), de la famille des Fabacées, représente une espèce très répandue dans la région méditerranéenne, et largement répandue en Algérie sous forme de peuplements spontanés, notamment dans les zones côtières et semi-arides (**Benmahioul et al, 2011**). Cette espèce est cultivée depuis longtemps en raison de ses produits dérivés et de sa capacité à résister au déficit hydrique (**Biner et al, 2007**).

Le caroubier joue un rôle significatif en tant qu'espèce agro-sylvo-pastorale, générant des revenus supplémentaires pour les communautés rurales des zones montagneuses, qui sont souvent confrontées à la précarité économique, ce qui a un impact sur la conservation des ressources forestières (**Naggar et Lahssini, 2015**). Il présente un fort potentiel pour les programmes de reboisement, contribuant ainsi au développement durable des zones rurales et à la lutte contre la désertification, tout en offrant des avantages socio-économiques notables. En effet, ses gousses, plus riches en sucres que la canne à sucre et la betterave sucrière, trouvent des applications dans l'industrie alimentaire et pharmaceutique (**Batlle et Tous, 1997 ; Gharnit et al, 2001**). La caroube est un réservoir de composés nutritionnels et pharmaceutiques. Les graines de caroubes sont principalement utilisées pour produire de la gomme de caroube, tandis que d'autres parties de l'arbre, telles que les feuilles, sont exploitées pour leur valeur nutritionnelle et médicinale (**Ben Hsouna et al, 2011 ; El Bouzdoudi et al, 2017**). En outre, la caroube peut servir de complément énergétique pour les brebis Ouled Djellal en Algérie, remplaçant ainsi l'orge en grains (**Mebirouk-Boudechiche et al, 2014**).

La pulpe de caroube est riche en sucres (**Ayaz et al, 2007**), utilisés pour produire des sirops et de la mélasse, ainsi que sous forme de poudre en substitution au cacao dans divers produits alimentaires (**Bengoechea et al, 2008**). Elle est également une source de fibres bioactives utilisées dans l'industrie pharmaceutique pour ses effets positifs sur la glycémie, le taux de cholestérol et le cancer (**Goulas et al, 2016**). De plus, la pulpe contient divers composés bioactifs, tels que les composés phénoliques (l'acide gallique, l'acide syringique, l'acide 4-hydrobenzoïque et l'acide gentisique), avec des propriétés thérapeutiques telles que la néphroprotection (**Ahmed, 2010**) et l'antiprolifération (**Corsi et al, 2002**), ainsi que les cendres (**Yousif et Alghzawi et al, 2000**). Elle est également riche en macro-éléments tels que le calcium, le potassium, le magnésium et le phosphore, ainsi qu'en oligo-éléments tels que le fer, le zinc et le manganèse (**Youssef et al., 2013 ; Khelifa et al, 2013**).

La production mondiale de caroube a connu une baisse au cours des dix dernières années, (**Gillet, 2018**). Cependant, les multiples utilisations de cette espèce pourraient susciter un regain d'intérêt. Pour optimiser sa valorisation et sa gestion, il est essentiel de réaliser des travaux de caractérisation approfondis de cette ressource biologique. Il est donc impératif d'intensifier la recherche et de développer les chaînes de production et d'industrialisation des différents produits dérivés de cet arbre. Une valorisation complète, qu'elle soit d'ordre médical, agroalimentaire ou industriel, devrait jouer un rôle central dans l'amélioration de l'exploitation du caroubier, ainsi que dans la révision des procédés liés à sa culture (**Benmahioul et al, 2011**).

## **Introduction**

---

Le recueil d'information sur cette espèce reste un important domaine de recherche pour évaluer la diversité ainsi enrichir la base de connaissances au niveau de la région méditerranée. En prenant en compte l'intérêt croissant du caroubier en Algérie ces dernières années, ainsi l'importance que le gouvernement à donner pour cette espèce, ce travail se focalise a une recherche systématique basé sur un rapport des travaux de caractérisation réaliser sur cette espèce au niveau des pays méditerranée afin de mieux comprendre la diversification phénotypique, biochimique et génétique

# **Chapitre I : Synthèse bibliographique**

## 1. Terminologie et taxonomie

### 1.1. Terminologie commune

Dans le domaine de la systématique botanique, l'arbre connu sous le nom de caroubier, avec son appellation scientifique *Ceratonia siliqua*, se classe au sein de la famille des Légumineuse (*Fabacée*) et prédomine essentiellement dans les contrées méditerranéennes (**Biner et al ; 2007**). Son nom, dérivé du grec "*keras*" et du latin "*siliqua*", évoque la configuration de son fruit, évoquant la forme d'une "corne" de bouc (**Bolonos, 1955**).

Du fait de leur régularité, les graines de caroube sont souvent surnommées "carats". Ces graines ont longtemps été exploitées par les bijoutiers pour évaluer le poids de pierres précieuses comme les diamants et les perles. Un carat équivaut à 205,3 mg (**Rejeb.,1995**).

Le genre *Ceratonia* trouve sa place dans la famille des Légumineuse (*Fabacae*), au sein de l'ordre des *Rosales*. Néanmoins, la position taxonomique exacte de ce genre reste matière à débat. De manière générale, il est affilié à la tribu des *Cassieae*, dans la sous-famille des *Cesalpinoïdae*. Toutefois, certains chercheurs, à l'instar (**Irwin et Barneby.,1981**). Ainsi que (**Tucker.,1992a et b**), ont exprimé des incertitudes quant à cette classification. De plus, des analyses cytologiques ont révélé que le genre *Ceratonia*, avec un nombre total de chromosomes de  $2n=24$ , se distingue des autres membres des *Cassieae*, dont le nombre de chromosomes s'élève à  $2n=28$  (**Goldblatt.,1981; Bureš et al., 2004**).

Tableau 1: Classification classique et phylogénétique de *Ceratonia siliqua* L. (Cronquist, 1981)

Règne	<i>Plantae</i>
Sous-règne	<i>Tracheobionta</i>
Embranchement	<i>Spermaphytes</i>
Sous-embranchement	<i>Magnoliophyta</i>
Classe	<i>Magnoliopsida</i>
Sous-classe	<i>Rosidae</i>
Ordre	<i>Fabales</i>
Famille	<i>Caesalpinaceae</i>
Sous-famille	<i>Caesalpinioideae</i>
Genre	<i>Ceratonia</i>
Espèce	<i>Ceratonia siliqua</i> L.

L'étymologie scientifique du caroubier, Il est intéressant de noter que le nom commun du caroubier a des origines hébraïques, dérivant du mot "*kharuv*". Cette racine linguistique a donné naissance à divers termes dans d'autres langues, tels que "*kharrub*" en arabe, "*algarrobo*" en espagnol, "*carrubo*" en italien, "*caroubier*" en français, ainsi que "*garrofer*" ou "*garrover*" en catalan (**Rejeb, 1995**).

## 2. Origine et distribution géographique

### 2.1 Origine du caroubier

L'origine du caroubier, *Ceratonia siliqua*, suscite plusieurs hypothèses éminentes qui diffèrent. (Vavilov, 1951), il trouve ses origines dans la région est de la Méditerranée, notamment en Turquie, en Syrie et en Palestine. Des études archéobotaniques s'appuyant sur des restes carbonisés de bois et de fruits datant du néolithique (4000 ans av. J.-C.) ont également mis en évidence sa présence dans la Méditerranée orientale à cette époque, marquant les premiers stades de la domestication des espèces ligneuses (Estrada et al., 2006). Une autre hypothèse propose son origine dans le Sud de l'Arabie, en raison de son caractère thermophile et de sa présence sur les hauts plateaux du Yémen (Liphshitz, 1987). La découverte de *Ceratonia siliqua*, subsistant dans les montagnes d'Arabie (Oman) et de Somalie (Hillcoat et al., 1980), ce qui renforce cette hypothèse. En outre, (Zohary (1973) considère le caroubier comme une relique provenant de la flore Indo-Malaisienne, partageant ses origines avec des groupes tels que *Olea*, *Laurus* et *Chamaerops*.

### 2.2 Distribution géographique

#### 2.2.1 Caroubier dans le monde

Le caroubier (*Ceratonia siliqua*) est naturellement répandu dans diverses régions du bassin méditerranéen, notamment en Turquie, à Chypre, en Syrie, au Liban, dans le sud de la Jordanie, en Égypte, en Arabie, en Tunisie et en Libye (Hillcoat et al., 1980). Les Grecs l'ont introduit en Grèce et en Italie, tandis que les Arabes l'ont propagé le long des côtes nord de l'Afrique, ainsi qu'au sud et à l'est de l'Espagne (Figure.1). Son succès d'introduction s'est étendu à d'autres pays bénéficiant d'un climat méditerranéen, tels que l'Australie, l'Afrique du Sud, les États-Unis (Arizona, Californie du Sud), les Philippines et l'Iran (Evreinoff, 1947 ; Batlle et Tous, 1997) (Figure 1).

Cependant, certaines espèces arborescentes, comme *C. siliqua*, sont limitées par leur sensibilité au froid (Mitrakos, 1981). L'espèce *C. oreothauma*, plus vulnérable au froid, est restreinte à Oman et à la Somalie (Hillcoat et al., 1980).

Le caroubier prédomine dans les zones basses méditerranéennes (0-500 m d'altitude, rarement 900 m) et est un élément clé du maquis des arbres sclérophylles (Zohary et Orshan, 1959). Son introduction en dehors de son habitat d'origine a également été remarquable. Après son introduction en Espagne, l'arbre s'est progressivement étendu vers d'autres régions au climat méditerranéen, telles que la Californie, le Mexique, le Chili et l'Argentine. En Australie, en Afrique du Sud et en Inde, les Britanniques et les migrants méditerranéens ont contribué à son introduction (Batlle et Tous, 1997).

Aux États-Unis, par exemple, le caroubier a été importé depuis l'Espagne en 1854. En Australie, son introduction remonte au XIXe siècle, principalement à des fins agroforestières et plus récemment, pour sa production de gousses. En Chine, il a été planté pour la reforestation et l'alimentation animale dans des régions forestières. En Amérique latine, une espèce autochtone appelée "Algarrobo," équivalent en espagnol, partage des similitudes avec le caroubier. Les différentes variétés de caroubier ont montré une grande capacité d'adaptation en dehors de leur habitat d'origine, avec une solide performance agronomique, et même des cas documentés de changement de sexe pour certaines d'entre elles (Batlle et Tous, 1997).

Il est incontestable que le bassin méditerranéen représente la région d'origine et de diversité la plus significative pour *C. siliqua*, détenant ainsi les ressources génétiques les plus pertinentes pour les programmes d'amélioration génétique (Batlle et Tous, 1997 ; Melgarejo et Salazar, 2003 ; Viruel et al., 2020).



Figure 1: Centre d'origine et distribution de caroubier dans le monde (Batlle et Tous, 1997)

### 2.2.2 Caroubier en Algérie

En Algérie, le caroubier est souvent cultivé dans l'Atlas Saharien, conformément aux observations de (Quezel et Santa.,1962). Cependant, au fil du temps, la superficie totale de culture du caroubier en Algérie a notablement diminué, passant de 11 000 hectares en 1961 à seulement 1 000 hectares en 2011. Les cultures se concentrent principalement dans les wilayas de Bejaia, Blida, Tizi-Ouzou, le Nord-ouest de l'Algérie (y compris les wilayas de Tlemcen et Mascara, B.B. Arreridj, Bouira et Mila) figure 2 d'après les données de la (FAOSTAT, 2011).

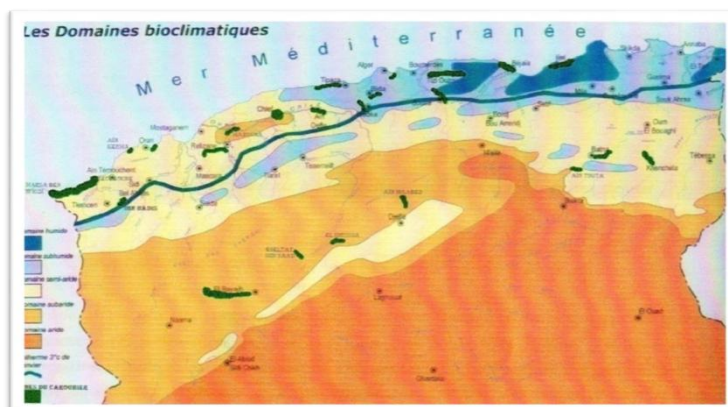


Figure 2: Répartition du caroubier en Algérie suivant les domaines bioclimatiques (A.N.R.H, 2004 In Boublenza, 2012).

Dans son environnement naturel, le caroubier pousse à des altitudes variant de 100 mètres à 1300 mètres, principalement dans les vallées à l'abri des gelées, avec des températures allant



de 5°C à 20°C et une pluviométrie de 80 mm à 600 mm par an. Dans la région de Tlemcen, il est répandu dans diverses localités, telles que Sidi M'djahed, Sabra, Henaya, Tlemcen, Ain Tellout, Sidi Abdli, Remchi, Ben Sekran, Ain Youcef et de Beni Saf jusqu'à Marsat Ben M'hidi (figure 03).(Abed ; 2020)

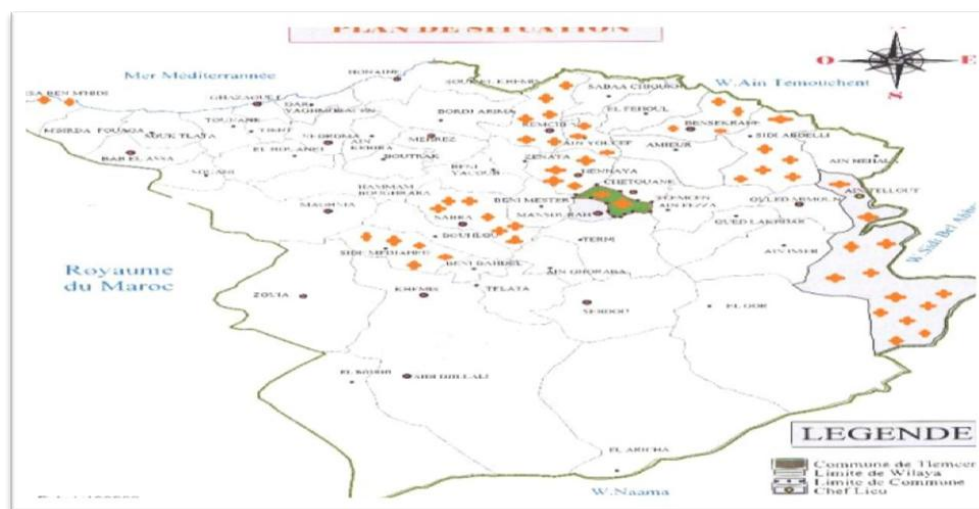


Figure 3: Distribution du caroubier à Tlemcen (BOUBLENZA, 2012).

### 3.La production du caroubier

#### 3.1. Dans le monde

Dans le contexte mondial, selon les données fournies par le **FAOSTAT en 2019**, la production annuelle de caroube s'élève à environ 136 539 tonnes, principalement concentrée dans les régions méditerranéennes, notamment en Afrique du Nord et dans le sud de l'Europe. Il convient de noter que la production varie considérablement d'un pays à l'autre. Par exemple, le Portugal affiche la plus grande production enregistrée, atteignant 41 909 tonnes, tandis que l'Algérie en produit environ 4 042 tonnes et le Maroc se positionne en tant que deuxième plus grand producteur mondial de caroube avec une production d'environ 21 983 tonnes (Tableau 2).

Il est important de souligner que les productions de gousses et de graines de caroube varient d'un pays à l'autre en raison des différences de rendement entre les variétés cultivées et les variétés sauvages (**Battle et Tous en 1997**).

Au cours du siècle dernier, la production mondiale de caroube a subi une diminution significative. Les données historiques révèlent que la production de caroube est passée de 650 000 tonnes en 1945 (tel que rapporté par **Orphanos et Papaconstantinou en 1969**) à 310 000 tonnes en 1997, pour finalement atteindre environ 136 539 tonnes en 2017 (**Biner et al. en 2007 et FAOSTAT en 2019**). La réduction la plus marquée s'est produite en Espagne, où la production est passée de 400 000 tonnes en 1930 à 150 000 tonnes en 1990, avant de chuter encore plus drastiquement à environ 2 600 tonnes en 2017 (conformément aux données du **MAPA en 1994 et de FAOSTAT en 2019**).

Tableau 2: Production mondiale de la caroube (FAOSTAT 2019)

Pays	Production en tonnes (2017)
Portugal	41 909
Italie	28 910
Maroc	21 983
Turquie	15 016
Grèce	12 528
Chypre	5 378
Algérie	4 042
Espagne	2 600
Liban	2 226
Tunisie	847
Croatie	452
Israël	448
Ukraine	200
Monde	136 539

Selon **Batlle et Tous.,1997**, cette importante régression dans la production de caroube peut principalement être attribuée à la baisse des prix de la caroube sur le marché mondial et aux programmes de développement des zones côtières qui ont favorisé d'autres cultures au détriment des plantations de caroubier.

### 3.2. En Algérie

Au fil des décennies, la superficie totale consacrée à la culture du caroubier en Algérie a subi une réduction significative, passant de 11 000 hectares en 1961 à 1 000 hectares en 2011, comme indiqué dans les données de la **FAOSTAT en 2012**. En 2009, cette superficie était encore plus réduite, s'élevant à 927 hectares (Tableau 3), dont une part prépondérante de 645 hectares, soit environ 69,58 %, se trouvait dans la wilaya de Bejaia.

La récolte des gousses de caroube est réalisée manuellement par les agriculteurs locaux à la fin de l'été, entre août et octobre. La production nationale de caroube est estimée à environ 33 841 quintaux (Qx), et elle est principalement concentrée dans la wilaya de Bejaia, qui contribue de manière significative avec une production de 18 417 Qx, représentant ainsi environ 54,42 % de la production nationale (Tableau 3). Les wilayas de Blida (23,79 %) et Tipaza (16,55 %) viennent ensuite en termes de production de caroube.

Cependant, il est important de noter que la superficie cultivée du caroubier dans le Nord-ouest de l'Algérie, comprenant les wilayas de Tlemcen et Mascara, ne représente que 6 hectares, soit environ 0,65 % de la superficie nationale, et que la production de caroube dans cette région est relativement modeste, se chiffrant à seulement 0,39 %.

Tableau 3: Surface cultivée, production et rendement de la caroube en Algérie, année 2009 (données fournies par la DSA)

Wilaya*	Surface cultivée (ha)	Production (qx)	Rendement (qx/ha)
Bejaia	645	18417	28,6
Tipaza	105	5600	53,3
Blida	100	8050	80,5
Boumerdes	32	1080	40,0
Bouira	22	144	6,9
Mila	10	80	8,0
Tlemcen	5	100	20,0
B.B. Arreridj	4	20	5,0
Aïn-Defla	2	300	150
Mascara	1	30	30,0
Tizi-Ouzou	1	20	20,0
<b>Total</b>	<b>927</b>	<b>33841</b>	<b>36,5</b>

## 4. Description botanique du caroubier

### 4.1. L'arbre

L'arbre caroubier (*Ceratonia siliqua L.*) est une espèce typiquement méditerranéenne, caractérisée par son nombre de chromosomes  $2n = 24$ . Il se développe principalement dans des climats chauds et peut atteindre une hauteur de 7 à 10 mètres, voire 15 à 20 mètres dans des conditions optimales, tout en affichant une circonférence de tronc à la base de 2 à 3 mètres (Benmahioul et al, 2021 ; Turnbull et al, 2006). Sa couronne est remarquablement étalée et de forme arrondie. En raison de sa croissance lente, il peut vivre pendant plus de 200 ans (figure 04) (Rejeb et al, 1991 ; Benmahioul et al, 2011).

Le caroubier est un arbre xérophile, ce qui signifie qu'il est bien adapté aux environnements arides. En raison de ses caractéristiques environnementales, il est couramment utilisé pour des projets de reforestation visant à lutter contre l'érosion et la désertification. De plus, il est très apprécié comme plante ornementale et est souvent intégré dans des projets d'aménagement paysager (figure 04) (Boudy, 1950 ; Rejeb et al, 1991 ; Biner et al, 2007).



Figure 4: L'arbre du caroubier (Rejeb et al., 1991)

#### 4.2. Le tronc

Le tronc du caroubier se distingue par sa robustesse et son épaisseur, avec des canaux de sève bien visibles, notamment près des racines les plus épaisses, lui conférant des courbes sinueuses, en particulier chez certaines variétés (Melgarejo et Salazar, 2003). Chez les arbres matures de grande taille, le tronc adopte des formes tortueuses et sinueuses, avec un diamètre moyen d'environ 50 centimètres, variant en fonction de l'âge de l'arbre (Albanell, 1990). La circonférence du tronc à la base se situe généralement entre 2 et 3 mètres (Ait Chitt et al., 2007).

#### 4.3. L'écorce

L'écorce du caroubier présente des caractéristiques distinctes en fonction de l'âge de l'arbre. Jeune, elle est lisse et grise, mais devient brune et rugueuse à l'âge adulte. La base du tronc arbore une écorce rugueuse variant du gris au rougeâtre, tandis que la partie supérieure du tronc et la base des branches affichent une écorce lisse (Melgarejo et Salazar, 2003).

#### 4.4. Les racines

Le caroubier est caractérisé par un système racinaire pivotant qui peut atteindre une profondeur de 18 mètres, parmi les espèces présentant un système racinaire étendu et bien réparti en surface (Aafi, 1996 ; Melgarejo et Salazar, 2003). En ce qui concerne la nodulation du caroubier, différents chercheurs ont apporté des informations contradictoires. Selon (Martins Loução et Rodríguez-Barrueco (1982), Martins-Loução et al. (1996), et Hirsch et al. (2001), le caroubier est une légumineuse non nodulante. Cependant (Missbah et al.1996) ont réussi à isoler des souches de rhizobium nodulant le caroubier dans la région de Debdou, au Maroc. Cette découverte a été suivie par les travaux de (Konate ;2007), qui a réactivé et purifié ces souches isolées par (Missbah et al.1996). L'absence ou la présence de nodosité chez le caroubier revêt une importance significative du point de vue agronomique, notamment dans le cadre de l'établissement d'un programme d'amélioration génétique de cette espèce (figure 5).



Figure 5: Racines du caroubier (Mahdad, 2011)

#### 4.5. Les branches

Selon (Albanell ;1990), les branches du caroubier affichent diverses caractéristiques selon leur âge :

- Les branches principales avancées sont généralement épaisses, sinueuses et tendent à s'étaler horizontalement en raison de leur poids et de leur croissance. Elles fournissent principalement un soutien aux autres branches, bien qu'elles puissent parfois être productives.
- Les branches secondaires de taille moyenne ont tendance à être plus ou moins dressées en fonction de leur âge, surtout dans la partie supérieure de la couronne. Elles constituent les principales branches productives.
- Les jeunes branches ou rameaux, plus petits, se trouvent en périphérie de la couronne ou de la zone de croissance. Souples et dotées d'une écorce lisse parsemée de lenticelles, elles facilitent les échanges gazeux avec l'atmosphère. Selon les variétés, elles peuvent présenter des nuances jaune-verdâtre ou rougeâtres dans la zone de bourgeonnement.

#### 4.6. Le bois

Le bois du caroubier présente une teinte blanc-jaunâtre lorsqu'il est jeune, évoluant ensuite en une teinte rose veinée puis en un rouge foncé au fur et à mesure de son vieillissement. Ce bois est hautement recherché dans divers domaines tels que l'ébénisterie, la marqueterie, l'armurerie et le charronnage, et il sert également à la fabrication de charbon (Boudy, 1950 ; Benmahioul et al., 2011)

#### 4.7. Les feuilles

Les feuilles du caroubier sont persistantes, d'un vert brillant sur leur face supérieure et d'une teinte plus claire et mate en dessous (figure 6). Composées de folioles ovales entières légèrement échancrées à leur sommet, elles sont disposées de manière opposée le long du rachis. Les feuilles sont paripennées, ce qui signifie qu'elles sont constituées d'un nombre pair de folioles. Leur longueur varie généralement entre 10 et 20 cm, avec des folioles individuelles mesurant de 3 à 7 cm. Le pétiole des feuilles présente des sillons sur sa face interne (Ait Chitt et al, 2007 ; Sbay H, 2008).

Le caroubier est une plante à feuilles persistantes, ce qui signifie qu'il conserve ses feuilles tout au long de l'année sans les perdre en automne. Cependant, il subit une chute partielle des feuilles environ tous les deux ans, généralement vers le mois de juillet, et ces feuilles sont partiellement renouvelées au printemps (Gharnit, 2003).



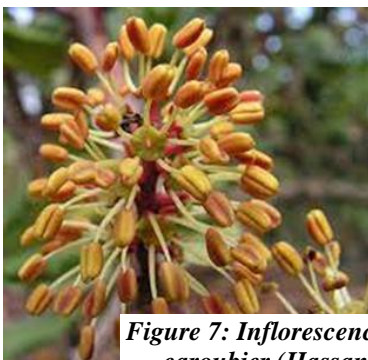
*Figure 6: Feuilles du caroubier (Battle et Tous, 1997).*

#### **4.8. Les fleurs**

Les fleurs du caroubier suivent un schéma de développement particulier qui les conduit de la bisexualité initiale à la suppression d'une des fonctions sexuelles, soit masculine soit féminine. Ces fleurs, de petite taille et de couleur verdâtre (mesurant de 6 à 16 mm de long), sont disposées en spirales et forment des grappes droites et axillaires, souvent plus courtes que les feuilles sous lesquelles elles se forment (**Battle et Tous, 1997**). Le caroubier présente trois types distincts de fleurs : mâles, femelles et hermaphrodites, chacun étant porté par des individus différents.

Les fleurs femelles se caractérisent par un pistil court et incurvé, accompagné d'un petit ovaire bicarpellé mesurant de 5 à 7 mm. Les stigmates présentent une forme bilobée et sont couverts de papilles. À la base de ces fleurs, on trouve un disque nectarifère entouré de 5 à 6 sépales rudimentaires, tandis que la corolle est absente. Les fleurs mâles portent quant à elles 5 étamines (**Aafi, 1996**). Les fleurs hermaphrodites combinent les caractéristiques des deux types précédents, possédant à la fois un pistil et 5 étamines fonctionnelles au sein d'une même fleur (**Ferguson, 1980**).

La structure florale de cette espèce présente ainsi une grande variabilité. On observe des inflorescences mâles, comprenant à la fois des étamines courtes et longues (figure 7), ainsi que des inflorescences femelles caractérisées par un pistil bien développé et des étamines rudimentaires (figure 8). De plus des inflorescences hermaphrodites se distinguent par la présence simultanée d'un pistil et d'étamines fonctionnelles au sein d'une même fleur (figure 9) (**Albanell, 1990 ; Aafi, 1996 ; Benmahioul et al., 2011**).



*Figure 7: Inflorescence mâle du caroubier (Hassan, 2008)*



*Figure 8: Inflorescence hermaphrodite (Hassan, 2008)*



#### 4.9. Les fruits

Le fruit du caroubier, appelé également caroube ou carouge, se présente sous la forme d'une gousse allongée, comprimée, droite ou courbée, mesurant de 10 à 30 cm de long sur 1,5 à 3,5 cm de large et environ 1 cm d'épaisseur, avec un sommet arrondi ou pointu (**J, Romero et al., 2013**). Il se compose principalement de deux parties. La pulpe comprenant le péricarpe entourant le mésocarpe et les graines. Initialement verte (Figure 10), la gousse devient brune à maturité dégageant un parfum agréable (Figure 09) (**Haddarah A., 2013**) pendant l'été. La

*Figure 9: Inflorescence femelle du caroubier (Hassan, 2008)*

taille de la gousse est un mécanisme de résistance aux vents violents du printemps, empêchant une chute prématurée des fruits (**Battle et Tous, 1997**).

Le développement du fruit est progressif, prenant généralement de 9 à 10 mois pour arriver à maturité, aboutissant à un fruit brun foncé à noir entre juillet et septembre (**Rejeb et al., 1995 ; Battle et al., 1997**). La gousse est une structure indéhiscente aux bords irréguliers, contenant de 4 à 16 graines séparées par des cloisons pulpeuses transversales (**Rejeb, 1995 ; Ait Chitt, 2007**).



*Figure 10: Fruit du caroubier (M.Yahya et al, 2017).*

#### 4.10. Les graines

Les graines du caroubier ont une forme ovale et aplatie, rigides, et peuvent être de couleur marron ou rougeâtre (Figure 11). Elles se composent de trois parties : le tégument, la radicelle et l'endosperme contenant de la gomme de caroube (**Batista et al., 1996**). Cette gomme extraite de l'endosperme constitue environ un tiers du poids total de la graine, et 100



kg de graines produisent en moyenne 20 kg de gomme pure et sèche (**Jones, 1953**).

Les graines de caroube sont remarquablement uniformes en taille et en poids, ce qui les a rendues unité de mesure courante dans l'Antiquité. En fait leur nom a donné naissance au terme "carat", utilisé pour mesurer le poids des pierres précieuses, basé sur le poids d'une graine de caroube (issu de l'arabe "qirat"). Dans certaines régions, elles sont utilisées comme substitut du café torréfié et consommées comme confiseries dans certains pays (**Rejeb, 1995 ; Turnbull et al., 2006**).

Ces graines sont riches en composés antioxydants actifs comme les polyphénols, ce qui leur confère des propriétés bénéfiques pour la santé (**Toni Martorell et Joan Rallo, 2006**). Elles mesurent entre 8 et 10 mm de long et entre 7 et 8 mm de large (**Saadouni . ;2021**). Chaque gousse renferme généralement de quinze à vingt graines séparées par des cloisons pulpeuses. La pulpe jaune pâle présente dans les gousses est farineuse et sucrée à maturité, offrant une saveur légèrement chocolatée. Dans certaines régions économiquement modestes, cette pulpe est parfois consommée comme aliment.



*Figure 11:Graines du caroubier (Yassine, 2013)*

## 5. Reproduction biologique

La reproduction biologique du caroubier soulève de nombreuses questions, notamment en ce qui concerne la floraison, la pollinisation, la compatibilité entre sexes et entre cultivars, ainsi que la fructification (**Batlle et Tous, 1997**). Une particularité du caroubier réside dans son calendrier de floraison. En effet, il fleurit en été, entre août et octobre (**Aafi, 1996**), ou en automne, de septembre à novembre (**Fournier, 1977**). Néanmoins, les périodes et durées de la floraison varient en fonction des conditions climatiques (**Batlle et Tous, 1997**).

### 5.1. Floraison et fécondation

La floraison se déroule en automne, sur le bois âgé de deux ans et les bois plus anciens. Les fleurs mâles apparaissent entre août et septembre, et la libération de pollen semble excéder la réceptivité des stigmates. Les anthères parviennent à maturité entre juillet et décembre, mais cette période dépend étroitement des conditions climatiques, débutant même dès juin dans certaines régions chaudes. Les fleurs femelles émergent à partir de juillet et sont adaptées à la



pollinisation par des insectes (entomophile) tels que les abeilles, les mouches et les mites, ainsi que par le vent (anémophilie). Les arbres hermaphrodites pourraient également jouer un rôle en tant que pollinisateurs et producteurs (**Ait Chitt, 2007**).

### ***5.2. Pollinisation***

La gestion de la pollinisation dans les vergers a souvent été négligée par les agriculteurs, ce qui peut entraîner une diminution du rendement ou une récolte insuffisante (**Batle et Tous, 1997**). Les insectes, en particulier les abeilles, ainsi que les mouches et les mites, assurent principalement la pollinisation des fleurs du caroubier (**Retana et al., 1990, 1994 ; Rejeb et al., 1991 ; Ortiz et al., 1996**). La quantité et la teneur en sucre des sécrétions nectarifères sont plus élevées dans les fleurs femelles que dans les fleurs mâles (**Ortiz et al., 1996**). Il est préconisé d'inclure environ 12 % d'arbres pollinisateurs, soit environ un arbre mâle pour huit arbres femelles, pour garantir une pollinisation adéquate. La disposition des pollinisateurs dans le verger doit être régulière et en phase avec l'activité des insectes et du vent pendant la période de pollinisation (**Russo, 1954**).

### ***5.3. Fructification***

Les fruits du caroubier requièrent en général entre 9 et 10 mois pour parvenir à maturité. La chute des fleurs et des jeunes fruits survient en octobre, diminue en janvier et février, pour devenir pratiquement inexistante entre juin et août. Environ 60 à 90 % des gousses tombent au cours de la première phase de croissance au printemps (**Aafi, 1996**).

## **6. Multiplication**

### ***6.1. Par semis***

Le semis est une méthode traditionnelle pour propager le caroubier. Cependant, il présente des inconvénients tels que la dioécie de l'espèce, entraînant un ratio de 50 % de femelles et 50 % de mâles non productifs. De plus, la non-conformité génétique due à l'hétérozygotie engendre une grande variabilité dans la descendance. Les plants issus de semis entrent en production tardivement, nécessitant plus de 8 ans (**Ait Chitt et al., 2007**).

### ***6.2. Par bouturage***

Le bouturage est une méthode de multiplication végétative potentiellement utilisable, mais elle rencontre des variations de succès en fonction des arbres et des conditions, notamment la nature de la bouture et la concentration en auxine (AIB) (**Ait Chitt et al., 2007**).

### 6.3. Par culture in vitro

La culture in vitro est une technique prometteuse, mais elle n'est pas encore parfaitement maîtrisée, surtout pour l'enracinement. Des études ont démontré qu'en ajustant adéquatement le milieu de culture et les hormones d'induction, il est possible d'obtenir un taux d'enracinement élevé (Saidi et al., 2007 ; Gharnit et Ennabili, 2009).

### 6.4. Par greffage

Le greffage est une méthode efficace et couramment employée pour multiplier le caroubier. Cette technique conserve les caractéristiques du plant mère sélectionné pour sa production et sa qualité. Elle permet également de bénéficier des avantages du porte-greffe issu de semis, notamment des racines profondes, de la robustesse et de la résistance aux maladies. La méthode du greffage en fente apicale est recommandée, permettant de greffer sur des porte-greffes très jeunes (9 à 10 mois) et d'assurer une bonne soudure entre le greffon et le porte-greffe (Ait Chitt et al., 2007)(figure 11)

Il est intéressant de noter que des caroubiers greffés ont été intégrés à d'autres cultures comme les olives, les raisins, les amandes et l'orge dans des systèmes agricoles à faible intensité dans la plupart des pays producteurs (S.A.Vekiari ;2011)



Figure 12: Greffage en fente terminale chez le caroubier (Hassanet all .2015)

## 7. Exigence écologique

Ce végétal présente une remarquable adaptabilité en termes de types de sols. Il peut prospérer dans une grande variété de terrains, depuis les sols riches en alluvions jusqu'aux sols rocheux les plus arides. Le caroubier tolère les sols légèrement salés, mais redoute les sols acides et humides (Morton, 1987). Il est capable de survivre dans des sols pauvres, sablonneux, limoneux lourds et rocailleux, avec un pH allant de 6,2 à 8,6 (Morton, 1987). Toutefois, il montre une préférence pour les sols calcaires, bien drainés et aérés, et il est moins bien adapté aux sols excessivement argileux (Albanell, 1990).

Ce végétal présente une remarquable adaptabilité en termes de types de sols. Il peut prospérer dans une grande variété de terrains, depuis les sols riches en alluvions jusqu'aux sols rocheux les plus arides. Le caroubier tolère les sols légèrement salés, mais redoute les sols acides et humides (**Morton, 1987**). Il est capable de survivre dans des sols pauvres, sablonneux, limoneux lourds et rocailleux, avec un pH allant de 6,2 à 8,6 (**Morton, 1987**). Toutefois, il montre une préférence pour les sols calcaires, bien drainés et aérés, et il est moins bien adapté aux sols excessivement argileux (**Albanell, 1990**). En dépit de sa résilience, les conditions environnementales affectent la croissance du caroubier. En contexte défavorable, sa croissance peut être sensiblement ralentie (**Albanell, 1990**). Ce végétal apporte également des avantages à l'écosystème grâce à sa capacité à fixer l'azote atmosphérique, ce qui le rend résistant aux maladies et aux incendies (**Albanell, 1990**). En somme, le caroubier s'épanouit dans des climats ensoleillés à pluviométrie modeste, privilégie les sols calcaires et bien drainés, et sa résistance aux maladies est renforcée par sa capacité à fixer l'azote de l'air. Toutefois, il est vulnérable au froid et sa croissance peut être affectée négativement par des conditions environnementales défavorables.

## 8. Exigence édaphoclimatique

### 8.1. Climat

Le caroubier (*Ceratonia siliqua*) s'épanouit dans des régions caractérisées par un climat méditerranéen subtropical, caractérisé par des hivers doux, des printemps agréablement chauds et des étés chauds à très chauds et secs (**Battle et Tous, 1997**). Les arbres matures sont sensibles aux températures hivernales et risquent d'être endommagés en cas de chute en dessous de -2°C ou -4°C, selon la variété. Ils ne supportent pas des températures hivernales inférieures à -7°C (**Battle et Tous, 1997**) et figurent parmi les espèces méditerranéennes les plus vulnérables aux dégâts causés par le froid (**Albanell, 1990**). Bien qu'il soit vulnérable aux gelées, le caroubier peut résister à des températures élevées, entre 40°C et 45°C, voire jusqu'à 50°C en été, pourvu qu'il y ait une humidité suffisante (**Albanell, 1990**). Il est également sensible aux vents forts, aux pluies automnales synchronisées avec la période de floraison et aux humidités élevées au printemps (**Battle et Tous, 1997**).

### 8.2. Sol

Le caroubier présente une faible exigence en matière de type de sol. Il peut prospérer dans des conditions très défavorables et sur des terres marginales où d'autres espèces seraient peu rentables (**Albanell, 1990**). Il se développe adéquatement sur des sols pauvres, rocheux, sablonneux, limoneux lourds et argileux, mais il préfère les sols calcaires bien drainés (**Albanell, 1990 ; Sbay & Abourouh, 2006**). En revanche, les sols acides et hydro morphes (qui peuvent entraîner l'asphyxie et la pourriture du système racinaire) ne sont pas propices à sa croissance (**Albanell, 1990**). Il manifeste également une préférence pour les sols peu profonds (**Aafi, 1996**). Des plantations réussies de caroubiers ont été observées sur des sols calcaires avec un pH de 9 (**Morton, 1987**).

### 8.3. Eau

Le caroubier est un arbre xérophile capable de survivre dans des climats secs sans nécessiter d'irrigation. Il peut s'adapter à des environnements avec des précipitations moyennes allant de 250 à 500 mm par an (**Batlle et Tous, 1997**). Toutefois, pour assurer une production rentable, un minimum de précipitations d'environ 550 mm par an est requis (**NAS, 1979**). Certaines sources considèrent que des précipitations annuelles entre 300 et 350 mm suffisent pour une production acceptable (**Albanell, 1990 ; Batlle et Tous, 1997**).

## 9. Propriétés, Intérêts et utilisation du caroubier

L'utilisation de *Ceratonia siliqua L.*, plus communément appelé le caroubier, revêt une signification écologique, socio-économique et industrielle majeure grâce à ses diverses parties exploitables, incluant les feuilles, les fleurs, l'écorce et les racines (**El kahkahir, 2016**).

### 9.1. Arbre

En raison de sa résistance intrinsèque et de sa capacité à s'adapter aux conditions environnementales rigoureuses, le caroubier est fréquemment employé dans les programmes de reboisement visant à restaurer les zones affectées par l'érosion et la désertification (**Biner et al., 2007**). Il est également prisé en tant que spécimen ornemental et pour l'ombre bienfaisante qu'il procure le long des routes, en particulier les arbres mâles qui ne produisent pas de gousses (**Batlle et Tous, 1997**). Le caroubier est considéré comme l'un des arbres fruitiers et forestiers les plus polyvalents, du fait que chacune de ses parties (feuilles, fleurs, fruits, bois, écorces et racines) possède une utilité spécifique (**Aafi, 1996**).

### 9.2. Fruit

Les gousses de fruits du caroubier, également appelées caroube, ont traditionnellement été utilisées dans les pays producteurs non seulement comme alimentation animale, mais aussi pour l'alimentation humaine. La caroube se compose d'une pulpe enveloppant des graines régulières. La pulpe et les graines peuvent être séparées après l'écrasement des gousses, et ces deux éléments sont principalement utilisés. (**Sahle et al., 1992**).

#### 9.2.1. Pulpe

La farine de pulpe de *Ceratonia siliqua L.* est utilisée par de nombreux fabricants agroalimentaires comme additif (E410) et comme substitut du cacao dans la production de chocolat, de pâtisseries, de crème glacée, de gâteaux et de bonbons, car elle ne contient ni caféine ni théobromine (**Craig et Nguyen, 1984**). De plus, la pulpe est riche en sucre total (48-56%), et dans certains pays le sirop de caroube, obtenu à partir de croquettes de caroube mélangées à de l'eau, est une boisson populaire (**Mohammed Yahya et al., 2017**).

Des études ont également démontré l'effet positif de la farine de caroubier sur la performance et la santé des animaux, tels que les porcelets soumis à un régime alimentaire, ainsi que son rôle efficace dans l'élimination des parasites intestinaux et le traitement des diarrhées aiguës chez les nourrissons (**Min et Hart, 2003 ; Serairi-Béji et al., 2000**).

### 9.2.2. Graine

Les graines du caroubier (*Ceratonia siliqua L.*) jouent un rôle essentiel tant dans l'industrie que dans le domaine médical. La gomme extraite des graines est particulièrement importante, car elle est largement utilisée comme agent stabilisateur, gélifiant et fixateur dans différents secteurs tels que l'agroalimentaire (fromage, mayonnaise, salades, etc.), la cosmétique (crèmes, dentifrices, etc.), l'industrie pharmaceutique (médicaments, sirops, etc.), la tannerie et le textile (**Battle et Tous, 1997 ; Biner et al., 2007 ; Dakia et al., 2007**).

### **9.3. Feuille**

Depuis des périodes anciennes, les feuilles du caroubier (*Ceratonia siliqua L.*) ont été intégrées à la médecine traditionnelle pour traiter diverses affections, notamment les problèmes de constipation, les troubles urinaires, les épisodes de diarrhées, ainsi que pour la gestion de la gastro-entérite chez les nourrissons allaités (**Aboura, 2018**). De plus, ces feuilles trouvent une application bénéfique dans l'alimentation animale. Des recherches ont mis en évidence que leur utilisation en conjonction avec le polyéthylène glycol (PEG) améliore la digestibilité et la qualité nutritionnelle des tanins contenus dans ces feuilles (**Priolo et al., 2000**).

## **10. L'importance économique**

L'importance économique du caroubier réside dans son potentiel en tant que culture de choix pour les programmes de reboisement réguliers, favorisant ainsi un développement durable des zones rurales et des économies de montagne. De plus, il peut contribuer à l'amélioration des ressources pastorales du pays, comme indiqué dans les études de (**Rejeb (1995) et Battle et Tous 1997**). La culture du caroubier et l'industrialisation de ses produits ont connu une croissance significative en raison de la polyvalence de ses graines, en particulier la gomme de caroube, qui revêt une grande importance dans l'industrie alimentaire, comme en témoignent les recherches (**Correia et Martins-Loucao 1995, 2005 ; Gonçalves et al. 2005**). De plus, le caroubier représente une source économique abordable en matière d'hydrates de carbone, actuellement étudiée pour la production de bioéthanol, avec des avantages concurrentiels par rapport à d'autres cultures riches en sucre, comme évoqué par (**Vourdoubas et al. 2002 ; Sanchez et al. 2010 ; Turhan et al. 2010**). En outre, le caroubier offre aux arboriculteurs une réelle opportunité de profit en raison de la demande soutenue pour la caroube à un prix de vente encourageant et d'une main-d'œuvre moins coûteuse pour la cueillette par rapport à d'autres pays concurrents tels que l'Espagne, le Portugal et l'Italie, comme l'ont souligné (**Gharnit et al. 2006 ; Fadel et al. 2011**).

En Algérie, le caroubier représente une valeur ajoutée pour l'économie nationale, notamment en réduisant la dépendance aux importations de cacao, qui sont passées de 5 000 tonnes en 2015 à 17 000 tonnes en 2019. L'exploitation de la poudre de caroube produite localement peut constituer une alternative viable à la poudre de cacao, offrant ainsi des économies significatives en devises étrangères. De plus, cette exploitation peut créer des emplois et

contribuer au renflouement du Trésor public en devises grâce à l'exportation de l'excédent de caroube, comme l'a mentionné (l'Algérie Presse Service en 2020).

## 11. Les ravageurs et les maladies du caroubier

Bien que le caroubier démontre une résistance naturelle aux maladies, il peut néanmoins être vulnérable à certaines attaques, dont nous discuterons en citant les sources pertinentes (**Batlle et Tous, 1997**). Parmi ces menaces, nous pouvons mentionner l'infection par le champignon *Sphaerella* du caroubier (*Sphaerella cuprea*), qui peut entraîner des taches noires sur les feuilles, parfois en quantités importantes. De plus, le tronc du caroubier peut être la cible de la petite cochenille blanche (*Aspidiotus hederae* Vallot) (Fig.11). bien que cette menace soit souvent maîtrisée par les prédateurs naturels tels que la coccinelle *Chilocorus bipustulatus* L. En Espagne l'insecte polyphage le plus préoccupant est *Zeuzera pyrina* L (Figure 13), dont les larves endommagent le bois du tronc et des branches, provoquant ainsi des dommages significatifs. Un coléoptère nommé *Cerambyx velutinus* peut également creuser des trous dans le tronc (**Batlle et Tous, 1997**). Les gousses du caroubier peuvent être infestées par la pyrale du caroubier (*Myelois ceratoniae* Z.), dont les larves pénètrent dans les gousses et les endommagent. Lorsqu'elles sont stockées dans des conditions humides, elles peuvent également être attaquées par la mite du caroubier (*Ectomyelois ceratoniae*) et par les larves d'un moucheron appelé *Asphondylia gennadii*.

En ce qui concerne les déformations des jeunes gousses, elles peuvent résulter de l'infection par le champignon *Oidium ceratoniae*, qui peut également causer des problèmes sur les feuilles, en particulier en atmosphère humide. Enfin, il convient de noter que dans certaines conditions, les rongeurs, en particulier les rats, peuvent grimper aux arbres et ronger l'écorce jusqu'à ce que les branches en meurent (Sbay.H, 2008).



Figure 13: Les principaux ravageurs du caroubier (Batlle et Tous, 1997)

## 12. la composition chimique de *ceratonia Siliqua*

La composition biochimique des gousses de *Ceratonia siliqua*, ainsi que leur contenu en différents constituants, est soumis à l'influence de divers facteurs tels que l'origine géographique de l'échantillon, sa variété, la période de récolte, les pratiques agricoles, ainsi que les conditions du sol et du climat (**El Bouzdoudi et al., 2017**). En général les gousses de caroubier sont composées principalement de pulpe (représentant environ 90% du poids total) et de graines (environ 10% du poids total) (**Aziz et Hicham, 2014**). La pulpe de caroube présente une teneur élevée en sucres, qui peut varier entre 30% et 60%. Parmi les principaux sucres présents, on retrouve le saccharose, représentant de 65% à 75% des sucres totaux, ainsi que le fructose et le glucose, qui constituent respectivement environ 15% et 25% des sucres totaux réducteurs. De plus la pulpe contient des quantités significatives de fibres alimentaires pouvant atteindre jusqu'à 40% ainsi que des protéines qui représentent entre 2% et 7% de sa composition. Les matières grasses y sont présentes en faible quantité se situant généralement entre 0,9% et 1,3% (**El Bouzdoudi et al., 2017**). De plus la pulpe de caroube est reconnue pour sa richesse en vitamines, notamment les vitamines A, B, B2, B3, C et D (**Sahin et Tasligil, 2016**).

La farine obtenue à partir de la pulpe de caroube broyée contient environ 4,45% de protéines, comprenant divers acides aminés tels que l'acide aspartique, l'asparagine, l'alanine, l'acide glutamique, la glutamine, la leucine et la valine. Ces acides aminés représentent environ 57% de la teneur totale en acides aminés de la pulpe. De plus la poudre de caroube renferme généralement entre 2% et 6% de cendres, la teneur variant en fonction du type de caroube utilisé, avec une présence notable de sels minéraux essentiels. Les gousses de caroubier sont particulièrement riches en potassium (802 mg/100 g), en calcium (440 mg/100 g) et en sodium (10,1 mg/100 g) (**Albanell et al., 1991**).

Les graines de caroubier sont réputées pour leur dureté, et leur endosperme contient environ 30% à 40% en poids de galactomannane, un polysaccharide composé de mannose et de galactose. Cette substance est couramment connue sous le nom de gomme de caroube (**Karababa et Coskuner, 2013**).

# **Chapitre II :**

# **Méthodologie de**

# **l'Etude**



Dans ce chapitre, nous allons minutieusement exposer les démarches méthodologiques et les ressources mobilisées pour conduire avec rigueur notre étude. Ce travail s'appuie sur une méthodologie solide et rigoureuse, minutieusement définie afin d'assurer la validité et la fiabilité des résultats que nous présentons. Dans cette perspective, nous détaillerons la manière dont nous avons sélectionné et extrait les données pertinentes à partir des sources en ligne. Chacune de ces étapes revêt une importance capitale au sein de notre processus de recherche.

Au cours de cette section, nous vous offrirons une vue d'ensemble approfondie de notre approche méthodologique, en mettant un accent particulier sur les ressources documentaires que nous avons sollicitées, les critères rigoureux de sélection que nous avons appliqués, ainsi que les techniques méthodiques que nous avons déployées pour collecter et analyser nos données. Il est crucial de noter que cette section revêt une importance capitale pour appréhender la façon dont nous avons abordé notre recherche et par extension, pour comprendre les fondements des analyses et des conclusions que nous avons ultérieurement développées.

### **1.Sources de données**

Pour obtenir des informations actualisées et pertinentes concernant *Ceratonia siliqua*, nous avons principalement consulté les sources de données en ligne suivantes entre Mai et Septembre 2023. La recherche était pour but d'extraire les principaux travaux effectués sur cette espèce en termes de caractérisation dans la région méditerranéenne, en prenant en compte la disponibilité et l'accessibilité des textes intégraux (open access)

**1. Google Scholar ([scholar.google.com](https://scholar.google.com)) :** Nous avons effectué des recherches systématiques sur Google Scholar en utilisant des mots-clés pertinents tels que "*Ceratonia siliqua*", "caroubier", et d'autres termes connexes. Nous avons consulté des articles de revues académiques, des thèses, des rapports de recherche et d'autres documents pertinents disponibles en accès libre.

**2. PubMed ([pubmed.ncbi.nlm.nih.gov](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov)) :** Nous avons exploré la base de données PubMed pour accéder à des articles scientifiques, des études de recherche et des publications liées à *Ceratonia siliqua*, en particulier en ce qui concerne ses aspects botaniques, écologiques et nutritionnels.

**3. Scopus ([www.scopus.com](https://www.scopus.com)) :** Nous avons utilisé Scopus pour rechercher des publications scientifiques sur *Ceratonia siliqua* notamment sa distribution géographique, ses caractéristiques physiques et ses applications.

**4. ScienceDirect ([www.sciencedirect.com](https://www.sciencedirect.com)) :** Nous avons consulté ScienceDirect pour accéder à des articles de revues académiques et des publications liées à *Ceratonia siliqua* notamment des recherches sur ses propriétés chimiques, sa valeur nutritionnelle et ses utilisations.

### **2.Traduction des articles**

Nous avons entrepris la traduction de l'ensemble des articles collectés depuis la langue anglaise vers la langue française. Cette démarche a été entreprise dans le but de faciliter une compréhension plus approfondie des informations présentées dans ces documents. La

traduction des articles en français nous a permis de surmonter les barrières linguistiques et de rendre les contenus plus accessibles à notre recherche. Cette étape s'est avérée essentielle pour garantir que les informations tirées de ces articles soient correctement comprises et intégrées dans notre étude. De plus, la traduction a également facilité la communication des résultats et des conclusions de ces articles au sein de notre recherche, tout en nous permettant de les analyser plus en profondeur et extraire les points nécessaires dans chaque article pour étapes suivants

### 3.Sélection des articles

Le processus de choix des articles revêt une importance capitale dans notre approche de recherche. Nous avons élaboré une méthodologie de sélection particulièrement rigoureuse dans le but d'identifier les articles les plus pertinents et fiables. De plus, afin de mieux classer ces articles, nous les avons catégorisés en fonction de critères spécifiques, selon axes des caractérisations notamment la morphologie, la biochimie et la génétique. Cette procédure de sélection méticuleuse joue un rôle essentiel dans la garantie de la qualité, de la validité et de la fiabilité de toutes les informations que nous présentons dans notre étude (figure 14)

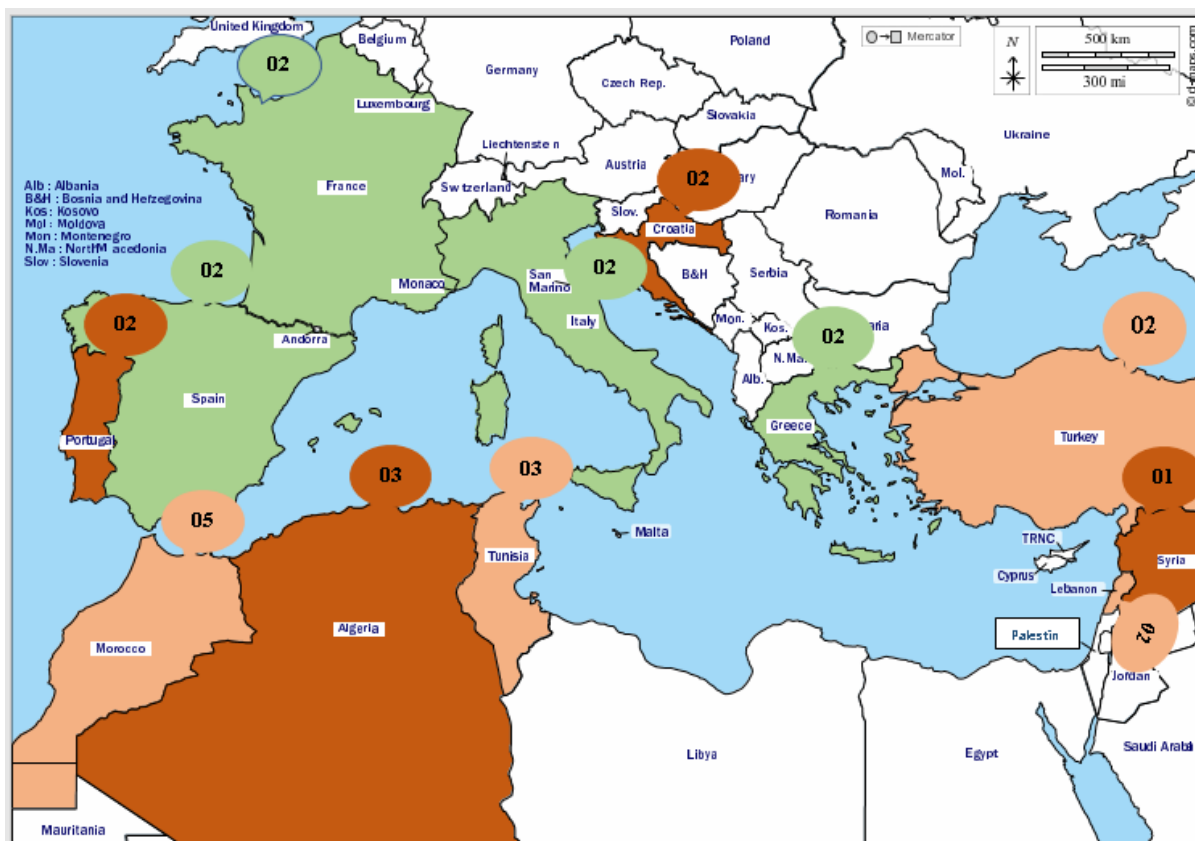


Figure 14: carte géographique des zones d'études des travaux sélectionné(par d-maps.com)

### 4.Critères de sélection

Nos critères de sélection ont été soigneusement définis pour assurer la cohérence et la pertinence des articles inclus dans notre recherche. Les principaux critères que nous avons pris en compte sont les suivants :

**1. Pertinence par rapport à notre objectif :** La sélection des articles a suivi une méthodologie, mettant l'accent sur la pertinence par rapport à notre objectif de recherche. Chaque article a fait l'objet d'une évaluation minutieuse pour déterminer s'il était en adéquation avec notre domaine d'étude, qui englobe la génétique, la morphologie, ainsi que la biochimie, et leurs combinaisons, telles que la morpho-génétique et la morpho-biochimie. Dans le cadre de cette évaluation, nous avons veillé à ce que les articles choisis abordent des thématiques directement liées à notre guide. Il était essentiel que les contenus de ces articles contribuent de manière significative à notre compréhension du domaine, de manière à ce qu'ils puissent être intégrés de manière pertinente dans notre recherche. Cette approche a permis de garantir que les articles sélectionnés étaient en harmonie avec l'objectif de notre étude, renforçant ainsi la cohérence globale de notre démarche de recherche.

**2. Qualité de la recherche :** Nous avons accordé une grande importance à la qualité de la recherche présentée dans les articles. Cela englobe la méthodologie utilisée, la précision des données, la rigueur de l'analyse statistique, et la robustesse des conclusions. Les études expérimentales ont été particulièrement examinées sous cet angle.

**3. Date de publication :** Les articles inclus dans notre recherche ont été limités à ceux publiés entre 2007 et 2022. Cette fenêtre temporelle a été choisie pour garantir la pertinence des informations, en tenant compte des évolutions récentes dans notre domaine d'étude.

**4. Crédibilité des auteurs :** Nous avons évalué la crédibilité des auteurs des articles en examinant leur expérience, leur expertise et leur réputation dans le domaine de la recherche. Les contributions d'experts renommés ont été prises en considération avec un poids particulier.

**5. Accessibilité en accès libre :** Dans la mesure du possible, nous avons privilégié les articles en accès libre. Cela a été fait dans un souci d'accessibilité et de transparence, afin que nos lecteurs puissent consulter librement les sources que nous avons consultées.

La combinaison de ces critères a permis de sélectionner un ensemble d'articles de grande qualité, présentant une pertinence indéniable par rapport à notre objectif de recherche. Cette rigueur dans le processus de sélection garantit la solidité de notre démarche scientifique et la fiabilité des informations qui sous-tendent notre guide.

## **5. Collectes des données**

Une fois que nous avons soigneusement sélectionné les articles répondant à nos critères de pertinence, nous avons amorcé la phase cruciale de collecte de données. Dans cette étape, notre objectif était de bien comprendre les objectifs et la méthodologie employée par les auteurs, tout en examinant les bases des méthodes d'analyse qu'ils avaient utilisées. Par la suite, nous avons extrait les informations essentielles de chaque article et les avons systématiquement organisées dans un tableau détaillé au format Word. Ce tableau a été conçu pour englober une variété d'éléments, tels que le titre de l'article, les noms des auteurs, les caractéristiques botaniques des sujets étudiés, leur répartition géographique, le nombre d'échantillons inclus dans l'étude, ainsi que les résultats obtenus par les auteurs.

L'organisation structurée de ces données dans un tableau a été stratégique, car elle a permis de préparer le terrain pour une analyse approfondie ultérieure. Cette analyse avait pour but de recouper et de comparer les informations extraites de chaque article, dans le but de dégager

des tendances, des corrélations ou des conclusions générales sur le domaine étudié. Il s'agit d'une étape cruciale pour la création du guide final, car elle permet de synthétiser les connaissances tirées de diverses sources et de les mettre en perspective les unes par rapport aux autres.

En résumé, la collecte de données a été menée de manière méticuleuse, avec l'objectif de rassembler des informations essentielles à partir des articles sélectionnés. Ces informations ont été structurées dans un tableau dédié, facilitant ainsi une analyse comparative approfondie. Cette étape prépare le terrain pour la création d'un guide exhaustif, en fusionnant les données issues de multiples sources pour fournir des informations cohérentes et éclairées dans notre domaine d'étude.

## **6. Analyse des données**

Nous avons entrepris une analyse méthodique des données extraites afin d'identifier les tendances, les similitudes et les divergences cruciales liées à *Ceratonia siliqua*. Notre objectif était de comprendre en profondeur le sujet, et pour ce faire, nous avons exploité une gamme d'outils statistiques ainsi que des représentations visuelles fait par les auteures.

Notre processus d'analyse a débuté en examinant attentivement les informations extraites de chaque article qui était déjà présenté sur les tableaux format Word. Il convient de noter que les analyses statistiques ont été effectuées par les auteurs de chaque article, et nous avons tiré parti de leurs résultats. Ces analyses étaient variées et incluaient des méthodes telles que l'Analyse en Correspondance Multiple (ACM). Cette approche s'est avérée cruciale pour mettre en lumière des relations complexes entre diverses variables, permettant ainsi une compréhension approfondie de la structure des données de chaque article.

Nous avons également eu recours à des techniques de Dendrogrammes pour visualiser les regroupements et les liens entre les populations de *Ceratonia siliqua* telles que présentées dans les articles. De plus, l'Analyse en Composantes Principales (ACP) a été un autre outil essentiel pour extraire des informations significatives de ces données. Elle a permis de simplifier la complexité des données tout en conservant les informations pertinentes, facilitant ainsi la compréhension des tendances globales.

Les graphiques relatifs aux populations, tels que ceux présentés dans les articles, ont également été examinés pour comprendre les données, offrant ainsi une vue d'ensemble claire et informative des variations observées dans les études individuelles.

Chaque méthode d'analyse a été suivie d'une évaluation statistique, ce qui nous a permis de tirer des conclusions solides et significatives à partir des données de chaque article. Ces conclusions ont ensuite été intégrées dans notre analyse globale, contribuant à une visualisation claire et compréhensible des informations. Cette approche analytique approfondie a été essentielle pour éclairer notre recherche et fournir des résultats pertinents qui serviront à la création ultérieure de notre guide.

## **7. Réduction un rapport :**

Suite à l'accomplissement de ces étapes, nous avons atteint la dernière phase de la rédaction de notre rapport, au cours de laquelle nous avons minutieusement examiné et discuté les résultats présentés par les auteurs de chaque article. Cette étape de discussion revêt une

importance cruciale dans notre processus de recherche, car elle nous permet de tirer des conclusions éclairées et de mettre en perspective les découvertes de chaque étude examinée.

Lors de ces discussions, nous avons analysé en détail les implications des résultats, examiné les forces et les limites des méthodologies employées par les auteurs, et cherché à identifier les tendances ou les divergences dans les conclusions des différentes études. Ce processus nous a permis de mieux comprendre la pertinence des résultats par rapport à notre propre recherche, d'évaluer la qualité des données recueillies et de mettre en lumière les lacunes éventuelles dans la littérature existante. En fin de compte, ces discussions ont été essentielles pour formuler nos propres conclusions, éclairées par une analyse et approfondie de l'ensemble des données examinées.

# **Chapitre III :**

## **Résultats et**

## **Discussion**

Le travail était réalisé durant la période de Mai et Septembre 2023. Au totale 22 articles sur la caractérisation ont été choisie (Tableau 4)

Tableau 4: Résultats de la liste de la recherche systématique a analysé

Caractérisation Morphologique				
Pays	Titre	Auteur	Date	Revue
Liban	Assessment of Ancient Carob Germplasm of Lebanon by Morphological Traits	M. Chami 1 , A. Hajj2 , J. Kahwaji 2 , H. Youssef2 , S.Ghaith2 , L. Fakih2 , M. Smaha2 , R. Nabbout2 , M. El Riachy2 , F. As-Sadi1 , M. Al Zein3 , F. J. Ruiz Gomez4 , G. Palacios-Rodriguez4 , R. Navarro-Cerillo4 , J. Tous5 , and L. Chalak1	2018	Journal of the American Pomological Society 72(4): 260-278
Algérie	Functional Diversity Based on Morphometric Analysis and Identification of The Algerian Carob Tree (Ceratonia siliqua.L.) Cultivars	Yassine Moustafa MAHDAD 1, 2, 4 *, Rida Mohammed MEDIOUNI 1, Juan VIRUEL 3 ,Nassim SELKA 1 ,Semir Bechir Suheil GAOUAR 1	2022	Genetics And Biodiversity Journal DOI:10.46325/gabj.v6i2.238
Tunisie	Tunisian carob (Ceratonia siliqua L.) populations: Morphological variability of pods and kernel	S. Naghmouchi a, *, M.L. Khouja a,1 , A. Romero b , J. Tous b , M. Boussaid c	2009	journal homepage: <a href="http://www.elsevier.com/locate/scihorti">www.elsevier.com/locate/scihorti</a> doi:10.1016/j.scienta.2009.02.026
Croatie	Comparison of Morphological Characteristics of Carob Tree (Ceratonia siliqua L.) Pods and Seeds of Populations Collected from Two Distant Croatian Islands: Drvenik Mali and Mali Lošinj	Siniša SREČEC 1( ), Dario KREMER 2, Ksenija KARLOVIĆ 3, Tomislava PEREMIN VOLF1, Renata.ERHATI Ć1, Zvezdana AUGUSTINOVIĆ1, Ivka KVATERNJAK1, Snježana.BOLARIĆ 3, Dubravka.DUJMOVIĆ PURGAR3, Valerija DUNKIĆ 4, Nada BEZIĆ 4, Marko RANDIĆ 5	2016	Agriculturae Conspectus Scientificus . Vol. 81 No. 1 (61-64)
Algérie	GENETIC RESOURCES OF CAROB TREE (CERATONIA	KOCHERANE Rima 1, KROUCHI Fazia 2 and DERRIDJ Arezki 2	2019	Agrobiologia www.agrobiologia.net ISSN (Print): 2170-

	SILQUA L.) IN ALGERIA: INSIGHT FROM POD AND SEED MORPHOLOGY			1652 e-ISSN (Online): 2507-7627
Portugal	Evaluation of fruit and seed diversity and characterization of carob ( <i>Ceratonia siliqua</i> L.) cultivars in Algarve region	P. Barracosa a, J. Osório b,1 , A. Cravador b,1	2007	Scientia Horticulturae 114 (2007) 250–257 doi:10.1016/j.scienta.2007.06.024
Caractérisation Biochimique				
Tunisie	Evolution of phytochemical and antioxidant activity of Tunisian carob ( <i>Ceratonia siliqua</i> L.) pods during maturation	Khadija Ben Othmen <sup>1</sup> , Walid Elfalleh <sup>2</sup> , Belgacem Lachiheb <sup>1</sup> and Mansour Haddad <sup>1</sup>	2019	The EuroBiotech Journal DOI: 10.2478/eibtj-2019-0016
Maroc	Yield and composition of carob bean gum produced from different Moroccan populations of carob ( <i>Ceratonia siliqua</i> L.)	H. El Batal <sup>1</sup> , A. Hasib <sup>1</sup> , A. Ouatmane <sup>1</sup> , A. Boulli <sup>1</sup> , F. Dehbi <sup>1</sup> , A. Jaouad <sup>2</sup>	2012	J. Mater. Environ. Sci. 4 (2) (2013) 309-314 El Batal et al. ISSN : 2028-2508 CODEN: JMESCEN
Maroc	Etude comparative de la composition minérale des constituants de trois catégories de <i>Ceratonia siliqua</i> L. (Comparative study of the mineral composition of the constituents of three varieties of <i>Ceratonia siliqua</i> L.)	Hanane El Hajaji <sup>1</sup> , Abdellah Farah <sup>2</sup> , Abdesslam Ennabili <sup>2</sup> , Dalila Bousta <sup>2</sup> , Hassane Greche <sup>2</sup> , Brahim El Bali <sup>3</sup> , Mohammed Lachkar <sup>1</sup>	2012	J. Mater. Environ. Sci. 4 (2) (2013) 165-170 Elhajaji et al. ISSN: 2028-2508 CODEN: JMESCEN
Algérie	Algerian Carob Tree Products: A Comprehensive Valorization Analysis and Future Prospects	Rosa Mahtout <sup>1,2</sup> , Víctor Manuel Ortiz-Martínez <sup>2</sup> , María José Salar-García <sup>2</sup> , Isabel Gracia <sup>2</sup> , Francisco José Hernández-Fernández <sup>2</sup> , Antonia Pérez de los Ríos <sup>3</sup> , Farid Zaidia <sup>1</sup> ,	2018	Sustainability 2018, 10, 90; doi:10.3390/su10010090



		Sergio Sanchez-Segado 2 and Luis Javier Lozano- Blanco 2		
Turquie	Variation of quality characteristics in Greek and Turkish carob pods during fruit development	Stavroula A.Vekiaria, Georgia Ouzounidou, Münir Ozturkb, Güven Görkc	2011	Published by Elsevier Ltd. Selection and/or peer-review under responsibility of The 2nd International Geography SymposiumMediterranean Environment doi:10.1016/j.sbspro.2011.05.194
Caractérisation Morpho-Biochimique				
Liban	MORPHOLOGICAL AND CHEMICAL VARIABILITY OF LEBANESE CAROB VARIETIES	Amira Haddarah, Ali Ismail, Ali Bassal, Tayssir Hamieh	2013	European Scientific Journal June 2013 edition vol.9, No.18 ISSN: 1857 – 7881 (Print) e - ISSN 1857- 743
Maroc	Morphometric and physicochemical characteristics of carob pods in three geographical regions of Morocco	Fatiha Fadel1,2 · Khadija El Mehrach2· Bouchra Chebli1· Fadma Fahmi2· Mohamed El Hafa3· Oukacha Amri2· Mohamed Ait Bihi2· Abdelhakim Hatimi2· Saida Tahrouch2	2020	SN Applied Sciences, Springer Nature Switzerland AG (2020) 2:2173   <a href="https://doi.org/10.1007/s42452-020-03963-w">https://doi.org/10.1007/s42452-020-03963-w</a>
Maroc	Morphological and Biochemical Variability of Moroccan Carob ( <i>Ceratonia siliqua</i> L.) Produced in Beni Mellal Region	K. Elfazazi1, M. Jbilou1, A. Assaidi2, M. Benbati1 and H. Harrak3	2017	Internatiol journal of pure et applied bioscience DOI: <a href="http://dx.doi.org/10.18782/2320-7051.5295">http://dx.doi.org/10.18782/2320-7051.5295</a>
Turquie	Morphological and biochemical diversity among wild-grown carob trees ( <i>Ceratonia siliqua</i> L.)	Nazan Korkmaz1, Meleksen Akin2, Aysen Koc3, Sadiye Peral Eydurani2, Gulce Ilhan4, Halil Ibrahim Sagbas4, Sezai Ercisli4	2020	Published by the Polish Society for Horticultural Science since 1989 DOI: 10.2478/fhort-2020-0007
Caractérisation Génétique				
le bassin méditerranéen.	Genome-wide footprints in the carob tree ( <i>Ceratonia siliqua</i> ) unveil a new domestication	Alex Baumell1   Gonzalo Nieto Feliner2   Frédéric Médail1   Stefano La Malfa3   Mario Di Guardo3   Magda Bou Dagher Kharrat4   Fatma	2022	Molecular Ecology published by John Wiley & Sons Ltd. DOI: 10.1111/mec.16563

	pattern of a fruit tree in the Mediterranean	Lakhal-Mirleau1, Valentine Frelon1, Lahcen Ouahmane5 Katia Diadema6   Hervé Sanguin7,8, Juan Virue		
le bassin méditerranéen	Advances in genotyping microsatellite markers through sequencing and consequences of scoring methods for <i>Ceratonia siliqua</i> (Leguminosae)	Juan Viruel1,2,10, Anne Haguenaer2, Marianick Juin2, Fatma Mirleau2, Delphine.Bouteiller3, Magda.Boudagher Kharrat4,Lahcen.Ouahmane5, Stefano La Malfa6, Frédéric Médail2, Hervé Sanguin7,8, Gonzalo Nieto Feliner9, and Alex Baumel2	2018	Applications in Plant Sciences 2018 6(12): e1201 doi:10.1002/aps.31201
Tunisie	Genetic structure of Tunisian natural carob tree ( <i>Ceratonia siliqua</i> L.)populations inferred from RAPD markers	Makrem Afif1, Chokri Messaoud1, Abdennacer Boulila1, Hnia Chograni1, Afef Bejaoui1, Mohamed Nejib Rejeb2, Mohamed Boussaid1	2008	Annals of Forest Science BP 10, Ariana-2080 Tunisia DOI: 10.1051/forest:2008057
Caractérisation Morpho-Génétique				
Syrie	Morphological and Genetic Variability of Natural Syrian Carob ( <i>Ceratonia Siliqua</i> L.)	Hafez Mahfoud 1, Tala Ameen 2, Fadi Kazngi3, Samer Nasser	2018	SSRG International Journal of Agriculture & Environmental Science (SSRG-IJAES) – Volume 5 Issue 2 Mar – April 2018 DOI:10.14445/23942568/IJAES-V5I2P110
Croatie	Morphological and molecular characterization of Croatian carob tree ( <i>Ceratonia siliqua</i> L.) germplasm	Snježana BOLARIĆ1, Ivna DRAGOJEVIĆ MÜLLER2, Aleš VOKURKA1, Dubravka VITALI ČEPO3, Mirko RUŠČIĆ4, Siniša SREČEC5, Dario KREMER6,	2021	Turkish Journal of Agriculture and Forestry doi:10.3906/tar-2107-24
Portugal	Analysis of genetic diversity in Portuguese <i>Ceratonia siliqua</i> L. cultivars using RAPD and	P. Barracosa a, M.B. Lima b, A. Cravador	2008	journal homepage: www.elsevier.com/locate/scihorti doi:10.1016/j.scienta.2008.06.020



poids individuel des graines, le poids total des graines par gousse ainsi que le rendement en graines).

Pour les analyses statistiques visant à identifier les schémas géographiques de variation dans la morphologie des gousses, une méthode de regroupement basée sur la technique de Ward a été employée avec l'assistance de R v.3.2.3. De plus, l'analyse de la variance a également été appliquée pour cette fin. L'approche de Kolmogorov-Smirnov (K-S) pour tester la normalité et la méthode de Spearman ont été utilisées dans le processus. (Figure 16,17)

Les résultats de l'étude mettent en évidence diverses caractéristiques. Concernant les arbres, les circonférences de tronc varient de 2 m à 8,2 m, avec la plupart se situant entre 2,2 m et 4 m. Environ 44 % des arbres montrent des cavités dans le tronc, avec des volumes allant de 0,01 m<sup>3</sup> à 0,95 m<sup>3</sup>. La projection de la couronne varie de 3,3 m à 16 m. Pour les feuilles, la longueur varie de 42,7 mm à 188,9 mm et la largeur de 24,8 mm à 167 mm. Le pétiole est généralement court, mesurant entre 19 mm et 30 mm. Chaque feuille possède entre 6 et 10 folioles, avec des longueurs de 45,6 mm à 83,4 mm et des largeurs de 28,4 mm à 56,7 mm. Concernant les gousses, elles présentent diverses formes, principalement courbées (prédominante), mais certaines sont droites ou torsadées. La gamme de couleurs va du brun au noir, avec des longueurs de 108,3 mm à 234,2 mm. Les poids des gousses varient de 5,9 g à 37,65 g, et le poids de la pulpe entre 4,49 g et 34,67 g. L'épaisseur des gousses varie de 4,6 mm à 12,2 mm. Chaque gousse contient de 8 à 14 graines, avec un pourcentage de graines avortées de 0 % à 23 %. Le poids total des graines par gousse est compris entre 1,36 g et 3,05 g, et le rendement en graines varie de 6,7 % à 36,6 %. Pour les caractéristiques des graines, la longueur est entre 7,7 mm et 11,5 mm, la largeur entre 6 mm et 8,6 mm, et l'épaisseur entre 3,7 mm et 5,3 mm. Le poids individuel des graines varie de 0,152 g à 0,295 g. La plupart des graines ont une surface lisse, bien que certains spécimens du Nord Liban présentent une texture rugueuse à lisse. La forme ovale prédomine, bien que des graines elliptiques soient présentes dans certaines régions comme le Sud Liban, le Nord Liban et le Mont-Liban.

Les résultats obtenus ont servi à examiner les corrélations entre les caractéristiques morphologiques par corrélation de Pearson. De plus, les relations entre ces caractères et les zones de culture éco-géographiques ont été explorées en utilisant l'analyse des composantes principales (ACP). Qui a révélé des corrélations significatives entre les caractéristiques des gousses et des graines ; en particulier la longueur des gousses, la longueur de la corde et la largeur des gousses avec la longitude. Cependant, la taille et le poids des gousses étaient négativement corrélés avec le rendement en graines et les niveaux de pluviométrie. De plus, une analyse en composantes principales a permis de distinguer entre les arbres du Sud et du Mont-Liban, bien que la classification des arbres de Beyrouth et du Nord ait été plus complexe.

Cette caractérisation morphologique a détaillé les caractéristiques des anciennes germoplastes de caroube au Liban, en exploitant les données par des corrélations entre les caractères morphologiques et les zones de culture éco-géographiques. Toutefois, une éventuelle étude génétique sur les mêmes spécimens pourrait renforcer la précision de la classification. Les résultats obtenus ont des implications potentielles pour la préservation et l'utilisation durable de cette précieuse ressource génétique.

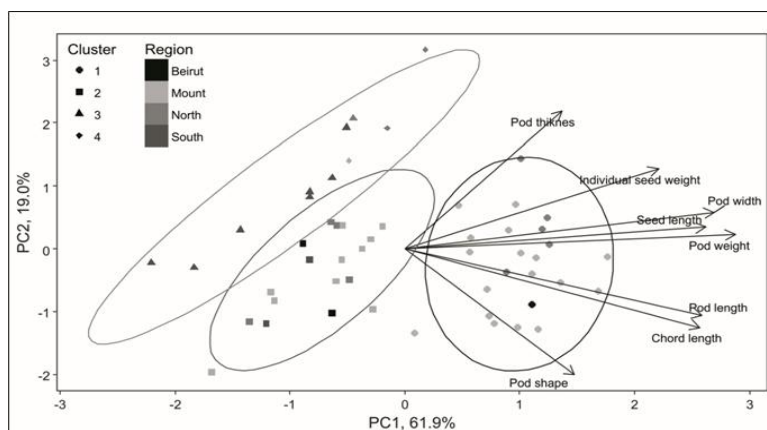


Figure 16: PCA biplot of the 52 centennial carob trees par Chami et al ,2018

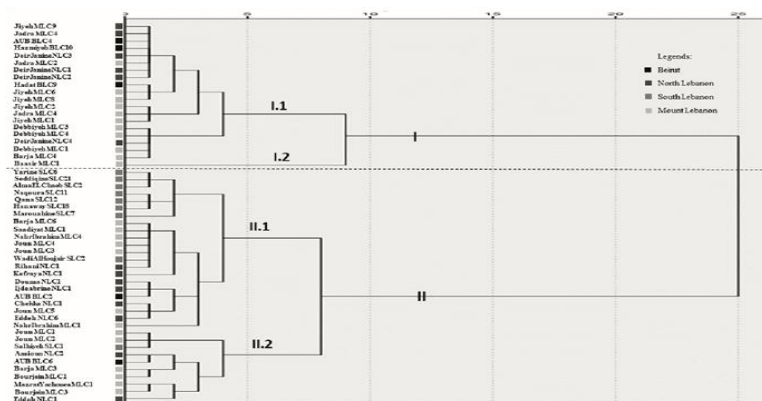
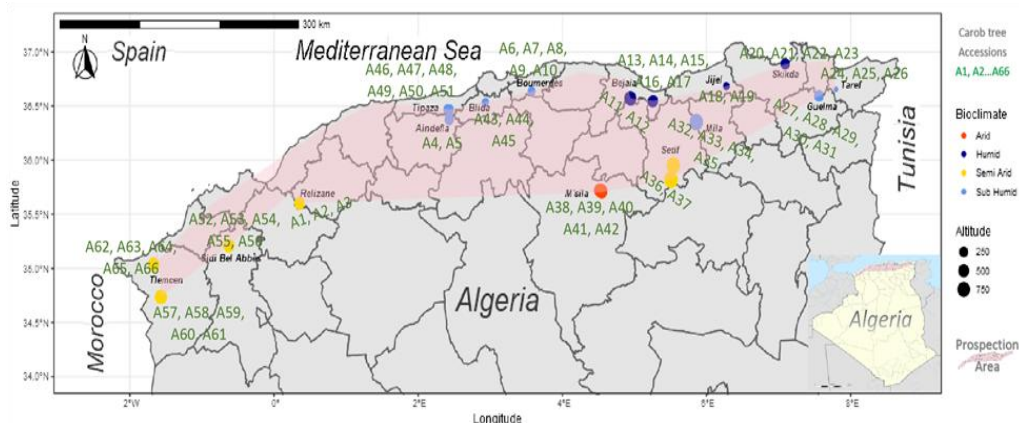


Figure 17: Dendrogram of 52 centennial carob trees constructed on the base of morphological traits recorded, using rescaled squared Euclidean distance par Chami et al ,2018

L'étude menée par Mahdad et al en 2022, intitulée "Functional Diversity Based on Morphometric Analysis and Identification of the Algerian Carob Tree (*Ceratonia siliqua L.*) Cultivars ", était dans l'objectif d'identifier les variations morphologiques des feuilles, des gousses et des graines des caroubiers, cette analyse était portée sur 66 accessions de caroubiers provenant de 19 sites d'Algérie. Couvrant ainsi une vaste étendue géographique comprenant 15 régions distinctes et quatre régions bioclimatiques différentes (aride, semi-aride, humide et semi-humide) (figure 18). Ceci afin de comprendre leur diversité et leur potentiel pour la sélection de cultivars adaptés aux conditions locales et la préservation des ressources génétiques. Cette étude a impliqué l'analyse détaillée de 66 accessions, y compris deux accessions hermaphrodites de caroubiers, qui été identifiées sous le nom de "Tarfî", en lien avec El Taref, et deux autres accessions nommées en référence à leurs origines géographiques, comme "Tlemsani" pour Tlemcen et "Maricani" associé au terme "américain".



**Figure 18: Distribution map of sixty-six carob tree accessions sampled in 19 localities with different bioclimatic stages of northern Algeria par Mahdad et al,2022**

Cette caractérisation morphologique était basée sur les paramètres qualitatifs et quantitatifs des parties végétatives, pour chaque accession l'auteur a échantillonné cinq feuilles pour identifier la forme et la couleur (caractères qualitatifs) et longueur de rachis, nombre de folioles/feuilles, surface et dimensions des folioles (caractères quantitatifs).

30 gousses, ou il a mesuré la longueur, largeur, épaisseur, le poids, le poids de la pulpe et le pourcentage de pulpe. Enfin trois graines par gousse, qu'il a caractérisée par les mesures des dimensions des graines, épaisseur, le poids par gousse, le nombre de graines et le pourcentage de graines.

Les données de cette étude ont été exploitées pour les analyses statistiques : tests d'analyse de variance (ANOVA), l'analyse en composantes principales (PCA) (figure 19), l'analyse en correspondances multiples (MCA) (figure 20), classification hiérarchique basée sur la méthode "ward.D2", ainsi que l'analyse de corrélation l'aide du logiciel RStudio et logiciel PAST 4.03 pour analyser les corrélations

Les résultats obtenus ont montré une diversité morphologique au sein des différentes accessions examinées. Les feuilles ont exprimé une diversité morphologique qui varie entre 9.04 cm et 22.16 cm de longueurs de rachis et une surface des folioles de 11.49 cm<sup>2</sup> à 33.93 cm<sup>2</sup>. Le rapport entre la longueur et la largeur des feuilles évolue entre 1.23 et 1.73, avec un nombre de folioles qui varie de 6.0 à 11.2. La taille des gousses, allant d'une longueur de 11.20 cm à 19.36 cm, et largeur varie de 1.54 cm à 3.07 cm, tandis que l'épaisseur des gousses oscille entre 0.29 cm et 0.97 cm, avec un poids qui varie entre 5.8 g à 27.4 g. Les graines ont présenté une légère variation, ou la longueur s'échelonnent entre 0.81 cm et 1.10 cm, et la largeur de 0.59 cm à 0.81 cm avec une épaisseur de 0.23 cm à 0.50 cm. Par ailleurs, le nombre de graines par gousse se situe dans une fourchette allant de 6.43 à 13.97.

Cette analyse a présenté la variabilité et la diversité des accessions de caroubiers en Algérie, ou l'auteur a comparé à celles des caroubiers d'autres régions méditerranéennes, qui a montré une similitude en particulier les caractéristiques des gousses, d'une autre part une ressemblance des dimensions des graines algériennes avec celle des variétés espagnoles qui se caractérise d'une taille supérieure par rapport aux résultats réalisés sur les variétés de la méditerranée

Ce travail a identifié certains spécimens qui sont des candidats potentiels pour la création de nouvelles variétés (cultivars), en se basant sur la diversité morphologique des caroubiers en Algérie,

Cependant, cette étude nécessite l'intégration d'une autre analyse biochimique, notamment sur les graines et les gousses, pour une compréhension encore plus approfondie, et une étude génétique pour l'identification afin de réussir la sélection génétique et de développement de vergers de caroubiers à haut rendement en Algérie.

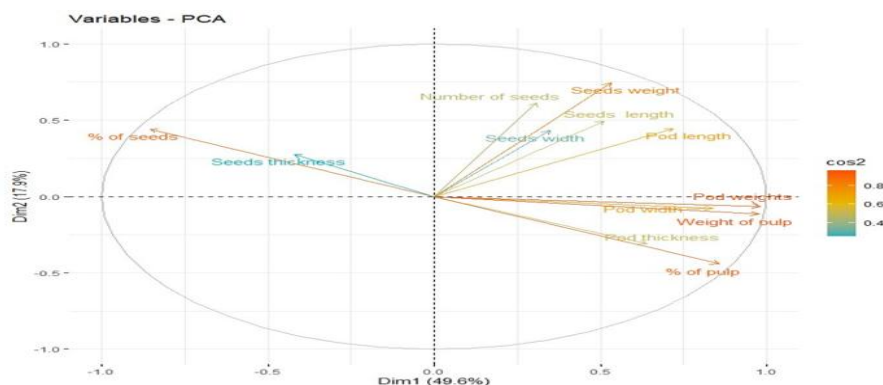


Figure 19: Principal component analysis of 12 morphological traits (pods and seeds) of 66 Algerian carobs accessions par Mahdad et al, 2022

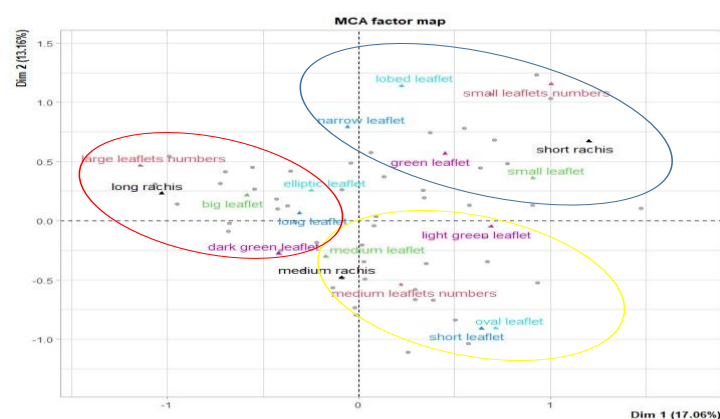


Figure 20: Multiple correspondence analysis of six variables of leaves belonging 66 Algerian carobs accessions. The MCA groups the leaves of carob tree into three distinct classes par Mahdad et al, 2022

L'étude menée par Naghmouchi et al 2009, intitulée " Tunisian carob (*Ceratonia siliqua* L.) populations : Morphological variability of pods and kernel", A pour objectif d'analyser la diversité des populations de caroubiers en Tunisie. L'échantillonnage était pour 19 populations de caroubiers tunisiens, qu'ils soient sauvages ou cultivés, issues de différentes zones géographiques de la région de Tunis, couvrant des environnements allant de faiblement humides (Tabarka) à semi-humides (Menzel Bourguiba, Slouguia, Ain Tounga), en passant par Gharelmelh, Hammamet, Zaghouan, Slimen, Jbal Rsas), jusqu'à des régions à humidité modérée à semi-arides (Ariana, Belvedaire, Bargou), faiblement semi-arides (Zbid, Khnis, Kalaa, Sayada, Jradou, Enfidha), et enfin, arides (Chbika) (figure 21). Chaque population était présentée par 10 à 20 arbres, avec 25 gousses sélectionnées au hasard par arbre pour analyse.



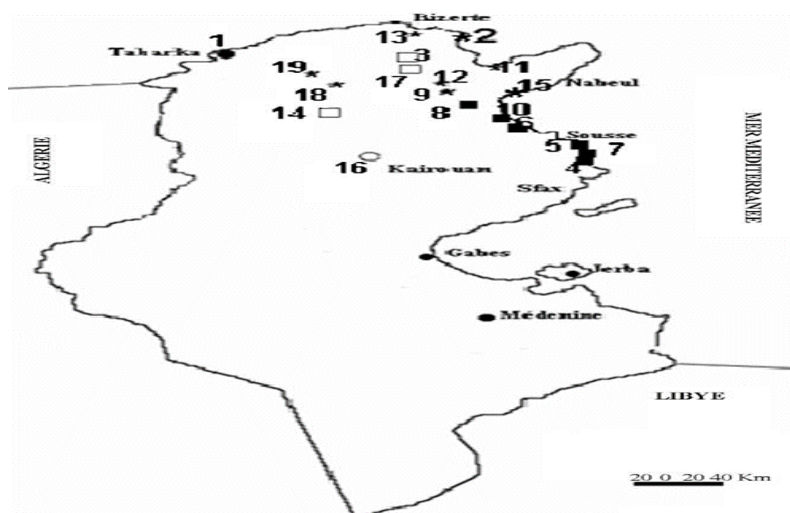


Figure 21: Repartition map of Tunisian carob populations par Naghmouchi et al,2009.

La caractérisation morphologique des parties végétatives, était basé sur les caractères quantitatifs des gousses (le poids, la longueur, la largeur, l'épaisseur latérale et centrale) et le nombre de noyaux viables et avortés. Et des noyaux, (poids, longueur, largeur, épaisseur et rendement).

Les données collectées ont été utiliser pour les analyses statistiques y compris l'analyse de variance a un facteur pour chaque caractère (ANOVA), test de Duncan ( $P = 0,05$  et  $P = 0,001$ ), et en fin une analyse en composantes principales (PCA) (figure 22)

Les résultats ont montré une diversité pour les caractères liés aux gousses et noyaux La longueurs des gousses varie de 141 mm pour la population de Gharelmelh à 205,7 mm pour celle de Slouguia. Les populations de Hammamet, Zbid et Ghar Elmelh ont présenté les gousses les plus larges, avec des valeurs allant de 24,2 à 25,1 mm, tandis que la population de Belvedaire avait la plus basse largeur moyenne, à 15,3 mm. Les épaisseurs centrale et latérale les plus élevées ont été observées chez la population de Ghar Elmelh, respectivement 12 mm et 8,2 mm. Les caractères liés aux noyaux ont montré des valeurs plus élevées chez les populations de Sayada et Hammamet. Et Le nombre de noyaux avortés était plus élevé dans la population de Hammamet et plus faible chez Zaghouan. Les populations de Sayada, Zaghouan et Belvedaire ont affiché les plus hauts nombres de noyaux viables par gousse, avec des valeurs respectives de 14,5, 13,92 et 13,4.

Le poids des gousses en moyenne le plus élevé a été enregistré chez la population de Hammamet, atteignant 28,88 g, tandis que les populations de Sliman, Bargou, Zaghouan et Belvedaire ont présenté les valeurs les plus faibles, allant de 9,45 g à 11,39 g.

Cette étude a pour but d'une caractérisation morphométrique des gousses et des noyaux au sein de diverses populations de caroubiers tunisiens. Qui peut servir à la sélection, l'amélioration et la préservation des ressources génétiques du caroubier en Tunisie. Toutefois, cette analyse se concentre principalement sur l'identification quantitatives, cependant une analyse morphologique doit passer par les caractères quantitatifs et qualitatifs à la fois, qui peut valoriser le travail en plus et facilité la sélection pour l'agriculteur.



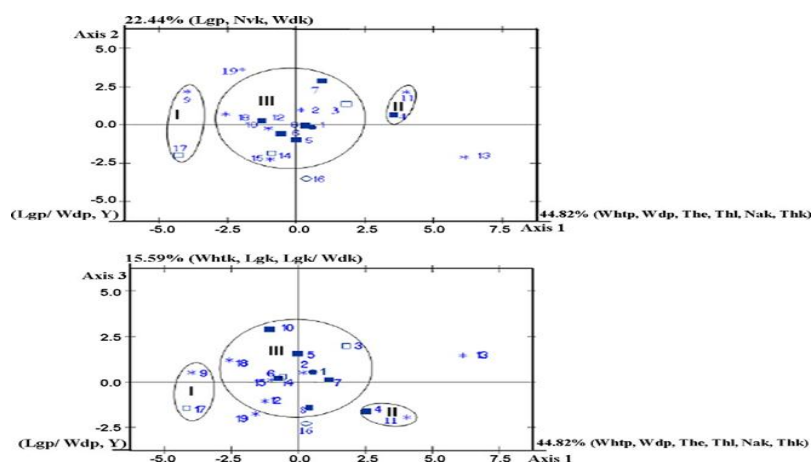


Figure 22: Plot of the populations on the first, second and third components par Naghmouchi et al,2009.

Le travail de Srećec et al, 2016 sous le titre " Comparison of Morphological Characteristics of Carob Tree (*Ceratonia siliqua L.*) Pods and Seeds of Populations Collected from Two Distant Croatian Islands: Drvenik Mali and Mali Lošinj ", a pour but de comparaison morphologiques des gousses et graines de caroubier entre la population de Mali Lošinj et Drvenik Mali, afin de discerner si les variations observées est dû aux facteurs génétiques ou environnementaux.

L'étude était menée sur 193 échantillons de gousses d'arbres de caroube, prélevés à partir de deux populations distinctes : 63 échantillons provenant de cinq arbres à caroube sur l'île de Mali Lošinj et 130 échantillons provenant de douze arbres à caroube sur l'île de Drvenik Mali, les deux sites sont caractérisés par un climat méditerranéen, (figure 23). La caractérisation morphométrique a été basé sur les parties végétatifs, notamment les caractères quantitatifs des gousses (Largeur, longueur et épaisseur) et graines (Diamètre moyen géométrique ( $D_g$ ), Sphéricité ( $\phi$ ), Volume, Surface des graines, Largeur, longueur et épaisseur)

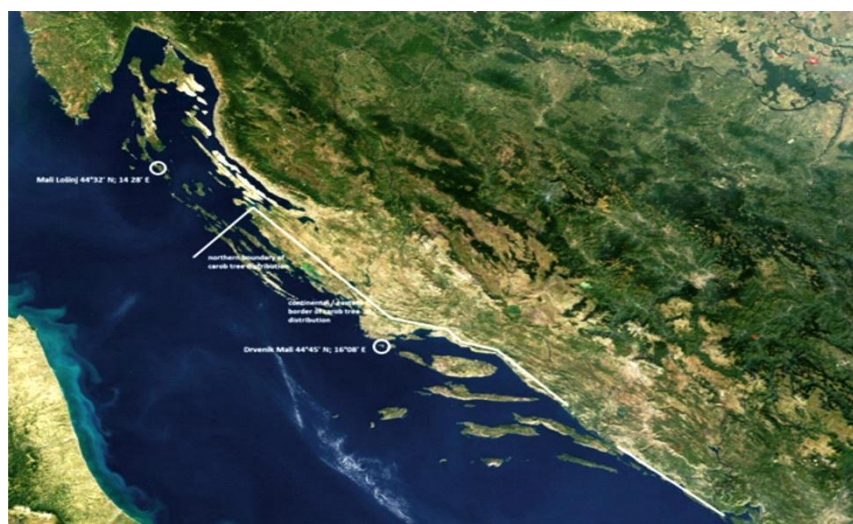


Figure 23: Locations of Drvenik Mali and Mali Lošinj and boundaries of carob tree (*Ceratonia siliqua L.*) growing area par Srećec et al, 2016

Les données ont été exploité pour analyses de la variance à un facteur (ANOVA) et les tests de comparaison de moyennes.

Les résultats ont présenté une différence entre les deux régions : les gousses de la population de Mali Lošinj ont montré un poids inférieur ainsi qu'un nombre de graines par gousse moins élevé par rapport à la population de Drvenik Mali ( $D=15,4$  g et  $2,25$  ;  $P<0,00001$ , respectivement). De plus, la largeur des gousses de caroubes de la population de Mali Lošinj s'est révélée significativement plus réduite par rapport à celle de la population de Drvenik Mali ( $D=8,66$  mm ;  $P<0,00001$ ). En revanche, il n'y a pas eu de variations significatives observées dans la longueur et l'épaisseur des gousses de caroubes entre ces deux populations ( $D=2,67$  cm et  $2,28$  mm ; non significatif). En ce qui concerne des graines de caroubes, la population de Drvenik Mali affiche une longueur, une largeur et un poids des graines nettement supérieures à ceux de la population de Mali Lošinj ( $D=1,08$  mm ;  $D=0,69$  mm et  $0,05$  g ;  $P<0,00001$ , respectivement). Cependant, l'épaisseur des graines de la population de Mali Lošinj se montre nettement plus importante que celle de la population de Drvenik Mali ( $D=0,24$  ;  $P<0,00001$ ).

La comparaison des caractéristiques morpho étriques standards telles que le diamètre moyen géométrique ( $D_g$ ), la sphéricité ( $\phi$ ), le volume des graines ( $V$ ) et la surface ( $S$ ) a montré que les graines de la population de Mali Lošinj sont plus sphériques que celles de la population de Drvenik Mali (Tableau 3) ( $D=0,12$ ). Toutefois, le diamètre moyen géométrique des graines, le volume des graines et la surface des graines de la population de Drvenik Mali se sont avérés supérieurs à ceux de la population de Mali Lošinj. Selon l'auteur Les différences morphologiques observées des gousses et des graines entre les deux populations sont principalement attribuables à des facteurs génétiques, nécessitant une confirmation par le biais de l'analyse de l'ADN génomique. Par ailleurs, l'auteur a soulevé l'hypothèse que la croissance des caroubiers demeure réalisable même au nord de la limite de distribution classique de l'arbre, du fait des influences micro climatologiques et de l'exposition à certaines baies, ce qui semble être le cas avec l'emplacement de Mali Lošinj.

Cette caractérisation morphométrique comparatives entre les populations d'arbres de caroube entre Mali Lošinj et de Drvenik Mali, a décrit les variations et le polymorphisme morphologique du caroubier dans les deux régions, qui été vérifié par les analyses statistiques ce qui a soulevé l'hypothèse que Les facteurs génétiques semblent être à l'origine des variations, qui reste à vérifier par une analyse génétique. En revanche la taille modeste de l'échantillon limite la généralisation de l'hypothèse ainsi que l'étude se focalise sur deux îles croates, une inclusion plus large de régions aurait élargi la portée des conclusions. L'auteur néglige également les aspects qualitatifs. En comparant directement les populations des deux îles, ce qui peut renforcer la pertinence des observations.

\_Le travail de KOCHERANE et al, 2019, intitulée " Genetic resources of carob tree (*Ceratonia siliqua* L.) in Algeria : insight from pod and seed morphology", était pour but de caractérisation des variations du caroubier sauvage en Algérie. Cette étude a été menée sur 7 populations spontanées de caroubiers dans le nord de l'Algérie Dans chaque population, un échantillon de 20 arbres a été retenu, et 20 gousses par arbre ont été récoltées de manière aléatoire, 140 arbres et 2800 gousses, 20 graines mesurées par arbre et 2800 graines au total. Ces populations sont situées à différentes altitudes de l'est à l'ouest sont Annaba (une population côtière de l'Est de l'Algérie située à 740 m et évoluant dans un bioclimat humide doux), Jijel pour 4 caractéristiques (une population côtière de l'Est de l'Algérie, située à une altitude de 81 m et évoluant dans un bioclimat humide doux), Blida et Tipaza (une provenance du centre-nord située à une altitude de 187 m dans un bioclimat subhumide chaud), Relizane et Sétif (une population de l'intérieur située à une altitude de 155 m dans un bioclimat semi-aride doux), Tlemcen (une population de l'ouest située à 757 m et évoluant dans un bioclimat semi-aride doux) (figure 24).

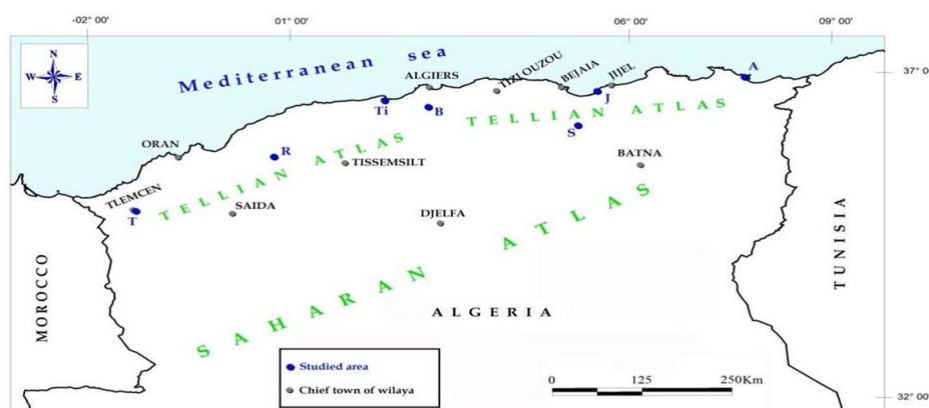


Figure 24: Map of Algeria showing locations of the carob sites analyzed. \*T:Tlemcen; R: Relizane; Ti: Tipaza; B: Blida; S:Setif; J:Jijel; A:Annaba par KOCHERANE et al, 2019

La caractérisation était basée sur trois caractères qualitatifs sur les gousses et des graines (couleur, forme et aspect de surface) et quatorze caractères quantitatifs pour les gousses et les graines (longueur, largeur, l'épaisseur de la corde, le poids, le poids de la pulpe, le nombre total de graines par gousse dans le cas des gousses, la longueur, la largeur, l'épaisseur et le poids total des graines, ainsi que le poids moyen des graines dans le cas des graines). Certaines variables synthétiques ont également été calculées, telles que le ratio "longueur de la gousse / largeur de la gousse", le ratio "corde de la gousse / longueur de la gousse" et le ratio "poids total des graines / poids de la gousse  $\times$  100", correspondant au rendement en graines. Le poids moyen des graines a été calculé en divisant le poids total des graines par gousse par le nombre total de graines par gousse.

Ces données ont été exploitées pour les analyses statistiques ; l'auteur a commencé par une analyse descriptive (moyenne et coefficient de variation), suivie d'une analyse de variance à deux facteurs imbriqués. Les corrélations linéaires entre les variables ont également été calculées. Les données obtenues sur les caractères qualitatifs ont été soumises à une analyse des fréquences relatives des modalités pour chaque variable à trois niveaux : sur l'ensemble de l'échantillon, au niveau de la provenance et au sein de chaque provenance, l'analyse était en utilisant logicielle Statistica 10 (Shareware) et Rx64.3.4.0.

Les résultats de l'identification qualitatives des gousses montrent une répartition en trois couleurs principales : brun foncé (45,97 %), brun rougeâtre (28,36 %) et brun clair (25,67 %). La couleur brun clair est dominante à Relizane, tandis que le brun foncé prédomine à Tlemcen (59,25 %), Jijel (80,50 %) et Blida (90,50 %). Tandis que le brun rougeâtre était représenté à Sétif, Tipaza et Annaba (57,75 %, 53,50 % et 38,50 % respectivement). En ce qui concerne les formes de gousses, elles se divisent en courbées (90,07 %), droites (6,29 %) et en spirale (3,64 %), avec une prédominance des gousses courbées Relizane (80 %), Sétif (55 %) et Tipaza (45 %), sauf à Tlemcen (14,5 %) et Annaba (10,25 %) où les formes en spirale atteignent. Les surfaces des gousses se distinguent en froissées (59,25 %), lisses (40,11 %) et très rugueuses (0,64 %), Les surfaces froissées sont plus fréquentes à Tlemcen, Jijel, Annaba, Relizane et Blida (de 91,25 % à 56,75 %), tandis que les surfaces lisses dominant à Tipaza (75,75 %). Les surfaces très rugueuses sont présentes uniquement chez Tlemcen. Les individus ayant des surfaces lisses exclusives sont absents à Tlemcen, mais bien représentés à Tipaza (60 %) et Sétif (50 %). En ce qui concerne les graines, quatre couleurs ont été observées : clair (48,57 %), foncé (36,71 %), brun rougeâtre (9,18 %) et brun noirâtre (5,54 %). Les graines claires dominant dans cinq des sept sources (Sétif, Blida, Tipaza, Relizane et Tlemcen). Les graines foncées sont plus présentes à Jijel (48 %) et Annaba (51,75 %). Les graines brun rougeâtre sont absentes dans trois (Annaba, Relizane et Tlemcen). Les graines brun noirâtre ne sont pas présentes à Blida et ne dépassent pas 5,25 % dans les autres sources, sauf à Annaba (28,25 %). Les surfaces des graines se répartissent en trois types : lisses (77,54 %), ridées (21,32 %) et très rugueuses (1,14 %). La catégorie très rugueuse est absente dans trois sources (Tipaza, Sétif et Relizane) et présente à des taux faibles à Tlemcen, Jijel et Blida Concernant ce trait, la proportion d'arbres présentant des variations dans la surface des graines est supérieure à celle des arbres ayant une seule caractéristique dans toutes les sources, sauf à Tipaza où 60 % des arbres sont monomorphes avec une surface de graine exclusivement lisse.

Pour les caractéristiques quantitatives, la longueur moyenne des gousses est de 15,27 cm, les plus longues à Tlemcen, tandis que les plus courtes sont à Relizane et Jijel. La largeur moyenne des gousses est de 1,97 cm, les plus larges à Sétif et les plus étroites sont à Jijel et Tipaza. L'épaisseur moyenne des gousses est 0,76 cm, avec des gousses plus épaisses à Blida et les plus fines à Relizane. Le poids moyen des gousses est de 11,08 g les plus lourdes sont à Blida et les plus légères à Relizane. Le nombre moyen de graines par gousse est de 10,56, le plus élevé à Blida, et le plus bas à Relizane. Le rendement moyen en graines est 18,19 % du poids des gousses. La corde de la gousse représente en moyenne 79 % de la longueur de la gousse la plus élevée à Tlemcen et la plus basse à Jijel. Aussi le rapport "longueur de la gousse/largeur de la gousse" En moyenne, les gousses étaient 7,82 fois plus longues que larges. Aussi le poids moyen des graines 0,17 g. Les graines les plus lourdes à Blida et les plus légères à Relizane.

L'analyse des corrélations révèle des liens significatifs entre certains caractères quantitatifs ; le poids des gousses est fortement lié au poids de la pulpe et montré des corrélations positives avec toutes les autres caractéristiques des gousses ainsi qu'avec la longueur des graines. Pour les dimensions des graines la longueur des graines a présenté des corrélations positives avec les autres dimensions des graines et les caractéristiques des gousses, à l'exception de la largeur des gousses. En ce qui concerne le rendement des graines, de légères mais positives corrélations ont été observées avec le poids des graines et l'épaisseur des graines. Cependant,

des corrélations négatives ont été relevées avec le poids de la pulpe, le poids des gousses et la largeur des gousses. \_ Concernant la correspondance entre les caractéristiques quantitatives et qualitatives à montre que Les caractères qualitatives des gousses ne semblaient pas être liées aux caractères quantitatives des gousses, suggérant par exemple que la couleur des gousses au niveau de l'arbre peut ne pas être un bon prédicteur du rendement des graines.

Une variation significative a été marquée entre différentes populations de caroubiers. Les caractères quantitatifs montrent des valeurs plus basses pour les populations de Relizane (9 caractères), suivies de Jijel (4 caractères) et Tipaza (2 caractères (longueur et poids des gousses). Cependant, Annaba et Tlemcen, les populations les plus éloignées, partagent des moyennes élevées de longueur de gousse. Les populations côtières (Annaba, Jijel, Tipaza) et de l'intérieur (Tlemcen, Relizane, Sétif) révèlent des schémas de ségrégation surprenants. Cette variation est expliquée selon l'auteur par l'ajustements des plantes face à l'environnement et la variabilité annuelle de la production de fruits, qui affectent le nombre et le poids des graines. Ces résultats remettent en question la prédiction du rendement en graines par la couleur des gousses, ce qui influence sur la sélection et la préservation génétique. La cohérence de la variation dans la morphologie des gousses et des graines, indépendamment de la géographie, éclaire la diversité génétique du caroubier et oriente les choix pour la conservation, l'amélioration génétique et la restauration.

Cette variation décrite dans ce travail, au sein des populations de caroubiers Algérien, témoigne une grande diversité génétique. Bien que l'auteur a focalisé sa caractérisation sur les fruits et des graines du caroubier, qui jouent un rôle essentiel dans sa reproduction sexuelle, ça nous a permis d'acquérir une compréhension approfondie sur la variabilité morphologique. Cependant, cette étude s'est limitée à examiner la morphologie des gousses et des graines, sans prendre en compte d'autres éléments physiologiques ou génétiques qui pourraient également contribuer à la diversité génétique et à l'adaptation des populations.

L'étude de Barracosa et al, 2007, intitulée " Evaluation of fruit and seed diversity and characterization of carob (*Ceratonia siliqua* L.) cultivars in Algarve region ", visait à évaluer et caractériser la diversité de 15 cultivars de caroubiers sur une période de 7 ans. L'étude était portée sur le caroubier dans le champ expérimental de l'Algarve à Tavira, au Portugal. Parmi les 15 cultivars examinés figuraient des variétés portugaises telles que 'Mulata', 'Costela Canela', 'Costela Vaca', 'Galhosa', 'Brava Lagoa', 'Lagoinha', 'Canela', 'Spargale', 'Costa Loulé', 'Gasparinha', 'Pé Curto', 'Alfarroba Burro' et 'Aida', ainsi que deux cultivars espagnols, 'Negra' et 'Rojal'. Sur la période de 1997 à 2003, chaque année, 25 gousses ont été aléatoirement prélevées sur chaque arbre et évaluées lorsqu'elles étaient à pleine maturité. Parmi les gousses, les trois graines les plus lourdes ont été sélectionnées pour analyse.

La caractérisation morphologique était basé sur les paramètres des gousses, telles que la longueur (FL, mm), la largeur (FW, mm), l'épaisseur (FT, mm), le poids (FWe, g), le nombre de graines (NS), le nombre de graines avortées (NA) et le rendement (Y, %). En ce qui concerne les caractéristiques des graines, elles englobaient la longueur (SL, mm), la largeur (SW, mm), l'épaisseur (ST, mm), le poids total des graines (TSWe, g) ainsi que le poids individuel de chaque graine (ISWe, g).

Les données ont été soumises à une analyse statistique ANOVA. Ensuite, l'analyse en composantes principales (ACP) a été appliquée à l'aide du logiciel SPSS for Windows (Version 12.0, SPSS Inc., Chicago, IL, USA) pour regrouper les données après vérification

de leur normalité et de l'homogénéité des variances. Les écarts entre les moyennes des cultivars ont été examinés à travers les tests post hoc de Duncan. Une analyse de regroupement hiérarchique (HCA) a été utilisée pour identifier les similitudes et les divergences entre les cultivars. Pour la classification, la méthode de variance minimale de Ward a été employée, avec la distance euclidienne au carré servant de mesure de dissimilitude pour la méthode de Ward (figure 25,26).

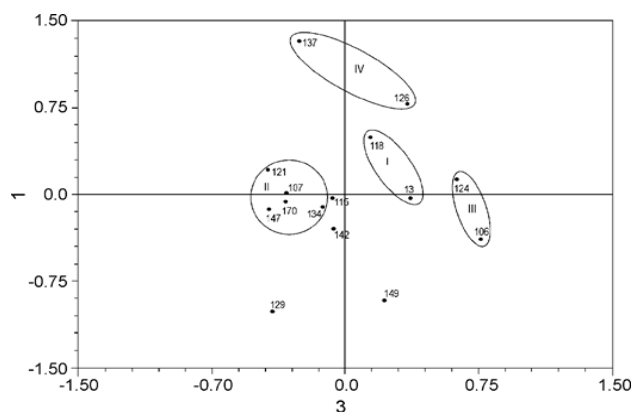


Figure 25: Projection of score of 15 carob cultivars onto the plane defined by the principal coordinates par Barracosa et al, 2007.

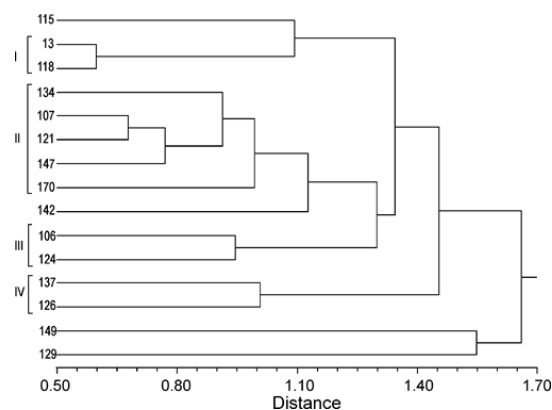


Figure 26: Dendrogram for the classification of 15 cultivars of *C. siliqua* according to the 13 fruit and seed characters from PCA par Barracosa et al, 2007.

L'étude morphologique des cultivars de caroubiers a mis en évidence une diversité génétique significative, avec des variations marquées dans les caractéristiques. La caractérisation des fruits et des graines est montrée é un polymorphisme morphologique en particulier la largeur, l'épaisseur et le poids, avec des valeurs plus élevées chez des cultivars comme Lagoinha et Costa Loulé, et des valeurs plus faibles chez d'autres comme Canela et Alfarroba Burro. Les caractéristiques des graines, notamment la largeur et le poids individuel, ont également présenté des variations similaires, avec des valeurs plus élevées chez Mulata, Negra et Costa Loulé, et des valeurs plus faibles chez Costela Canela, Spargale et Gasparinha. L'application de ACP a permis d'identifier trois dimensions significatives avec un taux d'inertie de 74,5 % de la variance totale des caractéristiques. La première dimension, expliquant 34,6 % de la variance, était principalement dominée par les caractéristiques des fruits telles que la largeur, l'épaisseur et le poids. La deuxième dimension, expliquant 24,4 % de la variance, caractérisait les attributs négatifs des graines tels que la largeur, l'épaisseur et le poids individuel. Enfin, la

troisième composante principale était influencée par le nombre de graines avortées. L'analyse de regroupement basée sur les variables de l'ACP a permis de distinguer quatre groupes de cultivars, présentant des niveaux de dissimilarité distincts. Notamment, les cultivars Galhosa, Canela et Alfarroba Burro se sont démarqués en étant situés en dehors des groupes principaux. Des corrélations significatives ont été observées entre les caractéristiques des fruits et des graines, ce qui revêt une importance cruciale pour l'évaluation de la rentabilité agro-industrielle. Bien que la plupart des cultivars n'aient montré aucune corrélation significative entre la longueur du fruit et le rendement des graines, des relations significatives ont été identifiées chez des cultivars spécifiques tels que Gasparinha et Canela. De plus, des corrélations significatives ont été observées entre les caractéristiques des graines, telles que la largeur et le poids individuel, et les caractéristiques des fruits, variant entre différents cultivars. En outre, des coefficients de corrélation élevés ont été relevés entre diverses paires de caractéristiques, tels que la largeur du fruit et la largeur de la graine, le poids du fruit et la largeur de la graine, ainsi que le poids du fruit et le poids individuel de la graine. Des corrélations négatives entre le poids du fruit et le rendement des graines ont été observées chez tous les cultivars, avec des corrélations plus prononcées chez les cultivars aux fruits plus lourds. Certains cultivars ont montré des corrélations spécifiques, notamment entre la longueur du fruit et le nombre de graines, ainsi qu'entre l'épaisseur de la graine et le rendement des graines.

L'auteur a exploité les résultats morphologiques obtenus des différents cultivars pour la comparaison à celles de régions méditerranéennes (Chypre, l'Espagne, la Grèce et l'Italie). Les cultivars espagnols "Negra", "Rojal" montre une similitude dans la morphologie externe des fruits. Mais les graines du "Rojal" diffèrent en poids individuel par rapport à cette étude. "Galhosa" le plus représentatif de la région de l'Algarve partagent des similitudes morphologiques avec des cultivars de cette étude, ainsi qu'avec (Chypre et à Bari, en Italie). Une analyse en composantes principales et de regroupement a distingué quatre groupes de cultivars selon leurs caractéristiques de fruits et de graines, offrant des pistes pour un programme d'amélioration génétique et d'optimisation industrielle. Cependant, l'auteur a levé l'importance de prendre en compte la préservation de la biodiversité pour éviter l'érosion génétique et de développer des variétés adaptées aux exigences actuelles et futures de l'industrie.

L'étude mener dans ce travail durant la période étendue entre 1997-2003 pour une collection de caroubiers en Algarve, a garanti des résultats plus robustes et descriptifs, et l'application des méthodes statistiques a permis de classifier les cultivars en groupes distincts en fonction de leurs caractéristiques, offrant ainsi une meilleure compréhension des similitudes et des différences. D'autre part la comparaison de ces cultivars avec celle des données provenant d'autres régions méditerranéennes, a élargi la portée des conclusions, Ces résultats peuvent servir de base pour un programme d'amélioration génétique visant à cibler les caractéristiques recherchées dans les cultivars de caroubiers. Cependant cette caractérisation morphologique quantitative a besoin des caractères qualitative comme la couleur la surface ....., ce qui pourrait influencer sur les résultats. Ce qui peut être renforcé par une étude biochimique et génétiques, qui peut fournir une base plus solide pour un programme d'amélioration génétique.

## 2.Caractérisation Morpho-Biochimique

L'étude mener dans le travail de Haddarah et all en 2013 Intitulée "Morphological And Chemical Variability Of Lebanese Carob Varieties", était pour but d'explorer en profondeur les caractéristiques morphologiques et biochimiques de 09 variétés de caroubiers libanai. Cette caractérisation a inclue un type sauvage (Barri), en prenant 10 gousses de chaque variété, qui été localisés le long de l'axe nord-sud, couvrant différentes conditions climatiques allant du semi-aride au nord du Liban (Akkari 1; Akkari 2; Baladi), aux régions semi-arides à humides du mont Liban (Ahmar, Khachabi), ainsi qu'aux zones semi-arides à humides du sud du Liban (Jnoubi 1; Jnoubi 2; Barri; Sandali Makdissi) (Figure 27).



*Figure 27: Repartition map of selected Lebanese carob populations. Abbreviations indicate populations: (A1) Akkari 1; (A2) Akkari 2; (Ah) Ahmar; (Bal) Baladi; (Bar) Barri, (J1) Jnoubi1; (J2) Jnoubi2; (Kh) Khachabi; (SM) Sandali Makdissi par.Haddarah et all,2013*

L'étude morphologique était portée sur les paramètres des gousses (le poids, la longueur, la largeur, l'épaisseur, le volume, le nombre de graines, la gravité spécifique, l'indice de taille, le nombre de graines par gousse, le poids des graines par gousse ainsi que le pourcentage des

graines par rapport à la gousse).

L'étude biochimiques était basée sur les composants phytochimique (polyphénols totaux, sucres totaux, fibres, protéines et la teneur en cendres pour les gousses sans graines) ; en se basant sur les méthodes décrite par Singleton et al. 1965 ; Dubois et al. 1956 ; AOAC 955.04 et 972 de l'AOAC (2006), en utilisant 1 g de poudre de caroube

Les résultats morphologiques présenté dans le travail étaient descriptifs ; La longueur des gousses été divisée en quatre groupes, avec des variations allant de ( $11,42 \pm 1,84$  cm à  $24,25 \pm 1,84$  cm). Les variétés les plus longues sont Khachabi et Akkari 1 (centrale et nord), et les plus courtes Jnoubi 2 (sud). En effet l'auteur a décrit Khachabi par ses dimensions généreuses, incluant une largeur et une épaisseur élevées, ainsi qu'un nombre de graines important, ce qui explique sa taille imposante, sa pulpe abondante et sa masse considérable. Cependant, malgré ces caractéristiques, Khachabi se révèle être la variété la moins juteuse parmi les différentes caroubes libanaises, et son rendement en graines par gousse est le plus faible. Akkari 2 était décrit par le nombre élevé de graines par gousse, tandis que Jnoubi 2 a présenté une masse et un volume plus petit avec un nombre de graines réduit.



Le type sauvage Barri était distingué par sa taille plus modeste en termes de largeur et d'épaisseur, ainsi que par sa pulpe moins abondante, sa masse et son volume réduits. Cette variété se démarque par son rendement élevé en graines par gousse, par rapport aux autres variétés.

Les résultats de la caractérisation biochimique étaient présentés en teneur phytochimique de la pulpe de caroube avec la teneur de sucres allant de  $(72,25 \pm 0,50)$  pour Khachabi à  $(89,46 \pm 1,04)$  pour Jnoubi 2, et un taux de polyphénols variant également de  $(5,83 \pm 0,91)$  pour Khachabi à  $(21,87 \pm 2,36)$  pour Barri. La teneur en protéines présente des variations légères et non distinctives, oscillant entre  $3,61 \pm 0,72$  (sandali makdissi) et  $5,62 \pm 0,15$  (Khachabi).

Les données de l'échantillonnage ont été exploitées pour l'analyse inférentielle en commençant par une analyse en composantes principales (ACP); analyse de variance (ANOVA) après vérification de la normalité des données et de l'homogénéité de la variance. Par la suite, le test de Tukey a été utilisé pour effectuer des comparaisons multiples et une Classification Ascendante Hiérarchique (HCA)

L'auteur a commencé par l'analyse en composantes principales (ACP) (figure 28,29) pour les caractères biochimiques qui lui a permis d'observer la projection de chaque caractère sur les composants ; en effet le premier composant (PC1) est influencé par la teneur en sucre et en fibres. Le deuxième composant (PC2) présente une forte corrélation avec la teneur en polyphénols et en minéraux. Enfin, le troisième composant (PC3) était positivement lié à la teneur en eau et négativement lié à la teneur en protéines.

D'autre part la projection des composantes principales pour les variétés, a montré que les variétés Ahmar et sandali makdissi sont caractérisées par le PC3, mettant en évidence une teneur réduite en eau et une teneur élevée en protéines, en contraste avec la variété Baladi.

L'analyse en composantes principales (ACP) a distingué neuf populations libanaises selon l'auteur divisé en deux groupes et deux autres non regroupés.

Ces deux groupes montrent une tendance à se rassembler en fonction de la latitude. En effet le premier groupe décrit englobe les variétés à grandes gousses et à haute teneur en sucre, principalement localisées dans le nord du Liban (A1, A2, Bal, Ah). Le deuxième groupe, situé dans le sud du Liban (J1, J2, SM), présente un intérêt nutritionnel moindre.

En outre, deux variétés se distinguent nettement des autres et pourraient avoir un potentiel d'application dans l'industrie alimentaire : Khachabi, qui présente des gousses de grande taille et une teneur élevée en graines et en sucre, et Barri, le type sauvage, caractérisé par de petites gousses avec une teneur élevée en graines, en sucre et en polyphénols. Les gousses qui se distinguent par leur longueur, leur poids élevé, leur volume important et leur indice de taille élevé présentent également le nombre de graines le plus élevé. Le rendement en graines était négativement corrélé avec la largeur des gousses, ce qui explique que les gousses à haut rendement ont tendance à être plus étroites (la plus petite largeur)

La teneur en sucre révèle une corrélation négative avec la longueur de la gousse, le nombre de graines et le poids, ce qui signifie que la gousse la plus longue avec un nombre de graines plus élevé et un poids plus important affiche une teneur en sucre plus basse.

En outre la teneur en polyphénols était positivement corrélée avec le rendement en graines, ce qui signifie qu'une teneur élevée en polyphénols est associée à un rendement élevé en graines.

L'analyse de la corrélation entre les coordonnées géographiques et les caractéristiques des gousses de caroube révèle une corrélation hautement positive et significative entre la latitude et des paramètres tels que la longueur, le poids, le volume, le poids des graines et l'indice de taille des gousses. Les plus grandes gousses sont principalement localisées dans le nord du pays, tandis que les plus petites se trouvent dans le sud. Selon l'auteur afin d'atteindre un rendement élevé en graines, il est recommandé de privilégier la sélection de caroubes minces et étroites, évitant ainsi les gousses excessivement lourdes, Les gousses les plus longues, les plus lourdes et les plus riches en graines présentent une faible teneur en sucre, et par conséquent, une concentration élevée en polyphénols est liée à un rendement élevé en graines.

Cette étude a mis en évidence une diversité significative au niveau des caractéristiques morphologiques et chimiques parmi les variétés libanaises de caroube. Certaines variétés se sont démarquées grâce à leurs propriétés nutritionnelles prometteuses, suscitant ainsi un intérêt potentiel dans le domaine de l'industrie alimentaire. De plus, la localisation géographique exerce une influence sur les caractéristiques des gousses de caroube. Cependant, si l'auteur a également mené une analyse morphologique et biochimique approfondie sur les graines issues des mêmes gousses, les résultats pourraient être encore plus robustes et précis que ceux présentés dans cette recherche.

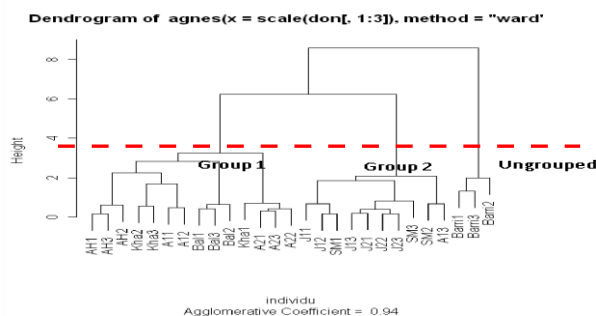


Figure 28: Hierarchical Ascendant Classification on chemical characters. Group 1: A1, A2, Bal, AH and Kh; Group 2 : J1, J2 and SM; ungrouped variety Barri par Haddarah et al, 2013

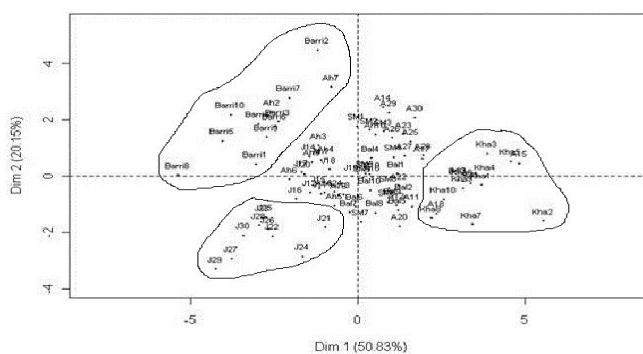


Figure 29: Pod size and seeds separation according to individual factor map (PC1 and PC2).par Haddarah et al, 2013

L'étude effectuée par Elfazazi et al en 2017, intitulée "Morphological and Biochemical Variability of Moroccan Carob (*Ceratonia siliqua* L.) Produced in Beni Mellal Région ", visait à analyser différentes variétés de caroubiers marocains provenant de trois régions distinctes de Beni Mellal au Maroc. Cette caractérisation morphologique et biochimique s'est principalement concentrée sur les caractéristiques des gousses.

La recherche a été menée au moyen d'un échantillonnage comprenant trois populations distinctes de caroubiers sauvages. Dans chacune de ces zones, dix arbres ont été sélectionnés et un échantillon de vingt gousses de caroubiers a été prélevé. Ces échantillons ont été collectés dans diverses localités de la région de Beni Mellal, située au centre du Maroc, caractérisée par un climat semi-aride à aride. Les zones d'étude incluent Ait Oum El Bakht,

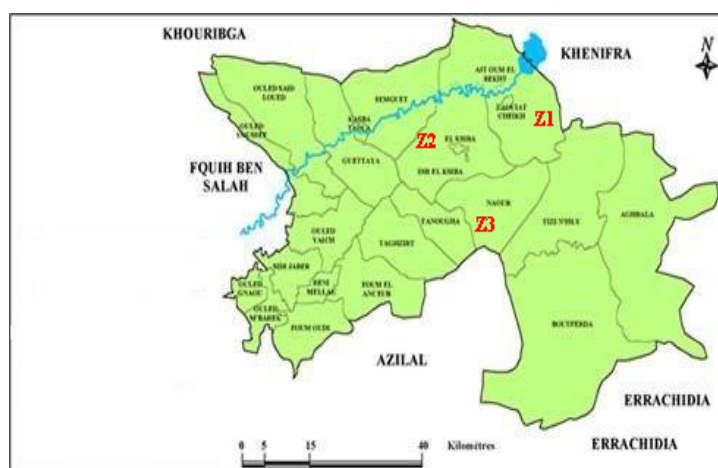


Figure 30: Repartition map of selected Moroccan carob populations collected from Beni Mellal region - Z1: Ait Oum Elbakht carob population; Z2: Dir Elksiba carob population; Z3: Naour carob population par K. Elfazazi et al,2017

Dir Elksiba et Naour (figure 30).

La caractérisation morphologique était basée sur dix paramètres quantitatifs : le poids, la longueur, la largeur, l'épaisseur, le volume, le nombre de graines, la gravité spécifique, l'indice de taille, le nombre de graines par gousse, le poids des graines par gousse et le pourcentage de graines par rapport à la gousse. En ce qui concerne la caractérisation biochimique, était basé sur cinq paramètres incluant la teneur en polyphénols totaux, les sucres totaux, les fibres, les protéines et les cendres ainsi que l'azote. L'étude biochimique repose sur les méthodes décrites par Dubois, AOAC 955.044 et AOAC 972.153, en utilisant quatre grammes de poudre de caroube.

Pour approfondir l'analyse statistique des données, l'auteur a analysé à l'aide de logiciel SPSS version 20, pour déterminer les moyennes et les écarts-types ( $\pm$ SD), et les liens entre les caractéristiques morphologiques et les paramètres biochimiques ont été examinés au moyen du coefficient de corrélation de Pearson.

Les résultats de la caractérisation morphologique des gousses était descriptif ; une diversité était marquée dans la largeur des gousses entre les populations, Ait Oum ElBakht et Dir Elksiba ayant les plus larges largeurs ( $2,1 \pm 0,3$  cm et  $1,76 \pm 0,23$  cm respectivement), tandis que Naour a les plus petites largeurs en moyenne ( $1,43 \pm 0,13$  cm). Les masses et les volumes

des gousses sont plus élevés pour Dir Elksiba (6,7 g, 6,7 cm<sup>3</sup>) et Ait Oum Elbakht (7,2 g, 7,5 cm<sup>3</sup>), tandis que Naour présente les valeurs les plus modestes (4,3 g, 5,32 cm<sup>3</sup>). Dir Elksiba a le plus grand nombre de graines par gousse (12,5), suivi de près par Ait Oum Elbakht (44,8) et Naour (10,67). En revanche, le pourcentage de rendement en graines par gousse est plus élevé pour Naour. Ait Oum Elbakht se distingue par son caractère sauvage avec des dimensions plus marquées, tandis que les gousses de Dir Elksiba sont plus juteuses.

L'analyse biochimique révèle une richesse de polyphénols pour la pulpe de caroube des trois régions, variant : 0,1 mg/100g de matière sèche pour Dir Elksiba, 0,8 mg/100g pour Ait Oum Elbakht et 0,3 mg/100g pour Naour.

La teneur en humidité varie entre 16,94% et 8,3%. La teneur en fibres dans les pulpes est similaire entre les variétés. Les sucres totaux varient avec Ait Oum Elbakht (37,9 ± 2,3 g/100g) ayant les valeurs les plus élevées et Dir Elksiba (26,28 ± 3,1 g/100g) les plus basses. Les taux de protéines et de matière grasse sont relativement similaires entre les variétés.

Les variétés sauvages de caroubiers décrite par l'auteur se distinguent par leur pulpe moins charnue, une production de graines plus abondante et un rapport graines/écorce plus élevé. De plus, une corrélation positive était marquée entre la longueur et la largeur des gousses, tandis que des corrélations négatives entre l'épaisseur et le pourcentage de graines par gousse. La largeur des gousses est corrélée positivement avec leur poids et leur volume, mais négativement avec le pourcentage de graines par gousse. Le poids de la gousse présente des corrélations avec la plupart des caractéristiques des gousses et des graines, sauf la longueur et l'épaisseur de la gousse. De même, le volume de la gousse est positivement corrélé avec toutes les caractéristiques, sauf son épaisseur. Les dimensions des gousses (longueur, largeur, poids et volume) montrent une corrélation avec les taux d'humidité, et enfin le taux de cendres est négativement corrélé avec la largeur, le volume et le poids des gousses.

Les corrélations positives étaient marquées entre les fibres et le sucre total avec la longueur des gousses, et corrélation négativement avec leur épaisseur et le pourcentage de graines par gousse. Les teneurs de protéines sont en corrélation négative avec la longueur et la largeur des gousses. La quantité totale de phénols est positivement corrélée avec l'épaisseur, le nombre et le poids des graines, ce qui soulève la suggestion qu'une concentration élevée de polyphénols est liée à un rendement de graines supérieur, et enfin la teneur en matière grasse est corrélée avec la taille et le poids de toutes les gousses, sauf leur épaisseur.

La diversité phénotypique caractérisée dans cette étude est issue d'une sélection et amélioration des variétés de caroubiers dans la région de Beni Mellal. Les corrélations entre les caractéristiques morphologiques, chimiques et géographiques peuvent aider à comprendre l'origine de la diversité génétique. Cependant, afin de renforcer cette étude l'auteur peut enrichir les données par les paramètres qualitatifs, la réalisation d'une étude ou d'un échantillonnage comparatif incluant des caroubiers non sauvages. Cette expansion méthodologique pourrait fournir une perspective plus complète et aboutie sur les variations observées.

\_Le travail mené par Fadel et al, en 2020 intitulée "Morphometric and physicochemical characteristics of carob pods in three geographical regions of Morocco", avait pour objectif d'évaluer les disparités dans la composition physico-chimique des pulpes et des graines de caroubes provenant des régions nord, centre et sud-ouest du Maroc. Sur un échantillon de 85 arbres a été utilisé. La caractérisation morphologique était portée sur les parties végétatives telles que les gousses et les graines (30 gousses et 30 graines pour chaque arbre de caroubier). Ces spécimens ont été collectés dans différentes régions du Maroc. Vingt d'entre eux proviennent du nord du pays, caractérisé par un climat semi-humide, et sont répartis entre les localités d'Al Hoceima et Chefchaouen. Trente arbre localisé à la région centrale du Maroc, où le climat est semi-aride, couvrant les zones d'Azilal, Demnate et Ouzoud. Enfin, trente-cinq arbres échantillonnés proviennent du sud-ouest du Maroc, également soumis à un climat semi-aride, et proviennent des régions d'Izouika, Reggada et Imouzzer Ida Ou Tanane.

Les analyses statistiques, réalisées à l'aide d'Excel et de Statistica 6, ont inclus l'analyse en composantes principales (ACP) et l'analyse discriminante factorielle (ADF) (figure 31). L'ADF a été basée sur des éléments tels que la teneur en sucre, les protéines, les matières grasses, les flavonoïdes totaux, les phénols totaux et les saponines.

Cette caractérisation était basée sur onze paramètres morpho métriques quantitatif pour les gousses (longueur, largeur apicale, largeur médiane et basale, épaisseur de la gousse, nombre de graines par gousse, masse de la gousse, masse des graines par gousse, masse de la pulpe, degré de courbure et longueur du pédoncule), et pour les graines, (longueur, largeur et l'épaisseur de la graine). Une autre caractérisation basée sur les paramètres biochimiques tel que l'humidité, les flavonoïdes totaux, l'azote total, les protéines totales, les graisses brutes, les saponines, les sucres totaux et les phénols totaux.

Les résultats obtenus ont révélé que les gousses de caroube de la région nord étaient plus lourdes, plus longues, plus larges et plus épaisses. De même, les graines provenant de cette région étaient plus grandes que celles des régions du sud et du centre. Les gousses du nord du Maroc présentaient également une masse de graines par gousse plus élevée. En ce qui concerne les analyses physico-chimiques, les gousses et les graines du nord étaient plus lourdes et plus épaisses, avec une teneur plus élevée en matières grasses et en sucres totaux pour les gousses. Les graines de la région nord présentaient un taux de phénols totaux plus élevé que celles des autres régions. Les pulpes du sud étaient plus riches en azote total, en protéines, en sucres et en saponines.

Les résultats de l'analyse morphométrique ont révélé des variations significatives. Dans le nord du Maroc, les gousses de caroube ont présenté des valeurs plus importantes de poids, de longueur, de largeur et d'épaisseur. Les graines des arbres de cette région étaient également plus grandes que celles du sud et du centre du Maroc. Les résultats ont montré une diversité entre les arbres du nord et du sud pour la plupart des caractéristiques, à l'exception de la courbure.

En ce qui concerne la caractérisation biochimique, une diversité significative a été constatés pour les flavonoïdes totaux et de saponines des régions sud, centrale et nord du Maroc. Les pulpes des échantillons du sud-ouest présentaient les concentrations plus élevées de ces éléments. En revanche aucune disparité n'a été observée dans les taux de phénols totaux entre les différentes régions. Les pulpes des trois régions n'ont pas manifesté de distinctions marquantes dans d'autres paramètres tels que l'azote total, les protéines totales, les sucres

totaux et les phénols totaux. De plus, les graines de caroube provenant des trois zones n'ont démontré aucune différence significative dans leurs teneurs en eau et en matières grasses. Dans l'ensemble, les variations physicochimiques de la pulpe de caroube se concentrent principalement sur les niveaux de flavonoïdes et de saponines, avec des distinctions entre les régions.

Ce travail a montré la variabilité morphométrique et la composition physicochimique de la caroube dans diverses régions du Maroc, ces résultats obtenus enrichissent la compréhension des caractéristiques propres aux caroubier marocain, ainsi les corrélations entre les aspects morphométriques et physicochimiques. En revanche cette étude présente certaines limites en terme de région géographique (l'échantillon était limité en trois régions de Maroc) ; ce qui pourrait être amélioré par une caractérisation d'autres zones géographiques. De plus, il semble qu'il n'ait pas été tenu compte de certains facteurs externes qui pourraient potentiellement influencer les caractéristiques étudiées. Malgré ces limitations, l'auteur parvient à établir des liens pertinents entre les aspects morphométriques et physicochimiques de la caroube.

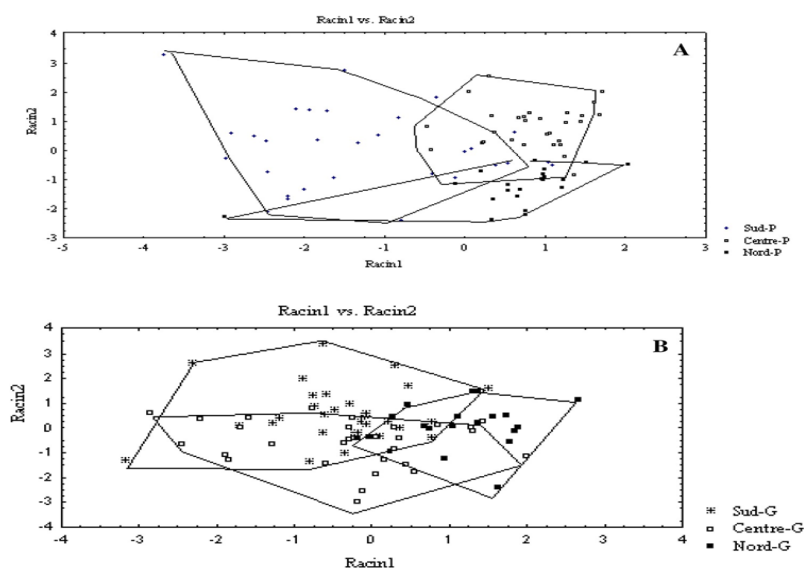
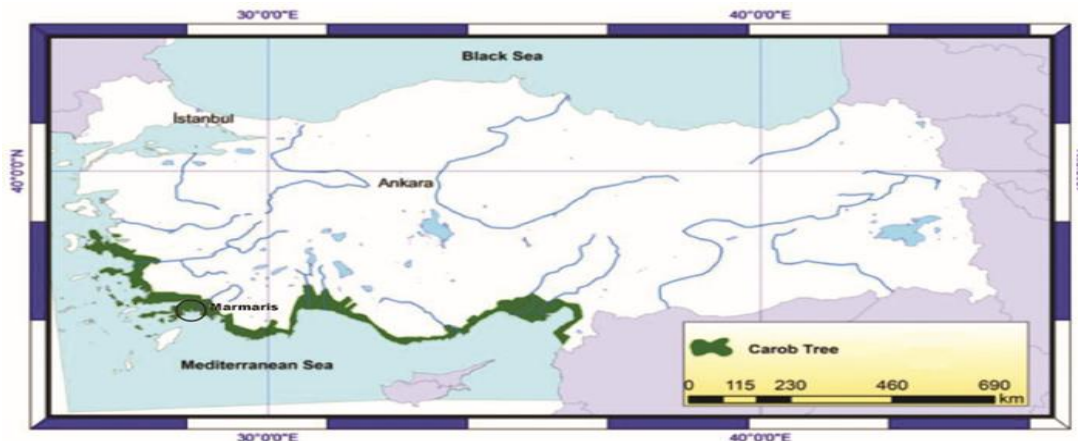


Figure 31: Discriminant factor analysis of the three studied locations based on the pulps (A) and the seeds (B) physicochemical parameters par Fadel et al.,2020

La recherche menée par Korkmaz et al, en 2020, intitulée « Morphological and biochemical diversity among wild-grown carob trees (*Ceratonia siliqua* L.) », qui a pour but de la caractérisation morphologique et biochimique de quelque variété de la Turquie, afin de bien comprendre la variabilité génétique et identifier les variétés les plus prometteuses pour la sélection et l'amélioration génétique

Le travail était réalisé sur 36 génotypes de caroubiers sauvages propagés à partir de graines. Des gousses mûres ont été collectées dans les zones rurales du district de Marmaris situé à l'ouest de la Turquie durant la période 2016 et 2017. L'échantillonnage était dans différentes zones géographiques de Marmaris, en Turquie, qui est caractérisée par un climat humide (Figure 32), ceci était sur trente gousses de chaque génotype sélectionné au hasard pour la description ; La caractérisation morphologique était basée sur les parties végétatives (la croissance et la forme de l'arbre, la couleur des graines, la forme des graines, la surface et le poids de la graine, ainsi que le rapport de graines qui est calculé à partir du poids total de la

gousse et du poids de la graine, la largeur et la longueur des feuilles, le nombre de folioles par feuille. Enfin, les caractéristiques morphologiques des gousses y compris la couleur, la forme, la surface, le poids, la largeur, la longueur et l'épaisseur de la gousse). La caractérisation biochimique était sur les graines ; cela comprend la teneur en solides solubles (SSC), l'acidité titrable, la teneur en vitamine C, la teneur en protéines et la teneur en fibres alimentaires.



*Figure 32: Natural distribution of carob trees in Turkey and our sampling location (Marmaris district) par Korkmaz et al, 2020*

Pour les analyses statistiques l'intégralité des données a été soumise à une analyse à l'aide du logiciel SPSS. Les tableaux d'analyse de la variance ont été élaborés en appliquant la méthode de la différence significative minimale (LSD) avec un seuil de signification fixé à  $p < 0,05$  pour illustrer les relations et les distinctions entre les différents génotypes de caroubiers, une analyse des coordonnées principales (PCoA)(figure 33) a été exécutée. Cette analyse a permis de présenter les différenciations entre les génotypes dans un espace tridimensionnel constitué d'Eigen vecteurs, utilisant les modules DCENTER et EIGEN du logiciel NTSYS-pc 2.10e.

Les résultats ont permis de décrire morphologiquement les génotypes étudiés de caroubes. La forme ouverte des arbres était plus dominante par rapport à les deux autres formes (pleureuse et dressée). Les tailles des feuilles variaient de 8,40 cm à 12,04 cm de largeur et de 8,40 cm à 11,60 cm en longueur, en revanche le nombre de folioles par feuille était similaire pour tous les génotypes étudiés, entre 5,9 et 7,1, les gousses étaient de couleurs brun foncé, brun rougeâtre (27,78%) et brun clair (25,00%), avec une forme courbée (61,11%), et forme en spirale et droite (19,44% chacune), la surface des gousses variait entre une surface ridée (52,78%), lisse (41,67%) et rugueuse (5,56%). Le poids des gousses variait de (8,3 g à 29,5 g), avec une dimension comprise entre (14,27 et 23,38 mm) de largeur, 12,54 et 21,67 cm de longueur et 4,80 et 8,37 mm d'épaisseur. Les graines présentaient différentes couleurs, avec une prédominance de brun clair (44,4%), suivi de brun foncé (33,3%) et brun rougeâtre (11,1%). Les formes rondes étaient dominantes (55,5%), elliptiques (30,5%) et ovales (13,8%). La surface des graines présentait (55,5%) des graines lisses, (36,1%) froissées, (5,55%) très rugueuses et (2,77%) rugueuses. Les poids totaux des graines variaient, de (1,10 g à 3,41 g), et en fin le rapport de graines oscillait entre (6,29% et 13,98%).

En ce qui concerne la caractérisation biochimique le taux de SSC était entre 69,36 % et 49,36 % avec une acidité titrable allant de 0,45 % à 1,12 % et la vitamine C variaient (5,9 mg · 100



g-1 à 10,2 mg · 100 g-1) moins que le SSC, Les teneurs en protéines et fibre alimentaires étaient (3,73 % et 6,95 %) et (4,9 % et 7,7 %) respectivement.

L'auteur a comparé ces résultats avec d'autres études antérieures ou il a discuté sur les différences et les ressemblances. Par suit il a fait une analyse des corrélations et correspondances entre les données morphologiques et biochimiques du caroubier. Les résultats était significatif pour la forme des arbres avec les feuilles, les gousses, les graines et les propriétés nutritionnelles des fruits ; ce qui rend la forme d'arbre un paramètre important dans le programme de sélection et conservation.

Les feuilles, les gousses et les graines ont présenté des hétérogénéité et variations significatives en influençant sur les paramètres biochimiques mais ceci est en raison de facteurs génétiques et leurs adaptations aux environnements spécifiques.

Ce travail a mis a montré la variabilité et la diversité du caroubier sauvage de la région Marmaris de la Turquie qui peut contribuer dans la sélection des individus les plus performants et résilients pour exploitation et aussi la conservation de la biodiversité, et ceci basé sur les caractéristiques des arbres, les feuilles, les gousses, les graines, ainsi que les caractères biochimiques des fruits. Spécifiques de sélection ou de conservation.

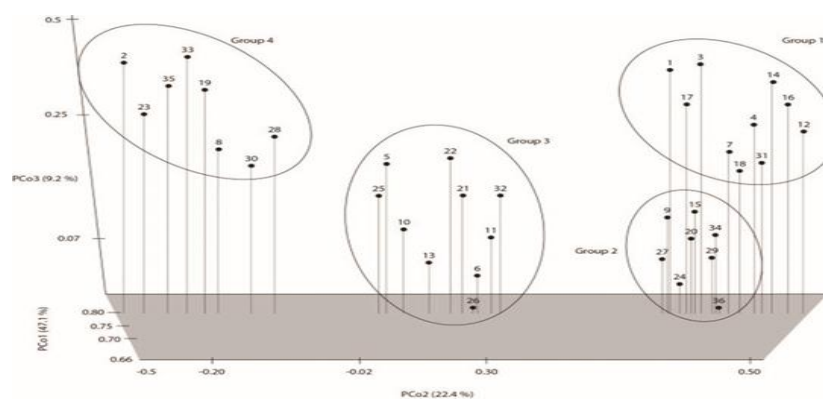


Figure 33: PCoA plot for the 36 analyzed wild carob genotypes (the genotype number codes on the plot refer to Tables 1–4).par Korkmaz et, 2020

### 3.Caractérisation Biochimique

\_L'étude menée par El Batal et al. 2012, intitulée " Yield and composition of carob bean gum produced from different Moroccan populations of carob (*Ceratonia siliqua L.*)", qui vise a évalué et a comparé les caractéristiques de la gomme de caroube en termes de rendement, de teneur en humidité, en cendres et en protéines. Un échantillon de trente arbres a été prélevé dans diverses régions du Maroc (figure 34)



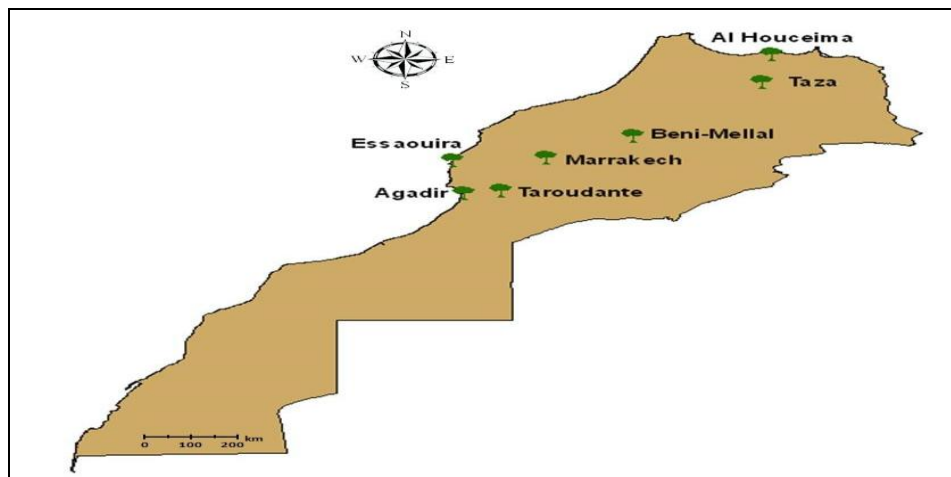


Figure 34:Repartition map of Moroccan populations of carob par H. El Batal et al,2012

Cette recherche a couvert sept régions marocaines différentes, notamment El Houceima dans le nord, caractérisée par un climat humide ; Beni Mellal et Taza dans le Moyen Atlas, où le climat est semi-humide ; Marrakech et Taroudant dans le Haut Atlas, présentant un climat semi-aride ; enfin, Agadir à l'ouest, avec un climat aride, comme illustré sur la carte. Pour chaque origine, trente arbres ont été sélectionnés et évalués en fonction de paramètres morphologiques spécifiques. Cette caractérisation était basée sur les caractères morphologiques quantitatifs ; comprenaient le poids des gousses, le rendement en graines et le rendement en pulpe.

Les caractères d'analyse englobaient en premier lieu l'examen de la composition chimique. Cela incluait la détermination de la teneur en humidité et en cendres. Ensuite, la quantité d'azote total a été mesurée pour évaluer la teneur en protéines, utilisant la méthode décrite par l'AOAC avec la méthode Kjeldahl et en appliquant un facteur de conversion de 6,25 pour les protéines

Les résultats obtenus, montrent des valeurs moyennes concernant les rendements en pulpe et en graines. Des variations significatives ont été identifiées parmi les sept provenances étudiées, mais il n'y a pas eu de divergences marquées dans les rendements en pulpe et en graines entre les différentes cultures. Les cultures marocaines se sont distinguées par des rendements en graines élevés, se situant entre 17,47 % et 29,44 %, accompagnés de rendements en pulpe moyens à élevés, allant de 71,30 % à 82,30 %. En contraste, d'autres cultures ont manifesté des différences notables dans leurs rendements. Les variétés marocaines ont affiché des rendements en graines conséquemment élevés, variant de 19,81 % à 29,44 %. Comparativement, les variétés issues d'autres pays ont montré des rendements en graines relativement plus faibles à modérés. Les évaluations des rendements en gomme de caroube purifiée ont révélé des valeurs moyennes oscillant entre 60,63 et 72,49 g pour 100 g d'endosperme sec, et de 34,55 à 40,05 g pour 100 g de graines, pour les échantillons d'El Houceima et de Taroudant, respectivement. Environ un tiers du poids total des graines était composé de gomme. Par exemple, dans le cas de la caroube de Chypre, 100 kg de graines en moyenne produisaient 20 kg de gomme sèche pure. En parallèle, les teneurs en humidité, en cendres et en protéines de la gomme de caroube purifiée ont été évaluées. Des divergences notables ont été constatées entre les échantillons analysés. Enfin, les teneurs en humidité, en

condres et en protéines variaient d'un échantillon à l'autre, mais demeuraient cohérentes avec les conclusions d'autres études similaires. (Figure 35)

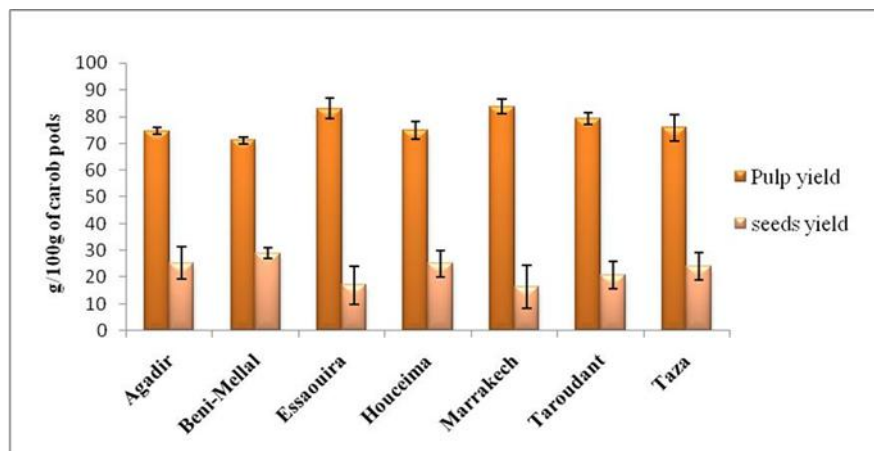


Figure 35: Yield of pulp and seeds of carobs pods from different provenances par H. El Batal et al, 2012

Cette étude approfondie sur les caractéristiques de la gomme de caroube et les rendements en pulpe et en graines provenant de différentes régions géographiques marocaines a fourni des aperçus significatifs. Les résultats ont mis en évidence la diversité remarquable entre les populations d'arbres de caroubiers, mettant en avant l'impact prédominant de l'origine géographique sur les propriétés des produits dérivés. La comparaison des variétés marocaines avec celles d'autres pays a souligné les rendements en graines élevés des caroubiers marocains, témoignant de la spécificité de cette région. Cependant, il convient de noter que la taille des échantillons et les variations non contrôlées pourraient influencer sur l'interprétation des résultats. Néanmoins, l'utilisation d'une méthode d'échantillonnage stratifié a renforcé la crédibilité des données collectées. La mise en évidence des variations dans les rendements de gomme purifiée, ainsi que les teneurs en humidité, en condres et en protéines, a enrichi notre compréhension des caractéristiques de la caroube. En définitive, cette étude offre des informations précieuses pour les producteurs, les industries et les chercheurs intéressés par les caroubiers. Elle met en évidence l'importance de l'origine géographique dans la détermination des caractéristiques des produits dérivés du caroubier. Cependant, des recherches futures pourraient bénéficier d'une expansion géographique et d'une analyse plus approfondie des facteurs environnementaux influençant ces variations.

\_L'étude menée par Ben Othmen et al, 2019, intitulée " Evolution of phytochemical and antioxidant activity of Tunisian carob (*Ceratonia siliqua L.*) pods during maturation", avait pour objectif d'évaluer la diversité des propriétés physico-chimiques de différentes provenances tunisiennes de pulpes de caroube récoltées à trois stades de maturité. L'étude a inclus six provenances, qui été récoltés en 2015 dans diverses régions de la Tunisie, notamment au centre, caractérisé par un climat semi-aride (Ksour Essef, Tunis et Zaghouan), au sud, caractérisé par un climat aride (Skhira, Gabès) et à l'est, caractérisé par un climat semi-aride (Monastir). L'échantillonnage était durant trois stades de maturation (06 juin : stade non mûr, 06 juillet : stade mi-mûr, 03 août : stade mûr).

Cette caractérisation a inclus la teneur en eau déterminée par séchage à 60-70°C, la teneur en condres et minéraux analysée à 550°C pendant 6 heures, le profil des sucres (fructose,

glucose, saccharose) a été obtenu par extraction des glucides et quantifié par chromatographie en phase liquide à haute performance (HPLC), le contenu en polyphénols et flavonoïdes évalué par méthodes colorimétriques, et l'activité antioxydante mesurée via le test DPPH. Pour les analyses statistiques ont été réalisées à l'aide du logiciel Xlstat Ver. 2017 ([www.xlstat.com](http://www.xlstat.com)). Les données ont été soumises à une analyse de variance à un facteur (ANOVA). Les valeurs sont présentées sous forme de moyenne  $\pm$  écart-type (SD).

Les résultats de cette étude mettent en évidence des variations significatives dans les paramètres chimiques des gousses de caroube en relation avec leur maturité et leur provenance géographique. La teneur en eau et en cendres subit des fluctuations significatives, l'eau diminuant de façon marquée de  $76,65 \pm 1,13\%$  à  $9,03 \pm 2,13\%$ , tandis que les cendres réduites légèrement de  $5,16 \pm 0,11\%$  à  $2,51 \pm 0,31\%$  au fil de la maturation. Les niveaux de minéraux tels que potassium, sodium, magnésium, fer et zinc varient en fonction du stade de maturation et de l'origine géographique, avec des taux généralement plus élevés dans les stades immatures et des différences significatives entre les régions. Les sucres présents dans les gousses - saccharose, fructose et glucose - affichent des variations quantitatives au cours de la maturation, avec une augmentation marquée du saccharose et des légères diminutions pour le fructose et le glucose. Les composés phénoliques comme les polyphénols, flavonoïdes et tanins condensés montrent également des variations en relation avec la maturité et la provenance, les concentrations les plus élevées étant présentes dans les stades immatures et diminuant progressivement. En ce qui concerne l'activité antioxydante, les extraits de caroube révèlent une activité qui varie selon la maturité et la région, avec des niveaux les plus élevés dans les stades immatures et une diminution graduelle.

Les résultats ont clairement révélé l'impact significatif de l'effet de la maturation et l'origine géographique sur l'ensemble des paramètres évalués au sein des gousses de caroube.

La teneur en eau diminue considérablement avec la maturation, tandis que la teneur en cendres connaît une réduction plus légère, ce qui pourrait influencer la texture et la qualité des gousses. Les niveaux de minéraux tels que le potassium, le sodium, le magnésium, le fer et le zinc varient tout au long du processus de maturation, avec des taux plus élevés généralement observés aux stades immatures et des différences marquées entre les régions. Ces minéraux jouent un rôle crucial dans la nutrition humaine et contribuent potentiellement à la valeur nutritive des gousses. Les teneurs en composés bioactifs et en minéraux semblent être en relation. Les polyphénols totaux (TP), les flavonoïdes totaux (TF) et les tanins condensés (CT) atteignent leurs niveaux les plus élevés dans les gousses non mûres, et leur activité antiradicale est positivement corrélée à ces composés. En ce qui concerne les sucres, comme le saccharose, le glucose et le fructose, ils sont identifiés comme les principaux sucres présents dans les gousses de caroube à différents stades de maturation. À maturité, on observe une légère diminution des monosaccharides (glucose et fructose) et une augmentation rapide du saccharose, ce qui pourrait influencer la saveur et la valeur nutritionnelle des gousses. Ces variations reflètent probablement des ajustements métaboliques pendant la maturation,

Cette recherche met en évidence l'influence cruciale de l'origine géographique et du stade de maturation sur la composition nutritionnelle des gousses de caroube. En explorant divers composés tels que l'eau, les minéraux, les sucres, les polyphénols et les flavonoïdes, cette étude offre une perspective globale. Cet examen multidimensionnel enrichit sa valeur scientifique et son potentiel applicatif. Cependant, l'absence de suivi temporel pourrait

nuancer les conclusions sur la stabilité des composés au sein des gousses. De plus, bien que l'étude évoque l'impact de l'origine géographique, des détails insuffisants sur les facteurs environnementaux spécifiques pourraient limiter la compréhension des variations observées entre les provenances. Malgré cela, la convergence des résultats avec des études antérieures renforce la crédibilité des observations

Le travail menée par Mahtout et al, 2018, intitulée " Algerian Carob Tree Products: A Comprehensive Valorization Analysis and Future Prospects ", était pour objectif d'examiner les nutriments, les anti-nutriments et les valeurs calorifiques des produits dérivés de l'arbre à caroube en Algérie, en vue de leur utilisation potentielle dans les secteurs de l'industrie chimique, énergétique et médicale. L'évaluation a porté sur l'analyse des nutriments et des anti-nutriments (protéines, inhibiteur de la trypsine, acide phytique) présents dans différentes parties de l'arbre à caroube algérien, *Ceratonia siliqua L.* (cosse, pulpe, graines et feuilles).

L'étude a inclus des échantillons de Tazmalt, située a la wilaya de Béjaïa dans le nord de l'Algérie, caractérisée par un climat semi-aride,. La méthodologie d'acquisitions d'échantillon était par l'extraction des graines à partir un kilogramme de cosses de caroube ceci pour obtenir un échantillon de pulpe, et pour obtenir un échantillon de cosses l'auteur a utilisé un autre kilogramme de cosses de caroube broyé avec les graines.

Les évaluations ont été menées selon différentes méthodes. Pour la digestibilité des protéines, des enzymes digestives ont été utilisées telles que la pepsine, la trypsine et l' $\alpha$ -chymotrypsine. Le facteur inhibiteur de la trypsine a été évalué via une solution de soude caustique. La quantification de L'acide phytique a été quantifié par une méthode chimique. L'analyse des sucres s'est faite par chromatographie ionique. L'analyse proximale a mesuré l'humidité, les cendres, les lipides, l'azote et les protéines brutes. Les valeurs calorifiques ont été calculées à partir des teneurs en protéines, lipides et glucides bruts.

Pour les analyses statistiques l'auteur a utilisé les diagrammes à barres, dans le but de mettre en exergue les distinctions ou les évolutions entre les paramètres examinés, à savoir la digestibilité in vitro des protéines, le facteur inhibiteur de la trypsine et la teneur en acide phytique. Les diagrammes à barres sont des outils de représentation couramment adoptés en recherche pour fournir une vue visuelle des données, facilitant ainsi la compréhension des lecteurs vis-à-vis des résultats obtenus.

Les résultats obtenus montrent plusieurs aspects significatifs. Les échantillons de pulpe de caroube (*Ceratonia siliqua L.*) ont présenté la digestion in vitro des protéines la plus élevée parmi les produits examinés. En contraste, les graines de caroube ont montré la plus faible digestibilité des protéines parmi tous les échantillons analysés. Les facteurs inhibiteurs de la trypsine, considérés comme des composés anti-nutritionnels, étaient plus présents dans les graines et les feuilles (6,4 à 7,3  $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ ) que dans la pulpe. De manière similaire, l'acide phytique, un autre composé anti-nutritionnel, était plus abondant dans les graines et les feuilles (0,6 à 0,94  $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ ) que dans la pulpe. Les résultats révèlent également une faible teneur en lipides bruts (2,4 à 4,5 %), des taux modérés de protéines (4 à 7,4 %) et des niveaux élevés de sucres totaux (jusqu'à 66,6 %). L'analyse compositionnelle indique des valeurs nutritionnelles élevées, toutefois il est important de souligner la concentration notable en anti-nutriments, à savoir l'inhibiteur de trypsine (6,4 à 7,3  $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ ) et l'acide phytique (0,6 à 0,94  $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ ).

Cette étude offre une caractérisation complète des produits dérivés de l'arbre à caroube en Algérie. L'auteur a adopté une méthodologie rigoureuse pour examiner en profondeur ces produits. Les analyses variées, incluant la digestibilité *in vitro* des protéines, les facteurs inhibiteurs de la trypsine et l'acide phytique, témoignent d'une démarche visant à appréhender la complexité de leur composition nutritionnelle. L'utilisation de plusieurs diagrammes à barres suggère une volonté de représenter visuellement les disparités et les tendances des paramètres analysés, simplifiant ainsi la compréhension pour les lecteurs. Toutefois, une opportunité d'amélioration pourrait résider dans l'élargissement de l'échantillonnage pour englober diverses régions géographiques, afin d'assurer une meilleure représentativité et d'éviter de limiter la généralisation des résultats. En intégrant des études *in vivo* ou des essais cliniques, l'auteur pourrait renforcer la validité des effets réels de ces composés anti-nutritionnels sur la santé humaine. L'étude explore des pistes de valorisation qui pourraient contribuer à une exploitation plus durable des ressources de l'arbre à caroube, notamment dans les secteurs de l'énergie et de la santé.

\_\_L'étude menée par Vekiari et al. 2011, intitulée " Variation of quality characteristics in Greek and Turkish carob pods during fruit development ", visait à analyser les changements des caractéristiques chimiques des gousses de caroube de différents types provenant de Grèce et de Turquie au fur et à mesure de leur développement, dans le but d'évaluer leur qualité alimentaire et médicinale. L'évaluation biochimique s'est concentrée sur les protéines, les polyphénols, les acides gras et les sucres.

Cette étude présente les variations des caractéristiques chimiques de deux types de gousses de caroube grecques (charnues et sauvages) et d'un type de gousses de caroube turques (charnues). Les échantillons ont été récoltés à trois stades de croissance (début mai, fin juin et fin octobre) dans différentes localités de Crète et de Mugla. Le contenu en humidité (%), en protéines (%) selon la méthode de Kjeldahl, en polyphénols totaux par UV / VIS, en acides gras (%) par chromatographie en phase gazeuse, en sucres totaux et l'analyse des sucres de type non réducteur par HPLC, des substances d'importance vitale pour l'évaluation de leur qualité alimentaire et médicinale, ont été déterminés au cours d'une période de récolte.

Cette étude se penche sur les caractéristiques chimiques de deux types de caroubes (charnues et sauvages) en Grèce et en Turquie, observant leur évolution durant une période de récolte. Les niveaux d'humidité élevés au premier stade diminuent fortement lors des stades suivants (de plus de 85% pour le type sauvage et plus de 89% pour le type charnu) et de manière plus prononcée lors des récoltes suivantes. Les protéines présentent une tendance similaire avec une baisse significative lors de la maturation. Des variations notables ont été constatées entre les caroubes des différentes régions en termes de phénols, protéines, acides gras et sucres. Le saccharose, crucial pour évaluer la qualité commerciale, prédomine en tant que sucre principal dans le fruit, suivi de glucose et fructose. Les caroubes turques affichent une teneur plus élevée en sucres totaux, fructose et saccharose que celles d'origine grecque au premier stade de croissance. Au premier stade de croissance, l'acide gras prédominant dans les caroubes turques était l'acide oléique, suivi des acides gras linoléique, palmitique et linoléique, tandis que dans les caroubes grecques, l'acide majeur était l'acide linoléique (n-6). Durant la maturation, l'acide oléique augmente tandis que les acides gras linoléique et linoléique diminuent dans les deux pays . Un ratio plus élevé d'acides gras insaturés/saturés est observé

dans les caroubes charnues grecques. Étant donné leur richesse en sucres, les caroubes pourraient être une source abordable d'acides gras (n-6 et n-3) pour l'industrie, ainsi que de phénols naturels aux propriétés antioxydantes. Ces résultats contribuent à une meilleure compréhension de la composition des caroubes grecques et turques pour des études futures (tableau 5,6,7).

**Tableau 5: Sugar content (% on the basis of dry matter) of two types of Greek and one type of Turkish carob pods during the three growth stages. par Vekiari et al, 2011.**

Sugars	Growth Stage	Greek Fleshy	Greek Wild	Turkish Fleshy
Glucose	1st	6.8a	6.7a	5.9a
	2nd	7.0a	9.2b	-----
	3rd	7.1a	3.0b	5.4c
Fructose	1st	10.6a	7.9b	10.7a
	2nd	4.2a	3.3a	-----
	3rd	3.8a	9.5b	2.2c
Sucrose	1st	5.4a	3.3b	10.0c
	2nd	44.6a	26.3b	-----
	3rd	26.9a	32.6b	29.9c
Total	1st	23.1a	18.1b	27.0c
	2nd	56.4a	39.2b	-----
	3rd	38.0a	45.6b	37.7a

**Tableau 6: Fatty acid composition (% on the basis of dry matter) of two types of Greek carob and one type of Turkish pods during the three growth stages. par Vekiari et al, 2011.**

	Greek Fleshy			Greek Wild			Turkish Fleshy	
	1st	2nd	3rd	1st	2nd	3rd	1st	3rd
Fatty acids								
Caproic acid (C6:0)	1.0	3.3	1.4	4.0	1.0	2.5	2.3	2.0
Caprylic acid (C8:0)	0.1	0.4	0.5	0.2	0.5	0.4	0.2	0.8
Capric acid (C10:0)	4.3	8.1	3.1	1.9	4.0	8.9	5.2	4.4
Lauric acid (C12:0)	0.1	0.2	0.2	0.1	0.2	0.1	0.1	0.3
Tridecanoic acid (C13:0)	0.2	0.1	0.1	0.4	0.2	0.1	0.1	0.2
Myristic acid (C14:0)	0.5	0.3	0.5	0.5	0.4	0.3	0.3	0.8
Pentadecanoic acid (C15:0)	0.3	0.1	0.1	0.3	0.1	0.1	0.2	0.3
Pentadecanoic acid (C15:1)	0.2	0.2	0.4	0.2	0.2	0.4	0.1	0.7
Palmitic acid (C16:0)	21.9	17.0	15.9	17.8	16.2	16.8	17.0	19.0
Palmitoleic acid (C16:1)	0.2	0.9	1.3	0.3	0.9	0.9	0.6	0.3
Margaric acid /C17:0)	0.9	0.9	0.4	0.6	0.5	0.4	0.9	0.4
Stearic acid (C18:0)	3.7	2.7	2.3	1.9	2.3	2.2	1.9	2.9
Oleic acid (C18:1)	16.2	57.1	56.0	19.2	56.9	56.7	37.5	44.8
Linoleic acid (C18:2 n6)	29.1	7.9	8.8	24.0	12.3	9.3	22.2	6.0
lLinolenic acid (C18:3 n3)	8.9	2.6	2.2	13.8	3.8	2.5	9.0	2.4
arachidic acid (C20:0)	0.1	1.1	0.5	0.4	0.1	0.7	0.4	1.0
n-6/n-3	3.2	3.0	4.0	1.7	3.2	3.7	2.4	2.5
Unsaturated/Saturated	1.6	1.9	2.7	2.0	2.9	2.1	1.4	1.6

**Tableau 7: Moisture, total sugars, polyphenols and protein content (% on the basis of dry matter) of two types of Greek and one type of Turkish carob pods during the three growth stages par Vekiari et al, 2011.**

	Growth Stage	Greek Fleshy	Greek Wild	Turkish Fleshy
--	--------------	--------------	------------	----------------

Moisture	1 <sup>st</sup>	80.6 a	75.8b	74.2c
	2 <sup>nd</sup>	22.3a	13.3b	---
	3 <sup>rd</sup>	10.9a	12.8b	11.0a
Total polyphenols	1 <sup>st</sup>	10.0a	24.8b	17.5c
	2 <sup>nd</sup>	1.6a	7.0b	---
	3 <sup>rd</sup>	3.3a	2.4b	1.6c
Proteins	1 <sup>st</sup>	9.5a	10.1a	5.6b
	2 <sup>nd</sup>	4.7a	4.2a	---
	3 <sup>rd</sup>	4.8a	4.8a	3.6b

L'étude adopte une approche comparative en analysant deux types de caroubes provenant de différentes régions, permettant ainsi de mettre en évidence des différences significatives et d'obtenir une compréhension approfondie des caractéristiques chimiques des fruits. Les échantillons ont été prélevés à trois stades de croissance dans diverses localités, garantissant ainsi une représentation adéquate des variations temporelles et spatiales. De plus, les chercheurs ont recueilli des données diversifiées, notamment la teneur en humidité, les protéines, les polyphénols, les acides gras et les sucres, offrant ainsi une vision globale des caractéristiques chimiques des caroubes. Cependant, cette étude se concentre sur un échantillon limité de deux types de caroubes (charnues et sauvages), ce qui pourrait ne pas couvrir l'ensemble de la diversité génétique de l'espèce. De plus, en se basant sur une seule période de récolte, il se peut que les variations saisonnières et annuelles ne soient pas pleinement représentées. Une inclusion d'analyses complémentaires, telles que l'évaluation de l'activité antioxydante des phénols identifiés, renforcerait la robustesse du travail. Il est également important de noter que les résultats n'ont pas été confirmés par d'autres méthodes moléculaires indépendantes, ce qui aurait renforcé la crédibilité des conclusions. Malgré ces considérations, les données fournies par cette étude offrent une base solide pour des recherches futures plus approfondies sur les caroubes et leurs éventuelles applications.

#### 4.Caractérisation Génétique

Le travail de Afif et al, 2008, intitulée " Genetic structure of Tunisian natural carob tree (*Ceratonia siliqua* L.) populations inferred from RAPD markers", avait pour objectif d'évaluer la diversité génétique et la structure des populations naturelles de *Ceratonia siliqua* en Tunisie en utilisant des marqueurs RAPD. Le but était de mieux appréhender leur variabilité et d'orienter les stratégies de conservation. L'étude a porté sur dix populations de caroubiers tunisiens (*Ceratonia siliqua* L.) collectées de 10 populations provenant de différentes régions dans différentes zones géographiques et bioclimatiques s'étendant du Nord au Centre du pays Elles appartiennent aux bioclimats subhumides (Zaghouan, Ghar El Melh), semi-arides supérieurs (Lansarine ,El Morr, El Morr), semi-arides moyens (Ksar El Lamsa, Aïn Toungua) et semi-arides inférieurs (Jradou, Khnis, Oueslet), Les altitudes des sites variaient de 300 à 970 m. Les précipitations annuelles moyennes variaient de 300 à 600 mm. Les populations, à l'exception de celles de Zaghouan, El Morra et Bargou dans les montagnes de Jbel, ainsi que Ksar Lamsa , sont constituées d'individus dispersés. Les dix individus de chaque population ont été collectés avec un minimum de 200 m entre les arbres (le nombre d'échantillons est limité en raison de la petite taille de la plupart des populations). De chaque individu, des branches avec de jeunes feuilles ont été prélevées. (Figure 36).



L'analyse génétique été basée sur les parties végétatives, en particulier les feuilles. Pour l'extraction de l'ADN, une méthode modifiée de CTAB a été utilisée, à partir de 500 mg de feuilles broyées en poudre.

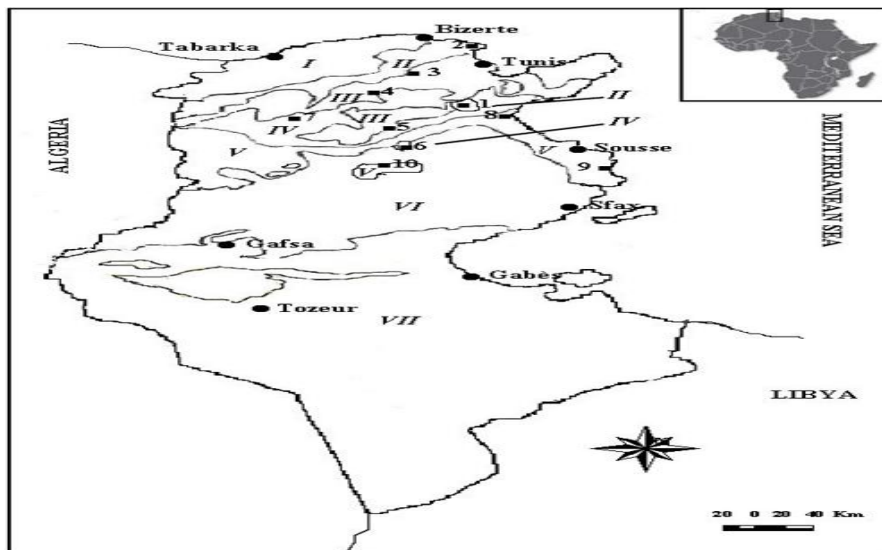


Figure 36: Map of Tunisia: Geographical distribution of the 10 *Ceratonia siliqua* populations analysed par Afif et al, 2008

Les données des bandes RAPD ont été transformées en une matrice pour estimer la diversité génétique via les pourcentages de bandes polymorphes (P%). Les relations entre les phénotypes RAPD ont été visualisées via une analyse des coordonnées principales (PCO) avec MVSP 3.1 et un arbre de regroupement construit avec MEGA 2.0 basé sur les coefficients de Jaccard (GS). Les indices de Shannon ont évalué la diversité à divers niveaux. Une analyse de variance moléculaire avec WINAMOVA 1.55 a évalué la distribution de la variabilité génétique parmi les populations et groupes écologiques. Des tests de Mantel ont examiné les corrélations entre les distances génétiques et les distances géographiques, Q2 et altitudes avec TFPGA 1.3. Un dendrogramme avec MEGA 2.0, basé sur  $\Phi$ ST, a révélé la divergence génétique entre les populations (figure 37,38).

Les résultats obtenus révèlent tout d'abord la de diversité génétique de *Ceratonia siliqua* a utilisé sept amorces RAPD, révélant un taux moyen de polymorphisme de 76,31%. Les populations présentent une diversité génétique élevée avec des indices de Shannon élevés ( $H_{pop} = 0,569$ ,  $H_{sp} = 0,871$ ). La variation est plus marquée entre les groupes écologiques, montrant une plus grande diversité dans les populations semi-arides supérieures. La majeure partie de la variation génétique résidait à l'intérieur des populations et des groupes écologiques. L'analyse RAPD a montré une diversité génétique variable : la population de la Montagne de Bargou Jbel avait le taux le plus élevé de polymorphisme (64,91%), tandis que la population 10 (Montagne de Oueslet Jbel) affichait le taux le plus bas (44,74%). Les taux de polymorphisme variaient entre les régions, de 49,30% (semi-aride inférieur) à 61,51% (semi-aride supérieur). Des indices de diversité de Shannon élevés reflétaient des variations génétiques notables entre les populations et les régions, avec une diversité plus marquée dans les populations du semi-aride supérieur. La variation prédominante résidait à l'intérieur des populations et des régions, mettant en lumière des distinctions notables entre elles.

Pour Les analyses génétiques montrent une faible similitude génétique moyenne sur les coefficients de Jaccard ( $GS = 50,3\%$ ) pour la population de Khnis. La population de la



Montagne de Bargou Jbel a montré la plus faible similitude ( $GS = 52,5 \%$ ). Avec des regroupements correspondant aux bioclimats. Le faible flux génétique ( $Nm = 1,462$ ) indique une faible dispersion génétique entre les populations L'AMOVA indique que 77,11% de la diversité génétique est intrapopulationnelle et 22,89% interpopulations, avec une variation plus grande entre les groupes écologiques.

Les résultats obtenus ont été soumis à l'auteur de l'étude, qui il a été discuté que les populations naturelles de caroubiers en Tunisie présentent une diversité génétique élevée, mise en évidence par les marqueurs RAPD. Cette diversité est plus élevée que celle rapportée pour les populations de caroubiers au Liban. Cette différence pourrait être attribuée au système de reproduction principalement exogame de l'espèce, ainsi qu'à sa distribution continue favorisant les flux génétiques entre les populations. En ce qui concerne la conservation, il a été suggéré que les populations de Bargou et Zaghouan Jbel Mountains, présentant une diversité génétique élevée, devraient être particulièrement préservées. Les analyses de variance moléculaire ont montré que la majeure partie de la diversité génétique se trouvait à l'intérieur des populations, soulignant l'importance de la collecte et de la multiplication d'individus au sein des populations pour la conservation ex-situ. La structure génétique est influencée par des facteurs écologiques et géographiques. Les populations disjointes génétiquement reflètent la fragmentation due à la dispersion limitée des pollinisateurs et des graines. Les corrélations avec la géographie et les bioclimats suggèrent une différenciation adaptative. La conservation ex-situ doit impliquer la multiplication de divers individus dans des parcs multi-locaux.

Cette étude a démontré une diversité génétique élevée au sein des populations naturelles de caroubiers en Tunisie en utilisant les marqueurs RAPD, soulignant l'importance de conserver cette variabilité génétique. Cependant, elle n'a pas analysé en profondeur la dispersion des graines malgré son rôle dans la fragmentation des populations. Une étude approfondie sur la distance de dispersion des graines aurait clarifié la structure génétique. Bien que la corrélation entre la structure génétique, les distances géographiques et les bioclimats ait été étudiée, l'analyse de marqueurs adaptatifs aurait enrichi la compréhension des influences environnementales sur la diversité génétique. En revanche, l'étude a comparé ses résultats à d'autres recherches, révélant une diversité génétique supérieure grâce aux marqueurs RAPD par rapport aux isoenzymes, élargissant ainsi la compréhension de la diversité génétique des caroubiers.

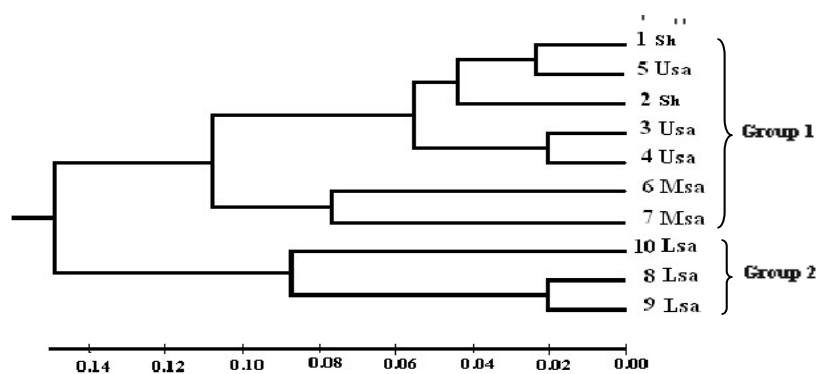


Figure 37: Dendrogram of the 10 populations of Carob studied based on the  $\Phi_{ST}$  values..par Afif et al,2008

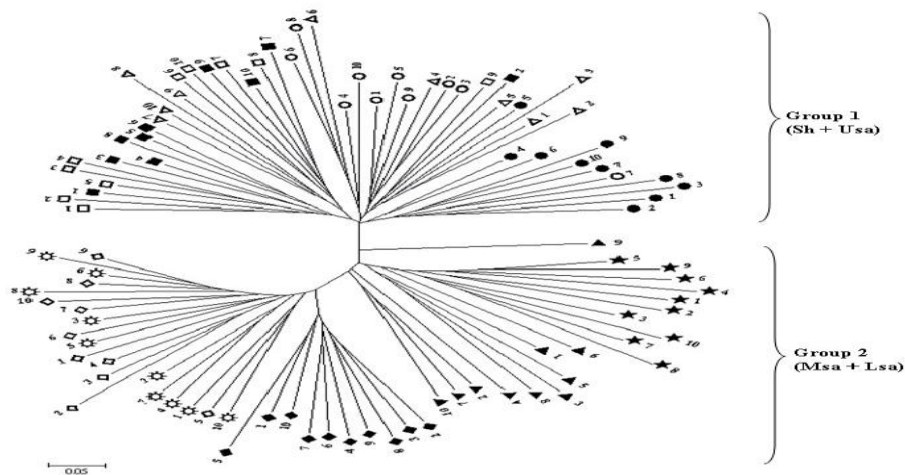


Figure 38: Neighbour-joining dendrogram generated from Jaccard similarity matrix for all individuals of *Ceratonia siliqua* analysed. par Afif et al, 2008

L'étude menée par Baumel et al, 2022, intitulée " Genome-wide footprints in the carob tree (*Ceratonia siliqua*) unveils a new domestication pattern of a fruit tree in the Mediterranean", avait pour objectif d'explorer l'histoire évolutive et l'origine de la domestication du caroubier (*Ceratonia siliqua*), ainsi que l'impact des migrations historiques. Le travail a inclus un total de 1019 échantillons (sauvages, semi-naturelles ou cultivées), provenant de 56 localités, à travers le bassin méditerranéen, notamment dans les régions suivantes : Sud-ouest et Nord du Maroc, Algérie occidentale, Portugal, Partie est et Ouest de l'Andalousie (Espagne), France, Italie, Sicile (Italie), Grèce, Turquie, Chypre, Liban, Crète (Grèce). Cette caractérisation génétique était basée sur 17 SSR et 15 marqueurs SNP à partir des parties végétatives, en particulier les feuilles.

Étant donné la difficulté pour distinguer entre arbres cultivés et sauvages de *Ceratonia siliqua*, une classification a été établie en fonction de caractéristiques spécifiques. Les arbres sauvages présentaient plusieurs troncs et des petits fruits courbés, tandis que les arbres cultivés dans des vergers avaient de gros fruits non courbés, indiquant des variétés greffées. Parfois, la détermination du statut sauvage ou cultivé était difficile en l'absence de preuves évidentes. Pour résoudre cette incertitude, chaque échantillon d'arbre a été catégorisé en "sauvage", "semi-naturel" ou "cultivé" en fonction des observations sur le terrain, enregistrant ainsi l'habitat de chaque population. Cette classification a permis d'enregistrer l'habitat de chaque population, comme illustré sur la carte. (figure 39).

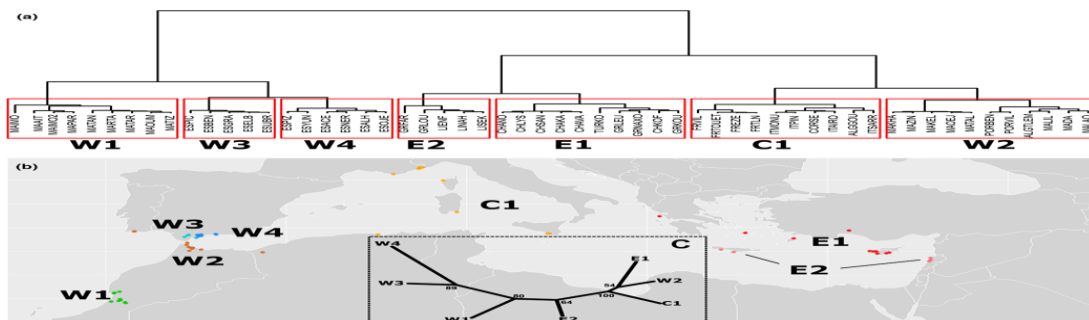


Figure 39: Identification of carob evolutionary units (CEUs) using the ClustGeo method, which considers Euclidean genetic and geographical distances. Par Baumel et al, 2022

L'analyse et l'évaluation des similarités génétiques entre les populations, était faite par une approche de mise en échelle multidimensionnelle non métrique (NMDS) a été employée en utilisant des distances génétiques et géographiques euclidiennes en utilisant le package R "vegan". Une analyse de regroupement a été réalisée avec la méthode de Ward. L'analyse en composantes principales (PCA) a examiné les variations entre les populations. Des marqueurs génétiques atypiques ont été identifiés à l'aide du logiciel Outflank et la structure génétique a été évaluée avec le package SNMF. L'assemblage des données RADseq a été fait avec Ipyrad. Les arbres phylogénétiques ont été reconstruits avec IQ-TREE (figure 40) et SVDquartets. Treemix a été utilisé pour reconstituer les relations phylogénétiques et l'histoire évolutive. En somme, ces méthodes ont fourni des informations détaillées sur la diversité génétique, la structuration des populations et l'histoire évolutive du caroubier.

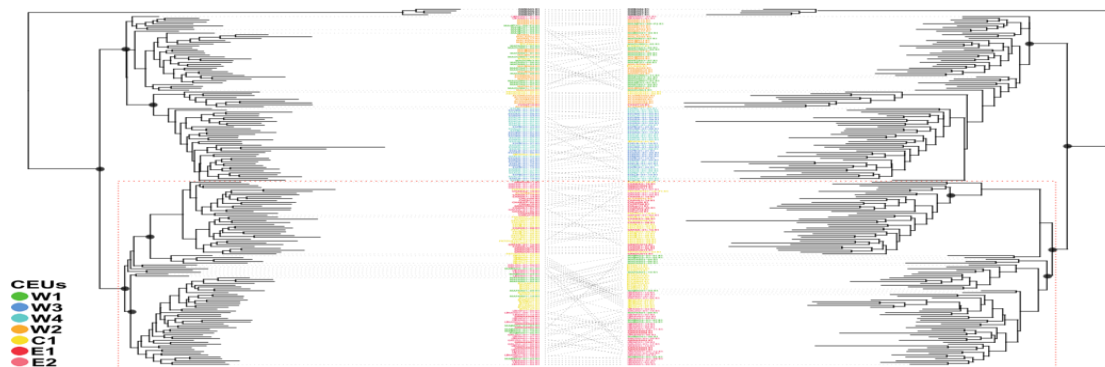


Figure 40: Plastid (left) versus mitochondrial (right) iq-tree maximum-likelihood trees Par Baumel et al. 2022

Les résultats obtenus mettent en évidence en premier lieu la délimitation des Unités Évolutives Cohérentes (UEC) à l'aide des données microsatellites (figure 41), en utilisant 17 loci microsatellites et les coordonnées géographiques. Dans ce contexte, 7 groupes génétiques distincts de caroubiers ont été identifiés sans superposition, dont 4 se situent dans la Méditerranée occidentale et 2 dans la Méditerranée orientale. La différenciation génétique globale entre ces UEC atteint 16%. En ce qui concerne l'assemblage des locus RADseq et le filtrage des SNP, un assemblage de 36 échantillons a conduit à l'identification de 13 371 locus après filtrage. Par la suite, les données manquantes ont été supprimées, ce qui a permis de disposer de 190 échantillons et de 3 613 SNP utilisables. Parmi ces SNP, 56 marqueurs atypiques ont été identifiés, toutefois, après exclusion, 3 557 SNP non liés ont été retenus. Par ailleurs, une purification des données plastidiques et mitochondriales a été entreprise et des alignements ont été réalisés.

Pour ce qui est de la phylogénie et de la structure génétique basées sur les données RADseq, des arbres phylogénétiques ont été élaborés en se basant sur l'ADN plastidique et mitochondrial. Les haplotypes des UEC occidentales ont été regroupés dans un même clade, tandis que ceux des UEC centrales et orientales étaient rassemblés dans un ou deux clades distincts. Cette structure génétique a été illustrée graphiquement par le biais d'une analyse en composantes principales (PCA). En outre, la confirmation de la monophylie des UEC et de leur séparation a été démontrée par l'arbre phylogénétique nucléaire.

En ce qui concerne l'impact de la dispersion sur la diversité génétique et la structure, il a été confirmé que la différenciation entre l'ouest et l'est était avérée, avec une variabilité dans la position de W2. En outre, trois dispersions ont été identifiées, révélant une introgression d'E2 (Liban et Crète (Grèce), une forte fréquence de caroubiers dans le paysage, mais

principalement dans des champs abandonnés ou des vergers au Liban, tandis qu'ils sont cultivés et exploités en Crète.) dans diverses UEC, notamment W1(Sud-ouest du Maroc, les caroubiers sont souvent exploités, principalement dans des habitats semi-naturels mais aussi dans la végétation riparienne sauvage et les pentes rocheuses.), W3(Dans l'ouest de l'Andalousie, les caroubiers sont rarement exploités, ils sont fréquents dans des habitats sauvages principalement sur des affleurements rocheux et des falaises.) et W2(Dans le nord du Maroc, mais aussi dans l'ouest de l'Algérie et au Portugal, les caroubiers, presque tous exploités, se trouvent dans des habitats cultivés et semi-naturels, sans présence de caroubiers dans des habitats sauvages.). Par ailleurs, une dispersion a été observée entre les UEC centrales et orientales et W4(Dans la partie est de l'Andalousie, les caroubiers sont plus exploités que dans le reste de l'ouest mais sont encore fréquemment trouvés dans des habitats sauvages.), mettant en avant une dispersion vers l'ouest.

Enfin, l'incidence de l'effort de cultivation sur la diversité génétique a été analysée. Les marqueurs microsatellites ont permis de dévoiler un schéma similaire au sein de chaque UEC, tandis que les marqueurs RADseq ont révélé un groupe génétique pur dans C1(France, Italie et Algérie, forte intensité de culture du caroubier en Sicile, principalement dans des habitats semi-naturels sinon.), lié à une intensification de la culture en Sicile, principalement dans des habitats semi-naturels. Par ailleurs, une diminution de la diversité génétique a été observée d'ouest en est, bien que cela soit moins marqué avec les données RADseq. Les indices d'association ont mis en évidence une réduction du mélange génétique dans les habitats cultivés.

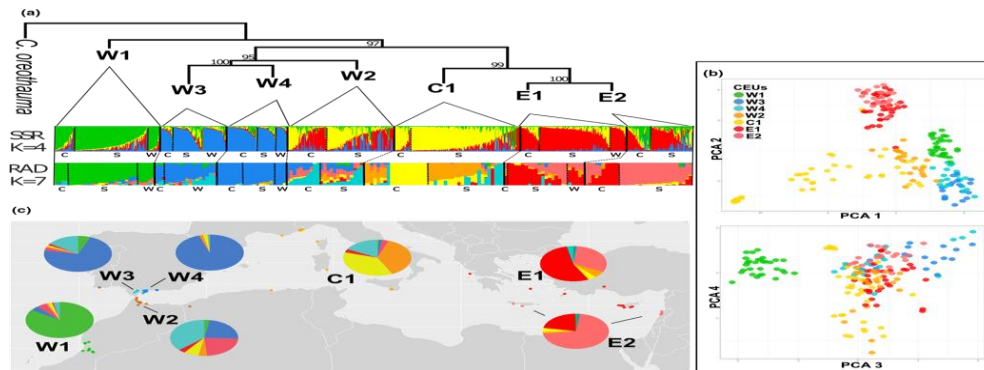
Les résultats obtenus ont servi l'auteur à donner des propositions sur la phylogénétique et de la phylo-géographie du caroubier au cours des dernières décennies ; qui a présenté un nouveau scénario phylo-géographique pour le caroubier en méditerranéen. Selon les résultats, les pools génétiques ancestraux du caroubier ont probablement émergé d'un refuge biogéographique situé dans le sud-ouest du Maroc, suivi d'une expansion vers l'est.

Les conclusions de l'étude suggèrent également que la domestication du caroubier a principalement reposé sur l'utilisation de variétés localement sélectionnées. Cependant, cette domestication a également été ponctuée par des événements de dispersion à longue distance vers l'ouest par l'homme, en lien avec d'importantes migrations culturelles grecques, romaines et arabes. Cette section de la discussion souligne l'importance capitale des avancées récentes en phylogénétique et phylo-géographie des plantes pour approfondir notre compréhension de la domestication et des schémas de dispersion dans la région méditerranéenne.

Quant à l'histoire évolutive du caroubier, la reconstruction phytogéographique remet en question une hypothèse ancienne suggérant une origine introduite du caroubier dans la majeure partie de la Méditerranée. Cette hypothèse, basée sur des preuves linguistiques et agricoles, a été contredite par les données génétiques des marqueurs SSR et plastidiques. Les preuves indiquent plutôt une distribution ouest-est versus centre-est, suggérant une influence humaine limitée sur la diversité génétique du caroubier en Méditerranée. Les fossiles du caroubier soutiennent également une présence continue autour de la mer Méditerranée depuis l'Oligocène.

Les données plus précises des marqueurs RADseq renforcent les liens entre les inférences phylogénétiques et génétiques de population. L'espèce sœur, *Ceratonia oreothauma*, apporte des éclaircissements sur l'histoire évolutive du caroubier. Bien que les refuges plus petits en

Méditerranée orientale ne soient pas écartés par les données SSR, les données RADseq suggèrent deux refuges disjoints après le dernier Interglaciaire. Un refuge à long terme dans le sud-ouest du Maroc (W1) est identifié comme le foyer ancestral probable de *C. siliqua*. De là, deux routes de dispersion émergent : l'une vers le nord-ouest de l'Afrique et le sud de l'Espagne (UEC W2, W3, W4), et l'autre vers l'est (UEC centre-est). Les données RADseq corroborent également un pool ancestral dans le sud-ouest du Maroc. La divergence entre l'ouest et l'est du caroubier était estimée à environ 1 815 générations. La modélisation de la distribution suggère des périodes de contraction pendant le dernier interglaciaire et le Maximum Glaciaire Dernier.



**Figure 41:** Population genetic structure of the carob tree. (a) Svdquartets tree of seven genetically and geographically homogeneous groups (CEUs) based on RADseq markers. par. Baumel et al, 2022

Cette étude adopte une approche multidisciplinaire en combinant diverses méthodes d'analyse génétique, de bioinformatique et de phylogéographie pour une exploration approfondie de la diversité génétique et de l'histoire évolutive du caroubier. L'utilisation de données RADseq joue un rôle central, offrant une résolution supérieure aux marqueurs microsatellites conventionnels (SSR). Cette méthodologie intègre des techniques telles que PCA, reconstruction phylogénétique, analyse d'admixture (SNMF) et évaluation des modèles de dispersion (Treemix), permettant une compréhension détaillée des schémas génétiques et des interrelations entre les populations. Les informations géographiques sont également intégrées pour éclairer les liens entre la structure génétique et la dispersion historique des populations de caroubiers en Méditerranée. Cependant, l'utilisation de données génomiques peut entraîner des données manquantes pouvant affecter la précision. Le choix des marqueurs génétiques (RADseq et SSR) peut influencer les conclusions. Des marqueurs additionnels pourraient enrichir les résultats. Une taille d'échantillon plus grande pourrait améliorer la représentativité, en particulier pour les régions moins échantillonnées.

\_L'étude menée par Virue et al, 2018, intitulée "Advances in genotyping microsatellite markers through sequencing and consequences of scoring methods for *Ceratonia siliqua* (Leguminosae)", était pour objective d'examiner comment différentes méthodes de notation de la variation génétique au sein des marqueurs microsatellites influencent la diversité et la structure génétique du caroubier (*Ceratonia siliqua*), en utilisant le séquençage de nouvelle génération (NGS)

Cette recherche s'est concentrée sur l'analyse de 77 génotypes multilocus provenant de quatre populations, en mettant particulièrement l'accent sur les feuilles pour évaluer la variation génétique.

La recherche a inclus un ensemble de 77 échantillons arbres de caroubiers prélevés dans quatre populations sauvages. Au total, 1135 échantillons de feuilles ont été collectés dans ces populations, réparties dans différentes régions du Bassin méditerranéen, à savoir ESGRA (Sierra de Grazalema, Espagne), GRLOU (Loutro, Crète, Grèce), LIENF (Saydit el Nourieh, Anfeh, Liban) et MAIMO (Imouzzer des Ida-Outanane, Maroc).

L'ADN a été extrait à l'aide du kit NucleoSpin Plant II et enrichi en SSR avec des billes magnétiques et des oligonucléotides marqués. La bibliothèque SSR a été séquencée en lectures appariées sur MiSeq, puis assemblée via MIRA. Les amorces PCR ont été conçues avec MSATCOMMANDER, en respectant des critères de taille, de flanquement et de stabilité thermique. Le processus a impliqué quantification de l'ADN de 77 individus via NanoDrop 1000, normalisation à 5 ng/μL, PCR dans 25 μL avec des amorces spécifiques pour différents loci, vérification des amplicons par gel, ajout d'adaptateurs Illumina aux amorces et inclusion d'amorces pour des régions EST-SSR et plastidiques. L'automatisation des PCR s'est faite avec un robot epMotion 5075 TMX, et la quantification des amplicons avec un kit Qubit dsDNA HS. Après 18 ont été sélectionnés. Leur performance, optimisation sur plateforme NGS et reproductibilité ont été évaluées sur 96, 192 et 384 échantillons. Les 77 échantillons choisis ont été séquencés en lectures appariées MiSeq 250 × 250, démultiplexés et analysés. Les lectures brutes FastQ ont été évaluées via FastQC et filtrées avec Trimmomatic 0.35. Le démultiplexage a été effectué par locus et échantillon, et les fréquences de séquences identiques calculées. Ensuite Trois méthodes de génotypage ont été utilisées : Score taille amplicon (AS), Score MicNeSs (MN) incluant les substitutions dans le motif SSR, et Score marqueur indépendant (IM) incluant variations SSR, SNP ou indels. L'alignement et la notation ont été réalisés avec MUSCLE et MEGA7

Pour Les principales analyses statistiques dans cette étude et les calculs des fréquences alléliques et des indices de diversité génétique pour comprendre la variabilité génétique au sein des populations par GenAlEx 6.5. Ensuite Estimation des déviations par rapport à l'équilibre de Hardy-Weinberg (HWE) pour évaluer si les fréquences alléliques sont en accord avec les attentes théoriques par GENEPOP 4.0. Et Calcul des valeurs FST pour mesurer la différenciation génétique entre les populations et pour analyser la structure génétique en fonction de différentes configurations de groupes de populations et de méthodes de notation par TCS Software. Finalement Utilisation de l'analyse de clustering bayésien (STRUCTURE) pour inférer la structure génétique des populations, en identifiant le nombre optimal de groupes génétiques (K) et en assignant les individus aux différents groupes en fonction de leurs profils alléliques par STRUCTURE 2.3.4.

Les résultats obtenus de la conception des amorces et l'optimisation nous ont permis d'obtenir de 11 130 lectures de la bibliothèque SSR, avec 2900 contenant des motifs SSR (26 %). La Conception d'amorces pour 505 lectures, amplification réussie de 30 loci. Utilisation des séquences MiSeq96, MiSeq192 et MiSeq384 pour obtenir respectivement 9 832 485, 9 561 116 et 9 174 599 lectures appariées. Sélection finale de 18 loci polymorphes pour le génotypage NGS.

L'analyse comparative des méthodes de génotypage : Création d'une matrice pour les 77 génotypes de quatre populations, exclusion de loci à faible polymorphisme.

Identification des allèles : Trois loci présentent des polymorphismes dus au nombre d'unités de répétition SSR. Détection de 42 SNP et neuf indels, avec des variations plus fréquentes

dans les allèles communs. Erreur d'identification d'allèles jusqu'à 69,4 % avec certaines méthodes.

Incidence de la méthode de notation sur la diversité génétique : Nombre moyen d'allèles par locus similaire dans les populations. Impact de la méthode sur les allèles privés par locus. Valeurs FIS proches de l'équilibre de Hardy-Weinberg, mais déviation vers un excès d'hétérozygotie avec certaines méthodes. L'implication de la méthode de notation pour la structure génétique : Choix optimal de clusters diffère selon les méthodes. Meilleure résolution d'attribution individuelle avec certaines méthodes. Variations des valeurs FST et des différenciations interpopulations selon la méthode utilisée.

L'examen d'utilisation des marqueurs microsatellites (SSR) pour étudier les caroubiers (*Ceratonia siliqua*), des arbres présentant une diversité génétique modérée remettant en question l'idée que les variations cachées dans les amplicons SSR proviennent principalement de divergences entre espèces. Parmi 18 marqueurs microsatellites analysés, 15 contiennent des variations dans leurs séquences, touchant particulièrement les allèles courants. L'approche basée uniquement sur la taille conduit à une mauvaise identification des allèles pour 69,44 % d'entre eux. Cette étude propose l'approche du séquençage de nouvelle génération (NGS) pour génotyper les marqueurs SSR, améliorant la précision du génotypage et prenant en compte les variations de séquence dans les régions SSR. L'approche NGS offre une meilleure compréhension de la variation moléculaire, permettant de distinguer les allèles SSR et SNP selon l'objectif. L'étude souligne que l'approche basée sur le NGS améliore la précision du génotypage, offre une meilleure estimation de la divergence des populations et corrige les problèmes observés dans les méthodes traditionnelles. Elle suggère que cette approche offre une compréhension plus complète des marqueurs microsatellites et de leur rôle dans les études évolutives. En fin de compte, l'étude met en évidence l'importance des techniques de séquençage de nouvelle génération pour une meilleure compréhension des marqueurs microsatellites et de leur utilisation dans l'étude des processus évolutifs.

Cette étude présente des nouvelles perspectives sur les variations dans les amplicons SSR, remettant en question la conception traditionnelle de ces variations principalement liées à la divergence entre espèces. De plus, elle propose une avancée technologique et méthodologique majeure dans le domaine de la génétique en proposant une approche basée sur le NGS pour améliorer la détection des allèles dans les marqueurs microsatellites. L'approche NGS, combinée à l'indice d'allèle réel (TAI), élève la précision du génotypage des microsatellites et permet une évaluation plus précise de la diversité génétique au sein des populations étudiées. Les recommandations pour les futures études incluent vivement l'utilisation du séquençage nouvelle génération (NGS) ainsi que des analyses de séquences pour évaluer la variation des loci SSR. Cependant, certaines limitations méritent d'être mentionnées pour une compréhension équilibrée. L'échantillonnage spécifique de populations de caroubiers limite potentiellement la généralisation des résultats à d'autres espèces ou populations. Bien que l'approche NGS soit prometteuse, son utilisation peut nécessiter des ressources technologiques et financières substantielles, pouvant entraver son application dans certains contextes. En outre, l'adoption du séquençage nouvelle génération et des analyses de séquences peut engendrer des données complexes à gérer et à interpréter, représentant un défi, en particulier pour les chercheurs moins familiers avec ces techniques sophistiquées.



## 5. Caractérisation Morpho-Génétique

\_ L'étude menée par Mahfoud et ses collaborateurs en 2018, intitulée " Morphological and Genetic Variability of Natural Syrian Carob (*Ceratonia Siliqua L.*) ", avait pour but d'analyser les variations génétiques et morphologiques des caroubiers en Syrie. Pour ce faire, des marqueurs RAPD ainsi que des caractéristiques morphologiques ont été utilisés afin de regrouper ces caroubiers en catégories distinctes. L'étude a été menée sur un ensemble de 24 échantillons de caroube, dispersés le long de la côte syrienne. L'évaluation morphologique a englobé les parties végétatives, notamment les gousses et les graines, tandis que l'analyse moléculaire a été effectuée à partir de feuilles fraîches.

La recherche a couvert 24 accessions de caroubiers sauvages répartis le long de la côte syrienne, une région caractérisée par un climat humide. En 2016, un total de 100 gousses à maturité a été collectées et examinées. De plus, 1000 graines issues de ces mêmes gousses mûres ont été collectées et mesurées. Pour l'analyse génétique, l'ADN total a été extrait à partir de feuilles fraîches prélevées sur chaque arbre.

Les caractéristiques morphologiques ont englobé les aspects quantitatifs des gousses, incluant le poids, la longueur, la largeur, l'épaisseur et le nombre de graines par gousse. La largeur et l'épaisseur ont été obtenues en prenant une moyenne de trois mesures (haut, milieu et bas de la gousse). Les caractéristiques qualitatives telles que la couleur, la forme et la texture ont également été évaluées. De plus, les paramètres des graines, comprenant la longueur, la largeur, l'épaisseur et le poids. Pour l'analyse génétique, l'ADN total a été extrait à partir de feuilles fraîches collectées sur chaque arbre en utilisant la méthode CTAB. Dix-huit amorces RAPD ont été employées pour examiner l'ensemble des accessions et révéler la diversité génétique.

Pour les analyses statistiques Les résultats morphologiques et moléculaires ont été analysés à l'aide du Système d'Analyse Numérique de Taxonomie et d'Analyse Multivariée (NTSYS) - version 2.02. L'indice de similarité a été estimé en utilisant les coefficients de Jaccard et les dendrogrammes ont été générés par la méthode de regroupement non pondérée avec moyenne arithmétique (UPGMA)(figure 42).

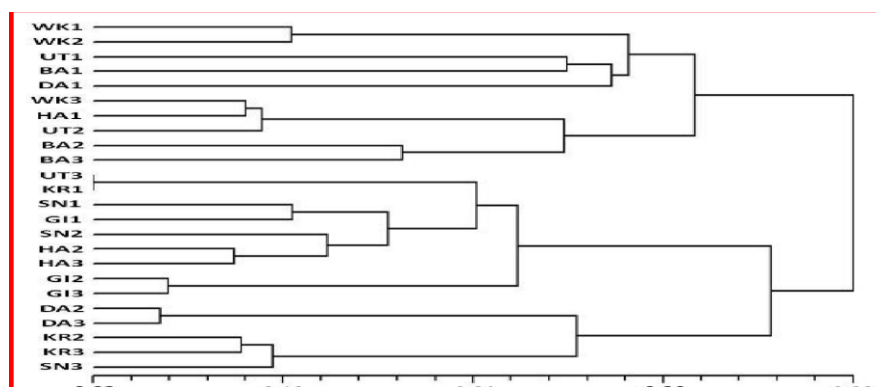


Figure 42:UPGMA dendrogram of Syrian carob generated by RAPDs par Mahfoud et al ,2018

Cette étude a analysé la diversité morphologique et génétique des caroubiers sauvages le long de la côte syrienne. Les méthodes morphologiques et moléculaires ont révélé suffisamment de polymorphisme pour distinguer les caroubiers syriens en trois groupes (données



morphologiques) et deux groupes (marqueurs RAPD). Les résultats obtenus révèlent tout d'abord les caractéristiques morphologiques des gousses et des graines de caroube, notamment en ce qui concerne la longueur, la largeur, l'épaisseur et le poids des gousses, ainsi que le poids des graines et le nombre de graines par gousse. Ces variations sont observées parmi les différentes accessions étudiées. La longueur des gousses varie entre 12,87 cm et 22,32 cm, la largeur varie entre 1,98 cm et 3,12 cm, et l'épaisseur varie entre 0,58 cm et 1,26 cm. Le poids des gousses varie également entre les accessions, allant de 8,99 g à 26,33 g. Le nombre total de graines par gousse varie entre 8,26 et 16,11. En outre, les caractéristiques morphologiques des graines. Les valeurs correspondant à la longueur, la largeur et l'épaisseur varient respectivement de 0,81 cm à 1,14 cm, de 0,62 cm à 0,83 cm, de 0,37 à 0,46 cm. Le poids de 1000 graines varie également entre 178,12 g et 278,33 g. Le dendrogramme obtenu à partir des 13 caractéristiques morphologiques des gousses et des graines, en considérant les 24 accessions de *C. siliqua*L, montre la formation de trois groupes, avec une dissimilarité moyenne de 0,88. Le premier groupe est composé de 09 accessions (Lattaquié, deux d'Alhaffa et une de Gablah). Le deuxième groupe représente 11 accessions (7 de Lattaquié, une d'Alhaffa et toutes les accessions d'Alkardaha). Le troisième groupe représente 4 accessions, (2 Lattaquié et 2 de Gablah).

En ce qui concerne les Caractéristiques génétiques 18 amorces RAPD ont détecté un total de 169 bandes d'amplification, variant de 6 à 13 bandes par amorce, dont 105 étaient polymorphes (61,85%). Le dendrogramme basé sur l'analyse UPGMA de la matrice de dissimilarité génétique montre que les 24 accessions ont été regroupées en 02 groupes principaux. Le premier groupe était composé 10 accessions (09 de Lattaquié et 01 accession d'Alhaffah), tandis que le deuxième regroupe 14 accessions (toutes les accessions d'Alkrdaha et Gablah, 5 accessions de Lattaquié et 2 d'Alhaffah), chacun des groupes principaux pouvant être ensuite classé en deux sous-groupes.

Les résultats obtenus ont été soumis à l'auteur pour examen. L'étude porte sur la variation génétique des caroubiers à partir des caractères morphologiques des gousses et des graines. Plusieurs chercheurs ont relevé des variations significatives dans ces caractères, attribuées au type et à l'origine géographique des caroubiers. Les distinctions morphologiques entre les accessions d'une même localité, comme Alsanubar ou Um Altueur, sont principalement d'origine génétique plutôt qu'environnementale, comme l'atteste l'analyse RAPD. Ces conclusions sont conformes à celles de chercheurs ayant constaté que des accessions issues de localités éloignées (environ 700 km) étaient regroupées dans l'arbre phylogénétique. Les profils RAPD révèlent une vaste diversité génétique chez les caroubiers syriens. Souvent, les relations morphologiques reflètent les relations génétiques, ce qui concorde avec des études similaires en Méditerranée. L'étude n'a pas établi de lien entre la taille des gousses et le nombre de graines, en contrastant avec certaines recherches. En outre, certaines accessions syriennes montrent un potentiel industriel prometteur, avec des gousses plus lourdes (26,33 g) par rapport à d'autres régions méditerranéennes.

Les caractéristiques morphologiques des gousses et des graines et l'analyse génétique à l'aide de marqueurs RAPD, offrant une perspective globale de la diversité et des relations génétiques. Cette étude a fourni des informations précieuses sur la diversité génétique et morphologique des caroubiers sauvages en Syrie. Cependant, elle aurait pu être renforcée par l'utilisation d'autres méthodes complémentaires. Bien que les marqueurs RAPD aient été

employés pour l'analyse génétique, l'ajout d'autres méthodes ou de marqueurs plus spécifiques aurait pu offrir une vision plus complète de la diversité génétique. De plus, bien que la côte syrienne ait été qualifiée de "climat humide", l'étude ne fournit pas suffisamment de détails sur les conditions climatiques spécifiques. Cette lacune pourrait limiter la compréhension des facteurs environnementaux qui influencent la diversité génétique des caroubiers. Malgré cela, l'étude a démontré une cohérence entre les relations morphologiques entre les accessions de caroubiers et leurs relations génétiques, renforçant ainsi la validité des résultats.

\_ La recherche effectuée par Bolarić et al. 2021 Titré" Morphological and molecular characterization of Croatian carob tree (*Ceratonia siliqua* L.) germplasm «, Visait à analyser la variabilité génétique et morphologique des caroubiers dans la région de l'Adriatique croate, sur 120 plants de caroubier (*Ceratonia siliqua* L.), collectés dans 12 lieux différents dans la côte et les îles du sud de l'Adriatique croate (figure 43). L'évaluation morphologique s'est concentrée sur les parties végétatives, notamment les feuilles, les gousses et les graines, tandis que l'évaluation génétique a porté sur les jeunes feuilles.

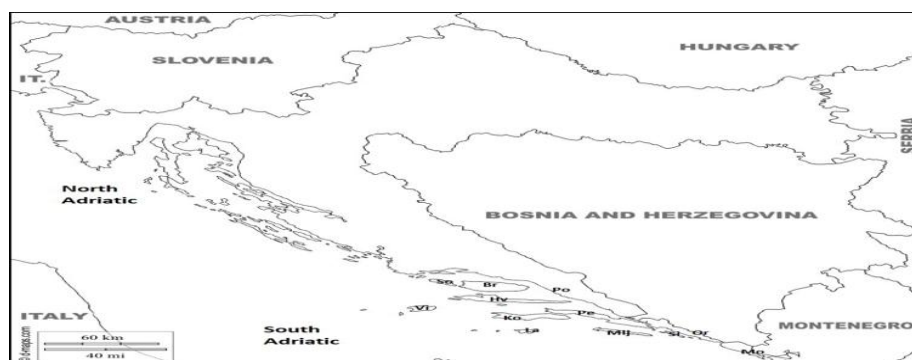


Figure 43: Map of locations of carob populations par BOLARIĆ et al.2021

L'étude a englobé une caractérisation morphologique de 10 caroubiers femelles, choisis au hasard parmi chacune des 12 populations locales, totalisant ainsi 120 plants individuels. Ces arbres, âgés d'environ 50 à 70 ans, ont été sélectionnés dans la région côtière et les îles du sud de l'Adriatique croate. Les populations échantillonnées variaient en taille, allant de quelques dizaines à plusieurs centaines de plants, couvrant un rayon d'au moins 200 mètres autour du centre de chaque population. Les caractéristiques des feuilles, des gousses et des graines ont été évaluées en prélevant au hasard cinq feuilles, dix gousses et 25 graines de chaque arbre au sein de chaque population. Les centres de chaque population ont été géolocalisés en termes de latitude, de longitude et d'altitude. Des échantillons de jeunes feuilles ont été collectés sur chaque arbre pour l'analyse AFLP de l'ADN, effectuée conformément à la méthode décrite par Vos et al. (1995). Un total de 1 µg d'ADN a été utilisé pour cette analyse

La caractérisation était basé sur l'analyse des caractères des feuilles, notamment la longueur des feuilles, la largeur des feuilles, la longueur du pétiole de la feuille, le nombre de folioles, le rapport longueur/largeur des folioles, la longueur du pétiole des folioles, la longueur des folioles et la largeur des folioles. Les graines, comme l'épaisseur, le rapport longueur/largeur des graines, la longueur, la largeur et le poids des graines. Enfin, les gousses : la longueur, la largeur, l'épaisseur et le poids de la gousse, ainsi que la longueur du pédoncule de la gousse et le nombre de graines par gousse.

En ce qui concerne les Données Moléculaires l'étude a englobé plusieurs analyses statistiques. Tout d'abord, le contenu d'information polymorphique (PIC) a été calculé selon la formule de Roldán-Ruiz et al. (2000). Ensuite, une matrice binaire AFLP ainsi que les coefficients de distance Euclidienne ont été utilisés pour évaluer les différences entre les génotypes des caroubiers. L'Analyse de Regroupement (UPGMA) et l'Analyse de Variance Moléculaire (AMOVA) ont été effectuées en se basant sur cette matrice de distance. De plus, la valeur  $\Phi_{ST}$ , qui représente la distance interpopulation, a été calculée. Les étapes suivantes ont inclus le Bootstrap et l'Analyse UPGMA réalisés avec le logiciel NTSYSpc ver. 2.21L. Les valeurs AMOVA et  $\Phi_{ST}$  ont été obtenues à l'aide du logiciel ARLEQUIN ver. 3.5.2.2. L'Analyse STRUCTURE a été employée pour déterminer le nombre optimal de populations réelles K en utilisant STRUCTURE ver. 2.3.4. De plus, les valeurs de confiance du bootstrap ont été calculées grâce à AFLP-SURV en utilisant PHYLIP ver. 3.69. Enfin, la détermination de K optimal a été réalisée en utilisant Structure Harvester v 0.6.94.

En ce qui concerne les Données Morphologiques, diverses analyses ont été entreprises. Les tests de normalité, d'homogénéité de variance et d'ANOVA, ainsi que les statistiques descriptives ont été effectués par XLSTAT1, Ver. 2013.2.01 (AddinsoftTM, 1995–2013). Par la suite, l'Analyse de Regroupement (UPGMA) et l'Analyse en Composantes Principales (PCA) ont été réalisées avec XLSTAT2, Ver. 2013.2.01. De plus, la construction d'une représentation en trois dimensions (3D-score plot) a été effectuée à l'aide de NTSYSpc ver. 2.21L (figure 44).

En ce qui concerne le Test de Mantel, les corrélations entre les traits morphologiques et les données AFLP ont été calculées à l'aide des logiciels XLSTAT et NTSYSpc (figure 45).

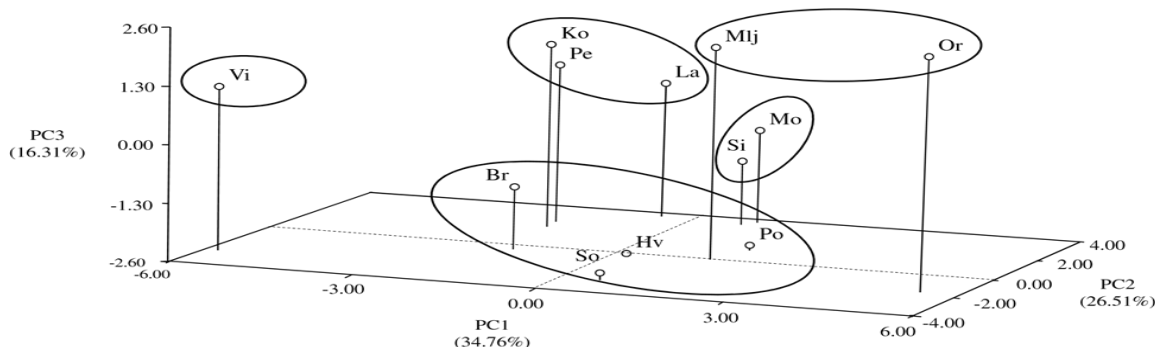
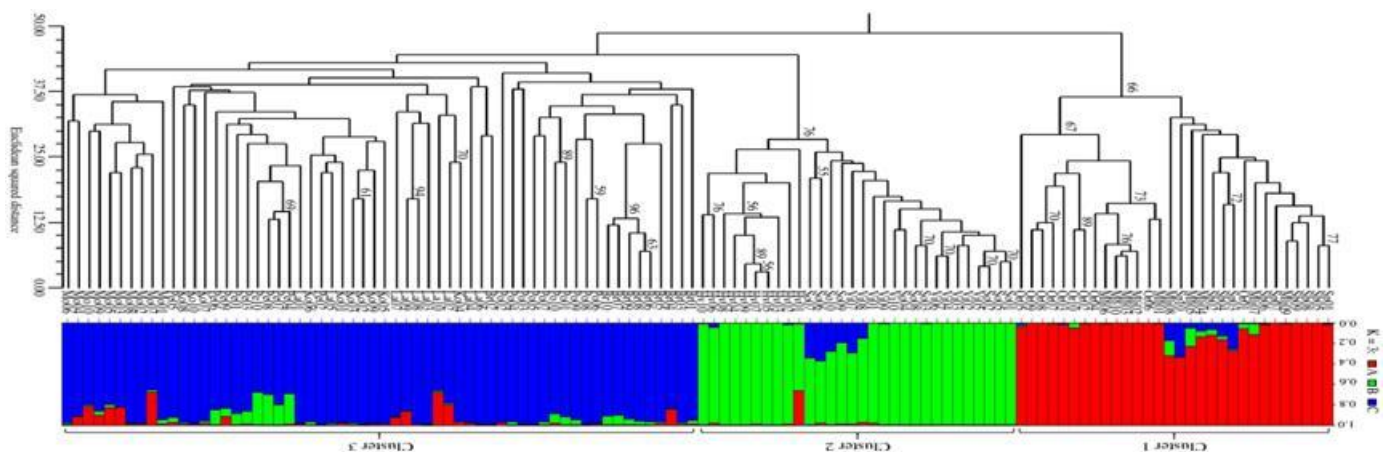


Figure 44:: 3D-score plot based on the first three components of PCA from the morphological data par Bolarić et al.2021



**Figure 45:** Cluster analysis of carob populations from the Croatian Adriatic region based on four AFLP primer combinations. (I) Dendrogram based on Euclidean square distance and UPGMA showing relationships among 120 carob trees. Bootstrap values over 50 based on 1 par Bolarić et al.2021

Les résultats obtenus révèlent tout d'abord la variabilité moléculaire de 120 génotypes de caroubier avec des marqueurs AFLP. Parmi 483 fragments AFLP, 340 (70,4 %) étaient polymorphes. Les taux de polymorphisme variaient de 61,9 % à 76,1 % selon les amorces. Le PIC le plus élevé (0,26) était pour E45/M46, et les paires E45/M36 montraient les valeurs les plus basses (0,20 en moyenne). Le nombre total de fragments par population allait de 210 à 291, avec des taux de polymorphisme de 30,0 % à 75,9 %. La diversité moyenne variait de 18,76 à 48,69 entre les populations. Les populations Si (max = 78 EucSQ) et Ko (max = 75 EucSQ) étaient les plus diversifiées.

Concernant les distances entre les populations, La plus grande distance interpopulation ( $\Phi_{ST}$ ) la plus élevée (0,53) était entre Vi et Or, tandis que Vi et So avaient une  $\Phi_{ST}$  de 0,01. Les populations La, Ko et Pe étaient génétiquement similaires mais différaient significativement (5 %). L'AMOVA montrait des différences notables entre les 12 populations (22,49 %). L'analyse UPGMA regroupait les populations en trois groupes : GRP 1 (La, Ko, Pe, Mo, Po, Br), GRP 2 (Hv, Vi, So) et GRP 3 (Si, Mlj, Or). L'analyse STRUCTURE identifiait trois groupes distincts : Si, Mlj, Or (premier), Vi, So, Hv (deuxième), Ko, La, Pe, Mo, Br, Po (troisième).

L'étude explore la variabilité morphologique au sein de 12 populations de caroubiers en Croatie. Les populations La et Po présentent la plus grande variabilité pour divers caractères comme la Largeur des feuilles, Longueur des pétioles, Largeur des folioles et des graines et des gousses, Épaisseur, et Poids des graines et le Rapport longueur/largeur des graines. Des différences notables ont été constatées dans d'autres populations pour divers caractères. Par exemple, la population Pe se démarque pour Longueur des feuilles et des folioles, tandis que Mlj se distingue pour Longueur des gousses et Longueur des graines. Les populations Or et Pe diffèrent par la longueur des gousses, tandis que la population Vi se distingue par la largeur et l'épaisseur élevées des gousses, malgré leur longueur plus courte. Des corrélations significatives sont observées entre certaines paires de caractères, telles que Longueur des feuilles et Longueur du pétiole (0,98) ou Largeur des graines et Poids des graines (0,96). ainsi

que la largeur des feuilles et la longueur des folioles (0,94) Les populations sont regroupées en cinq groupes distincts basés sur les caractéristiques morphologiques. groupe I (Po, Hv, So et Br) présentaient des feuilles, des folioles et des gousses plus larges que les populations Pe, La, Ko, Si et Mo (groupe II) Les populations Or et Mlj se distinguaient par des feuilles à folioles allongées et des gousses étroites. La population Or avait des gousses plus courtes mais avec davantage de petites graines. La population Vi se caractérisait par des folioles plus courtes et plus larges, ainsi que par les gousses les plus lourdes, ayant la plus grande largeur et épaisseur moyenne parmi toutes les populations.

L'analyse en composantes principales explique 84,65 % de la variation avec tous les caractères morphologiques montrant un pourcentage cumulatif élevé ( $\geq 70$  %). Les groupes obtenus par ACP correspondent à ceux obtenus par dendrogramme basé sur les caractères morphologiques.

Le test de Mantel a confirmé une corrélation significative ( $r = 0,58$ ) entre les matrices AFLP et morphologiques. Cette relation spécifique concerne six caractères morphologiques, notamment le rapport longueur/largeur des folioles, le nombre de folioles, la largeur, le poids et le nombre de graines dans les gousses. La longueur des graines est également un facteur important dans cette corrélation positive.

La discussion met en lumière l'application des marqueurs AFLP pour explorer la variabilité génétique des arbres à pollinisation croisée. Les caroubiers croates ont fait l'objet d'une analyse approfondie de leur diversité génétique au moyen de marqueurs AFLP, comparée ensuite à leurs caractéristiques morphologiques. Cette étude a révélé une diversité génétique significative à la fois entre les populations et au sein de celles-ci. L'origine de cette variabilité peut être attribuée à des facteurs tels que la distance géographique et l'isolement des populations. Les populations de caroubiers ont été regroupées en différents ensembles, résultant de l'analyse combinée des données génétiques et morphologiques. Il est souligné que la conservation génétique de ces populations revêt une importance capitale. De plus, l'étude suggère que ces populations pourraient également servir de matériel pour des programmes futurs d'amélioration génétique. En ce qui concerne les distances interpopulations ( $\Phi_{ST}$ ), celles-ci ont montré une étendue plus large dans cette étude par rapport aux populations tunisiennes, avec des valeurs statistiquement significatives, à l'exception des populations Vi et So, suggérant une possible origine commune pour ces dernières. De plus, une corrélation robuste entre le poids des graines et la longueur de la gousse a été mise en évidence ( $r = 0,76$ ). Ces résultats concordent avec des observations similaires faites pour les cultivars espagnols et ceux d'Algérie du Nord. En conclusion, les auteurs insistent sur l'importance de futures recherches et de collaborations dans le cadre de la conservation et de l'amélioration génétique des caroubiers dans l'ensemble du bassin méditerranéen.

L'étude repose sur une utilisation judicieuse des marqueurs AFLP, reconnus pour révéler les variations génétiques subtiles. Cette approche précise aboutit à des résultats hautement précis sur la diversité génétique des caroubiers examinés. Elle combine de manière innovante les données génétiques (AFLP) et les caractéristiques morphologiques des caroubiers, renforçant la fiabilité des conclusions. La variabilité génétique marquée entre et au sein des populations confirme l'importance de préserver leur diversité pour l'adaptation et la résilience face aux fluctuations environnementales. L'étude suggère d'utiliser les caroubiers pour des initiatives

de progrès génétique, orientant la sélection de nouvelles variétés. Cependant, un échantillon plus vaste pourrait améliorer la représentativité. Bien que l'étude se concentre sur les caractères quantitatifs, elle fournit des informations précieuses sur la diversité génétique des caroubiers croates et ouvre des perspectives pour la préservation et l'amélioration génétique.

\_ La recherche conduite par Barracosa et al. 2008, intitulée "Analyse de la diversité génétique des cultivars portugais de *Ceratonia siliqua* L. à l'aide de marqueurs RAPD et AFLP", avait pour but d'examiner la variabilité génétique et la corrélation entre les caractéristiques morphologiques et les marqueurs moléculaires RAPD et AFLP au sein d'une collection de 68 arbres de *Ceratonia siliqua*, répartis dans la région d'Algarve. L'évaluation morphologique a englobé les parties végétatives, incluant notamment les gousses et les graines. Pendant ce temps, l'étude de l'évolution génétique s'est concentrée sur les jeunes feuilles.

L'étude a examiné 68 arbres de *Ceratonia siliqua*, disséminés dans la région d'Algarve. Un lot de vingt-cinq gousses a été prélevé au hasard à partir de chaque arbre pour une analyse morphologique. Parallèlement, des feuilles juvéniles ont été collectées de chaque arbre pour permettre l'extraction d'ADN nécessaire à l'analyse RAPD et AFLP. Les observations ont été menées dans des localités variées, comme visualisé sur la carte. Parmi ces arbres, dix-sept ont été obtenus du Centre Régional Agricole de l'Algarve à Tavira. Ils englobent des variétés principales telles que 'Mulata', 'Galhosa', 'Lagoinha', 'Canela', 'Costela Vaca', 'Alfarroba Burro', 'Aida', ainsi que des variétés espagnoles telles que 'Rojal' et 'Negrette', et même une variété hermaphrodite appelée 'Flor Y Garrofa'. Par ailleurs, l'échantillon inclut des arbres sauvages issus de diverses régions (figure 46)

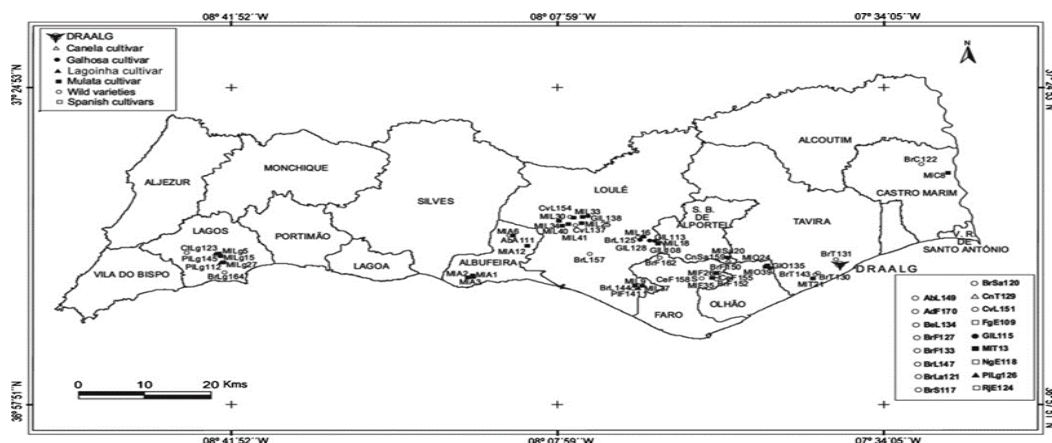


Figure 46: Figure 1: Map of Algarve with the geographic location of the accessions used in the present study par P. Barracosa et al. 2008

L'étude a impliqué la mesure de 31 caractères continus. Parmi ces caractères, les caractères des gousses ont été évaluées, notamment la longueur, la longueur linéaire, la largeur maximale, la largeur minimale, la largeur de la zone médiane, l'épaisseur maximale, l'épaisseur minimale, l'épaisseur de la zone médiane, la profondeur de la zone entre les côtes, le poids du fruit, la longueur du faux pédoncule, la largeur du faux pédoncule, et le rendement. En suit Les caractères des graines ont incluant le nombre de graines, le nombre de graines avortées, la distance à la graine du pédoncule, la distance à la graine du stigma, la longueur, la largeur, l'épaisseur et le poids de la graine du pédoncule et du stigma, ainsi que la longueur, la largeur, l'épaisseur, le poids total et le poids individuel de la graine médiane.

Les analyses statistiques entreprises dans cette étude avaient pour principaux objectifs de distinguer les cultivars (unités taxonomiques opérationnelles, OTUs) de *Ceratonia siliqua* en utilisant les moyennes des valeurs morphologiques de 31 caractères continus. De plus, elles cherchaient à évaluer la similarité génétique entre les différentes accessions d'arbres de *Ceratonia siliqua* en recourant aux méthodes RAPD (Random Amplified Polymorphic DNA) et AFLP (Amplified Fragment Length Polymorphism). Par le biais de la création de dendrogrammes et de projections en composantes principales, elles ont permis de visualiser les regroupements et les relations entre les accessions, en prenant en compte les caractéristiques morphologiques ainsi que les techniques RAPD et AFLP. Dans le même ordre d'idées, ces analyses ont également testé la solidité des dendrogrammes RAPD et AFLP au moyen d'une analyse de bootstrap, évaluant ainsi le degré de soutien des branches et la signification statistique des regroupements. En outre, elles ont comparé les matrices de similarité issues des diverses méthodes (morphologiques, RAPD et AFLP) à travers le test de Mantel, afin d'apprécier les concordances entre ces différentes approches (figure 47).

L'étude morphologique de 68 arbres de *Ceratonia siliqua* dans la région d'Algarve a mis en évidence une diversité significative dans les caractères morphologiques observés pour chaque accession. L'analyse des 31 caractères morphologiques continus a révélé quatre principaux groupes (A-D) avec plusieurs sous-groupes. Les accessions de la variété 'Mulata' étaient principalement regroupées dans le cluster A, tandis que d'autres cultivars et arbres sauvages se répartissaient dans les clusters B, C et D. L'analyse en composantes principales a également révélé des tendances de regroupement basées sur des caractéristiques morphologiques spécifiques, avec une corrélation cophénétique pour les caractères morphologiques de  $r = 0,8$ .

De plus, des analyses génétiques ont été menées en utilisant les techniques RAPD et AFLP pour évaluer la similarité génétique entre les accessions. L'analyse RAPD a été réalisée sur huit principales variétés de caroubiers de l'Algarve, parmi lesquelles 25 amorces RAPD ont montré des signes de polymorphisme. Parmi les cent amorces RAPD initialement testées, 25 ont montré des signes de polymorphisme et ont été sélectionnées. Au total, 338 fragments ont été produits, dont 38 étaient polymorphes, soit 12% de polymorphisme. Le nombre de fragments par amorce variait de 2 à 11, avec une taille allant de 200 à 2000 pb. Les résultats ont été regroupés en cinq clusters principaux (A-E) avec des marqueurs spécifiques identifiés pour certaines variétés. De même, l'analyse AFLP a généré 346 fragments avec 110 fragments polymorphes. Les tailles des fragments AFLP variaient de 30 à 330 pb, répartis sur sept groupes (A-G) avec des sous-groupes spécifiques. Les données AFLP ont été confirmées par une analyse en composantes principales montrant des regroupements cohérents. Enfin, la robustesse des regroupements générés par les méthodes RAPD et AFLP a été évaluée à l'aide d'une analyse de bootstrap, et une comparaison des matrices de similarité obtenues par différentes techniques a été réalisée. Les résultats ont été présentés à l'auteur pour examen.

Ces résultats obtenus ont été présentés à l'auteur, qui a examiné l'étude s'est concentrée sur l'évaluation de la diversité génétique de *Ceratonia siliqua* au sein des cultivars emblématiques de l'Algarve et des arbres sauvages non greffés dispersés dans la région. Plusieurs accessions de chaque cultivar ont été soumises à des analyses génétiques, à l'exception d'un unique spécimen nommé 'Aida'. Le cultivar 'Mulata' a joué un rôle central dans le processus de domestication. Malgré les contraintes de distance géographique et d'environnement homogène, la véritable diversité génétique pourrait être limitée. Les caractéristiques examinées pour identifier les variétés ont été spécifiquement axées sur les aspects agro-



industriels, en excluant les couleurs et la rugosité des graines et des fruits. Des différences marquées, notamment au niveau des fruits et des graines, ont été clairement observées. Les arbres affichant de meilleures performances en termes de rendement en graines ont été regroupés dans le cluster B, dominé par le cultivar 'Mulata'. La domestication a laissé des traces dans les caractéristiques morphologiques des fruits. L'évaluation génétique comparative (par l'AFLP, le RAPD, etc.) a mis en évidence que l'AFLP est plus fiable que le RAPD pour évaluer la diversité génétique, montrant des corrélations significatives entre les marqueurs AFLP et les traits distinctifs des cultivars. Les résultats de l'analyse AFLP ont abouti à sept groupes, tandis que l'analyse RAPD en a révélé cinq, et les valeurs de corrélation ont confirmé la pertinence de ces regroupements génétiques. Les accessions des cultivars 'Galhosa', 'Canela' et 'Lagoinha' ont montré une cohérence dans leur regroupement, tandis que le cultivar 'Mulata' a montré une dispersion géographique. De plus, l'analyse a révélé que le processus de domestication est reflété par les caractéristiques morphologiques des fruits le long de la composante 1. En somme, les résultats soulignent que l'AFLP représente une méthode prometteuse pour les efforts d'amélioration génétique et de conservation de la diversité du caroubier.

L'étude visait à examiner la diversité génétique et les relations entre les caractéristiques morphologiques et les marqueurs moléculaires au sein d'une collection de 68 accessions d'arbres caroubiers, offrant ainsi une perspective approfondie sur cette espèce. L'utilisation combinée des marqueurs moléculaires RAPD et AFLP a permis une évaluation robuste de la diversité génétique et des relations entre les cultivars. Cependant, l'étude aurait pu bénéficier de l'utilisation de méthodes moléculaires plus avancées, comme les séquences d'ADN spécifiques, pour une résolution encore plus précise des relations génétiques. Il convient de noter que la publication date de 2008, et les développements technologiques postérieurs dans le domaine de la génétique moléculaire pourraient offrir de nouvelles possibilités pour des analyses plus détaillées de la diversité génétique des caroubiers. Bien que l'étude se soit concentrée sur des paramètres morphologiques mais Just quantitative et il oublie les paramètres qualitatifs, elle n'a pas abordé des aspects cruciaux tels que la résistance aux maladies, la qualité des produits ou la tolérance au climat. Par ailleurs, l'étude a réussi à établir des corrélations significatives entre les caractéristiques morphologiques des arbres caroubiers et leurs profils génétiques, fournissant ainsi des informations précieuses sur les liens entre les traits phénotypiques et génétiques.

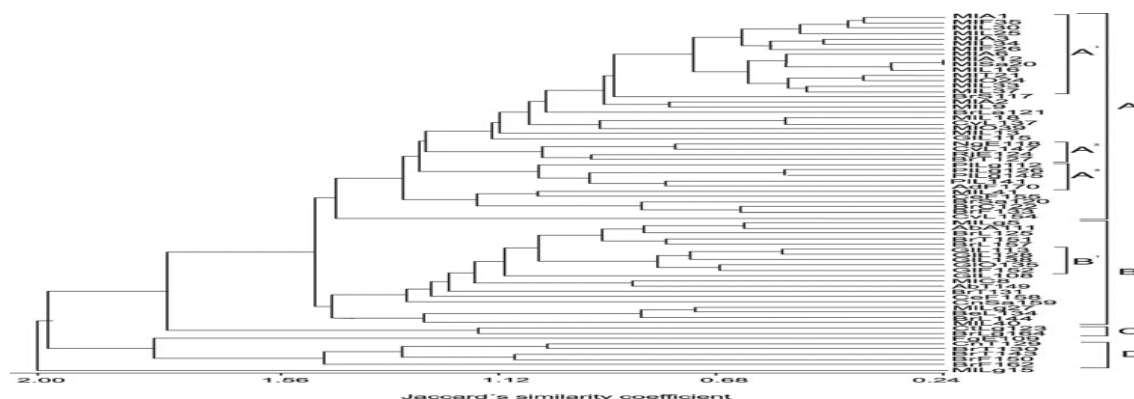
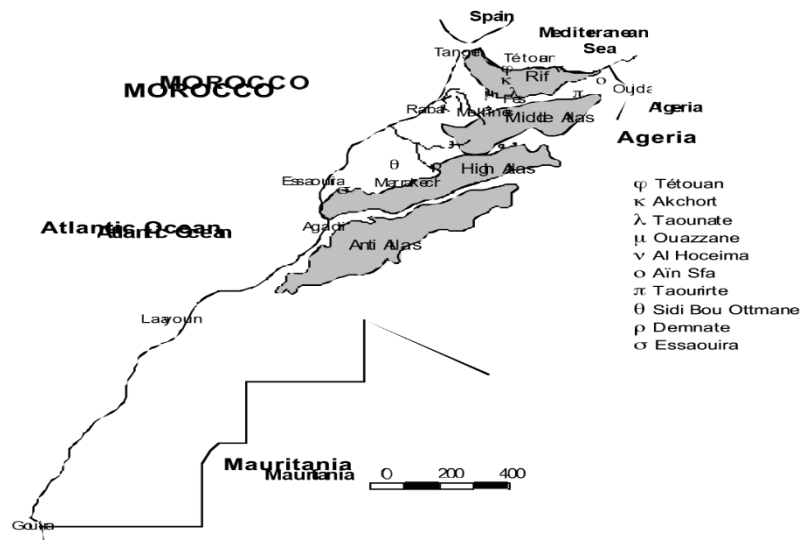


Figure 47: Dendrogramme basé sur les coefficients de distance de la moyenne des résultats de 31 caractéristiques morphologiques des fruits de 68 caroub accessions (Cophenetic correlation  $r = 0.77$ ). par P. Barracosa et al, 2008



\_Cette étude menée par Konaté et al. 2007, intitulée " Diversity Analysis Of Moroccan Carob (*Ceratonia siliqua* L.) Accessions Using Phenotypic Traits And Rapd Markers ", vise à évaluer la diversité des caroubiers marocains en utilisant des caractères phénotypiques et des marqueurs RAPD. Elle se penche sur la diversité phénotypique et génétique de 10 accessions de *Ceratonia siliqua* provenant du Maroc. L'évaluation morphologique se concentre sur les parties végétatives, en particulier les gousses, tandis que l'évaluation génétique utilise des marqueurs moléculaires RAPD pour analyser les profils génétiques des feuilles germinées.

L'échantillonnage a été effectué à partir de dix populations naturelles de *Ceratonia siliqua*, avec au moins dix arbres échantillonnés au hasard dans chaque population. L'analyse génétique a été réalisée à partir de feuilles germinées provenant de cent gousses mûres sélectionnées au hasard dans chaque accession. Ces observations ont été menées dans différentes régions géographiques du Maroc, couvrant divers climats tels que semi-aride à aride (Taourirt, Aïn Sfa), humide (Al Hoceima, Tétouan, Akchour, Ouazzane) et humide



(Semanate, Essaouira, Sidi Bennour) (figure 48).

*Figure 48: Map of Morocco: Geographical distribution of carob populations from which fruits were collected par Konaté et al, 2007.*

Les critères d'évaluation a inclus dix caractères pour analyser les gousses de caroubier, tels que la longueur, la largeur, l'épaisseur, la corde, le poids, le nombre et le poids des graines par gousse, le nombre de graines avortées, le poids de la pulpe et le rendement en graines. Pour l'évaluation génétique, des marqueurs moléculaires RAPD ont été utilisés pour analyser les profils génétiques uniques des accessions de *Ceratonia siliqua*. Ces marqueurs ont joué un rôle essentiel dans la détermination de la diversité génétique et des relations entre les accessions Le processus RAPD a impliqué sur la collecte de feuilles.

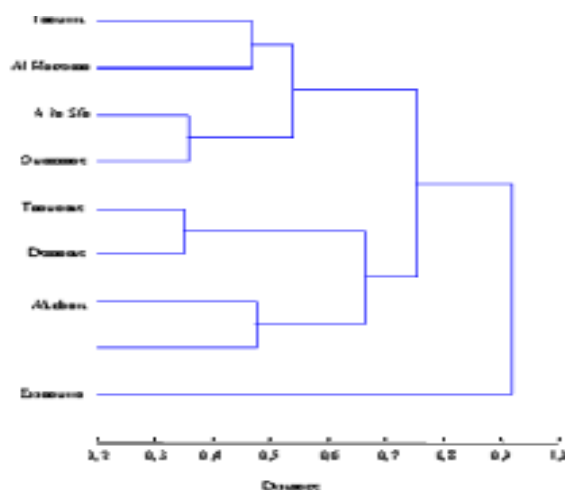
Pour Les analyses statistiques de cette étude ont utilisé logiciel STATISTICA pour l'analyse de regroupement afin d'évaluer les relations phénetiques, l'analyse en composantes principales (ACP) pour identifier les caractères morphologiques importants, le coefficient de corrélation de Pearson pour évaluer les similarités génétiques, et une matrice binaire pour enregistrer les marqueurs RAPD. Ces méthodes ont permis de comprendre les similitudes et

les différences entre les accessions de caroubier en termes de diversité génétique et morphologique.

Les résultats obtenus révèlent tout d'abord l'étude morphométrique sur le caroubier marocain a mis en évidence des variations significatives entre les accessions locales. Les caractères tels que la longueur, la largeur, l'épaisseur et le poids des fruits ont montré des différences notables entre les accessions. Les similitudes ont été évaluées à l'aide du coefficient de corrélation de Pearson, avec dendrogramme UPGMA révélant cinq groupes distincts. Ces groupes reflètent les relations entre les accessions de différentes régions, par exemple Taourirt - Al Hoceima, Aïn Sfa - Ouazzane, Taounate - Demnate et Akhort - Sidi Bou Ottmane. Une accession d'Essaouira, caractérisée par un grand nombre de graines avortées, s'est avérée éloignée des autres. L'analyse en composantes principales (ACP) a synthétisé ces caractères en trois composantes principales expliquant plus de 73,5 % de la variance totale. La largeur des fruits et le poids des graines (38,7 %) étaient des caractères clés, permettant de distinguer cinq principales accessions : Taourirt, Al Hoceima, Aïn Sfa, Akhort et Sidi Bou Ottmane. La deuxième composante (20,2 %) a révélé la parenté entre les accessions de Taounate et Demnate, tandis que la troisième (14,6 %) a montré une corrélation négative entre les accessions de Ouazzane et Essaouira. En ce concerne L'étude de l'ADN polymorphe amplifié au hasard du caroubier a nécessité un protocole adapté malgré la robustesse des feuilles. Sur les 67 amorces testées, seules 52 ont produit des bandes polymorphes parmi les quatre accessions analysées, totalisant 374 bandes avec une moyenne de 7,2 bandes par amorce. La diversité des fragments polymorphes variait jusqu'à 18, de 40 pb à 2000 pb. Le dendrogramme UPGMA basé sur les coefficients de corrélation de Pearson a montré une division en deux groupes distincts : un groupe mineur (Taounate et Tetouan) et un groupe majeur contenant les autres accessions. Les distances d'agrégation ont confirmé l'éloignement entre toutes les accessions, avec une similarité de seulement 6 % dans le groupe mineur et des corrélations à 30 % entre les accessions les plus proches. L'analyse en composantes principales a révélé trois composantes expliquant 43,77 % de la variance totale, montrant une faible relation génétique même entre les accessions d'une même région géographique.

Dans cette étude, l'auteur a entrepris une double analyse pour évaluer la diversité génétique des caroubiers marocains : une analyse morphométrique des caractères phénotypiques et une analyse de l'ADN polymorphe amplifié au hasard (RAPD). L'analyse morphométrique a impliqué la mesure de caractères tels que la longueur, la largeur, l'épaisseur et le poids des fruits, révélant des variations notables entre les accessions. Le coefficient de corrélation de Pearson a été utilisé en fonction de ces caractères. Les résultats ont été présentés dans un dendrogramme UPGMA et aussi ACP a regroupé les accessions en cinq clusters, En ce qui concerne l'analyse RAPD, Parmi les 67 amorces testées, seules 52 ont produit des bandes polymorphes et reproductibles. Les distances génétiques calculées à partir de la matrice de corrélation de Pearson ont été utilisées pour créer un dendrogramme UPGMA (figure 49), révélant une division en deux groupes majeurs avec de grandes distances entre les accessions. L'ACP a également été appliquée, montrant une faible relation génétique entre les accessions, même celles d'une même région géographique. Les distances génétiques ont montré que malgré une similarité morphologique élevée entre certaines accessions, leur similarité moléculaire était faible. Cette différence a été observée dans d'autres études et suggère que les marqueurs moléculaires offrent une meilleure estimation des relations génétiques que les traits morphologiques. L'étude souligne également que les caractères morphologiques peuvent être influencés par les conditions climatiques, conduisant à des variations d'une année à l'autre.

Cela rend complexe la relation entre les caractères phénotypiques et les événements génétiques réels. En ce qui concerne la distribution géographique des accessions, l'analyse morphométrique n'a pas montré de corrélation, tandis que l'analyse RAPD a suggéré une distribution approximative basée sur l'origine géographique.



*Figure 49:UPGMA phenogram highlighting the morphometric similarities among Moroccan carob accessions. Similarities among accessions were evaluated with Pearson coefficient par Konaté et al. 2007.*

Actuellement, les marqueurs RAPD sont moins fréquemment employés dans le domaine de la caractérisation génétique en raison de leur nature aléatoire, de leur sensibilité à la qualité de l'ADN et des coûts et du temps de travail élevés qu'ils impliquent. Leur utilisation peut également être entravée par la difficulté d'interprétation des résultats. Cependant, malgré ces limitations, les marqueurs RAPD ont été largement utilisés dans les années antérieures, notamment en 2007, pour contribuer à la mise en avant du caroubier dans le domaine de la recherche génétique. Ils ont joué un rôle important dans la caractérisation génétique de cette espèce à cette époque sans oublier que l'étude a été appuyée par des analyses approfondies impliquant des méthodes statistiques telles que le coefficient de corrélation de Pearson, l'analyse en composantes principales (ACP) et la construction de dendrogrammes UPGMA. Cette approche rigoureuse a permis d'évaluer de manière approfondie les similitudes et les relations entre les différentes accessions, fournissant ainsi une base solide pour comprendre la diversité au sein de l'espèce.

# **Conclusion**

## Conclusion :

---

### Conclusion

Le caroubier (*Ceratonia siliqua*) est naturellement répandu dans diverses régions du bassin méditerranéen. Son importance économique en tant que culture potentiel de choix pour les programmes de reboisement réguliers, favorisant le développement durable et l'économies des zones rurales, ainsi que le caroubier peut contribuer à l'amélioration des ressources pastorales,

Selon plusieurs auteurs le caroubier est un arbre xérophile (il s'adapte aux environnements arides) avec une tolérance de différent type de sol, ainsi qu'il démontre une résistance naturelle aux maladies, cependant sa production mondiale et en particulier l'Algérie a marqué une diminution significative à cause de plusieurs facteurs, ce qui lui a rendu un important domaine de recherche.

Au fil du temps, de nombreuses études ont été conduites pour caractériser le caroubier dans le bassin méditerranéen, ce qui inclut des travaux de recherche significatifs réalisés par des chercheurs de différentes nationalités portées sur divers aspects de la caractérisation du caroubier, notamment sa morphologie, sa biochimie et sa génétique. L'intérêt qui était porté par les chercheurs des pays méditerranée tel que Ghanemi (2017), Mahtout et al. (2018), Kocherane et al. (2019) et Mahdad et al. (2022) en Algérie. Konaté et al. (2007), El Batal et al. (2012), El Hajaji et al. (2012), Seghir et al. (2016), Elfazazi et al. (2017) et Fadel et al. (2020) en Maroc. Vekiari et al, 2011, Bostan et Kasko Arici, 2015 et de Korkmaz et al. 2020, Turquie et grec. Batlle et Tous en 1997 en Espagne. Ces travaux ont participé activement à la recherche, la caractérisation, le développement et la compréhension plus approfondie de cette espèce et de ses propriétés, ce qui était expliqué et rapporté dans ce travail.

Ces recherches visent à approfondir notre compréhension des différentes parties de l'arbre du caroubier et à évaluer leurs propriétés biologiques spécifiques. Dans l'ensemble, ces études cumulatives provenant de diverses sources géographiques et de différents chercheurs contribuent à une meilleure connaissance du caroubier méditerranéen, de ses caractéristiques et de son potentiel dans divers domaines d'application, notamment en pharmacologie, en agroalimentaire et dans d'autres secteurs connexes. Également ce travail peut servir comme référence de base pour choix de sujet scientifique dans le but de compléter les parties manquantes dans la caractérisation, la sélection des variétés et par conséquent l'amélioration du rendement.

براءة الاختراع

### 1. مقدمة

كجزء من تنمية الموارد الطبيعية في الجزائر الغنية بتنوعها البيولوجي وأراضيها الخصبة، إمكانات لا تقدر بثمن فيما يتعلق بالصناعة الزراعية والتنمية الاقتصادية، ولا سيما شجرة الخروب، التي تنمو بكثرة تحت شمس البحر الأبيض المتوسط وفي الوقت الذي يبحث فيه العالم عن بدائل مبتكرة وصحية للمنتجات الغذائية، نحن فخورون بتقديم براءة اختراع لشوكولاتة خالية من الغلوتين، وخالية من زيت النخيل، وخالية من الكاكاو، وأيضاً خالية من المواد الحافظة، تحتوي على نسبة 12% من السكر

### 2. معنى الاسم

هو أكثر من مجرد اسم؛ إنه وعد بالجودة والنكهة والابتكار. يجسد تجربة فريدة من نوعها تمزج بين التقاليد القديمة وروح الحداثة. يعكس الاسم مزيجاً فريداً من الثقافات واللغات، حيث جاءت الفكرة من الكلمة اليونانية القديمة "كريوبسيس" التي تعني "الثمرة الجافة" والتي تمثل الجودة والتغذية. ولتعزيز الجوانب الحديثة والابتكارية، تم دمج هذه الكلمة مع كلمة الخروب بالإنجليزية، هذا التوليف اللغوي يجسد تماماً روح الاسم ويشير إلى تركيبة فريدة وتجربة تذوق مميزة.

لذا، يمكن القول إن هذا الاسم هو أكثر من مجرد اسم. إنها قصة وعرض للتفرد والتميز في عالم الثقافة والتذوق الغذائي والابتكار في زراعة الخروب

### 3. الفرق بين الكاكاو والخروب

شهدت الجزائر نمواً ملحوظاً في واردات الكاكاو خلال عام 2019، حيث بلغت كميتها 17 ألف طن بقيمة تقدر بـ 30 مليون دولار. هذا الارتفاع في واردات الكاكاو يعكس التزايد الواضح في استهلاك منتجات الشوكولاتة في السوق الجزائرية. وعلى الرغم من أن واردات الكاكاو تستخدم أساساً في صناعة الشوكولاتة المحلية، إلا أنه من المهم الإشارة إلى وجود تحديات تتعلق بمكونات هذه الشوكولاتة.

تجدر الإشارة إلى أن معظم الشوكولاتة المصنوعة في الجزائر تعتمد على مادة تعرف باسم الفيجيكاو، وهي في الأساس بقايا للكاكاو الخالية تماماً من الفيتامينات. أيضاً تحتوي على زيت النخيل كواحد من مكوناتها الرئيسية. وعلى الرغم من أن زيت النخيل يساهم في تحسين ملمس وقوام الشوكولاتة، إلا أن استخدامه في الصناعة الغذائية أثار قلقاً في الآونة الأخيرة نظراً لتأثيره على الصحة العامة والبيئة.

هنا يأتي دور منتج كريوبس الذي يعتبر بديلاً مثالياً للكاكاو، حيث لا يحتوي نهائياً على الكاكاو. إن كريوبس يعتمد على مكونات مبتكرة تسمح بتصنيع منتجات الشوكولاتة بجودة عالية دون الحاجة إلى استخدام زيت النخيل أو مكونات أخرى قد تثير المخاوف من الناحية البيئية والصحية. بالتالي، يمكن للجزائر أن تحقق الاستقلال الاقتصادي في صناعة الشوكولاتة من خلال اعتماد منتجات كريوبس والتميز في هذا القطاع الحيوي.

### 4. مزايا شوكولاتة الخروب

1. استخدام دقيق الخروب المحلي وتعزيز الصناعة المحلية: تعتمد شوكولاتة الخروب على استخدام دقيق الخروب المنتج محلياً. هذا له تأثير إيجابي على الاقتصاد المحلي من خلال تعزيز الصناعة المحلية وتقليل الحاجة إلى الوارد

2. محتوى منخفض من السكر: تمتاز شوكولاتة الخروب بمحتوى منخفض من السكر مقارنة بالشوكولاتة التقليدية. هذا يجعلها خياراً صحياً ومناسباً للأشخاص الذين يبحثون عن بدائل صحية للحلويات.

3. مكمل غذائي غني: تحتوي شوكولاتة الخروب على الألياف الغذائية، وهذا يساعد على تحسين عملية الهضم ويسهم في الشعور بالشبع لفترة أطول. كما تحتوي على مجموعة متنوعة من المعادن مثل الكالسيوم والبوتاسيوم والحديد، مما يسهم في الحفاظ على صحة العظام وضبط ضغط الدم.

مضاد للأكسدة: الخروب غني بمركبات مضادة للأكسدة مثل الفلافونويد. هذه المركبات تساهم في حماية الخلايا من تأثيرات الأكسدة الضارة وتعزيز الصحة العامة.

## Chapitre IV : براءة الاختراع

بالإضافة إلى هذه المزايا، تعتبر شوكولاتة الخروب خيارًا لذيذًا للأشخاص الذين يبحثون عن تجربة حلوى فريدة من نوعها. إنها تجمع بين الطعم الشهى والقيمة الغذائية العالية، مما يجعلها خيارًا مثاليًا للجميع، بغض النظر عن احتياجاتهم الغذائية.

### 5. صياغة البراءة

بعد البحث والتحري الدقيق على منصة أو محرك البحث العالمي المجاني للمعلومات التكنولوجية (PATENTSCOPE)، تبين لنا وجود منتجات غير مشابهة لشوكولاتتنا، وهذا يمثل إشارة إلى أن ابتكارنا يمثل ابتكارًا عالميًا جديدًا وفريدًا. بالإضافة إلى ذلك، كنا تحت إشراف المركز الجامعي للتكنولوجيا والاعلام بتلمسان (CATI) خلال عملية صياغة براءة الاختراع وقدموا مساهمة قيمة لا تُقدر بثمن. من خلال تعاونهم المستمر ومهنتهم نجحوا في تحويل الأفكار إلى كلمات وجمل تفصيلية تمثل هذا الاختراع بوضوح، ولا يمكنني إلا أن أعبر عن امتناني العميق لما قدموه.

بالإضافة إلى ذلك، يجب أن نشدد على الدور المهم الذي لعبته الجهة الوطنية للملكية الصناعية وحماية الملكية الفكرية (INAPI) في تقديم الدعم والإشراف على عملية صياغة براءة الاختراع. بفضل خبرتهم العريقة واهتمامهم بأدق التفاصيل، تم تحقيق تصميم دقيق ومفصل للبراءة المحمي تحت رقم 230817.

ومع ذلك، سنستمر في البحث والعمل بجدية واجتهاد لضمان تحقيق النجاح في المستقبل. نحن ممتنون لكل الأشخاص والجهات التي شاركوا في هذا العمل وساهموا في تقديم دعم قيم وإشراف دقيق. سنظل على استعداد لاستكمال جهودنا من أجل تحقيق أهدافنا بنجاح.

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية وزارة الصناعة		
Institut National Algérien de la propriété Industrielle		المعهد الوطني الجزائري للملكية الصناعية
N/Réf/ 92/10 /DB/BH/INAPI/2023	V/Réf/ s'il y a lieu : /	
Expéditeur : Direction des Brevets Service Dépôt	Destinataire : Université Abou-Bekr Belkaid - Tlemcen	
Objet : Accusé de réception de dépôts de demandes de brevet		
Date d'envoi/Diffusion : 18/04/2023	Copie(s) pour : D.B.	
Nombre des Pièces Jointes : / Intitulé des pièces jointes : /		
L'INAPI, atteste par la présente la réception des demandes de brevet suivantes :		
N° / Date Dépôt	Titre	Inventeurs
230813 15/06/2023	Système de télégestion des ressources d'eau	IRID Sidi Mohammed Hadj NAOUI Salim
230814 15/06/2023	Procédé de fabrication du la présure animale à partir de ruminants (bovins, ovins, caprins)	MAHI Anes Feth Allah
230815 15/06/2023	Formulation d'une poudre pour une suspension buvable de furosémide	BELLOUATI Nordjane Halima HEFAIA Sarra GUENDOZ Souheyla CHOUKCHOU BRAHAM Esmâ BELKHODJA Abdelmajid
230816 15/06/2023	Composition anti-inflammatoire à base d'ajuga iva pour le traitement des dysménorrhées.	Djelli Farab Hamel Meryem
230817 15/06/2023	Chocolat à tartiner à base de caroube « CARYOPS »	Azzouz Amani Mkedder Ikram Gaouar Semir Bechir Suheil
230818 15/06/2023	« BASSIRA » : Un pilulier intelligent pour les non-voyants.	Tchouar Faiza Abdeljelil Hanane Bendella Anes Berrich Riham
230819 15/06/2023	Production de l'électricité par voie de l'élevage de poissons	ALIANE Khaled ALIANE Ismat Abdel Hadi

Signature

Adresse : 42, rue Larbi BEN M'HIDI, Alger  
Tél : (021) 73 57 74-59 35/ 60 84  
Fax: (021) 73 96 44 et (021) 73 55 81  
E-mail: info@inapi.org Web: www.inapi.org

Compte CNEP : 10310000137337 (Agence 103 Aliti - Alger Centre)  
RIB : 01100103100001373312



# **Référence Bibliographique**

**Référence Bibliographique**

- Aafi, A. (1996).** Les potentialités de développement des espèces arborées forestières et fruitières dans les zones arides et semi-arides du Maroc. *Revue Forestière Française*, 48(3), 211-221.
- Aafi, A. (1996).** Morphologie de la fleur et ontogenèse des appendices floraux chez *Ceratonia siliqua* L. (Caesalpinaceae). *Bulletin de la Société Botanique de France. Actualités Botaniques*, 143(1-2), 11-21.
- Aboura, I. (2018).** Utilisation des feuilles du caroubier dans la médecine traditionnelle. *Revue de Médecine Traditionnelle et de Médecine Complémentaire*, 8(2), 127-135.
- Ait Chitt, A., Belmir, H., Lazrak, A. 2007.** Production des plants sélectionnés et greffés du caroubier. Transfert de technologie en Agriculture. *Bulletin mensuel d'information et de liaison du PNTTA MAPM/DERD* 153, 1-4.
- Ait Chitt, S. et al. (2007).** Morphological and anatomical characterization of Carob tree (*Ceratonia siliqua* L.) from Moroccan High Atlas. *Proceedings of the International Workshop on Innovation in Mediterranean Forest Ecosystems*, Avignon, France.
- Albanell, E. Caja G. Plaixats J. (1996).** Characterization of carob fruits (*Ceratonia siliqua* L.), cultivated in Spain for agroindustrial use. *International Tree Crops Journal* 9: 1- 9.
- Albanell, E. (1990).** Nombres vernáculos en la toponimia ibérica (7). *Acta Botanica Barcinonensia*, 39, 51-60.
- Albanell, E. Bartolomé, J. & Coll. F. V. (1991).** Compositional studies of carob bean gum. *Food Hydrocolloids*, 5(5), 459-468.
- Aziz, M. A. & Hicham. B. (2014).** Phytochemical screening and extraction of carbohydrates in carob pulp. *Research Journal of Chemical Sciences*, 4(6), 28-32.
- Battle, I. & Tous J. (1997).** Le caroubier (*Ceratonia siliqua* L.): biologie, écologie et utilisations. *Bois et Forêts des Tropiques*, 253(3), 37-49.
- Battle, I. & Tous. J. (1997).** Les arbres fruitiers non-traditionnels en Méditerranée. *Options Méditerranéennes: Série A. Séminaires Méditerranéens*, (34), 131-144.
- Battle, I. & Tous J. (1997).** Taxonomy and genetic diversity of carob tree. *Ceratonia*, 2, 5-10.
- Benmahioul, B. A. Bougouffa, and T. A. Al-Shahrani.** "A Review on *Ceratonia siliqua* Carob Tree: From Genetics to Functional Components." *Journal of Genetic Engineering and Biotechnology* 19.1 (2021): 1-12.

## **Référence Bibliographique:**

---

- Benmahioul. B. et al. (2021).** Carob tree (*Ceratonia siliqua* L.) biometry in the North West of Algeria (Tlemcen region). *Journal of Materials and Environmental Science*, 12(3), 286-293.
- Benmahioul. B. Kaïd-Harche, M., Dagun, F., 2011.** Le caroubier, une espèce méditerranéenne à usages multiples. *Forêt méditerranée*, pp. 51–58 t. XXXII n°1.
- Biner B. Gubbuk H. Karhan M. Akus M. Pekmezei M. 2007.** «Sugar profiles of the pods of cultivated and wild types of carob bean (*Ceratonia siliqua* L.) in Turkey». *Food chemistry* 100: pp. 1453-1455.
- Biner, B., Gubbuk, H., Karhan, M., Şahin, S., & Kursat, M. (2007).** DETERMINATION OF SOME CHEMICAL PROPERTIES OF CAROB (*Ceratonia siliqua* L.) FRUITS. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 31(6), 383-388.
- Bolonos, F. (1955).** Contribution a l'etude anatomique et biologique des cauroyers (*Ceratonia siliqua* L.). *Le Botaniste*, 37(3-4), 167-198.
- Boudy, P. (1950).** Le caroubier. *Revue des corps d'ingénieurs forestiers*, 8(2), 68-81.
- Boudy, P. 1950.** « Economie forestière Nord-Africain (tome II) : Monographie et traitement des essences forestière ». Ed. Larose, Paris, pp.443-445.
- Boudy, Pierre.** "Sur La Résistance Au Froid du Caroubier." *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences* 231.20 (1950): 1400-1401.
- Bureš, P. & Zedek, F. (2004).** Chromosome numbers and genome size variation in Indian species of *Caralluma* (Apocynaceae-Asclepiadoideae-Ceropegieae-Stapeliinae). *Plant Systematics and Evolution*, 245(3-4), 125-139.
- Correia, P. J., & Martins-Loucao, M. A., 1995.** Seasonal variations of leaf water potential and growth in ferrigated carob-trees (*Ceratonia siliqua* L.). *Plant and Soil*, 172, 199–206.
- Correia, P. J., & Martins-Loucao, M. A., 2005.** The use of macronutrients and water in marginal mediterranean areas : the case of carob-tree. *Field Crops Research*, 91, 1–6.
- Craig, S. A. S., & Nguyen, T. V. (1984).** Carob pods: a palatable adjunct to food. *Nutrition Reports International*, 30(6), 1287-1296.
- d-maps.com.** visité octobre 2023
- Dakia, P. A., et al. (2007).** Chemical composition and functional properties of the gum exudates from the trunk of the carob tree (*Ceratonia siliqua*). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56(2), 444-449.
- El Bouzdoudi, H., Moutia, M., Taroq, A., & Soraa, N. (2017).** Chemical composition of carob (*Ceratonia siliqua* L.) pods flour cultivated in Morocco. *Moroccan Journal of Chemistry*, 5(2), 263-269.

## **Référence Bibliographique:**

---

- El kahkahir, F. (2016).** Utilisation de *Ceratonia siliqua* L. Revue Ivoirienne des Sciences et Technologie, 28, 181-199.
- Estrada, A., Yll, R., & Marlasca, R. (2006).** Palaeoethnobotany in southwestern Europe. Advances in archaeological method and theory, 11, 127-205.
- Evreinoff, N. (1947).** Trees and Shrubs of the Mediterranean, Oxford University Press.
- Fadel F., Tahrouch S., Elmadidi S., Benddou Q., Hatimi A. (2011).** Etude morphométrique et physicochimique comparative du caroubier forestier et celui d'une plantation privée. Biomatec-Echo.V4 n°7.pp.3-10. Maroc.
- FAO. (2011).** FAOSTAT database. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Ferguson, I.K., 1980.** The pollen morphology of *Ceratonia* (Leguminosae: Caesalpinioideae). Kew Bull. 35 : 273-277.
- Fournier, P, 1977.** Les quatre flores de la France (générale, alpine, méditerranéenne, littorale). Publications de la Société Linnéenne de Lyon, vol. 47, no 3, p. 90-90.
- Gharnit N, El Mtili N., Ennabili A., Sayah F. (2006).** Importance socio-économique du caroubier (*Ceratonia siliqua* L.) dans la Province de Chefchaouen (nord-ouest du Maroc). J. Bot. Soc. Bot. France 33: 43-48.
- Gharnit, N. & Ennabili, A., 2009.** Essais préliminaires de culture in vitro du caroubier (*Ceratonia siliqua*) originaire du nord-ouest du Maroc. Biomatec Echo. 3: 18-25.
- Gharnit, N., 2003.** Caractérisation du caroubier (*Ceratonia siliqua* L.) originaire de la Province de Chefchaouen (Nordouest du Maroc). Thèse de Doctorat, Faculté des Sciences et Techniques, Tanger, 141 p
- Goldblatt, P. (1981).** Cytology and chromosome numbers in Iridaceae. Annals of the Missouri Botanical Garden, 68(4), 645-647.
- Gonçalves, S. et Romano, A., 2005.** Locust bean gum (LBG) as a gelling agent for plant tissue culture media. Scientia Horticulturae, 106(1): 129-134.
- Gonçalves, S., Correia, P.J., Martins-Loução, M.A. & Romano, A., 2005.** A new medium formulation for in vitro rooting of carob tree based on leaf macronutrients concentrations. Biologia plantarum 49: 277-280.
- Haddarah A.** L'influence des cultivars sur les propriétés fonctionnelles de la caroube Libanaise . Université de Lorraine; 2013 [cité 27 déc 2021]
- Hillcoat, D., Lewis, G., & Verde, F. (1980).** The morphology of *Ceratonia oreothauma* Hillc., Lewis et Verde, a new legume from the Arabian Peninsula. Botanical Journal of the Linnean Society, 80(2), 135-149.

## **Référence Bibliographique:**

---

- Hirsch, A.M., Lum, M.R. & Downie, J.A., 2001.** What makes the rhizobial-legume symbiosis so special? *Plant Physiol.* 127: 1484-1492.
- Irwin, H. S., & Barneby, R. C. (1981).** The American Cassiinae. A synoptical revision of Leguminosae tribe Cassieae subtribe Cassiinae in the New World. *Memoirs of the New York Botanical Garden*, 35, 1-918.
- J, Romero A, Batlle I.(2013).** The Carob Tree: Botany, Horticulture, and Genetic Resources. In: *Horticultural Reviews Volume 41*. John Wiley & Sons, Ltd; 2013 [cité 27 déc 2021]. p. 385-456.
- Jones, R. L. (1953).** The chemical composition of carob beans. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 4(5), 288-290.
- Karababa, E., & Coskuner, Y. (2013).** Carob seeds: a new gum source. *Journal of Food Engineering*, 115(2), 220-225.
- Konaté I., Filali-Maltouf A., Berraho B. (2007).** Diversity analysis of Moroccan carob(*Ceratonia siliqua* L.) accessions using phenotypic traits and markers. *Acta BotanicaMalacitana*, 32: 79- 90
- Liphshitz, N. (1987).** The carob tree in Israel: history and perspectives. *Economic Botany*, 41(2), 146-155.
- Martins-Loução, M.A. & Rodríguez-Barrueco, C., 1982.** Studies in nitrogenase activity of carob (*Ceratonia siliqua* L.) callus cultures associated with *Rhizobium*, in *Proceedings V International Congress Plant Tissue Culture*, Tokyo. pp. 671-672.
- Martins-Loucao, M.A., Cabrita, R. and Silva, J.M., 1996.** Pollination studies in Portuguese carob landraces. In: *Proc. Third International Carob Symposium (Tavira, Portugal)*, University of Lisbon: Portugal.
- Martins-Loução, M.A., Correia, P., & Pereira, F., 1996.** The role of plant/soil microorganisms interaction in carob development. In *Proccegens of the III International Carob Symposium*. Cabanas. Tavira. Portugal (in press).
- Melgarejo, P., & Salazar, D. M. (2003).** Cultivos marginados en la España peninsular y en las Islas Baleares. *Phytoma-España*, 147, 45-50.
- Min, B. R., & Hart, S. P. (2003).** Tannins for suppression of internal parasites. *Journal of Animal Science*, 81(3), 102-109.
- Missbah, M.E.I., Aujjar, N., Belabed, A., Dessaux, Y. & Filali-Maltouf, A., 1996.** Characterization of rhizobia isolated from carob (*Ceratonia siliqua* L.). *J. App. Bacteriol.* 80: 165-173.

## **Référence Bibliographique:**

---

- Mitrakos, K. (1981).** Ecological Characteristics of Carob (*Ceratonia siliqua* L.) in Greece, *Acta Horticulturae*, Volume 120, Pages 47-54.
- Mohammed Yahya, A. H., et al. (2017).** *Ceratonia siliqua* carob tree: An overview of the biology, ecology, and agricultural applications. *Annual Research & Review in Biology*, 15(2), 1-16. *Moroccan J. Biol.* 2-3: 1-11.
- Morton, J. F. (1987).** Carob. In *Fruits of Warm Climates* (pp. 33-37). Creative Resource Systems.
- NAS., 1979.** *Tropical Legumes: Resources for the Future*. National Academy of Sciences. Washington DC, USA, pp. 109-116.
- Ortiz, P.L., Arista, M., & Talavera, S., 1996.** Producción de néctar y frecuencia de polinizadores en *Ceratonia siliqua* L. (Caesalpinaceae). *Anales del Jardín Botánico de Madrid* 54: 540- 546.
- Priolo, A., et al. (2000).** Improving the nutritional value of carob (*Ceratonia siliqua* L.): effects of polyethylene glycol and autoclaving on in vitro digestibility of tannins and in vivo digestibility of dry matter. *Animal Feed Science and Technology*, 85(3-4), 145-154.
- Quezel, P., & Santa, S. (1962).** Nouvelle flore de l'Algérie et des régions désertiques méridionales. CNRS.
- Rejeb, M. N., et al. (1991).** Répartition des principaux éléments minéraux dans le caroubier (*Ceratonia siliqua* L.) en relation avec la nature des sols. *Comptes rendus de l'Académie des sciences. Série 3, Sciences de la vie*, 312(5), 287-294.
- Rejeb, M. N., et al. (1995).** Nutritional value of carob pod husks (*Ceratonia siliqua* L.). *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 68(2), 209-215.
- Retana, J., Ramoneda, J. & García del Pino, F., 1990.** Importancia de los insectos en la polinización del algarrobo. *Bol. San. Veg. Plagas.* 16: 143-150.
- Russo, R. O. S. A. R. I. O. (1954).** The pollination of the carob (*Ceratonia siliqua*). *California Agriculture*, 8(8), 14-15.
- Saadouni Marwa. (2021).** Etude in vivo de l'activité antalgique de l'extrait méthanolique de caroube « *Ceratonia siliqua* L. ». [Université des Frères Mentouri Constantine 1 Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie Département : Biochimie et Biologie Cellulaire et Moléculaire]; 2021.
- Sahin, S., & Tasligil, Y. (2016).** A nutritional fruit: Carob fruit (*Ceratonia siliqua* L.). *Journal of Food and Nutrition Research*, 4(6), 357-362.
- Sahle, Y., et al. (1992).** *Fruit Trees in Ethiopia*. JIRCAS Working Report, 1-114.

## **Référence Bibliographique:**

---

- Saidi, M. N., et al. (2007).** Effect of auxins and explant types on rooting of micropropagated shoots of carob tree (*Ceratonia siliqua* L.). *African Journal of Biotechnology*, 6(5), 528-532.
- Sanchez-Segado, S., De Juan Garcia, D., Lozano, L.J., Godinez, C., De Los Rios, A.P., Hernandez-Fernandez, F.J., 2010.** Fuel ethanol production from carob pod. *Chem Engr Trans* 21:1255–60.
- Sbay, H. & Abourouh, 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, pp. 1 -9.
- Sbay, H., & Abourouh, M. (2005).** Water relations and ion content in the carob tree (*Ceratonia siliqua* L.) under salt stress. *Acta Physiologiae Plantarum*, 27(5), 617-624.
- Sbay, H., 2008.** Le caroubier au Maroc, Un arbre d'avenir. CRF Collection Maroc Nature. 50 p
- Serairi-Béji, R., et al. (2000).** Etude phytochimique et activités biologiques d'un extrait aqueux de feuilles de caroubier (*Ceratonia siliqua* L.) en Tunisie. *Journal of Applied Pharmaceutical Science*, 20(1), 59-66.
- Toni Martorell, E., & Rallo, J. (2006).** Chemical composition of carob tree fruit: a potential new food source. *Plant Foods for Human Nutrition*, 61(3), 133-137.
- Tucker, S. C. (1992a).** Re-evaluation of the generic limits of *Cassia* sensu lato (Leguminosae). In *Advances in Legume Systematics, Part 4* (pp. 283-291).
- Turhan, I., Bialka, L.K., Demirci, A., Karhan, M., 2010a.** Enhanced lactic acid production from carob extract by *Lactobacillus casei* using invertase pretreatment. *Food Biotechnology*. 24(4):364-374.
- Turhan, I, Bialka, L, Demirci, A, Karhan, M, 2010b.** Ethanol production from carob extract by using *Saccharomyces cerevisiae*. *Bioresource Technology*. 101 (14), 5290-5296
- Turnbull, J. W, et al. (2006).** Carob (*Ceratonia siliqua* L.)—rainfed crop, multipurpose tree for the semi-arid regions of the Mediterranean zone. *European Journal of Agronomy*, 24(1), 42-46.
- Vavilov, N. I. (1951).** The origin, variation, immunity and breeding of cultivated plants. *Chronica Botanica*, 13(1-6), 1-366.
- Vekiari, S.A, Ouzounidou, G, Ozturk, M, & Görk, G. (2011).** Variation of quality characteristics in Greek and Turkish carob pods during fruit development. Dans : The 2nd International Geography Symposium GEOMED2011.

## **Référence Bibliographique:**

---

- Viruel, M. A, Rodriguez- Sánchez, F, Arroyo. J, & Sanmartín, I. (2020).** Haplotype Variation, Adaptive Traits, and Evolutionary History of Carob Tree (*Ceratonia siliqua*) in the Mediterranean Basin. *Frontiers in Plant Science*, 11, 1115.
- Vourdoubas, J, Makris, P, Kefalas, J, Kaliakatsos, G, 2002.** In: Proceedings of the 12<sup>th</sup> National Conference and Technology Exhibition on Biomass for Energy. Industry and Climate Protection, Amsterdam, pp. 489–493.
- Zohary, M. (1973).** Geobotanical foundations of the Middle East (Vol. 2). Gustav Fischer Verlag.
- Zohary, M, Orshan, G. (1959).** Distribution of *Quercus calliprinos* and *Ceratonia siliqua* Woodlands in palestine, *The Journal of Ecology*, Volume 47, Issue 1, Pages 51-59.



## RESUME :

Le caroubier (*Ceratonia siliqua L.*) est une espèce répandue en Méditerranée et présente un potentiel économique important. Il joue un rôle clé en tant qu'espèce agro-sylvo-pastorale, offrant des avantages socio-économiques et contribuant à la lutte contre la désertification. Ses produits dérivés, tels que les graines de caroubes et la pulpe, trouvent des applications dans l'industrie alimentaire, pharmaceutique et agricole. Malgré son potentiel, la production mondiale de caroubes a diminué ces dernières années.

Le caroubier est une ressource biologique précieuse de la région méditerranéenne, et des recherches continues sont nécessaires pour évaluer sa diversité et optimiser son exploitation. Ce travail constitue une synthèse des efforts de caractérisation menés dans les pays méditerranéens, mettant en lumière l'importance de cette espèce et ouvrant la voie à de futures avancées dans son utilisation et sa gestion.

## ABSTRACT:

The carob tree (*Ceratonia siliqua L.*) is a species widely distributed in the Mediterranean region and holds significant economic potential. It plays a key role as an agro-sylvo-pastoral species, offering socio-economic benefits and contributing to combating desertification. Its derived products, such as carob seeds and pulp, find applications in the food, pharmaceutical, and agricultural industries. Despite its potential, global carob production has declined in recent years. Carob is a valuable biological resource in the Mediterranean region, and ongoing research is necessary to assess its diversity and improve its utilization. This work represents a summary of the characterization efforts carried out in Mediterranean countries, highlighting the importance of this species and paving the way for future advancements in its use and management.

## ملخص

شجرة الخروب هي نوع منتشر بشكل واسع في منطقة البحر الأبيض المتوسط وتحمل إمكانات اقتصادية كبيرة. تلعب دورًا رئيسيًا كنبات زراعي وغابي، حيث تقدم فوائد اجتماعية واقتصادية وتساهم في مكافحة التصحر. منتجاتها المشتقة، مثل بذور الخروب واللبن، تستعمل في صناعات الطعام والصناعات الدوائية والزراعية. على الرغم من إمكانيتها، انخفض إنتاج الخروب العالمي في السنوات الأخيرة. الخروب مورد حيوي قيم في منطقة البحر الأبيض المتوسط، والبحث المستمر ضروري لتقييم تنوعها وتحسين استخدامها. من خلال هذا العمل، نحن نسعى إلى تقدير قيمة شجرة الخروب من خلال تلخيص الجهود العلمية التي تمت في بلدان البحر الأبيض المتوسط، وإلقاء الضوء على أهميتها وفتح الباب أمام تقدم مستقبلي في استفادتها وإدارتها.